Universität der Bundeswehr München

Verfahren zur Bauzeitschätzung und -ermittlung im Hochbau in den frühen Planungsphasen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft

Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften

Universität der Bundeswehr München

vorgelegt von

Andreas Händler, M. Eng.

aus

Saarlouis

Verfahren zur Bauzeitschätzung und -ermittlung im Hochbau in den frühen Planungsphasen

Andreas Händler

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Universität der Bundeswehr München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Promotionsausschuss:

Vorsitzender:	Univ.-Prof. Dr. techn. Philip Sander
	Universität der Bundeswehr München
1. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz
	Universität der Bundeswehr München
2. Berichterstatter:	Univ.-Prof. Dr.- Ing. Christoph Motzko
	Technische Universität Darmstadt

Die Dissertation wurde am 25.01.2021 bei der Universität der Bundeswehr München eingereicht und durch die Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften am 12.04.2021 angenommen.

Die mündliche Prüfung fand am 21.04.2021 statt.

Neubiberg, den 22.04.2021

Meiner Familie gewidmet

„Alles sollte so einfach wie möglich gemacht werden, aber nicht einfacher.“

Albert Einstein, Physiker (1879-1955)[1]

„Die genausten Informationen sind wertlos, wenn sie für eine Entscheidung zu spät vorliegen.“

Unbekannter Verfasser[2]

[1] Zitiert nach LESSER (1996), S. 1.

[2] Allgemeiner Grundsatz des Informationsmanagements. In Anlehnung an z. B. WEBER/SCHÄFFER (2020) S. 98 u. EICHHORN (2019), S. 48.

Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baubetrieb (bis November 2019 unter der Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz) bzw. am Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft (seit Dezember 2019 unter der Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dr. techn. Philip Sander) der Universität der Bundeswehr München.

Bei der Ausarbeitung konnte ich auf die Unterstützung einer Vielzahl von Menschen vertrauen, denen ich an dieser Stelle aus tiefstem Herzen danken möchte.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz, der immer an mein Projekt glaubte und stets ein offenes Ohr für auftretende Probleme und Fragestellungen hatte. Seine fachlichen und methodischen Anregungen im Rahmen zahlreicher Besprechungen tragen maßgeblich zur Qualität der vorliegenden Arbeit bei. Ich möchte ihm weiterhin für das entgegengebrachte Vertrauen, das konstruktive Arbeitsumfeld und die gewährten Freiräume herzlich danken, die mir die Arbeit in diesem spannenden Themenbereich ermöglichten.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko für sein entgegengebrachtes Interesse an meiner Arbeit, sein konstruktives Feedback, seine fachlichen und methodischen Anregungen und die Übernahme des Korreferats bedanken. Da die aktuelle Situation bislang lediglich Onlinebesprechungen zuließ, freue ich mich über ein baldiges persönliches Kennenlernen.

Herrn Univ.-Prof. Dr. techn. Philip Sander danke ich zunächst für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes. Weiterhin bin ich ihm, aufgrund seines Interesses an meinem Forschungsgebiet, seinen zahlreichen fachlichen und methodischen Anregungen insbesondere zum Thema „Probabilistik“ sowie seiner Unterstützung und seinem Engagement als Leiter des Instituts für Projektmanagement und Bauwirtschaft, zu großem Dank verpflichtet.

Vielen Dank auch an das Institutsteam und damit an alle aktuellen und ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts – auch an die, die nicht namentlich erwähnt werden – für das durchweg angenehme, kollegiale Arbeitsumfeld und eure Hilfsbereitschaft.

Meinem ehemaligen Kollegen und zeitweisen „Schreibtisch-Nachbarn“ Herrn Dr.-Ing. Rainer Fauth danke ich insbesondere für seine Unterstützung während der Entwicklung und Spezifizierung meines Dissertationsthemas. Herrn Dr.-Ing. Philipp Wittenbrink möchte ich auf diesem Wege für sein stets offenes Ohr, die fachlichen Diskussionen von Problemstellungen und die gemeinschaftliche Lösung von Programmierproblemen – z. T. auch in der „Nacht-

schicht“ – herzlich danken. In gleicher Weise danke ich auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Markus Koschlik. Auch er unterstützte mich durch sein stets offenes Ohr, seine fachliche Kompetenz aber auch durch seine Geduld im Rahmen der Diskussionen von Fragestellungen während unserer gemeinsamen Tätigkeit am Institut für Baubetrieb.

Mein weiterer Dank gilt meinen aktuellen Kolleginnen und Kollegen. Frau Sabrina Grünwald, Herrn Carl Philipp Friedinger und Herrn Erhan Özhan möchte ich dafür danken, dass sie mir im Rahmen des Universitätsalltags und der Finalisierung meiner Dissertation immer zur Seite standen. Frau Manuela Bradler danke ich für ihre fortwährende Unterstützung insbesondere bei administrativen Aufgaben.

Mein ausdrücklicher Dank gilt auch Herrn Florian Hacherer, der im Rahmen seiner Bachelorarbeit eine Validierung des entwickelten Verfahrens auf dem Entwicklungsstand 10.10.2018 durchführte und damit einen wesentlichen Beitrag zu dieser Arbeit leistete.

Aus tiefstem Herzen möchte ich auch meinen Eltern Gabriele und José Luis Händler danken, die immer an mich glauben, mir Mut zusprechen und mir alles in meinem Leben ermöglicht haben. Alles was ich erreicht habe, verdanke ich euch.

Auch meinen Schwiegereltern Margitta und Alois Schönberger danke ich herzlich für ihre Unterstützung. Ihr haltet unserer kleinen Familie immer den Rücken frei und habt mir dadurch notwendige Freiräume zur Bearbeitung meines Forschungsthemas geschaffen.

Mein größter Dank gilt jedoch meiner Ehefrau Sandra Händler sowie unseren beiden Kindern Luisa und Jonas. Ich danke und bewundere euch für euer entgegengebrachtes Verständnis, eure unendliche Geduld und eure Akzeptanz der aufgetretenen Entbehrungen, die aus der notwendigen mehrjährigen Bearbeitungszeit und meiner Tätigkeit im weitentfernten München resultierten, jedoch zur Verwirklichung meines Traums einer Promotion notwendig waren. Ihr wart und seid mein „Fels in der Brandung“ – für euren fortwährenden Rückhalt werde ich euch ewig dankbar sein.

Neubiberg, Januar 2021 Andreas Händler

Kurzfassung

Die Bauzeit stellt, neben den Baukosten und der Qualität, eine der drei maßgeblichen Erfolgsfaktoren eines Bauprojekts dar. Bauzeiten, die im Rahmen der Projektvorbereitung bzw. der Grundlagenermittlung in der ersten Leistungsphase (LPH 1) der „Honorarordnung für Architekten und Ingenieure“ ermittelt werden, bilden die Grundlage von Wirtschaftlichkeitsberechnungen und stellen die Basis von Realisierungsentscheidungen dar. Die Einhaltung der in dieser frühen Planungsphase ermittelten Bauzeiten, wird dementsprechend über den gesamten Projektverlauf angestrebt.

Anders als bei der Bauausführung, erfolgt die Bauzeitermittlung in LPH 1 nicht anhand prozessorientierter Ablaufpläne, die Vorgänge enthalten, die bis auf einzelne Bauprozesse detailliert sind und deren Vorgangsdauern anhand von Fertigungsmengen und Aufwands- bzw. Leistungswerten sowie den jeweiligen Ressourcen ermittelt werden. Dies ist unter anderem darin begründet, dass die Anfertigung der ersten Bauentwürfe erst in LPH 2 erfolgt.

Stattdessen erfolgt die Bauzeitermittlung auf der Grundlage von Erfahrungswerten und/oder Kennzahlen, Näherungsformeln oder Regressionsmodellen, die sich auf „einfache“ objektorientierte Bezugsgrößen, wie z. B. die Baukosten oder den Brutto-Rauminhalt, beziehen. Aber auch bei vorliegenden Bauentwürfen in LPH 2 werden von Seiten des Auftraggebers häufig vereinfachte Ansätze zur Bauzeitermittlung bevorzugt. Eine grundsätzliche Planung des voraussichtlichen Bauablaufs (zumindest im Hochbau) und prozessorientierte Bauzeitermittlung wird auch in LPH 2 regelmäßig nicht durchgeführt. Die erste Betrachtung des eigentlichen Bauprozesses, der für die Bestimmung realistischer und wirtschaftlicher Bauzeiten allerdings entscheidend ist, erfolgt i. d. R. erstmals im Rahmen der Angebotsbearbeitung durch den Auftragnehmer in LPH 7.

Die vorgestellte Untersuchung und kritische Würdigung des Stands der Wissenschaft und Technik zeigt, dass die angewendeten Verfahren auf Basis dieser „einfachen“ objektorientierten Bezugsgrößen zur Bauzeitermittlung ungeeignet sind.

Deshalb wird in der vorliegenden Arbeit ein neues Verfahren zur Ermittlung wirtschaftlicher und somit realistischer Bauzeiten, die durch Terminsteuerungsmaßnahmen beherrschbar sind und mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden, vorgestellt. Dabei wird auf Grundlage der Vorgaben zur Objektplanung in LPH 1 zunächst ein für die Gebäudetypologie wahrscheinliches Referenzgebäude generiert, dessen Fertigungsmengen anschließend als Grundlage einer prozessorientierten Bauzeitermittlung dienen. Die strukturierte und nachvollziehbare Umsetzung der Entwicklung des Referenzgebäudes erfolgt durch eine stufenweise und dokumentierte Ermittlung der verwendeten Parameter. Ausgehend von Ein-

gangsparametern, die bereits vor bzw. in LPH 1 mit hinreichender Genauigkeit objektiv festgelegt werden können, werden zunächst Gebäudeparameter ermittelt, auf deren Grundlage die einzelnen Bauelemente des Referenzgebäudes dimensioniert werden.

Die Bauzeitermittlung erfolgt anschließend aus den hieraus resultierenden Fertigungsmengen auf Basis eines Bauablauf-Modells, das zuvor festgelegte potenziell bauzeitbestimmende Vorgänge enthält.

Aus dem Verfahrenskonzept lassen sich die beiden im Fokus der vorliegenden Arbeit liegenden Forschungsfragen ableiten:

Kann die Genauigkeit der Bauzeitermittlung in den frühen Planungsphasen durch die Anwendung eines prozessorientierten Verfahrens gesteigert werden?

und

Sind die notwendigen Fertigungsmengen zur prozessorientierten Bauzeitermittlung bereits vor der Erstellung des ersten Bauentwurfs auf der Grundlage eines Referenzgebäudes mit einer zweckmäßigen Genauigkeit ermittelbar?

Die Validierung des entwickelten Verfahrens erfolgt auf Grundlage von vier abgeschlossenen Bauobjekten und bestätigt dessen Anwendbarkeit. Dabei konnte die Genauigkeit und Adaptivität des entwickelten Verfahrens auf unterschiedliche Bauobjekte bestätigt werden. Zugleich resultiert aus der durchgeführten Bandbreitenanalyse auch eine moderate Sensitivität der ermittelten Bauzeiten bei Abweichungen der zugrunde gelegten Gebäudeparameter. Es konnte aufgezeigt werden, dass das entwickelte Verfahren mittels objektiv festlegbarer Eingangsparameter, eine transparente und hinreichend genaue Bauzeitermittlung ermöglicht.

Durch die vorgestellte EDV-basierte Arbeitshilfe, die die angesetzten Berechnungsparameter dokumentiert und bei Bedarf deren Änderungen ermöglicht, können unterschiedliche Varianten des Referenzgebäudes und/oder des Bauablaufs transparent gegenübergestellt werden, z. B. durch die Anpassung der Anzahl der einsetzbaren Arbeitskräfte und/oder Krane.

Zusammenfassend konnte die Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens zur Ermittlung wirtschaftlicher und somit realistischer Bauzeiten bestätigt werden.

Abstract

Construction time is one of three decisive factors for defining the success of a building project, along with the construction costs and quality. Construction times, which are determined in the course of project preparation or the basic evaluation in the first service phase (LPH 1) of the “Honorarordnung für Architekten und Ingenieure“, form the basis of both profitability calculations and realization decisions. Compliance with the construction time, as determined in this early planning phase, is subsequently targeted throughout the project.

In contrast to the construction phase, the construction time in LPH 1 is not determined on the basis of process-oriented schedules, which contain procedures that are detailed down to individual construction processes and whose duration is determined on the basis of production quantities and effort or performance values as well as the respective resources. This is partly due to the fact that the first building designs are only produced in LPH 2.

Hence, construction time estimates are typically based on empirical values and/or key figures, approximation formulas or regression models, which utilize "simple" object-oriented reference values, such as the construction costs or the gross volume. In the case of existing building designs in LPH 2, simplified approaches for estimating the construction time are also often preferred by the client. In addition, a basic planning of the foreseeable construction sequence (at least in building construction) and process-oriented construction time estimates are not regularly carried out in LPH 2. To the contrary, the first consideration of the actual construction process, which is decisive for determining realistic and appropriate construction times, is typically carried out by the contractor in LPH 7 through the tender process.

The presented investigation and critical appraisal of the state of the art in science and technology confirms that methods applied on the basis of "simple" object-oriented reference values are unsuitable for determining the construction time.

Therefore, in the present work a new procedure for determining economical and thus realistic and appropriate construction times is presented, which based upon the defaults for object planning in LPH 1, generates a reference building probable for the building typology, whose production quantities thereafter form the basis of a process-oriented construction time determination. The structured and traceable implementation of the development of the reference building is achieved through a step-by-step and documented determination of the parameters used. Starting from input variables that can already be objectively determined with sufficient accuracy in LPH 1, building parameters are first determined on the basis of which of the individual building elements of the reference building are dimensioned.

The construction time is then determined from the resulting production quantities on the basis of a construction process model, which contains previously determined potential construction time determining processes.

From the process concept, the two research questions in the focus of the present work can be derived:

Can the accuracy of construction time determination in the early planning phases be improved by the application of a process-oriented procedure?

and

Are the necessary production quantities for the process-oriented construction time determination derivable with sufficient accuracy on the basis of a reference building before the production of the first building draft?

The validation of the developed procedure is based on four completed construction objects and confirms its applicability. Both the accuracy and adaptability of the developed procedure to different building objects and the predictability of the input variables and building parameters were confirmed. In addition, a moderate sensitivity of the determined construction times results from the accomplished range analysis with deviations of the underlying building parameters. It could be shown that the developed procedure enables a transparent and sufficiently accurate construction time determination by means of objectively determinable input parameters.

With the presented computer-based working aid, which documents the applied calculation parameters and allows changes of the input variables and boundary conditions, different variants of the reference building and/or the construction process can be transparently compared, e.g. by adjusting manpower and/or the number of cranes to be used.

In summary, the applicability of the developed method for the determination of economic and thus realistic construction times could be confirmed.

Résumé

La durée de construction est l'un des trois facteurs décisifs pour la réussite d'un projet d'architectural, au même titre que les coûts et la qualité de la construction. Les délais de construction, déterminés au cours de la préparation du projet ou de l'évaluation de base durant la première phase de performance (LPH 1) de la « Honorarordnung für Architekten und Ingenieure », constituent le fondement des calculs d'efficacité économique et sont à la base des décisions de réalisation. Le respect du délai de construction déterminé lors de cette première phase de planification doit donc rester prioritaire tout au long du projet.

Contrairement à la phase de construction, la durée de la construction dans LPH 1 n'est pas déterminée sur la base de calendriers liés aux processus qui contiennent des procédures détaillées, sauf pour les processus de construction individuels, dont la durée est déterminée par rapport aux quantités de production et de valeurs d'effort ou de performance ainsi que de ressources respectives. Cela s'explique en partie par le fait que les premiers modèles de bâtiments ne sont produits qu'en LPH 2.

Au lieu de cela, le temps de construction est déterminé sur la base de valeurs empiriques et/ou de relations, de formules d'approximation ou de modèles de régression qui se réfèrent à des valeurs de référence « simples » orientées, tels que les coûts de construction ou le volume brut. Cependant, même dans le cas de bâtiments existants dans le cadre de LPH 2, le client préfère souvent des approches simplifiées pour déterminer le temps de construction. Une évaluation approximative du délai estimé des travaux de construction (au moins dans la construction de bâtiments) ainsi qu‘ une estimation de la durée de construction établie selon le processus ne sont pas non plus effectuées régulièrement dans le cadre de LPH 2. La première approche du processus de construction proprement dit, qui est toutefois déterminante pour la détermination d‘un délai de construction réaliste, est généralement effectuée pour la première fois par l'entrepreneur dans LPH 7 au cours du traitement de l'appel d'offres.

L'enquête et l'évaluation critique présentées suivant l'état de la science et de la technologie montrent que les méthodes appliquées sur la base de ces « simples » valeurs de référence orientées ne conviennent pas pour déterminer le temps de construction.

C'est pourquoi, le présent ouvrage propose une nouvelle méthode avec laquelle il est possible de déterminer le temps de construction économique. Cette méthode est par conséquent réaliste et appropriée. Sur la base des spécifications de la planification de l'objet dans LPH 1, elle génère d'abord un bâtiment de référence probable pour le type de construction, dont les quantités de production servent ensuite à déterminer le temps de construction établi

par le processus. L‘élaboration structurée et traçable du bâtiment de référence est réalisée selon un cheminement étape par étape, documenté par les paramètres utilisés. En partant des variables d'entrée qu’il est possible de définir objectivement dès le départ avec une précision suffisante dans LPH 1, on détermine d'abord des paramètres de construction, sur la base desquels les dimensions des différents éléments de construction du bâtiment de référence sont calculées.

La durée de construction est ensuite déterminée à partir des quantités de production résultantes sur la base d'un modèle de processus de construction, qui contient des processus potentiels préalablement définis par cette première.

Les deux questions essentielles placées au cœur de cette thèse peuvent être dérivées du concept de processus :

La précision de la détermination du temps de construction dans les premières phases de planification peut-elle être accrue par l'application d'une procédure orientée vers le processus?

et

Les quantités de production nécessaires pour la détermination de la durée de construction orientée vers le processus peuvent-elles déjà être déterminées avec une précision appropriée sur la base d'un bâtiment de référence avant la préparation du premier projet de construction?

La validation de la méthode développée, basée sur quatre objets de construction achevés, confirme son applicabilité. La précision et l'adaptabilité de la méthode développée à différents objets de construction ainsi que la prévisibilité des variables d'entrée et des paramètres de construction ont pu être confirmées. En outre, l'analyse de la largeur de bande donne également une sensibilité modérée des temps de construction déterminés aux écarts des paramètres de construction sous-jacents. Il a pu être démontré que la méthode développée permet une détermination transparente et suffisamment précise du temps de construction au moyen de paramètres d'entrée objectivement déterminables.

Grâce à cette assistance basée sur l‘informatique présentée dans cette étude, que documentent les paramètres de calcul appliqués, et dont les variables d'entrée et les conditions limites peuvent être modifiées, différentes variantes du bâtiment de référence et/ou du processus de construction peuvent ainsi être comparées de manière transparente, en ajustant par exemple le nombre de personnes et/ou de grues utilisées.

En résumé, l'applicabilité de la méthode développée pour déterminer les délais de construction économiques est ainsi confirmée.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung ..... **I**

Kurzfassung ..... **III**

Abstract ..... **V**

Résumé ..... **VII**

Inhaltsverzeichnis ..... **IX**

A. Einleitung **1**

A.1 Ausgangssituation **1**

A.2 Forschungsfragen und Zielstellung **5**

A.3 Abgrenzung **7**

A.4 Vorgehensweise **9**

A.5 Verfahrenskonzept **10**

A.6 Aufbau der Arbeit **14**

B. Allgemeine Grundlagen **19**

B.1 Allgemeines **19**

B.1.1 Baurechtliche Vorgaben zur Bauzeitbemessung 19

B.1.2 Zusammenhang zwischen Bauzeit und Baupreis 19

B.1.3 Genauigkeitsanspruch von Bauzeitermittlungen 21

B.2 Stand der Wissenschaft und Technik **23**

B.2.1 Methodendifferenzierung 23

B.2.2 Angewendete Methoden in der Praxis 25

B.2.3 Kritische Würdigung der gesichteten Direkten Methoden 25

B.2.4 Kritische Würdigung der gesichteten Indirekten Methoden 42

B.2.5 Schlussfazit 49

C. Grundlagen der Verfahrensentwicklung **51**

C.1 Bauablauf-Modell **51**

C.2 Referenzgebäude **52**

C.2.1 Ableitung von Parametern aus Literaturangaben 54

C.2.2 Gebäudeprofil 55

C.2.3 Maß der baulichen Nutzung 59
C.2.4 Gebäudeparameter 60
C.2.5 Bauelemente 63
C.3 Ermittlung der Fertigungsmengen 67
C.3.1 Betonvolumina 68
C.3.2 Randschalungslängen 69
C.3.3 Schalungsflächen 69
C.3.4 Bewehrungsmengen 70
C.4 Bauzeitermittlung 70
C.4.1 Vorgangsdauern und Taktzeit 70
C.4.2 Netzplantechnik 74
D. Entwicklung des Bauablauf-Modells 77
D.1 Projektstrukturplan (PSP) 77
D.2 Ablaufplan auf Bauprozessebene 78
D.3 Taktung auf PSP-Ebene 3 und 4 79
D.4 Taktung auf PSP-Ebene 2 81
D.5 Taktung auf PSP-Ebene 1 82
E. Entwicklung des Referenzgebäudes 85
E.1 Eingangsparameter 86
E.1.1 Gebäudeprofil 86
E.1.2 Maß der baulichen Nutzung 88
E.2 Gebäudeparameter 89
E.2.1 Geschosshöhe der Regelgeschosse 89
E.2.2 Geschossanzahl und Gebäudegrundfläche 95
E.2.3 Geschosshöhe des Erdgeschosses 97
E.2.4 Gebäudehöhe 97
E.2.5 Gebäudetiefe 98
E.2.6 Gebäudelänge 101
E.2.7 Gebäudeumfang 101
E.2.8 Deckenstärke 103
E.2.9 Wandstärke der Außenwände 104

E.2.10 Wandstärke der Bauelemente 104
E.2.11 Stützenquerschnitt und -abstände 105
E.2.12 Flächenbedarf der Installationsschächte 107
E.2.13 Aufzuganzahl 109
E.2.14 Anteil der Fensterflächen 117
E.2.15 Bewehrungsanteil 117
E.3 Bauelemente 118
E.3.1 Nutzungseinheiten 118
E.3.2 Treppenhäuser 128
E.3.3 Installationsschächte 135
E.3.4 Aufzugsschächte 137
E.3.5 Brandschutzwände 142
E.3.6 Stützen 143
F. Ermittlung der Fertigungsmengen 145
F.1 Betonvolumina 145
F.1.1 Horizontale Bauteile 145
F.1.2 Vertikale Bauteile 146
F.1.3 Betonanteil 153
F.2 Randschalungslängen 153
F.3 Schalungsflächen 154
F.3.1 Horizontale Bauteile 155
F.3.2 Vertikale Bauteile 155
F.3.3 Schalungsanteil 155
F.4 Bewehrungsmengen 157
F.4.1 Horizontale Bauteile 157
F.4.2 Vertikale Bauteile 157
F.4.3 Bewehrungsanteil 158
G. Bauzeitermittlung 161
G.1 Vorgangsdauern und Taktzeit 161
G.1.1 Arbeitsaufwand 163
G.1.2 Kolonnenstärken 175

G.1.3 Ressourcenanzahl 177

G.2 Netzplanberechnung 185

G.2.1 Allgemeines 185

G.2.2 Minimale Bauzeit 190

G.2.3 Maximale Bauzeit 191

G.2.4 Erwartete wirtschaftliche Bauzeit 198

H. Grundlagen der Validierung und Sensitivitätsanalyse 205

H.1 Allgemeines 205

H.2 Terminologie 205

H.3 Ablauf der Validierung und Sensitivitätsanalyse 207

H.4 Datengrundlage 210

H.4.1 Soll-1- und Ist-Wert-Ermittlung 210

H.4.2 Soll-Wert-Ermittlung 211

H.4.3 Nicht bzw. nur teilweise berücksichtigte Objektdaten 212

H.5 Datenermittlung 214

H.5.1 Absolute und relative Abweichungen 214

H.5.2 Mittlere lineare Abweichung zwischen Ist- und erwarteten Soll-Werten 215

H.5.3 Bandbreiten und Intervalle 216

H.5.4 Unter- und Überschreitungen der Soll-Bandbreiten durch Ist-Werte 217

H.5.5 Bandbreitenanalyse 217

H.5.6 Kritische Werte der Gebäudeparameter 222

I. Validierung und Sensitivitätsanalyse 223

I.1 Stufe 1: Analyse der Soll-0-Gebäudeparameter 223

I.1.1 Geschosshöhe der Regelgeschosse 223

I.1.2 Geschosshöhe des Erdgeschosses 226

I.1.3 Gebäudetiefe 228

I.1.4 Deckenstärke 230

I.1.5 Wandstärke der Außenwände 233

I.1.6 Wandstärke der Bauelemente 235

I.1.7 Anteil der Fensterflächen 237

I.1.8 Geschossanzahl 239

I.1.9 Zwischenfazit (Stufe 1) 241

I.2 Stufe 2: Analyse der Soll-0-Fertigungsmengen 243

I.2.1 Betonvolumina 243

I.2.2 Randschalungslängen 246

I.2.3 Schalungsflächen 247

I.2.4 Zwischenfazit (Stufe 2) 249

I.3 Stufe 3: Analyse der Soll-1-Fertigungsmengen 252

I.3.1 Betonvolumina 252

I.3.2 Randschalungslängen 255

I.3.3 Schalungsflächen 256

I.3.4 Zwischenfazit (Stufe 3) 258

I.4 Stufe 4: Analyse der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände 260

I.5 Stufe 5: Analyse der Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten 262

I.5.1 Bauobjekt 1 263

I.5.2 Bauobjekt 2 264

I.5.3 Bauobjekt 3 264

I.5.4 Bauobjekt 4 265

I.5.5 Zwischenfazit (Stufe 5) 266

I.6 Stufe 6: Bandbreitenanalyse 267

I.6.1 Bauobjekt 1 267

I.6.2 Bauobjekt 2 270

I.6.3 Bauobjekt 3 273

I.6.4 Bauobjekt 4 275

I.6.5 Zwischenfazit (Stufe 6) 277

I.7 Stufe 7: Analyse kritischer Werte der Gebäudeparameter 280

I.8 Schlussfazit 281

J. Schlussbetrachtung 283

J.1 Zusammenfassung 283

J.2 Prüfung der Forschungsfragen und Zielstellung 285

J.3 Ausblick 288

K. Verzeichnisse 293

K.1 Abkürzungsverzeichnis 293

K.2 Glossar 296

K.3 Verzeichnis der verwendeten Symbole 314

K.4 Abbildungsverzeichnis 334

K.5 Tabellenverzeichnis 343

K.6 Quellenverzeichnis 351

K.6.1 Bücher, Buchbeiträge und Aufsätze 351

K.6.2 Gesetze, Verordnungen, Satzungen und Allgemeine Verwaltungsvorschriften 366

K.6.3 Normen und Richtlinien 370

K.6.4 Studentische Abschlussarbeiten 373

K.6.5 Sonstige 374

L. Anlagen 375

L.1 Stand der Wissenschaft und Technik (Kap. B) 376

L.1.1 Direkte Methoden 376

L.1.2 Indirekte Methoden 389

L.2 Entwicklung des Referenzgebäudes (Kap. E) 399

L.2.1 Ablaufschemata 399

L.2.2 Ableitung von Parametern aus Literaturangaben 420

L.3 Plausibilitätsprüfung der berechneten Taktzeiten (Kap. G) 431

L.3.1 (Zulässige) Mindestarbeitsflächen und -längen 431

L.3.2 Vorhandene Arbeitsflächen und –längen 434

L.4 Validierung und Sensitivitätsanalyse (Kap. I) 438

L.4.1 Stufe 1: Analyse der Soll-0-Gebäudeparameter 438

L.4.2 Stufe 2: Analyse der Soll-0-Fertigungsmengen 485

L.4.3 Stufe 3: Analyse der Soll-1-Fertigungsmengen 501

L.4.4 Stufe 4: Analyse der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände 514

L.4.5 Stufe 5: Analyse der Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten 525

L.4.6 Stufe 6: Bandbreitenanalyse 541

L.4.7 Stufe 7: Analyse kritischer Werte der Gebäudeparameter 573

L.5 Sonstiges 577

A. Einleitung[3]

A.1 Ausgangssituation

Die Zeit, die Kosten und die Qualität sind die drei maßgeblichen Faktoren zur Bestimmung des Erfolgs eines Bauprojekts. Das Bauobjekt soll innerhalb des geplanten Kostenrahmens, in der vereinbarten Qualität und in der geplanten Zeit fertiggestellt werden. Darüber hinaus bilden insbesondere die Bauzeit und die Baukosten[4], die nach der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) bereits in der ersten Leistungsphase (LPH 1) bestimmt werden,[5] die Grundlage für die Realisierungsentscheidung der Baumaßnahme, d. h. ob das Projekt in die Planungsphase überführt oder eingestellt wird.

Neben der generellen Wirtschaftlichkeit der Baumaßnahme steht für den Auftraggeber (AG) dabei regelmäßig nicht nur die terminsichere, sondern auch die frühestmögliche Inbetriebnahme des geplanten Bauprojektes im Fokus, z. B. um die gebundenen Investitionskosten möglichst zeitnah durch erwirtschaftete Erlöse zu amortisieren. Die Einhaltung der in LPH 1 ermittelten Bauzeit wird daher regelmäßig über den gesamten Projektverlauf angestrebt. Die Baukosten und die Bauzeit stellen jedoch keine voneinander unabhängigen Parameter dar.[6] Vielmehr kann der AG die Baupreisbildung und damit die Wirtschaftlichkeit einer Baumaßnahme durch die Bauzeitvorgabe beeinflussen.[7] Während Überschreitungen der veranschlagten Baukosten auch bei eingehaltenen Bauzeiten entstehen können, führen Überschreitungen der Bauzeit zwangsläufig auch zu Steigerungen der veranschlagten Baukosten.

Eine wirtschaftliche Bauausführung, wozu insbesondere der produktive bzw. zweckmäßige Ressourceneinsatz durch den Auftragnehmer (AN) sowie die generelle Möglichkeit zur Einhaltung vertraglich fixierter Termine der Bauausführung in LPH 8 zählen, setzt daher realistische Bauzeitvorgaben durch den AG bereits in den frühen Planungsphasen[8] voraus. Zu kur-

[3] Auszüge der Ausgangssituation und des Verfahrenskonzepts wurden bereits in HÄNDLER (2018), S. 100, 106 ff. u. HÄNDLER/SCHWARZ (2017), S. 232 f., 242 ff. vorgestellt.

[4] Die Definition des Begriffs „Baukosten“ ergibt sich aus dem Glossar.

[5] Die Kostenermittlung in LPH 1 wird gemäß DIN 276-1 (2008) als „Kostenrahmen“ bezeichnet (vgl. a. a. O., S. 4 ,7). Die Definitionen der einzelnen „Stufen der Kostenermittlung“ nach DIN 276-1 (2008) ergeben sich aus dem Glossar.

[6] Der Zusammenhang zwischen Bauzeiten und Baupreisen wird in Kapitel B.1.2 erläutert.

[7] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 39.

[8] Unter „frühen Planungsphasen“ wird in der vorliegenden Arbeit die Projektvorbereitung („LPH 0“, vgl. Abb. 1) und LPH 1 „Grundlagenermittlung“ gemäß § 34 Abs. 3 HOAI bzw. die erste Projektstufe „Projektvorbereitung“ gemäß AHO (2020) verstanden (vgl. AHO (2020), S. 36 ff., 53, 225), in der noch kein Bauentwurf vorliegt.

ze Bauzeitvorgaben können in einem realistischen Rahmen vom AN grundsätzlich eingehalten werden, bedingen aber einen erhöhten Ressourceneinsatz, der häufig zu Produktivitätsverlusten und zu entsprechend höheren Einheitspreisen führt.[9] Die Vorgabe realistischer Bauzeiten setzt daher voraus, dass AG die projektspezifischen Randbedingungen und baubetrieblichen Parameter bereits in den frühen LPH berücksichtigen.[10]

In HOFSTADLER (2014) wird diesbezüglich ausgeführt:

> *„Der Bauherr kann durch die Vorgabe der Bauzeit die Kosten und damit auch die Preisbildung beeinflussen. Zu kurze Bauzeiten (Maximalwerte für den produktiven Einsatz von Geräten und/oder Arbeitskräften sind überschritten) führen zu Produktivitätsverlusten und auch zu höheren Kosten. Die Grenzen für Produktivitätsverluste sind teilweise noch nicht durchgängig bekannt bzw. umstritten.*
>
> *Wenn normale Bauzeiten vorgegeben sind, werden die Auftragnehmer versuchen, ihre Produktionsfaktoren optimal zu kombinieren, damit sie bei vorgegebenem Budget die geschuldete Leistung zu den geringsten Kosten erbringen können. […] Das Risiko, dass Bauzeit und Baukosten nicht eingehalten werden, sinkt.“* [11]

Zur Ermittlung der Baukosten in LPH 1 existiert umfangreiche Literatur, wie z. B. die Veröffentlichungen des Baukosteninformationszentrums (BKI), worin unter anderem objektorientierte Kostenkennwerte zu unterschiedlichen Gebäudetypologien, wie z. B. Bürogebäuden, Einfamilienhäusern etc. enthalten sind, die sich auf den Brutto-Rauminhalt (BRI), die Brutto-Grundfläche (BGF) oder die Nutzungsfläche (NUF) beziehen.[12] Der BRI, die BGF und die NUF lassen sich mit wenig Aufwand bereits vor bzw. in LPH 1 ermitteln und bilden die Basis der funktionsorientierten Objektplanung durch den Architekten.[13]

Auch zur Ablauf- bzw. Terminplanung[14] liegt umfangreiche Fachliteratur vor, die Aufwands- und Leistungswerte zur Bestimmung des Arbeitsaufwands verschiedenster Bauleistungen

[9] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 41.

[10] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 41.

[11] HOFSTADLER (2014), S. 39.

[12] Vgl. z. B. BKI (2016). Anm.: Die Definitionen der Begriffe „Brutto-Rauminhalt“, Brutto-Grundfläche“ und „Nutzungsfläche“ ergeben sich aus DIN 277-1 (2016), S. 4, f (vgl. auch Glossar).

[13] Vgl. HODULAK/SCHRAMM (2011), S. 156 ff.

[14] Die Definition des Begriffs „Terminplanung“ und dessen Abgrenzung zum Begriff „Ablaufplanung“ ergibt sich aus dem Glossar.

auf Prozessebene beinhaltet.[15] Nach der Anfertigung des ersten Bauentwurfs in LPH 2 und den hieraus resultierenden Fertigungsmengen kann auf deren Grundlage die Bauzeit anhand von Ablaufplänen prozessorientiert bestimmt werden.

Da die Fertigungsmengen vor der Anfertigung des ersten Bauentwurfs grundsätzlich eine noch unbekannte Größe darstellen, erfolgt in LPH 1 in der Baupraxis allerdings keine prozessorientierte Bauzeitermittlung. Stattdessen werden Erfahrungswerte und/oder Kennzahlen, Näherungsformeln oder Regressionsmodelle (RM) verwendet, die sich ebenso wie Kostenkennwerte auf „einfache“ objektorientierte Bezugsgrößen beziehen.[16]

Obwohl nach der Anfertigung der ersten Bauentwürfe in LPH 2 eine prozessorientierte Bauzeitermittlung möglich ist, erfolgt diese in der Baupraxis i. d. R. dennoch anhand der genannten vereinfachten Ansätze, da – zumindest im Hochbau – von Seiten des AG häufig keine grundsätzliche Planung des voraussichtlichen Bauablaufs erfolgt. Die erste Betrachtung des eigentlichen Bauprozesses, der für die Bestimmung realistischer und wirtschaftlicher Bauzeiten von fundamentaler Bedeutung ist, erfolgt i. d. R. erst im Rahmen der Angebotsbearbeitung durch den AN in LPH 7 (vgl. Abb. 1).

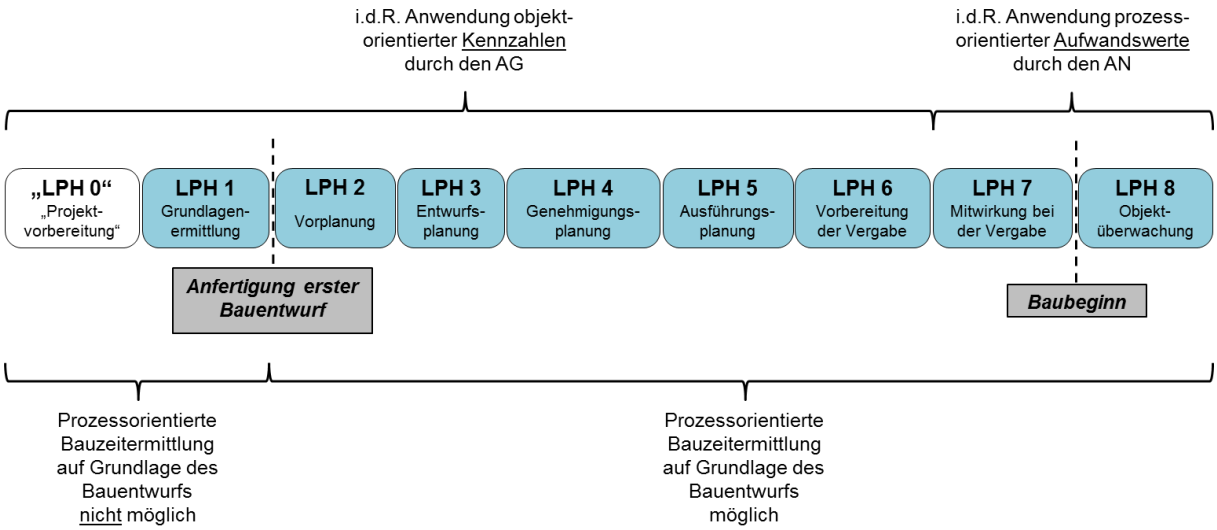


Abb. 1: Anwendung und Anwendbarkeit von Kennzahlen und Aufwandswerten zur Bauzeitermittlung in den HOAI-Leistungsphasen[17]

[15] Vgl. z. B. ARH (1999); ARH (2001); ARH (2006); ARH (2009) u. ARH (2016).

[16] Vgl. z. B. AHO (2020), S. 51 f.; SKITMORE/NG (2003), S. 1075; DURSUN/STOY (2011), S. 97 u. HOFFMAN ET AL. (2007), S. 193.

[17] Eigene Darstellung. Anm.: Auf die Darstellung von LPH 9 „Objektbetreuung“ wird verzichtet. Die LPH gemäß HOAI wurden durch die LPH 0 „Projektvorbereitung“ ergänzt, die die Planungsphase vor LPH 1 kennzeichnet.

Während in der Baupraxis als übliche Bezugsgrößen zur Ermittlung der Kosten in LPH 1 der BRI, die BGF und die NUF zu nennen sind,[18] bestehen bei der zweckmäßigen Bezugsgröße zur Bauzeitermittlung in den frühen Planungsphasen divergierende Meinungen. Die vorwiegend verwendeten Bezugsgrößen stellen die Baukosten, der BRI und die Grundfläche des Gebäudes dar. In deutschsprachigen Lehrbüchern wird größtenteils der BRI als Bezugsgröße zur Ermittlung des Gesamt-Arbeitsaufwands verwendet, aus dem nach der Festlegung der mittleren Anzahl an Arbeitskräften (AK) die Bauzeit ermittelt werden kann.[19] In der englischsprachigen Literatur überwiegen hingegen RM, die einen direkten Zusammenhang zwischen den Baukosten und der Bauzeit suggerieren und eine Bauzeitermittlung ohne die Festlegung der Anzahl an AK ermöglichen.[20]

Die Anwendbarkeit objektorientierter Kennzahlen zur Bauzeitermittlung, ob nun erfahrungsbasiert oder auf Grundlage statistischer Auswertungen ermittelt, ist aufgrund des Unikatcharakters von Bauobjekten grundsätzlich in Frage zu stellen. Nach ZIMMERMANN (2018) stellen Bauobjekte allerdings lediglich auf Objektebene Unikate dar, wohingegen dies auf Element- und Prozessebene nicht mehr zutrifft.[21] Dementsprechend können Räume, Bauteile- und Bauelemente auf Element- und Prozessebene standardisiert werden, aus denen Informationen resultieren, die üblicherweise erst in der Ausführungsplanung vorliegen und als Grundlage prozessorientierter Ablaufpläne fungieren können.

Dass die prozessorientierte Bauzeitermittlung mittels Ablaufplänen zu korrekten Bauzeiten führt und dementsprechend gegenüber objektorientierten Verfahren zu bevorzugen ist, kann aufgrund der regelmäßigen Anwendung der Netzplantechnik als Werkzeug der Projektüberwachung und -steuerung, als unstrittig angesehen werden.

Untersuchungen des Verfassers ergaben, dass die veröffentlichten RM, die auf Grundlage empirischer Auswertungen abgeschlossener Bauprojekte aufgestellt wurden, zur Ermittlung realistischer und wirtschaftlicher Bauzeiten ungeeignet sind, da diese z. T. baubetrieblichen Grundsätzen widersprechen und keinen baupraktischen Bezug besitzen.[22] Weiterhin hat sich gezeigt, dass die Herkunft veröffentlichter Kennzahlen teilweise nicht belegt ist, deren An-

[18] Vgl. z. B. BKI (2016). Anm.: Untersuchungen von ZIMMERMANN ET AL. (2014) stellen die grundsätzliche Genauigkeit der Kostenkennwerte des BKI, aufgrund des geringen Umfangs der Stichprobe, hingegen in Frage (vgl. a. a. O., S. 280).

[19] Vgl. z. B. PLATZ (1982); BAUCH (2004) und HOFSTADLER (2007).

[20] Vgl. z. B. BROMILOW (1969); CHAN (2001) u. SOUSA ET AL. (2014).

[21] Vgl. ZIMMERMANN (2018), o.S.

[22] Vgl. HÄNDLER (2018), S. 103 ff. u. HÄNDLER/SCHWARZ (2017), S. 238 ff.

wendung nicht objektiv erfolgen kann und diese enorme Streuungen aufweisen, weshalb sie keine belastbaren Bauzeitvorgaben erlauben.[23]

Die vorangegangenen Ausführungen begründen die Notwendigkeit zur Entwicklung eines neuen (prozessorientierten) Verfahrens zur Bauzeitermittlung in den frühen Planungsphasen, dessen Konzept in Kapitel A.5 zusammengefasst ist.

A.2 Forschungsfragen und Zielstellung

Aus der Darstellung der Ausgangssituation in Kapitel A.1 ist abzuleiten, dass objektorientierte, „einfache“ Bezugsgrößen zur Ermittlung realistischer und wirtschaftlicher Bauzeiten ungeeignet sind.[24]

Daraus lassen sich die beiden für die Arbeit relevanten Forschungsfragen ableiten:

Kann die Genauigkeit der Bauzeitermittlung in den frühen Planungsphasen durch die Anwendung eines prozessorientierten Verfahrens gesteigert werden?

und

Sind die notwendigen Fertigungsmengen zur prozessorientierten Bauzeitermittlung bereits vor der Erstellung des ersten Bauentwurfs auf der Grundlage eines Referenzgebäudes[25] mit einer zweckmäßigen Genauigkeit ermittelbar?

Ausgehend von den Forschungsfragen und den ermittelten Problematiken bei der durchgeführten Literaturauswertung (vgl. Kap. B.2.5) lassen sich für die Entwicklung des Bauzeitermittlungsverfahrens die nachfolgenden Ziele definieren, die es zu erfüllen gilt:

- Anwendungsziele:
    - *Ergebnissicherheit*, d. h. Ermittlung wirtschaftlicher und somit realistischer Bauzeiten, die durch Terminsteuerungsmaßnahmen beherrschbar sind und mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden („erwartete wirtschaftliche Bauzeiten“)[26]
    - *Handhabbarkeit*, d. h. Festlegung einer vertretbaren Anzahl von Eingangsparametern und Reduzierung des Berechnungsaufwands für Verfahrensanwender

[23] Vgl. HÄNDLER (2018), S. 103 ff. u. HÄNDLER/SCHWARZ (2017), S. 238 ff.

[24] Vgl. HÄNDLER (2018), S. 103 ff. u. HÄNDLER/SCHWARZ (2017), S. 238 ff.

[25] Der Begriff „Referenzgebäude“ bezeichnet einen für die vorgesehene Typologie möglichen Gebäudeaufbau. Die ausführliche Begriffsdefinition ergibt sich aus dem Glossar.

[26] Die Definition des Begriffs „erwartete wirtschaftliche Bauzeit“ ergibt sich aus dem Glossar.

- *Objektivität*, d. h. Verwendung von Eingangs- und Gebäudeparametern, die objektiv einschätzbar bzw. prüfbar sowie eindeutig definiert sind
- *Nachvollziehbarkeit*, d. h. prüfbare Dokumentation der zugrunde gelegten Eingangsparameter und der ermittelten Zwischenergebnisse für Verfahrensanwender aber auch Dritte
- *Flexibilität*, d. h. Ermöglichung der Anpassungen des Referenzgebäudes und weiterer Zwischenergebnisse für Verfahrensanwender zur Gegenüberstellung verschiedener Varianten des Referenzgebäudes und/oder des Bauablaufs
- *Zweckmäßigkeit*, d. h. Ausschluss baubetrieblicher Widersprüche durch die Wahrung eines baupraktischen Bezugs

- Baupraktische Ziele:
  - *Prozessorientierung*, d. h. Bauzeitermittlung auf Grundlage von Ablaufplänen auf Bauprozessebene
  - *Ressourcenabhängigkeit*, d. h. Berücksichtigung einer projektspezifisch zweckmäßigen und wirtschaftlichen Ressourcenanzahl (Anzahl an AK und Kranen)
  - *Fertigungsabschnitt-Definition*, d. h. Festlegung projektspezifisch sinnvoller Fertigungsabschnitte bzw. Taktungen zur möglichst kontinuierlichen Beschäftigung von spezialisierten Kolonnen und zur Reduzierung von Vorhaltemengen und Herstellkosten[27]
- Weitere Ziele:[28]
  - *Anpassbarkeit*, d. h. Möglichkeit zur Anpassung des Verfahrens auf andere Gebäudetypologien
  - *Erweiterbarkeit*, d. h. Möglichkeit zur Erweiterung des Verfahrens um unterirdische Geschosse, abweichende Bauweisen (Mauerwerksbauweise), weitere Gewerke und geänderte Fertigungsverfahren bzw. Bauabläufe (z. B. vorlaufende Treppenhauskerne o. ä.)

[27] Die Definition des Begriffs „Herstellkosten“ ergibt sich aus dem Glossar.

[28] Aufgrund der festgelegten Beschränkung auf Stahlbeton-Rohbauprozesse oberirdischer Geschosse von Büro- und Verwaltungsgebäuden (vgl. Kap. A.3).

A.3 Abgrenzung

Aufgrund der Vielfältigkeit von Hochbauten hinsichtlich der Gebäudetypologie und -nutzung, z. B. Büro- und Wohngebäude, Gewerbehallen etc., und der Bauweise, z. B. Stahlbeton-, Mauerwerks- und Mischbauweisen etc., ist es für die Verfahrensentwicklung erforderlich den Untersuchungsgegenstand einzugrenzen.

Der Fokus der Verfahrensentwicklung liegt auf **Büro- und Verwaltungsgebäuden**. Büro- und Verwaltungsgebäude verfügen über gebäudespezifische Parameter, die diese generell von anderen Gebäudetypologien unterscheiden.[29] Allerdings ist insbesondere auf Grundlage vorliegender Fertigungsmengen auch eine Anwendung auf andere Gebäudetypologien des Hochbaus (z. B. Wohngebäude) möglich (vgl. Kap. H.2; hier: „Soll-2-Werte“).

Da zunächst die generelle Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens untersucht werden soll, beschränkt sich die vorliegende Arbeit zunächst auf **Rohbauprozesse** und **oberirdische Geschosse**. Gleichzeitig wird die Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit des entwickelten Verfahrens auf unterirdische Geschosse sowie andere Gebäudetypologien und Gewerke angestrebt (vgl. Kap. A.2).

Der Ermittlung der Fertigungsmengen und Prozessdauern sowie dem Ablaufplan wird eine **Stahlbetonbauweise** unterstellt, wobei für vertikale Bauteile (d. h. Wände und Stützen) eine Fertigung in Ortbeton sowie für Geschossdecken und das unterstellte Flachdach eine Herstellung mittels Elementdecken und Aufbeton in Ansatz gebracht wird., wobei die Erweiterbarkeit auf abweichende Bauweisen und geänderte Fertigungsverfahren bzw. Bauabläufe angestrebt wird (vgl. Kap. A.2).

Eine weitere Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands findet nicht statt. Allerdings werden bei der Entwicklung des Referenzgebäudes und der Erstellung des Bauablauf-Modells (BAM)[30] **weitere Grundannahmen** getroffen, die den Anwendungsbereich des entwickelten Bauzeitermittlungsverfahrens jedoch nicht einschränken.

---

[29] Z. B. können Mindestanforderungen, die explizit für die Raumhöhen von Büro- und Verwaltungsgebäuden gelten, aus § 23 ArbStättV a. F. abgeleitet werden. Anm.: Die aktuelle Fassung der ArbStättV enthält keine konkreten Vorgaben zu lichten Raumhöhen, sondern lediglich die Vorgabe, dass Arbeitsräume *„eine ausreichende Grundfläche und eine, in Abhängigkeit von der Größe der Grundfläche der Räume, ausreichende lichte Höhe aufweisen [müssen], so dass die Beschäftigten ohne Beeinträchtigung ihrer Sicherheit, ihrer Gesundheit oder ihres Wohlbefindens die Räume nutzen oder ihre Arbeit verrichten können (Anhang 1.2 ArbStättV).“*

[30] Die Definitionen der Begriffe „Referenzgebäude“ und „Bauablauf-Modell“ ergeben sich aus dem Glossar.

Bauablauf-Modell (BAM)

Die Ermittlung der Fertigungsmengen der vertikalen Bauelemente beschränkt sich auf tragende Bauteile. Nicht tragende Trennwände bleiben im BAM unberücksichtigt, da deren Fertigung im Nachgang zur Herstellung der tragenden Bauteile erfolgen kann und diese somit als nicht potenziell bauzeitbestimmend[31] betrachtet werden können.

Weiterhin wird dem Bauablauf eine **geschossweise Fertigung** (vgl. Kap. C.1) ohne vorlaufende Treppenhauskerne o. ä. zugrunde gelegt. Auch für vorlaufende Bauteile kann davon ausgegangen werden, dass diese zwar mit den übrigen Bauteilen begonnen, jedoch vorzeitig fertiggestellt werden, und damit als nicht potenziell bauzeitbestimmend angesehen werden können.

Referenzgebäude

Bei der Entwicklung des Referenzgebäudes werden folgende Grundannahmen getroffen:

- Rechteckige Grundrissform[32] (vgl. Abb. 2),[33]
- Gleichbleibende Gebäudetiefen[34],
- Gleichbleibende Geometrien der einzelnen Geschosse[35] und
- Gleichbleibende Gebäudehöhen[36].

Die tatsächliche Grundrissform ist vor der Erstellung des ersten Bauentwurfs grundsätzlich unbekannt und kann dementsprechend auch von den angegebenen Grundannahmen des Referenzgebäudes abweichen. Obwohl abweichende Grundrissformen unter anderem auch zu Abweichungen bei den Fertigungsmengen und dem Bauablauf führen können, wird der Anwendungsbereich des entwickelten Verfahrens durch die getroffenen Grundannahmen bei der Entwicklung des Referenzgebäudes nicht weiter eingeschränkt.

---

[31] Die Definition des Begriffs „potenziell bauzeitbestimmende Vorgänge“ ergibt sich aus dem Glossar.

[32] Rechteckige Grundrissformen stellen für Bürogebäude den Regelfall dar (vgl. FAUTH (2017), S. 142).

[33] Der Gebäudeumfang und damit die Randschalungsmengen einfach- und kombiniert-rechteckiger Grundrissformen sind bei identischen Gebäudetiefen und Gebäudegrundflächen gleich (vgl. Abb. 33). Auf die Berücksichtigung der Anzahl der baulich vollumfänglich umschlossenen Innenhöfe als Eingangsparameter des Bauzeitermittlungsverfahrens wird verzichtet, da sich hieraus lediglich marginale Mengenreduzierungen bei den Deckenrandschalungen und dadurch geringfügige Bauzeitunterschiede ergeben.

[34] Die Definition des Begriffs „Gebäudetiefe“ ergibt sich aus dem Glossar.

[35] Es werden demnach keine Staffelgeschosse vorgesehen.

[36] Die Definition des Begriffs „Gebäudehöhe“ ergibt sich aus dem Glossar.

Erste Untersuchungen haben beispielsweise ergeben, dass das entwickelte Verfahren geeignet ist, um Abweichungen der Fertigungsmengen z. B. durch Staffelgeschosse oder Sonder-Grundrissformen zu kompensieren.[37] Die Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens bei Abweichungen von den genannten Grundannahmen des Referenzgebäudes wird im Rahmen der Validierung und Sensitivitätsanalyse (vgl. Kap. I) untersucht.

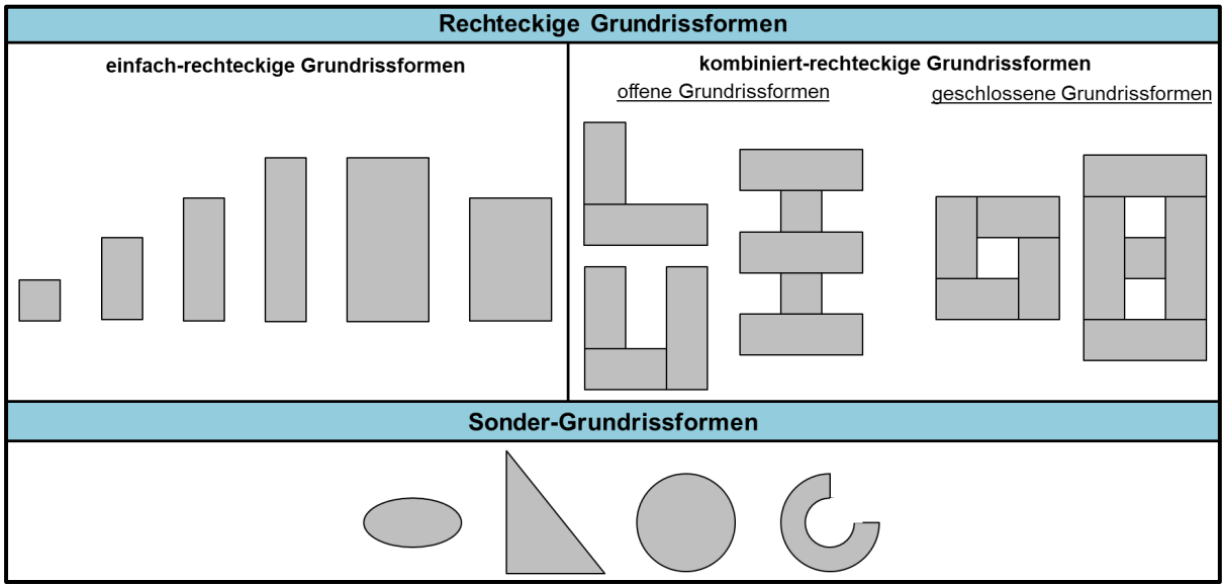


Abb. 2: Grundrissformen von Gebäuden[38]

Weiterhin ist zu erwähnen, dass bei der Ermittlung der Bauzeiten mögliche Risiken, die die Bauzeiten sowohl erhöhen als verringern können, nicht betrachtet werden. Die Berücksichtigung projektspezifischer Risiken kann allerdings z. B. durch die Anpassung der zugrunde gelegten Aufwandswerte bei der Verfahrensanwendung oder durch pauschale Zuschläge auf die ermittelte Bauzeit erfolgen.

A.4 Vorgehensweise

Um die definierte Zielstellung (vgl. Kap. A.2) umzusetzen, ist zunächst der Forschungsbedarf exakt abzugrenzen. Hierzu wird im Vorfeld untersucht, welche Methoden zur Bauzeitermittlung in den frühen Planungsphasen in der Praxis bereits Anwendung finden und inwieweit diese die Zielstellung erfüllen. Anschließend erfolgt eine umfangreiche Auswertung und kritische Würdigung analysierter Ansätze in Lehr- und Fachbüchern sowie in Forschungsarbeiten. Die daraus gewonnenen Ergebnisse wurden weiterhin verwendet, um die formulierte Zielstellung zu erweitern und zu präzisieren.

[37] Vgl. HACHERER (2019), S. 42.

[38] Eigene Darstellung.

Aufgrund des erläuterten Unikatcharakters von Immobilien auf Objektebene,[39] erfolgt die Entwicklung des Bauzeitermittlungsverfahrens auf Element- und Prozessebene nach der Bottom-Up-Methode[40]. Objektorientierte Kennzahlen ermöglichen zwar eine komprimierte Darstellung komplexer Zusammenhänge, lassen allerdings keine Aussagen über die komplexen Verflechtungen der zugrunde liegenden Randbedingungen zu und können eine ganzheitliche Betrachtung der darin enthaltenen komprimierten Informationen daher nicht ersetzen.[41] Auf Element- und Prozessebene kann hingegen davon ausgegangen werden, dass durch die Verringerung der Komplexitäten der Schätzwerte, die Gesamt-Genauigkeit der Bauzeitermittlung gesteigert werden kann.

Das entwickelte Bauzeitermittlungsverfahren beruht somit nicht auf schwer prognostizierbaren, kaum nachvollziehbaren und verallgemeinerten objektorientierten Parametern. Stattdessen können bereits in LPH 0, d. h. noch vor Anfertigung des ersten Bauentwurfs, auf Grundlage eines Referenzgebäudes projektspezifische Fertigungsmengen und Dauern potenziell bauzeitbestimmender Vorgänge[42] ermittelt werden, auf deren Grundlage die Bauzeitermittlung erfolgt.

A.5 Verfahrenskonzept

Das Konzept des entwickelten Verfahrens ist in Abb. 3 zusammengefasst. Die Ermittlung der Bauzeit erfolgt anhand von Netzplanberechnungen eines BAM, das zuvor festgelegte potenziell bauzeitbestimmende Vorgänge enthält, und einem Referenzgebäude, das einem für die Gebäudetypologie[43] möglichen Gebäudeaufbau entspricht. Die Fertigungsmengen und zweckmäßigen Ressourcenanzahlen zur Berechnung der Vorgangsdauern, der potenziell bauzeitbestimmenden Bauprozesse des BAM, werden auf Grundlage des Referenzgebäudes ermittelt.

Die Entwicklung des Referenzgebäudes erfolgt anhand der projektspezifischen Eingangsparameter „Gebäudeprofil“ (vgl. Kap. E.1.1) und „Maß der baulichen Nutzung“ (vgl. Kap. E.1.2) aus denen, unter Berücksichtigung weiterer vorgegebener Randbedingungen zur Objektpla-

[39] Vgl. ZIMMERMANN (2018), o.S.

[40] Bei der Bottom-Up-Methode erfolgt eine Planung „vom Feinen zum Groben“. Statt Tätigkeiten auf Projekt- oder Objektebene zu planen, werden diese zunächst bis auf Prozessebene gegliedert und im Detail definiert, wodurch exaktere Schätzungen ermöglicht werden können. Die ermittelten Ergebnisse können anschließend jeweils in der nächsthöheren Ebene zusammengefasst werden.

[41] Vgl. GEYER (2017), S. 15, 17.

[42] Die Definition des Begriffs „potenziell bauzeitbestimmende Vorgänge“ ergibt sich aus dem Glossar.

[43] Die vorliegende Arbeit ist zunächst auf Büro- und Verwaltungsgebäude beschränkt (vgl. Kap. A.3).

nung in LPH 1, die generellen Gebäudeparameter (vgl. Kap. E.2) sowie die Anzahl und Geometrie der Bauelemente (vgl. Kap. E.3) bestimmt werden können.

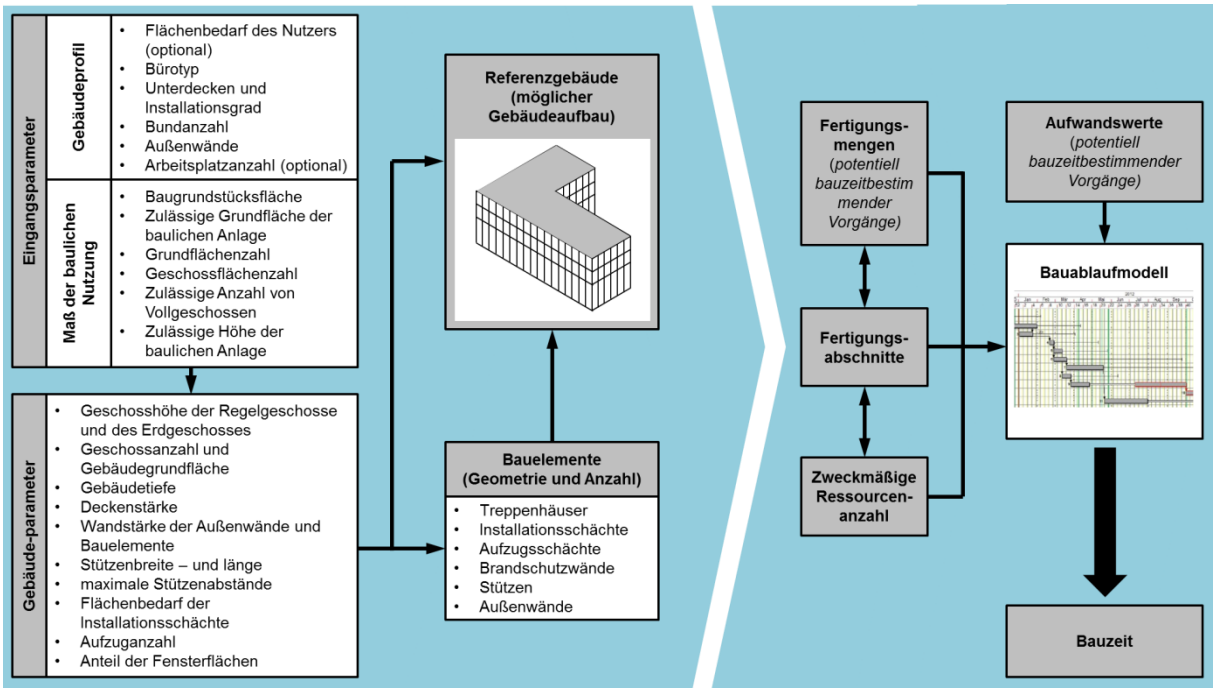


Abb. 3: Konzept des entwickelten Bauzeitermittlungsverfahrens[44]

Die Entwicklung des Referenzgebäudes kann in drei Schritte gegliedert werden:

- *Schritt 1:* Ermittlung der Gebäudegrundfläche[45] (A_{Geb}) und Geschossanzahl (n_G)
- *Schritt 2:* Ermittlung der Gebäudetiefe (t_{Geb}) und Gebäudelänge (l_{Geb})
- *Schritt 3:* Ermittlung der Geometrie und Anzahl der Bauelemente

Schritt 1 – Ermittlung der Gebäudegrundfläche und Geschossanzahl:

Die Ermittlung der Geschossanzahl und Gebäudegrundfläche des Referenzgebäudes ist in Abb. 4 zusammengefasst und wird in Kapitel E.2.2 ausführlich beschrieben.

Zunächst wird die BGF des Referenzgebäudes (BGF_{RB}) bestimmt, die entweder aus der zulässigen BGF gemäß der Vorgaben zum Maß der baulichen Nutzung (BGF_{zul}) oder aus dem vordefinierten Flächenbedarf des Nutzers[46] (BGF_{erf}) resultiert. Erfolgt keine Definition des Flächenbedarfs des Nutzers, so resultiert die Gebäudegrundfläche und Geschossanzahl aus den zulässigen Vorgaben zum Maß der baulichen Nutzung.

[44] In Anlehnung an HÄNDLER (2018), S. 106 u. HÄNDLER/SCHWARZ (2017), S. 242.

[45] Die Definition des Begriffs „Gebäudegrundfläche“ ergibt sich aus dem Glossar.

[46] Die Definition des Begriffs „Flächenbedarf des Nutzers“ ergibt sich aus dem Glossar.

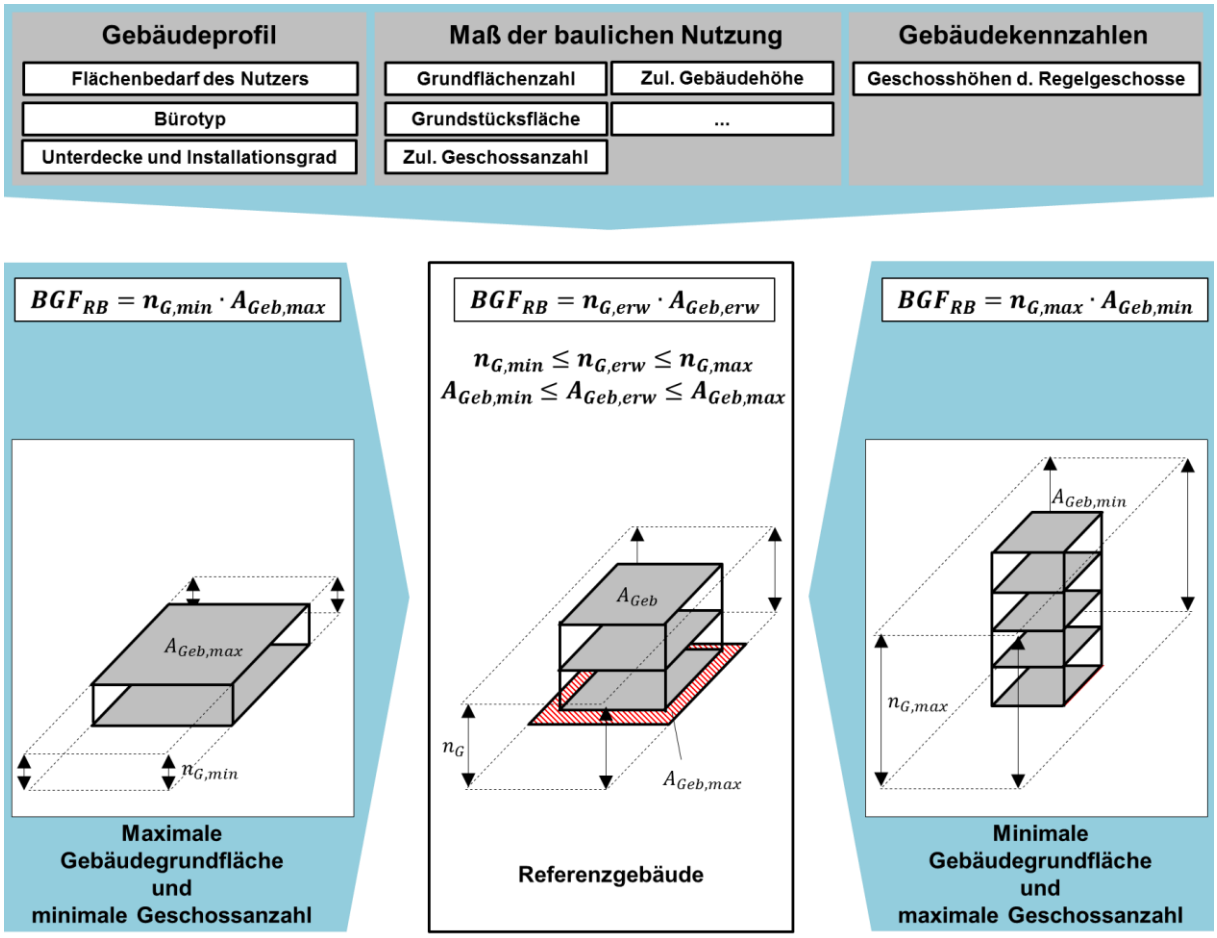


Abb. 4: Ablauf der Ermittlung der Geschossanzahl und Gebäudegrundfläche (Schritt 1)[47]

Die Geschossanzahl wird als Mittelwert zweier Grenzwerte bestimmt. Der untere Grenzwert ergibt sich aus der zulässigen Gebäudegrundfläche gemäß der Vorgaben zum Maß der baulichen Nutzung ($A_{Geb,max}$) und der zugehörigen minimalen Geschossanzahl ($n_{G,min}$), die zur Deckung des definierten Flächenbedarf des Nutzers notwendig ist. Der obere Grenzwert resultiert aus der zulässigen Geschossanzahl gemäß der Vorgaben zum Maß der baulichen Nutzung ($n_{G,max}$) und der minimalen Gebäudegrundfläche ($A_{Geb,min}$), die zur Deckung des definierten Flächenbedarf des Nutzers notwendig ist.[48]

Schritt 2 – Ermittlung der Gebäudetiefe und Gebäudelänge:

Die Ermittlung der Gebäudetiefe und Gebäudelänge des Referenzgebäudes ist in Abb. 5 zusammengefasst und wird in Kapitel E.2.5 und E.2.6 ausführlich beschrieben.

[47] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Formeln ergeben sich aus Eq. (E.18), Eq. (E.19) und Eq. (E.21).

[48] Die zulässige Geschossanzahl kann dabei auch aus der zulässigen Gebäudehöhe und der zweckmäßigen Geschosshöhe eines Regelgeschosses resultieren (vgl. Kap. E.2.2).

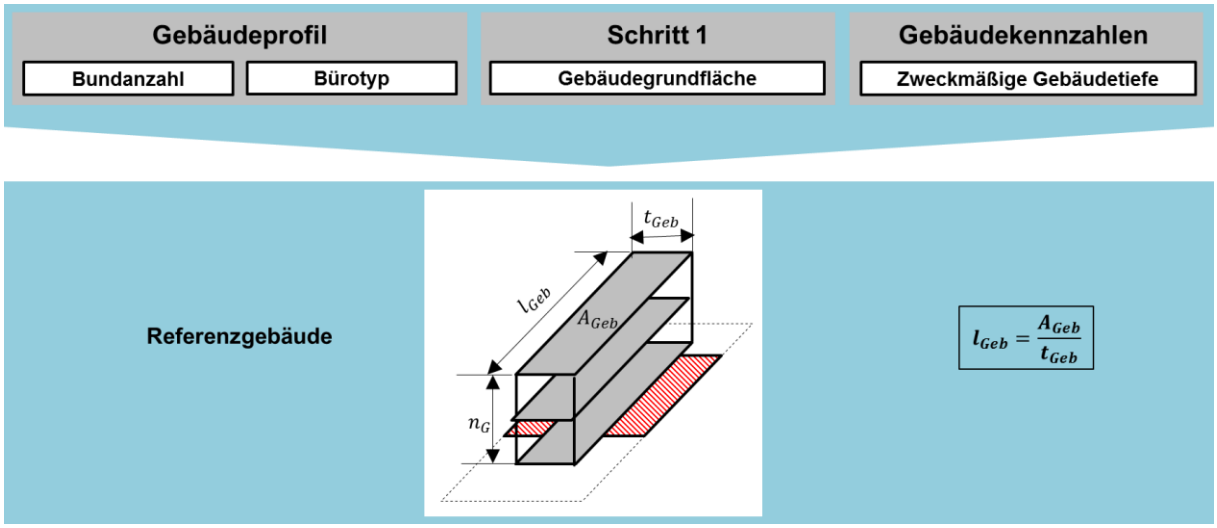


Abb. 5: Ablauf der Ermittlung der Gebäudetiefe und –länge (Schritt 2)[49]

Dem Referenzgebäude wird eine zweckmäßige Gebäudetiefe zugrunde gelegt, die notwendig ist, um die gestellten Anforderungen an die Nutzbarkeit und Funktionalität des Gebäudes zu erfüllen. Die zweckmäßige Gebäudetiefe ist insbesondere vom vorgesehenen Bürotyp (Zellenbüro, Großraumbüro etc.; vgl. Kap. C.2.2.2) und der Bundanzahl bzw. Gebäudeerschließungsart (flurlos, ein- oder mehrbündig; vgl. Kap. C.2.2.3) abhängig. Aufgrund der festgelegten Grundannahmen in Kapitel A.3, kann die Länge des Referenzgebäudes anschließend aus der Gebäudetiefe und Gebäudegrundfläche ermittelt werden.

Schritt 3 – Ermittlung der Geometrie und Anzahl der Bauelemente:

Auf Grundlage der ermittelten Gebäudegeometrie erfolgt im dritten Schritt die Ermittlung der Geometrie und Anzahl der notwendigen Bauelemente, wie z. B. Treppenhäuser und Aufzugsschächte etc. (vgl. Kap. E.3). Anschließend ist eine graphische Skizzierung des Referenzgebäudes grundsätzlich möglich.[50]

Anhand des Referenzgebäudes können anschließend die Fertigungsmengen der zuvor festgelegten potenziell bauzeitbestimmenden Vorgänge ermittelt werden, aus denen, in Verbindung mit zugehörigen Aufwandswerten, der jeweilige Gesamt-Arbeitsaufwand der Vorgänge des BAM bestimmt werden kann. Auf Grundlage des jeweiligen Gesamt-Arbeitsaufwands kann die Einteilung des Referenzgebäudes in Fertigungsabschnitte und die Ermittlung der

[49] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebene Formel ergibt sich aus Eq. (E.28) und beruht auf den getroffenen Grundannahmen bei der Entwicklung des Referenzgebäudes in Kap. A.3.

[50] Generell wäre auf Grundlage des entwickelten Referenzgebäudes auch die Verwendung von Techniken des Building-Information-Modeling (BIM) möglich. Da das entwickelte Referenzgebäude jedoch nur einen möglichen Gebäudeaufbau darstellt und teilweise lediglich Näherungsverfahren bei der Ermittlung der Geometrie und Anzahl der Bauelemente zur Steigerung der Nachvollziehbarkeit und Übersichtlichkeit angewendet werden, wird dies jedoch als nicht zielführend betrachtet.

zweckmäßigen Ressourcenanzahl erfolgen, woraus die Vorgangsdauern resultieren. Auf Grundlage des BAM erfolgt anschließend die Berechnung der Bauzeit.

A.6 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit ist in Abb. 6 zusammengefasst.

Kapitel B enthält die Erläuterungen allgemeiner Grundlagen sowie die umfangreiche Darstellung und kritische Würdigung des Stands der Wissenschaft und Technik.

In **Kapitel C** werden die Grundlagen der Verfahrensentwicklung erläutert, die zur Entwicklung des BAM und Referenzgebäudes sowie zur Ermittlung der Fertigungsmengen und Bauzeiten notwendig sind.

Aufbauend auf den Grundlagen der Verfahrensentwicklung erfolgt in **Kapitel D** anschließend die Entwicklung des BAM und in **Kapitel E** die Entwicklung des Referenzgebäudes.

Das BAM, das zuvor festgelegte potenziell bauzeitbestimmende Vorgänge enthält, wird aus dem entwickelten Projektstrukturplan (PSP) in Kapitel D.1 abgeleitet, der das Referenzgebäude in Kapitel D.2 bis D.5 von der Objektebene bis zur Bauprozessebene gliedert.

Aus den definierten Eingangsparametern in Kapitel E.1, werden in Kapitel E.2 die Gebäudeparameter ermittelt, die die Basis der darauffolgenden Dimensionierung der Bauelemente in Kapitel E.3 bilden. Auf Grundlage der ermittelten Gebäudeparameter und dimensionierten Bauelemente kann anschließend die Entwicklung des Referenzgebäudes erfolgen.

Kapitel F beschreibt die Ermittlung der Fertigungsmengen der Bauprozesse auf Grundlage des Referenzgebäudes, die im BAM als potenziell bauzeitbestimmend definiert wurden.

Kapitel G beinhaltet die Ermittlung der Anzahl der Fertigungsabschnitte und Ressourcen sowie der zugehörigen Vorgangsdauern und Taktzeiten zur Vervollständigung des BAM, woraus anschließend die Bauzeit unter Verwendung der Netzplantechnik ermittelt wird.

Aufbauend auf den erläuterten Grundlagen in **Kapitel H**, erfolgt in **Kapitel I** die Validierung und Sensitivitätsanalyse zur stufenweisen Bewertung der Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens. Die Sensitivitätsanalyse umfasst eine Bandbreitenanalyse und Bewertung von Eintrittswahrscheinlichkeiten bei abweichenden Gebäudeparametern. Weiterhin werden kritische Werte der Gebäudeparameter ermittelt, die die Schwellenwerte darstellen, ab denen eine Bauzeitänderung eintritt.

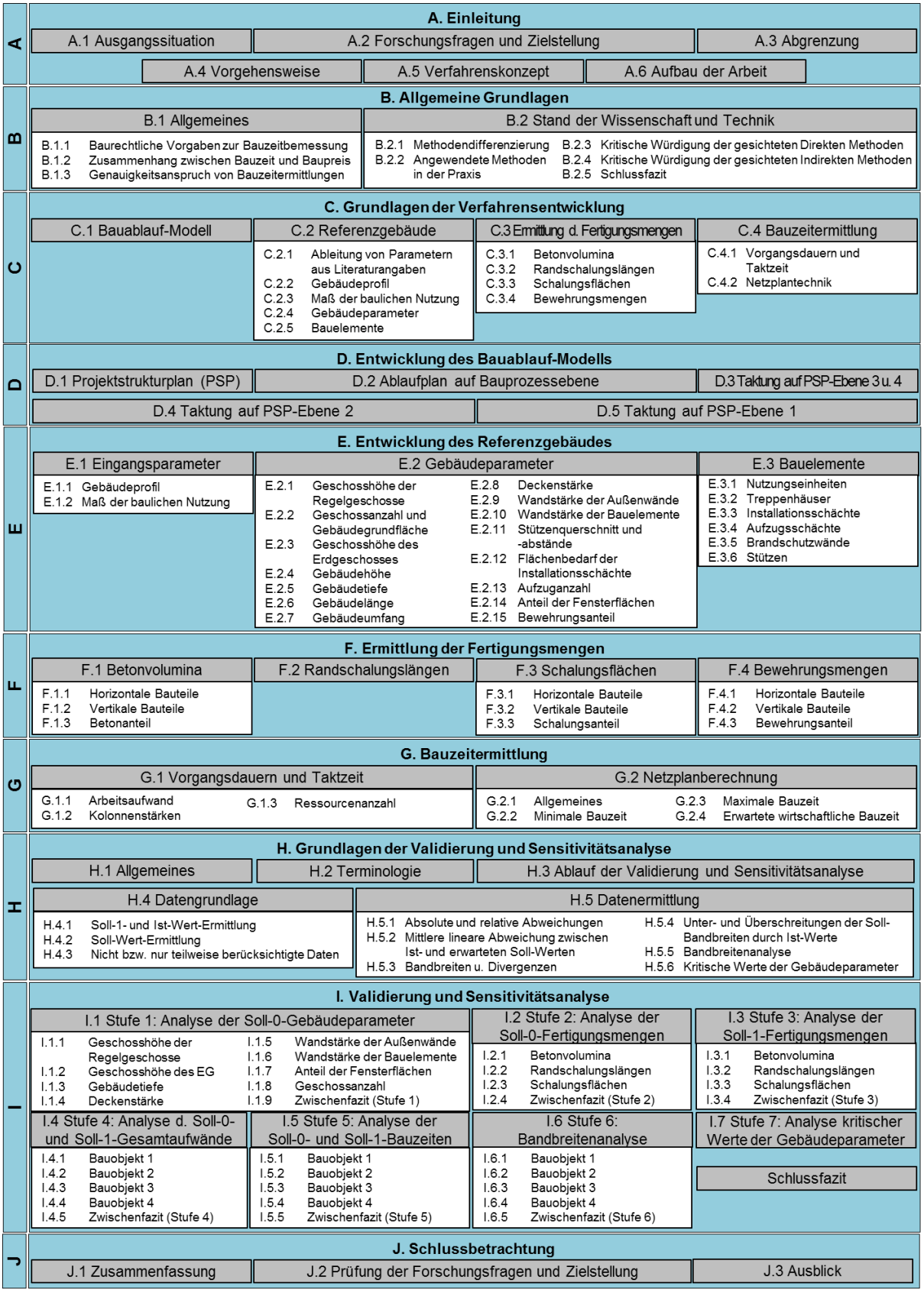


Abb. 6: Aufbau der Arbeit (Hauptteil)[51]

[51] Eigene Darstellung. Anm.: Der Aufbau der Verzeichnisse und Anlagen ergibt sich aus Abb. 7.

Kapitel J umfasst die Schlussbetrachtung, in der die Arbeit zusammengefasst und hinsichtlich der formulierten Forschungsfragen und definierten Zielstellungen (vgl. Kap. A.2) kritisch bewertet wird. Des Weiteren werden identifizierte Erweiterungs- und Verbesserungsmöglichkeiten des entwickelten Verfahrens und der weiterhin bestehende Forschungsbedarf erörtert.

Kapitel K und **Kapitel L** umfassen Verzeichnisse und Anlagen (vgl. Abb. 7).

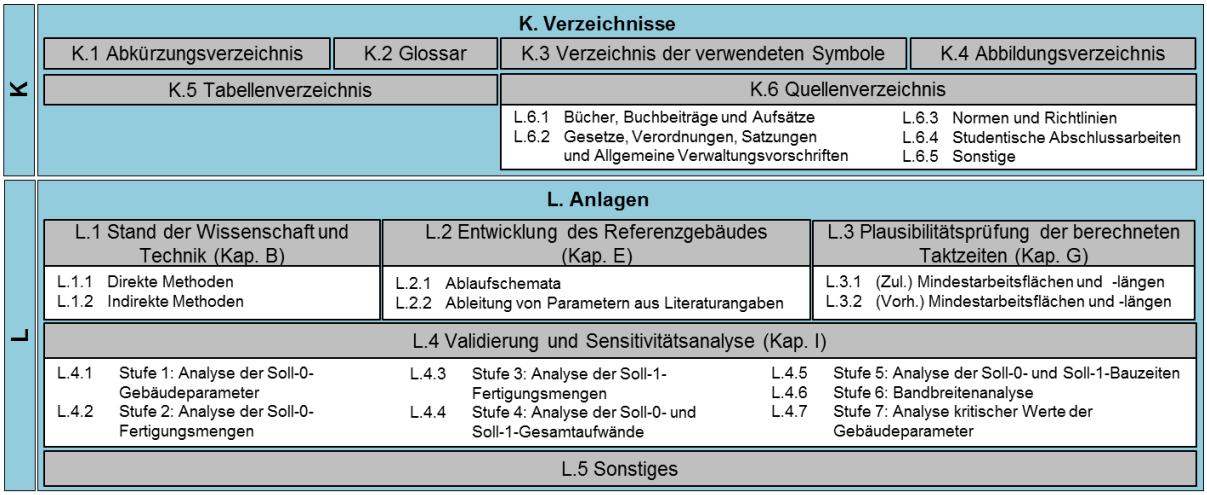


Abb. 7: Aufbau der Arbeit (Verzeichnisse und Anlagen)

Zur Validierung und Sensitivitätsanalyse wird ferner eine EDV-basierte **Arbeitshilfe** vorgestellt, die bereits nach der Definition der projektspezifischen Eingangsparameter eine EDV-gestützte Ermittlung der Bauzeit ermöglicht und die in Ansatz gebrachten Gebäudeparameter, Fertigungsmengen, Ressourcen usw. nachvollziehbar dokumentiert und deren Anpassung ermöglicht. Darüber hinaus steigert die vorgestellte Arbeitshilfe die Handhabbarkeit des Verfahrens für Anwender (vgl. Kap. A.2) und kann dadurch die Akzeptanz des entwickelten Verfahrens in der Baupraxis steigern.[52]

Für die Gebäudeparameter und einen Großteil der ermittelten übrigen Berechnungsparameter wird in der Arbeitshilfe jeweils ein wahrscheinlicher Erwartungswert (in der vorliegenden Arbeit als „erwarteter Wert“ bezeichnet) sowie jeweils ein minimaler und maximaler Erwartungswert (in der vorliegenden Arbeit als „minimaler Wert“ bzw. „maximaler Wert“ bezeichnet) angegeben. Diese werden unter anderem auf der Grundlage von baurechtlichen Vorschriften, Normen und Literaturauswertungen ermittelt. Die angegebenen minimalen und maximalen Werte der Gebäudeparameter kennzeichnen den Wertebereich, der erwartungsgemäß nicht unter- bzw. überschritten wird.

Durch den Anwender angepasste Parameter werden in der Arbeitshilfe gegenüber erwarteten Werten vorrangig behandelt und können die angegebenen minimalen und maximalen

[52] Exemplarische Auszüge aus der Arbeitshilfe sind in Abb. 178 bis Abb. 180 (Anlage) dargestellt.

Werte daher auch unter- oder überschreiten. Eine Berechnung der Bauzeit findet entsprechend auch bei der Anpassung von Parametern statt, begründet jedoch eine zusätzliche Plausibilitätsprüfung der dokumentierten Parameter durch den Anwender.

Durch die Anpassbarkeit der Berechnungsparameter in der Arbeitshilfe, wird eine stufenweise Verfeinerung des entwickelten Verfahrens ermöglicht. In LPH 0 bzw. LPH 1, d. h. vor Anfertigung des ersten Bauentwurfs, ermöglicht die Arbeitshilfe eine Bauzeitermittlung allein auf Grundlage der Eingangsparameter, aus denen die zugehörigen Gebäudeparameter, Fertigungsmengen etc. berechnet werden. Nach Anfertigung der ersten Bauentwürfe in LPH 2 bzw. LPH 3 kann die Genauigkeit der Bauzeitermittlung durch die projektspezifische Anpassung der Gebäudeparameter bzw. in LPH 4 und LPH 5 durch die projektspezifische Anpassung der Fertigungsmengen usw. verfeinert werden (vgl. auch Abb. 56).

B. Allgemeine Grundlagen

B.1 Allgemeines

B.1.1 Baurechtliche Vorgaben zur Bauzeitbemessung

Das Bürgerliche Gesetzbuch (BGB), die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) und die HOAI enthalten lediglich allgemeine Hinweise zu Bauzeiten ohne weitere Hinweise zur Bauzeitbemessung.[53]

Die erstmalige Verwendung der Begriffs „Terminplan“ im Leistungsbild „Gebäude und Innenräume“ erfolgt in der HOAI in LPH 2, wonach das *„Erstellen eines Terminplans mit den wesentlichen Vorgängen des Planungs- und Bauablaufs“*[54] eine Grundleistung darstellt.[55] Vor LPH 2 finden sich hingegen (zumindest ausdrücklich) keine Hinweise auf Ablauf- oder Terminpläne oder die Ermittlung von Bauzeitvorgaben.

B.1.2 Zusammenhang zwischen Bauzeit und Baupreis

Der generelle Zusammenhang zwischen der Bauzeit und den Baukosten ist in Abb. 8 qualitativ dargestellt.

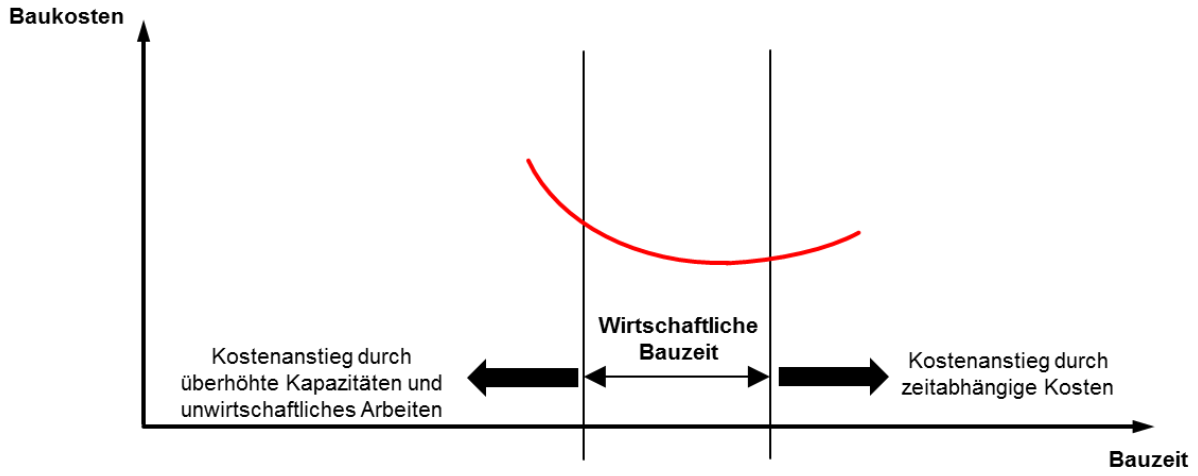


Abb. 8: Zusammenhang zwischen Bauzeit und Baukosten[56]

[53] Vgl. § 650k Abs. 3 BGB, § 9 VOB/A u. § 5 VOB/B.

[54] Anlage 10 (zu §§ 34 Abs. 4 u. 34 Abs. 7) HOAI (LPH 2 lit. h)

[55] Die Definition des Begriffs „Terminplanung“ und dessen Abgrenzung zum Begriff „Ablaufplanung“ ergibt sich aus dem Glossar.

[56] Vgl. DREES/SPRANZ (1976), S. 154 (qualitativ).

Eine wirtschaftliche Bauzeit führt zu einem Kostenminimum und damit insgesamt zu einer wirtschaftlichen Bauabwicklung, wohingegen kürzere ebenso wie längere Bauzeiten zu einem Kostenanstieg führen.

Bei kürzeren Bauzeiten resultiert dies unter anderem aus einem höheren Geräte- und Personaleinsatz (z. B. für zusätzliche Vorhaltemengen von Schalung und Kranen).[57] Bei längeren Bauzeiten resultieren höhere Baukosten aus zeitabhängigen Kosten (z. B. für längere Vorhaltedauern von Kranen und anderen Baustelleneinrichtungselementen).

Zur weiteren Veranschaulichung der generellen Auswirkungen unterschiedlicher Bauzeitvorgaben durch den AG auf die Produktivität und Baupreisermittlung des AN werden von HOFSTADLER (2014) fünf Arten von Bauzeitvorgaben differenziert:[58]

- *Extrem kurze Bauzeiten*: Die Anzahl der eingesetzten AK und Geräte überschreiten die zugehörigen Maximalwerte zur Vermeidung von Produktivitätsverlusten um mehr als 20 %.
- *Sehr kurze Bauzeit*: Die Anzahl der eingesetzten AK und Geräte überschreiten die zugehörigen Maximalwerte zur Vermeidung von Produktivitätsverlusten um 10 bis 20 %.
- *Kurze Bauzeit*: Die Anzahl der eingesetzten AK und Geräte entsprechen den zugehörigen Maximalwerten zur Vermeidung von Produktivitätsverlusten. Bereits geringfügige Beschleunigungsmaßnahmen zur Kompensation von Bauablaufstörungen und damit verbundene Steigerungen der Ressourcenanzahl können zu Produktivitätsverlusten führen.
- *Normale Bauzeit*: Die Anzahl der eingesetzten AK und Geräte unterschreiten die zugehörigen Maximalwerte zur Vermeidung von Produktivitätsverlusten um 10 bis 25 %. Geringfügige Beschleunigungsmaßnahmen zur Kompensation von Bauablaufstörungen und damit verbundene Steigerungen der Ressourcenanzahl können auch ohne Produktivitätsverluste erfolgen.
- *Lange Bauzeit*: Die Anzahl der eingesetzten AK und Geräte unterschreiten die zugehörigen Maximalwerte zur Vermeidung von Produktivitätsverlusten um mehr als 25 %. In einem gewissen Rahmen können Beschleunigungsmaßnahmen zur

[57] Zur grundsätzlichen Erläuterung der Kalkulation von Baupreisen und dem Zusammenhang der Baukosten und der Bauzeit wird an dieser Stelle z. B. auf KLR BAU (2016) verwiesen.

[58] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 57. Anm.: Zur maximalen Anzahl von AK zur Vermeidung von Produktivitätsverlusten vgl. auch Kapitel L.3 (Anlage).

Kompensation von Bauablaufstörungen und damit verbundene Steigerungen der Ressourcenanzahl auch ohne Produktivitätsverluste erfolgen.

Sofern die Bieter während der Baupreisermittlung erkennen, dass eine zu geringe Bauzeit vorgegeben bzw. die zuvor definierte „normale Bauzeit“ unterschritten ist und dadurch kein wirtschaftlich optimaler Ressourceneinsatz möglich ist, resultieren nach HOFSTADLER (2014) daraus fünf mögliche Szenarien:[59]

- *Szenario 1*: Die Bieter berücksichtigen die kalkulierten Produktivitätsverluste in vollem Umfang durch eine Erhöhung der Einheitspreise der zugehörigen Leistungen.
- *Szenario 2*: Die Bieter berücksichtigen die kalkulierten Produktivitätsverluste teilweise durch eine Erhöhung der Einheitspreise der zugehörigen Leistungen und durch die Erhöhung des Wagniszuschlags.
- *Szenario 3*: Die Bieter berücksichtigen die kalkulierten Produktivitätsverluste teilweise durch eine Erhöhung der Einheitspreise der zugehörigen Leistungen und teilweise durch die Erhöhung des Wagniszuschlags. Ein Teil der kalkulierten Produktivitätsverluste bleibt unberücksichtigt.
- *Szenario 4*: Die Bieter berücksichtigen die kalkulierten Produktivitätsverluste nicht.
- *Szenario 5*: Die Bieter berücksichtigen die kalkulierten Produktivitätsverluste aus wettbewerbsstrategischen Gründen nicht und beabsichtigen die Defizite durch Nachträge zu erwirtschaften.

Die dargestellten Szenarien zeigen, dass AG die Baupreisbildung und damit die Wirtschaftlichkeit einer Baumaßnahme, durch die Bauzeitvorgabe beeinflussen können.[60]

Der Fokus des entwickelten Verfahrens liegt daher auf der Ermittlung wirtschaftlicher Bauzeiten.

B.1.3 Genauigkeitsanspruch von Bauzeitermittlungen

Aus der Literatur ergeben sich keine Angaben zu Toleranzen[61] bzw. zulässigen Abweichungen bei der Bauzeitermittlung. Orientierungswerte zur Bauzeitermittlung können lediglich aus

[59] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 58.

[60] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 39.

[61] Obwohl der Begriff „Toleranz“ in der Bautechnik insbesondere zur Beschreibung der zulässigen Abweichung oder Differenz zwischen dem/der angestrebten und tatsächlichen Maß bzw. Beschaffenheit eines Bauteils verwendet wird, wird dieser in der ausgewerteten Literatur von Kapitel B.1.3 (vgl. z. B. BINDHARDT/JAGENBURG (1981), S. 233 u. BUDNICK (1998), S. 118) und der vorliegenden Arbeit auch zur Beschreibung der zulässigen prozentualen Abweichungen zwischen den vorgegebenen und tatsächlichen Baukosten und Bauzeiten verwendet.

Toleranzbereichen abgeleitet werden, die sich auf die geforderte Genauigkeit von Kostenermittlungen in den zugehörigen LPH beziehen (vgl. Abb. 9).[62]

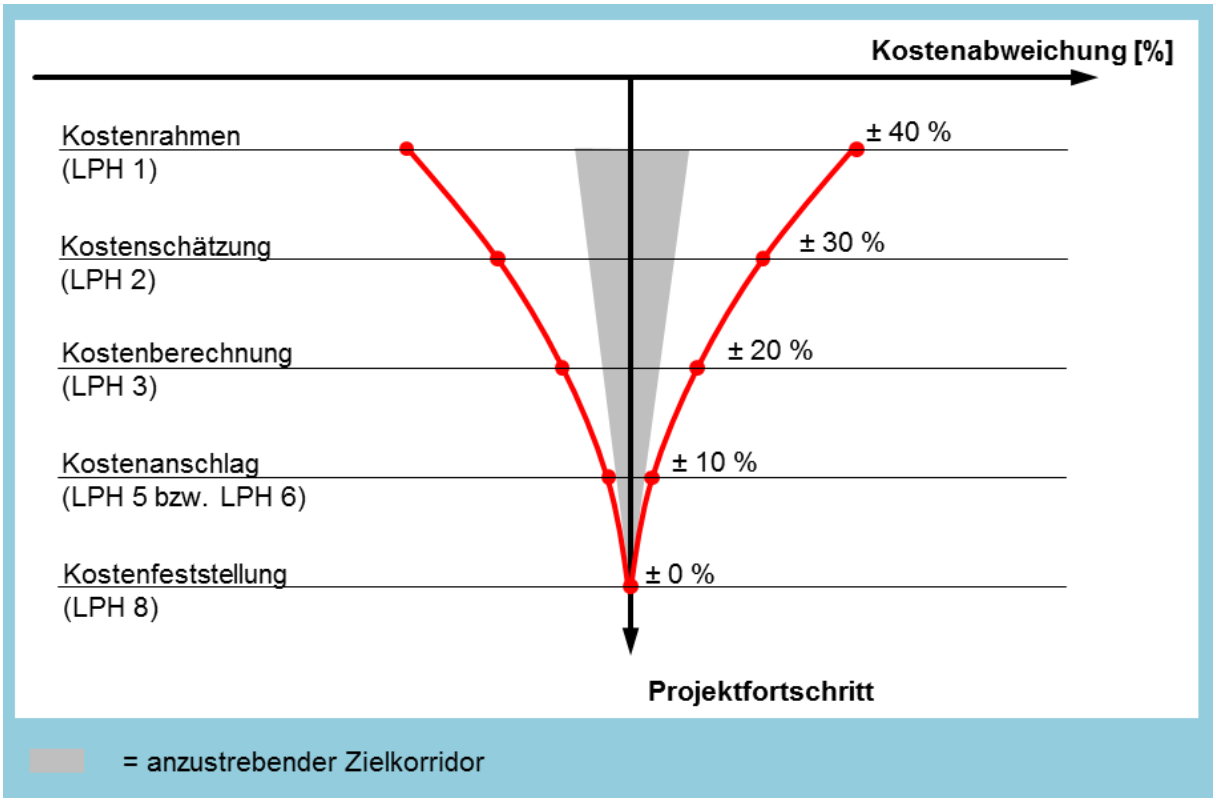


Abb. 9: Toleranzgrenzen von Kostenermittlungen[63]

Auf eine ausführliche Darstellung der angegebenen Toleranzbereiche von Kostenermittlungen in der Fachliteratur wird verzichtet.[64] Eine Zusammenfassung zulässiger und unzulässiger Toleranzbereiche von Kostenermittlungen gemäß Rechtsprechung ergibt sich aus BUDNICK (1998) und zeigt, dass sich aufgrund der uneinheitlichen Rechtsprechung hieraus keine eindeutigen Toleranzbereiche ableiten lassen.[65]

Festzuhalten ist allerdings, dass Kostenschätzungen mit Toleranzbereichen von 30 bis 40 % (vgl. Abb. 9) als Grundlage einer fundierten Realisierungsentscheidung von Baumaßnahmen nicht ausreichend sind.[66] Gleiches gilt auch für den Toleranzrahmen von Bauzeitschätzun-

[62] Vgl. auch „Stufen der Kostenermittlung“ im Glossar.

[63] Vgl. ESCHENBRUCH (2001) zitiert nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 150 (qualitativ). Anm.: Die dargestellte Abbildung aus KOCHENDÖRFER ET AL. (2010) ist aus Gerichtsurteilen abgeleitet (vgl. ebd.), ist in ESCHENBRUCH (2001) jedoch nicht enthalten bzw. kann hieraus auch nicht abgeleitet werden.

[64] Stattdessen wird auf BINDHARDT/JAGENBURG (1981), S. 345; BUDNICK (1998), S. 129; ESCHENBRUCH (2003), S. 532; KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 149; KOEBLE (2014), S. 247 f.; LAUER/WURM (2012), S. 250; LECHNER/STIFTER (2012), S. 80; LÖFFELMANN/FLEISCHMANN (2000), S. 720 u. WERNER/PASTOR (2005), S. 1018 verwiesen.

[65] Vgl. BUDNICK (1998), S. 121.

[66] Vgl. MAYER (2013), S. 21.

gen. Vielmehr gilt es bereits in LPH 1, eine wirtschaftliche und somit realistische, d. h. durch Terminsteuerungsmaßnahmen beherrschbare Zielgröße für die Bauzeit zu ermitteln, die mit hoher Wahrscheinlichkeit eingehalten werden kann.

B.2 Stand der Wissenschaft und Technik[67]

B.2.1 Methodendifferenzierung

Aus der Notwendigkeit die Bauzeitschätzungen in frühen Planungsphasen anhand scheinbar unzureichender Informationen durchzuführen,[68] wurden in der Vergangenheit vielzählige Ansätze entwickelt, die vorwiegend auf (erfahrungsbasierten) Kennzahlen, Näherungsformeln, Diagrammen oder RM beruhen, die sich jeweils auf „einfache“ Bezugsgrößen beziehen (vgl. Kap. A.1). Hinsichtlich der zweckmäßigen Bezugsgröße zur Bauzeitermittlung, bestehen in der Literatur divergierende Meinungen. So werden unter anderem die Baukosten, der BRI und die Grundfläche des Gebäudes als Bezugsgrößen verwendet.[69]

Die gesichteten Ansätze lassen sich generell in Direkte Methoden und Indirekte Methoden differenzieren (vgl. Abb. 10).[70]

Bei Indirekten Methoden wird auf Grundlage einer oder mehrerer Bezugsgrößen zunächst der Gesamt-Arbeitsaufwand ermittelt. Nach Festlegung der mittleren Anzahl an eingesetzten AK kann anschließend die Bauzeit ermittelt werden, wobei jedoch keine prozessorientierte Ablaufplanung stattfindet.

Bei Direkten Methoden erfolgt die Bauzeitermittlung hingegen ohne die Berücksichtigung der projektspezifischen Anzahl der AK. Auf Grundlage einer oder mehrerer Bezugsgrößen erfolgt die direkte Ermittlung der Bauzeit.

Während in der gesichteten deutschsprachigen Literatur Indirekte Methoden zur Bauzeitermittlung den Regelfall darstellen, umfasst die gesichtete englischsprachige Literatur ausschließlich Direkte Methoden.

Die vorgestellten Indirekten Methoden beziehen sich auf die Ermittlung des Gesamt-Arbeitsaufwands von Rohbau- bzw. Stahlbetonarbeiten, dienen jedoch teilweise ausschließ-

[67] Auszüge des Stands der Wissenschaft und Technik wurden bereits in HÄNDLER (2018), S. 100 ff. u. HÄNDLER/SCHWARZ (2017), S. 233 ff. vorgestellt.

[68] A. A. HÄNDLER (2018), S. 100 ff. u. HÄNDLER/SCHWARZ (2017), S. 233 ff.

[69] Vgl. z. B. BROMILOW (1969); SOMMER (2009), S. 110 u. KUMARASWAMY/CHAN (1995).

[70] Der Untersuchungsumfang umfasst ca. 40 Veröffentlichungen von Autoren aus Afrika, Asien, Australien, Europa und Nordamerika.

lich der Kostenplanung.[71] Um diese im Rahmen der Terminplanung anwenden zu können, wären die enthaltenen Randzeiten der Eingangsgrößen zu eliminieren bzw. die ermittelten Ergebnisse entsprechend anzupassen.

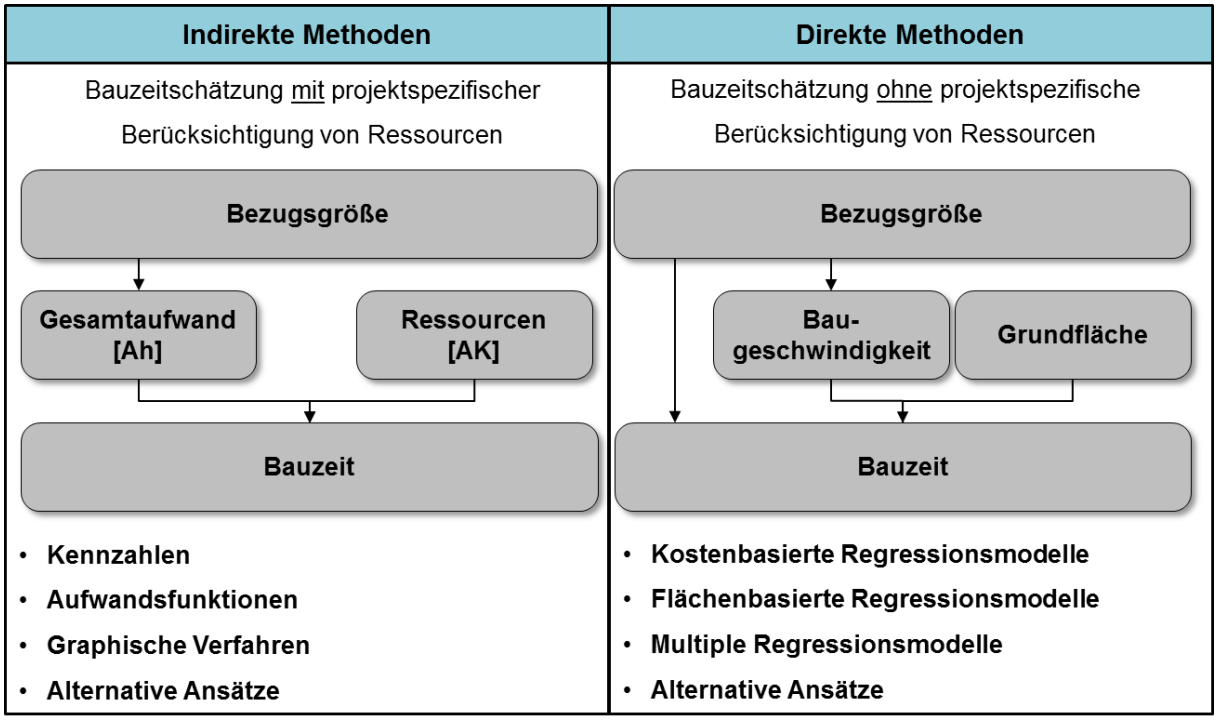


Abb. 10: Differenzierung Direkter und Indirekter Methoden zur Bauzeitermittlung[72]

Die vorgestellten Direkten Methoden beziehen sich auf die Ermittlung der Rohbauzeit, der Gesamt-Bauzeit, d. h. der Bauzeit bis zur Inbetriebnahme des Bauwerks, oder der Gesamt-Projektdauer, d. h. von der Projektvorbereitung bis zur Inbetriebnahme des Bauwerks.

Da sich die Betrachtung allerdings lediglich auf die generelle Bewertung der veröffentlichten Methoden zur Bauzeitermittlung beschränkt, kann dies vernachlässigt werden.

Zunächst erfolgt eine Untersuchung der angewendeten Methoden zur Bauzeitermittlung in der Bau- bzw. Planungspraxis (vgl. Kap. B.2.2). Eine umfangreiche Darstellung der gesichteten Direkten und Indirekten Methoden erfolgt in Kapitel L.1.1 und Kapitel L.1.2 (Anlage). Anschließend werden die gesichteten Direkten und Indirekten Methoden im Rahmen einer kritischen Würdigung hinsichtlich ihrer generellen Plausibilität geprüft (vgl. Kap. B.2.3 ff.).

Auf Grundlage der ermittelten Widersprüche, Probleme und Schwachstellen der gesichteten Ansätze im Rahmen der kritischen Würdigung, erfolgte eine Ergänzung und Spezifizierung der Zielstellung in Kapitel A.2.

[71] Vgl. z. B. PLATZ (1982), S. 101.

[72] In Anlehnung an HÄNDLER (2018), S. 101 u. HÄNDLER/SCHWARZ (2017), S. 233.

B.2.2 Angewendete Methoden in der Praxis

Über die angewendeten Methoden zur Bauzeitermittlung in den frühen Planungsphasen in der deutschen Bauwirtschaft liegen keine Daten vor, weshalb eine Auswertung der angewendeten Methoden in Großbritannien nach OLAWALE/SUN (2015) durchgeführt wird (vgl. Tab. 1).[73]

Tab. 1: Anwendung der Methoden zur Zeitschätzung von Vorgängen und Projekten durch Unternehmer und Fachberater in Großbritannien[74]

	AN/Bau-unternehmen	Beratung/ Consulting
Erfahrungswerte (ausschließlich)	16,7 %	53,8 %
Berechnungsverfahren (ausschließlich)	35,7 %	11,5 %
Erfahrungswerte u. Berechnungsverfahren (kombiniert)	35,7 %	23,1 %
Andere Methoden	4,8 %	7,7 %
Keine Methoden	7,1 %	3,8 %

Aus den Angaben von OLAWALE/SUN (2015) ergibt sich kein eindeutiger Bezug auf die Projektphasen, auch weil die dargestellten Ergebnisse als Verfahren zur Zeitermittlung ganzer Projekte und einzelner Aktivitäten bezeichnet werden.[75]

Wie Tab. 1 zeigt, führen 53,8 % der befragten Beratungsfirmen ihre Bauzeitermittlungen ausschließlich anhand von Erfahrungswerten durch, wohingegen dieser Anteil auf Seiten der AN bei nur 16,7 % liegt. Weiterhin resultiert, dass rund 90 % der befragten AN und Beratungsfirmen ihre Bauzeitermittlungen auf der Grundlage von Erfahrungswerten, Berechnungsverfahren oder deren Kombination durchführen, wobei Beraterfirmen die Anwendung von Erfahrungswerten und AN eine Kombination von Erfahrungswerten und Berechnungsverfahren und die ausschließliche Verwendung von Berechnungsverfahren bevorzugen.

B.2.3 Kritische Würdigung der gesichteten Direkten Methoden[76]

Eine ausführliche Darstellung der gesichteten Direkten Methoden erfolgt in Kapitel L.1.1 (Anlage).

---

[73] Hierin wurde unter den 150 umsatzstärksten Bauunternehmen bzw. AN und 100 größten Beraterfirmen, gemessen an der Anzahl des Fachpersonals und der erwirtschafteten Honorare, eine Umfrage zur Methodik der Baukosten- und Bauzeitermittlung durchgeführt (vgl. OLAWALE/SUN (2015), S. 625).

[74] Vgl. OLAWALE/SUN (2015), S. 626 (eigene Übersetzung).

[75] *„How duration of construction activities/projects is determined* (*OLAWALE/SUN (2015)*, *S. 626)".*

[76] Die Anwendbarkeit der gesichteten Ansätze in der Baupraxis setzen unter anderem voraus, dass vergleichbare Bauverfahren vorliegen. Dementsprechend kann eine unveränderte Anwendbarkeit der Ansätze aus älteren Veröffentlichungen grundsätzlich ausgeschlossen werden, da diese auf nicht mehr aktuellen Fertigungsverfahren und Aufwandswerten beruhen (vgl. z. B. die Entwicklung des Aufwandswerts von Schalarbeiten in HOFFMANN ET AL. (2012), S. 11). Die vorliegende kritische Würdigung beschränkt sich daher auf die generelle Plausibilitätsprüfung der gesichteten Ansätze.

Die gesichteten Direkten Methoden wurden ausnahmslos auf der Grundlage statistischer Auswertungen abgeschlossener Bauprojekte ermittelt. Dabei wurden neben den Baukosten und Grundflächen auch zahlreiche weitere qualitative Parameter, wie z. B. private und öffentliche AG sowie unterschiedliche Vergabe- und Vertragsarten, hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Bauzeit untersucht und bei der Entwicklung der RM teilweise berücksichtigt (vgl. Kap. L.1.1, Anlage).

Unberücksichtigt bleiben in der gesichteten Literatur hingegen bei allen RM die eingesetzte Ressourcenanzahl und die vorgegebene Bauzeit sowie z. T. die eingesetzten Fertigungsverfahren und der vorgesehene Bauablauf.[77]

Dies bedeutet einerseits, dass bei der Modellentwicklung ausschließlich die tatsächlich eingesetzten Ressourcen berücksichtigt werden – nicht aber die sinnvoll einsetzbare Ressourcenanzahl, die zur wirtschaftlichen Ausführung der Bauaufgabe zweckmäßig ist. Andererseits wurden die zugrunde gelegten Bauobjekte von den jeweiligen Autoren bei der Modellentwicklung nicht dahingehend untersucht, ob die vorgegebenen Bauzeiten als angemessen eingestuft werden können. Zu kurze Bauzeitvorgaben können in einem gewissen Rahmen generell zwar eingehalten werden, setzen allerdings einen erhöhten Ressourceneinsatz voraus.[78] Während kostenbasierte RM den erhöhten Ressourcenbedarf durch die möglicherweise steigenden Baukosten grundsätzlich ausgleichen können, ist dies für andere Bezugsgrößen nicht der Fall.

Zwischenfazit 1: Bei Direkten Methoden zur Bauzeitermittlung bleibt die Anzahl der wirtschaftlich einsetzbaren Ressourcen unberücksichtigt. Da der Entwicklung der gesichteten RM die tatsächliche Bauzeit zugrunde liegt, die von der vorgegebenen Bauzeit abhängig ist und die tatsächliche Bauzeit damit keine Zufallsgröße darstellt, ist die Eignung der gesichteten RM zur Ermittlung angemessener und wirtschaftlicher Bauzeiten generell nicht belegbar.

Die Schlussfolgerungen verschiedener Autoren, dass eine Modellentwicklung differenziert nach weiteren qualitativen Projektparametern, z. B. hinsichtlich unterschiedlicher Vergabe- und Vertragsarten sowie privater und öffentlicher AG, zur Steigerung der Modellgenauigkeit zweckmäßig ist, können an dieser Stelle weder widerlegt noch bestätigt werden. Dennoch sind die auftretenden Diskrepanzen bei der Differenzierung des Bromilow's-Time-Cost-Modells (BTC-Modells) zumindest fragwürdig.

Beispielsweise ergibt sich aus dem RM von CHAN (1999) für Baukosten von 1,0 Mio. HKD, dass die Bauzeit von Projekten öffentlicher AG von 166 Arbeitstagen (AT) die von Projekten

[77] Eine Ausnahme bildet z. B. das Verfahren von NGUYEN ET AL. (2013) (vgl. Kap. L.1.1.4, Anlage).

[78] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 41. Anm.: Siehe auch Kap. B.1.2.

privater AG (120 AT) um ca. 38 % übersteigt.[79] Identische Bauzeiten (754 AT) für Projekte öffentlicher und privater AG ergeben sich bei Baukosten von ca. 223 Mio. HKD, wohingegen ab diesem Grenzwert die Bauzeit für Projekte privater AG die Bauzeit für Projekte öffentlicher AG übersteigt.[80]

Noch größere Diskrepanzen zwischen Projekten privater und öffentlicher AG ergeben sich aus dem RM von YEONG (1994) und LE-HOAI/LEE (2009), die bei der Modellentwicklung ebenfalls private und öffentliche AG differenzieren (vgl. Eq. (L.8), Eq. (L.9) u. Eq. (L.25) bis Eq. (L.28), Anlage). Nach YEONG (1994) übersteigt die Bauzeit von Projekten öffentlicher AG (287 AT) die Bauzeit von Projekten privater AG (161 AT) bei Baukosten von 1,0 Mio. AUD um ca. 78 %.[81] Die Bauzeit von Projekten privater AG überschreitet die Bauzeit von Projekten öffentlicher AG ab einem Grenzwert von ca. 85 Mio. AUD.[82]

Eine abschließende Untersuchung oder Beurteilung des dargestellten Zusammenhangs findet in CHAN (1999) und YEONG (1994) nicht statt und kann auch an dieser Stelle nicht begründet werden.[83]

Auf die Beurteilung weiterer qualitativer Projektparameter, die bei der Modellentwicklung von verschiedenen Autoren monetarisiert und als Korrekturfaktoren in die RM integriert werden, wie z. B. unterschiedliche Vergabe- und Vertragsarten sowie die Art des AG (vgl. Tab. 56, Anlage), wird an dieser Stelle verzichtet. Da die Bauzeitermittlung in der vorliegenden Arbeit auf Prozessebene und üblichen Risiken (vgl. Kap. A.3) erfolgt, kann davon ausgegangen werden, dass diese keinen nennenswerten Einfluss auf die Bauzeit haben.

Zwischenfazit 2: In der gesichteten Literatur ist strittig, ob die Berücksichtigung zusätzlicher qualitativer Projektparameter, wie z. B. unterschiedlicher Vergabe- und Vertragsarten sowie privater und öffentlicher AG, zu einer Steigerung der Genauigkeit von RM führt.

[79] Berechnet aus RM nach CHAN (1999), S. 193 (vgl. Eq. (L.12) u. Eq. (L.13), Anlage).

[80] Berechnet aus RM nach CHAN (1999), S. 193 (vgl. Eq. (L.12) u. Eq. (L.13), Anlage).

[81] Berechnet aus RM nach YEONG (1994), S. 83 (vgl. Eq. (L.8) u. Eq. (L.9), Anlage).

[82] Berechnet aus RM nach YEONG (1994), S. 83 (vgl. Eq. (L.8) u. Eq. (L.9), Anlage).

[83] An dieser Stelle sei ebenfalls erwähnt, dass OGUNSEMI/JAGBORO (2006) und RAHMAN ET AL. (2014) im Gegensatz zu CHAN (1999), YEONG (1994) und LE-HOAI/LEE (2009) schlussfolgern, dass die Bauzeiten für Baumaßnahmen privater AG generell höher sind als die Bauzeiten für Projekte öffentlicher AG (vgl. OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 257; RAHMAN ET AL. (2014), S. 16; CHAN (1999), S. 194; YEONG (1994), S. 83 f. u. LE-HOAI/LEE (2009), S. 553). NG ET AL. (2001) stellten keine nennenswerten Abweichungen zwischen den Bauzeiten von Projekten öffentlicher und privater AG fest (vgl. a. a. O., S. 172).

B.2.3.1 Kostenbasierte Regressionsmodelle

Allgemeine Bewertung

Generell ist bei der Entwicklung stringenter kostenbasierter RM zwingend von den tatsächlichen – und nicht den geschätzten – Baukosten auf die tatsächliche Bauzeit zu schließen, um Ungenauigkeiten, die aus Abweichungen der geplanten und tatsächlichen Kosten resultieren, zu eliminieren und reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen. Zusätzliche Leistungen, Nachträge, Bauablaufstörungen usw. würden andernfalls zwar die zugrunde gelegte tatsächliche Bauzeit, nicht aber die zugrunde gelegten geschätzten Baukosten beeinflussen.

Dennoch ist diesbezüglich kein einheitliches Vorgehen bei den gesichteten Veröffentlichungen feststellbar. CZARNIGOWSKA/SOBOTKA (2013) führen beispielsweise aus, dass die Entwicklung des RM auf der Grundlage der geschätzten Baukosten erfolgen sollte, da das RM zur Bauzeitschätzung in der Planungsphase und nicht ausschließlich zur nachträglichen Gegenüberstellung eines bestimmten Projektes mit der durchschnittlichen Leistung vergleichbarer Projekte dient.[84] Auch SOUSA ET AL. (2014) entwickelten ihr RM auf der Grundlage der geschätzten Baukosten.[85] Bei der Untersuchung weiterer Veröffentlichungen stellte sich auch heraus, dass bei der Erläuterung der entwickelten RM nicht in jedem Fall eine eindeutige Unterscheidung zwischen den geschätzten und tatsächlichen Baukosten stattfindet.[86]

Zwischenfazit 3: Um die Baukosten überhaupt als sinnvolle Bezugsgröße verwenden zu können, muss die Entwicklung kostenbasierter RM auf den tatsächlichen – und nicht den geschätzten – Baukosten erfolgen.

Unsicherheiten bei der Anwendung kostenbasierter RM ergeben sich bereits aus der grundsätzlichen Vorgehensweise der Kostenermittlung in den einzelnen Planungsphasen anhand von Kennzahlen, da die Bauzeitermittlung mittels kostenbasierter RM nur so genau sein kann wie die zugrunde liegende Kostenermittlung.[87] In Deutschland stellen die Veröffentli-

[84] Vgl. CZARNIGOWSKA/SOBOTKA (2013), S. 522 f. Anm.: Trotzdem wurde die Modellbildung auf Grundlage der tatsächlichen Baukosten durchgeführt, was von CZARNIGOWSKA/SOBOTKA (2013) durch die ausschließlich geringfügigen Abweichungen zu den geschätzten Baukosten begründet wird (vgl. a. a. O., S. 523).

[85] Vgl. SOUSA ET AL. (2014), S. 2, 4.

[86] Während sich BROMILOW (1969) bei der Entwicklung des ursprünglichen BTC-Modells auf die tatsächlichen Baukosten (*„final cost (*BROMILOW (1969)*, S. 73)“*) bezieht, geben z. B. NG ET AL. (2001) an, dass im ursprünglichen BTC-Modell die geschätzten Baukosten (*„estimated final cost* (*NG ET AL. (2001)*, *S. 166)“*) angesetzt werden.

[87] Vgl. auch „Stufen der Kostenermittlung“ im Glossar und Kap. B.1.3.

chungen des BKI Standardwerke dar, die regelmäßig aktualisiert werden und z. B. Kostenkennwerte für verschiedene Gebäudetypologien auf Objektebene enthalten.[88]

Untersuchungen von ZIMMERMANN ET AL. (2014) stellen die grundsätzliche Genauigkeit der Kostenkennwerte des BKI in Frage. So wird am Beispiel von Bürogebäuden mit einfachem Standard dargestellt, dass sich die geschätzten Baukosten, aufgrund des geringen Stichprobenumfangs bei der Herleitung des Kostenkennwerts und der nicht angegebenen Unschärfe, nahezu verdoppeln können.[89]

Zwischenfazit 4: Die Genauigkeit der Bauzeitermittlung auf Grundlage der geschätzten Baukosten ist von der Exaktheit der Kostenschätzung abhängig.

Weiterhin ist die nach BKI vorgesehene Verwendung von Regionalfaktoren[90] bei Kostenschätzungen und deren Überführung in kostenbasierte RM kritisch zu betrachten. Dass die Baukosten regionalen Unterschieden unterliegen ist unstrittig. Die Bauzeit eines Bauobjekts in Deutschland ist hingegen zwar von den vorherrschenden Randbedingungen (z. B. den örtlichen Platzverhältnissen in städtischen Gebieten usw.) abhängig, nicht aber vom regionalen Standort des Bauobjektes im Bundesgebiet. So können die Bauzeiten zweier identischer Bauobjekte bei identischen Randbedingungen beispielsweise in der Stadt Bochum und in der Stadt München als (nahezu) gleich angenommen werden. Entgegen dieser These ist die Kostenschätzung auf der Grundlage von Kennzahlen gemäß BKI (2016) mittels Regionalfaktoren bzw. Bundeskorrekturfaktoren an das regionale Baupreisniveau anzupassen.[91] Für die Stadt Bochum wird dabei z. B. ein Regionalfaktor von 0,841 und für die Stadt München ein Regionalfaktor von 1,426 angegeben,[92] woraus für ein Gebäude in der Stadt München eine ca. 70 % höhere Kostenschätzung und aus den RM eine entsprechend höhere Bauzeit resultiert.

Zwischenfazit 5: Anders als für Baukosten, sind für Bauzeiten keine regionalen Einflüsse zu berücksichtigen. Zur sinnvollen Verwendung der Baukosten als Bezugsgröße zur Bauzeitermittlung ist daher zunächst die Normierung der Baukosten auf zeitbestimmende Kosten notwendig.

Um die Baukosten überhaupt als sinnvolle Bezugsgröße zur Bauzeitschätzung verwenden zu können, sind diese darüber hinaus differenzierter zu betrachten. Allerdings wird einzig von

[88] Vgl. z. B. BKI (2016).

[89] Vgl. ZIMMERMANN ET AL. (2014), S. 280.

[90] Vgl. BKI (2016), S. 842 ff.

[91] Vgl. BKI (2016), S. 11, 842 ff.

[92] Vgl. BKI (2016), S. 842, 844.

DURSUN/STOY (2012) eine differenzierte Kostenbetrachtung, gegliedert nach den Kostengruppen gemäß DIN 276-1 (2008), vorgenommen.[93] In den übrigen gesichteten Veröffentlichungen werden häufig die Gesamt-Baukosten in Ansatz gebracht bzw. die enthaltenen Kostenanteile in den Gesamt-Baukosten bei der Modellentwicklung nicht weiter differenziert.[94]

Zur Bestimmung der Rohbauzeit auf Grundlage kostenbasierter RM, ist bei der Modellentwicklung eine Beschränkung auf die Baukosten der Kostengruppe 300 (*„Bauwerk – Baukonstruktionen“*[95]) gemäß DIN 276-1 (2008) zweckmäßig. Da die Gesamtdauer eines Projekts bei Verwendung der Netzplantechnik aus dem kritischen Weg resultiert,[96] ist bei der Entwicklung kostenbasierter RM auch eine differenzierte bzw. ausschließliche Betrachtung von Kostenanteilen kritischer Vorgänge zweckmäßig. Als Bezugsgröße am ehesten geeignet sind die voraussichtlichen Lohnkosten kritischer Vorgänge, die in den frühen Planungsphasen allerdings z. B. auf Grundlage von Kennzahlen ermittelt werden müssen, entsprechende Unsicherheiten aufweisen und darüber hinaus einer Betrachtung des Bauablaufs auf Prozessebene bedürfen.

Zwischenfazit 6: Die Verwendung der Gesamt-Baukosten als Bezugsgröße der Bauzeitermittlung ist fragwürdig, da hierdurch Kostenanteile des Bauobjektes berücksichtigt werden, die keinen Einfluss auf die Bauzeit haben.[97]

Steigende Baukosten führen bei den gesichteten kostenbasierten RM, mit Ausnahme der RM von OGUNSEMI/JAGBORO (2006) und LE-HOAI/LEE (2009), ausnahmslos zu längeren Bauzeiten (vgl. Tab. 56, Anlage), was dem generellen baubetrieblichen Zusammenhang zwischen den Baukosten und der Bauzeit widerspricht (vgl. Kap. B.1.2). Zur Einhaltung kürzerer Bauzeiten ist ein erhöhter Ressourceneinsatz notwendig, der i. d. R. zu entsprechend höheren Baukosten führt.[98] Weiterhin können kürzere Bauzeiten durch erhöhte Baukosten, beispielsweise durch den Einsatz von Fertigteilen, realisiert werden. Gleichzeitig sind auch Kostenreduzierungen möglich aus denen keine Bauzeitänderung resultiert (z. B. Verarbeitung von Material „B“ statt Material „A“). Sofern zusätzlich keine differenzierte Betrachtung der Baukosten durchgeführt wird, besteht z. B. auch die Möglichkeit, dass Gebäude mit umfang-

[93] Vgl. DURSUN/STOY (2012), S. 449.

[94] Planungskennwerte zu prozentualen Anteilen der Kostengruppen gemäß DIN 276-1 (2008) an den Gesamt-Baukosten können z. B. BKI (2016) entnommen werden (vgl. z. B. BKI (2016), S. 103, 107, 115, 129).

[95] DIN 276-1 (2008), S. 10.

[96] Vgl. DIN 69900 (2009), S. 8. Die Definition des Begriffs „kritischer Weg“ ergibt sich aus dem Glossar.

[97] Z. B. Kosten für das Grundstück sowie das Herrichten und Erschließen (Kostengruppe 100 und 200 gemäß DIN 276-1 (2008)) aber auch Materialkosten.

[98] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 41. Anm.: Siehe auch Kap. B.1.2.

reichen Außenanlagen die resultierenden Bauzeiten aus dem RM erhöhen, obwohl diese unabhängig vom Bauwerk parallel hergestellt werden können. Bereits diese einfachen Beispiele zeigen, dass kostenbasierte RM ohne eine differenzierte Betrachtung der Kostenanteile baubetriebliche Widersprüche aufweisen.

Zwischenfazit 7: Da steigende Baukosten in der Anwendung der gesichteten kostenbasierten RM bis auf wenige Ausnahmen zu längeren Bauzeiten führen, was aufgrund der Vielzahl möglicher Ursachen (z. B. Fertigungsverfahren, höhere Preise für vorgesehene Materialqualität) als fragwürdig eingestuft werden kann, ist deren Anwendbarkeit für die Baupraxis nicht belegbar.

Aufgrund der vielfachen Verwendung des BTC-Modells in den gesichteten Veröffentlichungen (vgl. Tab. 56, Anlage), wird dieses unabhängig von den jeweiligen Autoren zusammengefasst bewertet und im Hinblick auf baubetriebliche Widersprüche untersucht. Die übrigen kostenbasierten RM von OGUNSEMI/JAGBORO (2006), HOFFMAN ET AL. (2007) und LE-HOAI/LEE (2009) werden hingegen separat bewertet.

Bewertung der BTC-Modelle

Höhere Baukosten führen beim BTC-Modell ausnahmslos zu längeren Bauzeiten, was dem generellen baubetrieblichen Zusammenhang zwischen den Baukosten und der Bauzeit widerspricht (vgl. Kap. B.1.2). Zur Veranschaulichung sind die Funktionsverläufe der BTC-Modelle verschiedener Autoren in Abb. 11 graphisch dargestellt.

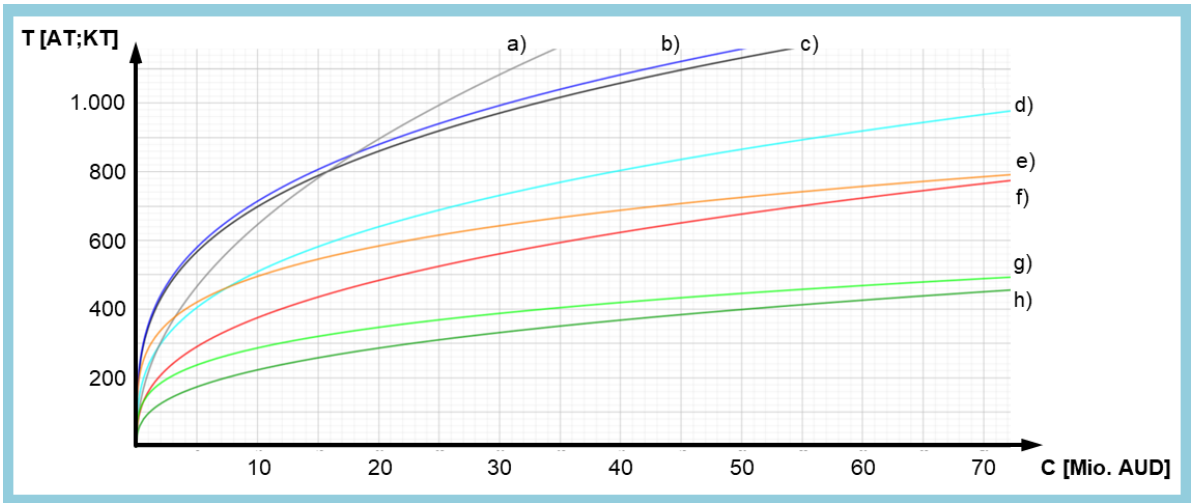
Zwischenfazit 8: Da beim BTC-Modell steigende Baukosten generell zu längeren Bauzeiten führen und dies z. B. dem generellen baubetrieblichen Zusammenhang zwischen den Baukosten und der Bauzeit widerspricht (vgl. Kap. B.1.2), ist dessen Anwendbarkeit für die Baupraxis nicht belegbar.

Bewertung weiterer kostenbasierter Regressionsmodelle

Das kostenbasierte RM von **OGUNSEMI/JAGBORO (2006)**, dessen Funktionsverlauf in Abb. 12 dargestellt ist, führt bei höheren Baukosten größtenteils zu längeren Bauzeiten.[99] Eine Ausnahme ergibt sich lediglich für Projekte privater und öffentlicher AG unterhalb des angegebenen Grenzwerts von 408 Mio. NGN (vgl. Eq. (L.20), Anlage), aus dem jedoch für den Kostenbereich von 296 bis 408 Mio. NGN negative Bauzeiten resultieren (vgl. Abb. 12).[100]

[99] Vgl. OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 257.

[100] Berechnet aus RM nach OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 257 (vgl. Eq. (L.20), Anlage).



Erläuterungen:

a) $T = 219 \cdot C^{0,47}$ *(vgl. IRELAND (1985), S. 75)*

b) $T = 358 \cdot C^{0,30}$ *(öffentl. AG)*
(vgl. BROMILOW ET AL. (1980), S. 80)

c) $T = 350 \cdot C^{0,30}$ *(vgl. BROMILOW (1969), S. 73)*

d) $T = 238 \cdot C^{0,33}$ *(private AG)*
(vgl. BROMILOW ET AL. (1980), S. 80)

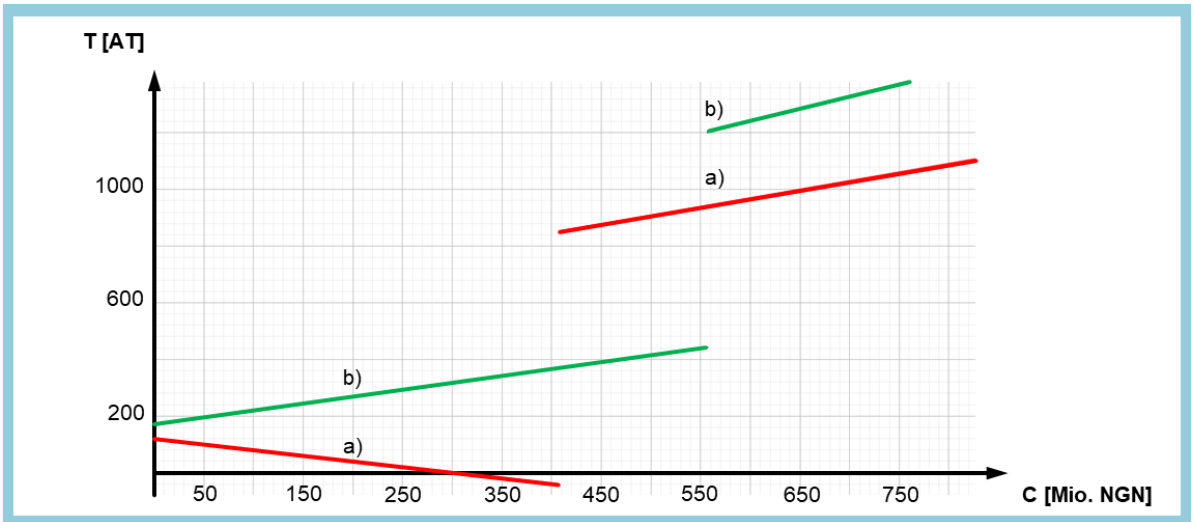
e) $T = 287 \cdot C^{0,237}$ *(öffentl. AG)*
(vgl. YEONG (1994), S. 83 f., 129 f.)

f) $T = 161 \cdot C^{0,367}$ *(private AG)*
(vgl. YEONG (1994), S. 83 f., 129 f.)

g) $T = 152{,}463 \cdot C^{0,27411}$ *(nicht-industrielle Projekte)*
(vgl. NG ET AL. (2001), S. 169)

h) $T = 96{,}832 \cdot C^{0,36168}$ *(industrielle Projekte)*
(vgl. NG ET AL. (2001), S. 169)

Abb. 11: BTC-Modelle verschiedener Autoren[101]



Erläuterungen:

a) $T = \begin{cases} 118{,}563 - 0{,}401 \cdot C & wenn: C \leq 408 \\ 603{,}427 + 0{,}610 \cdot C & wenn: C > 408 \end{cases}$ *(private AG)*
(vgl. OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 257)

b) $T = \begin{cases} 168{,}895 + 0{,}491 \cdot C & wenn: C \leq 557 \\ 709{,}660 + 0{,}884 \cdot C & wenn: C > 557 \end{cases}$ *(öffentl. AG)*
(vgl. OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 257)

Abb. 12: Kostenbasiertes RM von OGUNSEMI/JAGBORO (2006)[102]

[101] Eigene Darstellung.

[102] Eigene Darstellung.

Ein weiterer Widerspruch im RM von OGUNSEMI/JAGBORO (2006) ergibt sich aus den enthaltenen Konstanten, die z. B. für private AG keine Bauzeit von weniger als ca. 169 AT ermöglichen.[103]

Ebenfalls fragwürdig sind die resultierenden Bauzeiten in den Bereichen der Grenzwerte. Beispielsweise resultiert für Baukosten von Projekten privater AG, die den angegebenen Grenzwert von 557 Mio. NGN geringfügig unterschreiten, eine Bauzeit von ca. 442 AT, wohingegen Baukosten, die den angegebenen Grenzwert geringfügig überschreiten, zu einer Bauzeit von ca. 1.202 AT führen (vgl. Abb. 12).[104] Dies entspricht einem sprunghaften Anstieg der Bauzeit im Bereich des Kostengrenzwerts von ca. 172 %.

Die dargestellten Widersprüche werden in der Untersuchung von OGUNSEMI/JAGBORO (2006) nicht bewertet, da diese weitestgehend auf die statistische Auswertung der Modellgenauigkeit, wie z. B. die Bewertung der resultierenden Bestimmtheitsmaße der einzelnen Modelle, beschränkt ist.

Zwischenfazit 9: Da das kostenbasierte RM von OGUNSEMI/JAGBORO (2006) teilweise zu negativen Bauzeiten führt, im Bereich der definierten Kostengrenzwerte sprunghafte ansteigende Bauzeiten aufweist und z. B. für private AG keine Bauzeiten von weniger als 169 AT zulässt, kann dessen Anwendbarkeit für die Baupraxis ausgeschlossen werden.

HOFFMAN ET AL. (2007) unterstellen in ihrem RM, dessen Funktionsverlauf in Abb. 13 dargestellt ist, einen linearen Zusammenhang zwischen den Baukosten und der Bauzeit, was dem generellen baubetrieblichen Zusammenhang zwischen den Baukosten und der Bauzeit widerspricht (vgl. Kap. B.1.2).

Die im RM enthaltene Konstante (vgl. Eq. (L.21), Anlage), führt zu einer Bauzeit von mindestens 3,44 AT, die je nach Festlegung der booleschen Variablen im RM auf einen Minimalwert von ca. 2,88 AT absinken kann.[105] Aus baupraktischer Sicht ist eine Ausführungsdauer von ca. 3 AT realistisch, um die Baustelleneinrichtung und -räumung insbesondere kleinerer Baumaßnahmen durchführen zu können.

[103] Berechnet aus RM nach OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 257 (vgl. Eq. (L.19), Anlage).

[104] Berechnet aus RM nach OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 257 (vgl. Eq. (L.19), Anlage).

[105] Berechnet aus den RM nach HOFFMAN ET AL. (2007), S. 196 (vgl. Eq. (L.21), Anlage).

Dennoch kann die Anwendbarkeit des RM von HOFFMAN ET AL. (2007) für die Baupraxis ausgeschlossen werden, da die Baukosten im RM ausdrücklich in USD anzusetzen sind,[106] was allerdings zu offensichtlich unrealistischen Bauzeiten führt.[107]

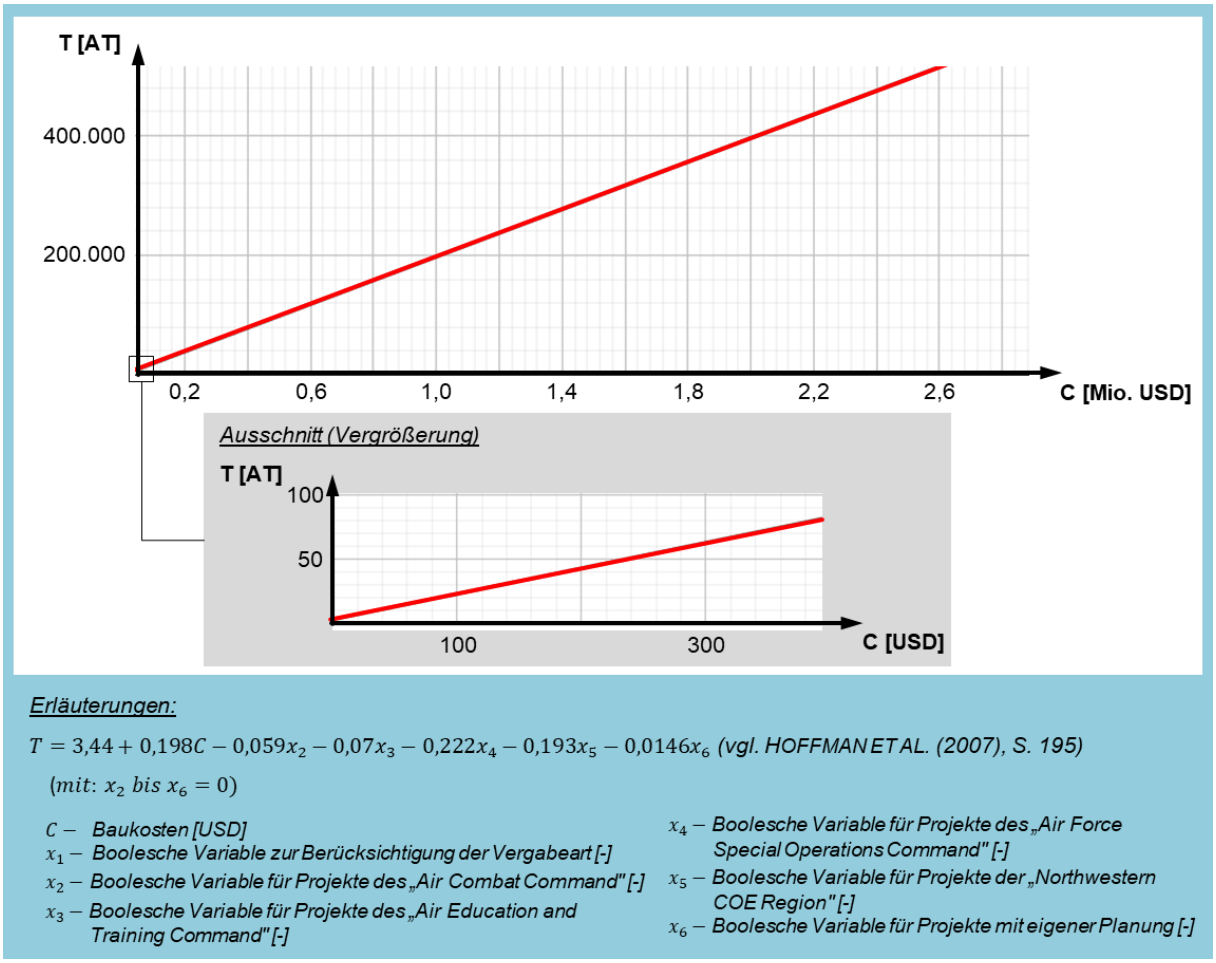


Abb. 13: Kostenbasiertes RM von HOFFMAN ET AL. (2007)[108]

Zwischenfazit 10: Da das kostenbasierte RM von HOFFMAN ET AL. (2007) zu unrealistischen Bauzeiten führt, kann dessen Anwendbarkeit für die Baupraxis ausgeschlossen werden.

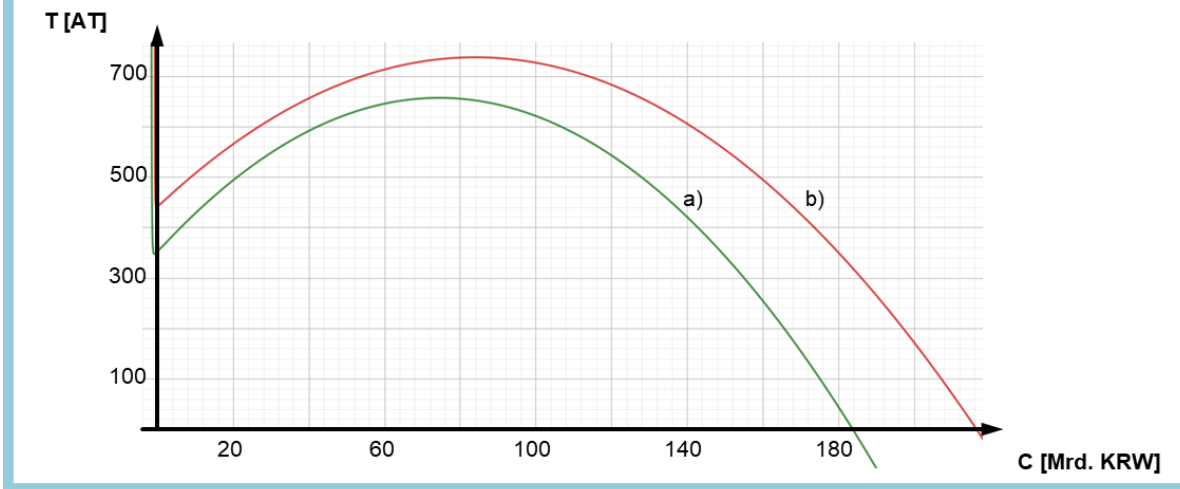
Aus dem von **LE-HOAI/LEE (2009)** entwickelten kostenbasierten RM (vgl. Eq. (L.26) u. Eq. (L.28), Anlage), dessen Funktionsverlauf in Abb. 14 dargestellt ist, resultieren bei stei-

[106] Vgl. HOFFMAN ET AL. (2007), S. 196.

[107] So ergibt sich aus dem RM z. B. für ein Projekt mit Baukosten von 1,0 Mio. USD eine Bauzeiten von ca. 198.000 AT (berechnet aus RM nach HOFFMAN ET AL. (2007), S. 196 (vgl. Eq. (L.21), Anlage)). Anm.: Selbst wenn lediglich eine fehlerhafte Angabe der Kosteneinheit durch HOFFMAN ET AL. (2007) unterstellt wird und diese auf Tsd. USD angepasst wird, sind die daraus resultierenden Ergebnisse dennoch nicht plausibel. Während Baukosten von 500 Tsd. USD zu einer generell möglichen Bauzeit von ca. 102 AT führen, ergibt sich z. B. für ein Projekt mit Baukosten von 5 Mio. USD, aufgrund des linearen RM, eine unrealistische Bauzeiten von ca. 993 AT (berechnet aus ebd.).

[108] Eigene Darstellung.

genden Baukosten bis zu den beiden angegebenen Maximalwerten[109] längere Bauzeiten, wohingegen steigende Baukosten oberhalb des angegebenen Maximalwerts zu einer Reduzierung der Bauzeit führen.



Erläuterungen:

a) $T = 353{,}10 + 8{,}185C - 0{,}055C^2 + 1{,}39^{-4C^3}$ *(öffentl. AG)*
(vgl. LE-HOAI/LEE (2009), S. 556)

b) $T = 442{,}24 + 7{,}05C - 0{,}042C^2 + 8{,}93^{-5C^3}$ *(private. AG)*
(vgl. LE-HOAI/LEE (2009), S. 556)

Abb. 14: Kostenbasiertes RM von LE-HOAI/LEE (2009)[110]

Widersprüche im RM von LE-HOAI/LEE (2009) ergeben sich auch aus den jeweils enthaltenen Konstanten, aufgrund derer keine Bauzeiten von weniger als ca. 353 AT für Projekte privater AG Projekte und ca. 442 AT für Projekte öffentlicher AG ermittelt werden können.[111]

Weiterhin ergeben sich aus dem RM von LE-HOAI/LEE (2009) für Baukosten ab ca. 184 Mrd. KRW für Projekte privater AG und ab ca. 216 Mrd. KRW für Projekte öffentlicher AG negative Bauzeiten. [112]

Zwischenfazit 11: Da das kostenbasierte RM von LE-HOAI/LEE (2009) teilweise zu negativen Bauzeiten führt, ab dem Extremwert der Funktion zu einer Reduzierung der Bauzeit führt und z. B. für private AG keine Bauzeiten von weniger als 353 AT zulässt, ist dessen Anwendbarkeit für die Baupraxis nicht belegbar.

[109] Die maximale Bauzeit von Projekten privater AG von 658 AT ergibt sich aus Baukosten von ca. 74 Mrd. KRW und von Projekten öffentlicher AG von 738 AT aus Baukosten von ca. 84 Mrd. KRW (berechnet aus RM nach LE-HOAI/LEE (2009), S. 556 (vgl. Eq. (L.26) u. Eq. (L.28), Anlage).

[110] Eigene Darstellung.

[111] Berechnet aus RM nach LE-HOAI/LEE (2009), S. 556 (vgl. Eq. (L.26) u. Eq. (L.28), Anlage).

[112] Berechnet aus RM nach LE-HOAI/LEE (2009), S. 556 (vgl. Eq. (L.26) u. Eq. (L.28), Anlage).

B.2.3.2 Flächenbasierte Regressionsmodelle

Allgemeine Bewertung

Grundsätzlich gilt, dass die Exaktheit der Bauzeitschätzung mittels flächenbasierter RM unmittelbar von der Genauigkeit des ermittelten Flächenbedarfs und der festgelegten Geschossanzahl abhängig ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Flächenbedarf und die Geschossanzahl eines Gebäudes – insbesondere in den frühen Planungsphasen – i. d. R. mit höherer Genauigkeit abgeschätzt werden können als die Baukosten. Daraus ergibt sich auch, dass die Grundfläche und Geschossanzahl eines Bauwerks als Indikatoren zur Bauzeitermittlung besser geeignet sind als die Baukosten.

Zwischenfazit 12: Der Flächenbedarf und die Geschossanzahl können – insbesondere in den frühen Planungsphasen – i. d. R. mit höherer Genauigkeit abgeschätzt werden als die Baukosten, weshalb die Gebäudefläche und Geschossanzahl als vergleichsweise besser geeigneter Parameter zur Bauzeitermittlung betrachtet werden kann.

Aus der untersuchten Literatur ergibt sich, dass nicht alle flächenbasierten RM auch die Geschossanzahl berücksichtigen, weshalb darauf geschlossen werden kann, dass eine konstante, geschossanzahlunabhängige Baugeschwindigkeit unterstellt wird. Die Geschossanzahl hat neben der Gebäudegrundfläche jedoch einen unbestreitbaren Einfluss auf die Anzahl der einsetzbaren Ressourcen und damit auch auf die Bauzeit.[113] Der generelle Zusammenhang zwischen der Geschossanzahl, der Anzahl der maximal einsetzbaren Ressourcen und der Bauzeit bei identischer BGF ist in Abb. 15 schematisch dargestellt.

Zwischenfazit 13: Obwohl die Geschossanzahl einen unbestreitbaren Einfluss auf die Anzahl der einsetzbaren Ressourcen und damit auf die Bauzeit hat, wird diese nicht in allen flächenbasierten RM berücksichtigt.

Weiterhin ist festzuhalten, dass auch die vorhandenen Geschosshöhen, die die Fertigungsmengen und damit die Bauzeit enorm beeinflussen können, bei den gesichteten flächenbasierten RM nicht berücksichtigt werden.

Zwischenfazit 14: Die Geschosshöhen werden bei den gesichteten flächenbasierten RM nicht berücksichtigt, obwohl diese einen unbestreitbaren Einfluss auf die Fertigungsmengen und die Bauzeit haben.

Insgesamt ist festzustellen, dass steigende Grundflächen bei den gesichteten flächenbasierten RM ausnahmslos zu längeren Bauzeiten führen (vgl. Tab. 57, Anlage). Aus baubetrieblicher Sicht kann dieser Relation, aufgrund des dargestellten Zusammenhangs in Abb. 15,

[113] Vgl. z. B. HOFSTADLER (2014), S. 39.

nicht vollständig beigepflichtet werden. Zwar resultiert aus steigenden Gebäudegrundflächen i. d. R. auch ein höherer Gesamt-Arbeitsaufwand, die Bauzeit ist jedoch von der Geschossanzahl und den einsetzbaren Ressourcen abhängig.

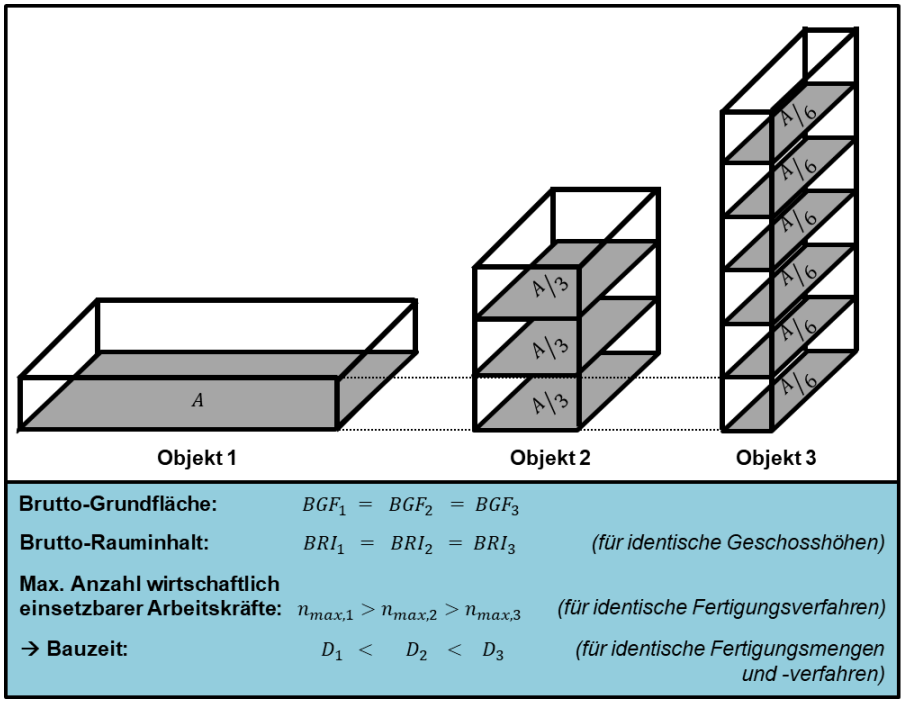


Abb. 15: Zusammenhang zwischen Geschossanzahl, Ressourcenanzahl und Bauzeit[114]

Zwischenfazit 15: Flächenbasierte RM können – wenn überhaupt – nur dann sinnvolle Ergebnisse liefern, wenn diese die Geschossanzahl und die Geschosshöhe berücksichtigen.

Bewertung einzelner flächenbasierten Regressionsmodelle

KUMARASWAMY/CHAN (1995) verwenden als Bezugsgröße ihres flächenbasierten RM, dessen Funktionsverlauf in Abb. 16 dargestellt ist, die „Floor Area“ (vgl. Eq. (L.36) bis Eq. (L.38), Anlage).[115] Obwohl der Begriff „Floor Area“ in der englischsprachigen Literatur in aller Regel als Oberbegriff verwendet wird,[116] wird dieser in KUMARASWAMY/CHAN (1995) nicht eindeutig definiert, was der objektiven Anwendung des RM entgegensteht.

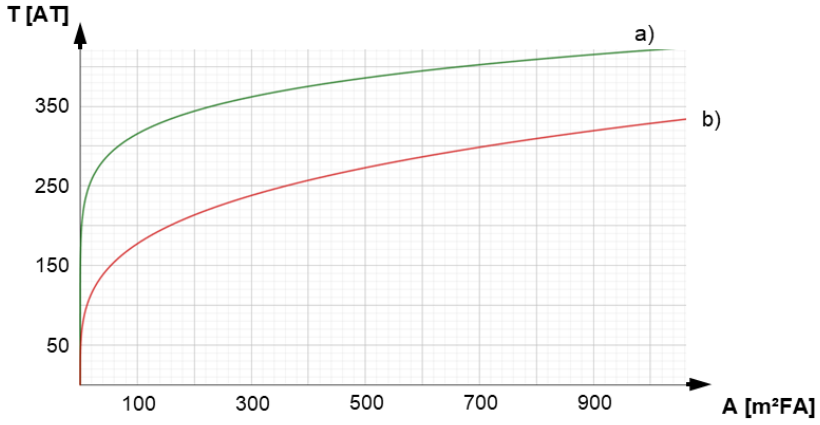
Weiterhin ist festzuhalten, dass das RM von KUMARASWAMY/CHAN (1995) die Geschossanzahl nicht berücksichtigt und damit baubetrieblichen Grundsätzen widerspricht (vgl. Abb. 15).[117]

[114] Vgl. HÄNDLER/SCHWARZ (2017), S. 241.

[115] Vgl. KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 212.

[116] Die Definition des Begriffs „Floor Area“ ergibt sich aus dem Glossar.

[117] Vgl. z. B. HOFSTADLER (2014), S. 39.



Erläuterungen:

a) $T = 177{,}4 \cdot A^{0{,}125}$ *(private AG, Gewerbebau)*
(vgl. KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 215)

b) $T = 51{,}6 \cdot A^{0{,}268}$ *(öffentl. AG, Nicht-Wohnbauten)*
(vgl. KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 215)

Abb. 16: Flächenbasiertes RM von KUMARASWAMY/CHAN (1995)[118]

Zwischenfazit 16: Da das flächenbasierte RM von KUMARASWAMY/CHAN (1995) die nicht eindeutig definierte „Floor Area" als Bezugsgröße verwendet und die Geschossanzahl nicht berücksichtigt, ist dessen Anwendbarkeit für die Baupraxis nicht belegbar.

Das RM von **LOVE ET AL. (2005)**, dessen Funktionsverlauf in Abb. 17 dargestellt ist, berücksichtigt neben der Gross Floor Area[119] (GFA) auch die Geschossanzahl des Bauobjekts (vgl. Eq. (L.39), Anlage). Die theoretische minimale Bauzeit, die rechnerisch aus dem RM resultieren kann, ergibt sich für eingeschossige Gebäude mit einer GFA von 1,0 m² und führt zu einem unrealistischen Ergebnis von ca. 1.507 AT.[120] Höhere Grundflächen und Geschossanzahlen führen jeweils zu einer Verlängerung der resultierenden Bauzeit.[121]

Zwischenfazit 17: Da das flächenbasierte RM von LOVE ET AL. (2005) zu unrealistischen Bauzeiten führt, kann dessen Anwendbarkeit für die Baupraxis ausgeschlossen werden.

Das RM von **JARKAS (2015)**, dessen Funktionsverlauf für nicht unterkellerte Bauobjekte in Abb. 18 dargestellt ist, berücksichtigt neben der Construction Area[122] (CA) auch die Anzahl unter- und oberirdischer Geschosse (vgl. Eq. (L.40), Anlage). Zunächst ist festzuhalten, dass bei der angegebenen Definition des Begriffs CA von JARKAS (2015) nicht spezifiziert wird, ob die gesamten Arbeits- und Lagerflächen aller Geschosse oder ausschließlich die bebaute

[118] Eigene Darstellung.

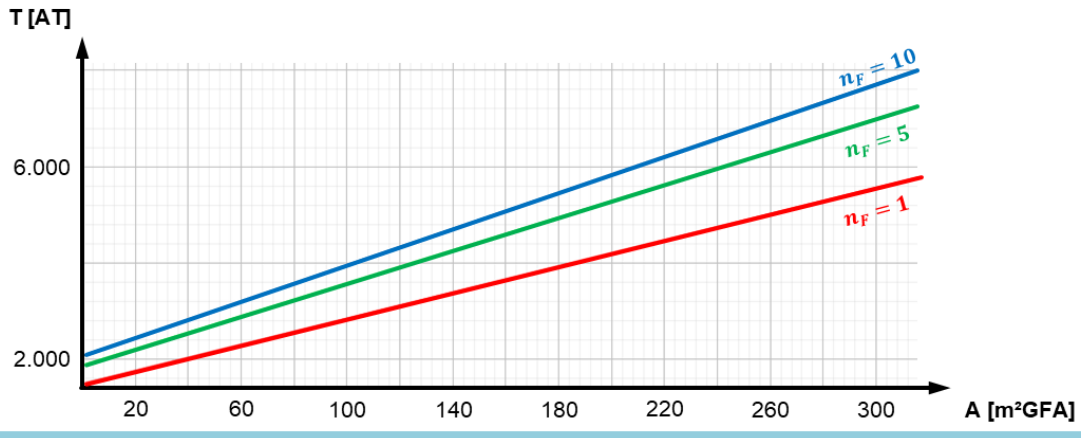
[119] Die Definition des Begriffs „Gross Floor Area" ergibt sich aus dem Glossar.

[120] Berechnet aus RM nach LOVE ET AL. (2005), S. 193 (vgl. Eq. (L.39), Anlage).

[121] Berechnet aus RM nach LOVE ET AL. (2005), S. 193 (vgl. Eq. (L.39), Anlage).

[122] Die Definition des Begriffs „Construction Area" ergibt sich aus dem Glossar.

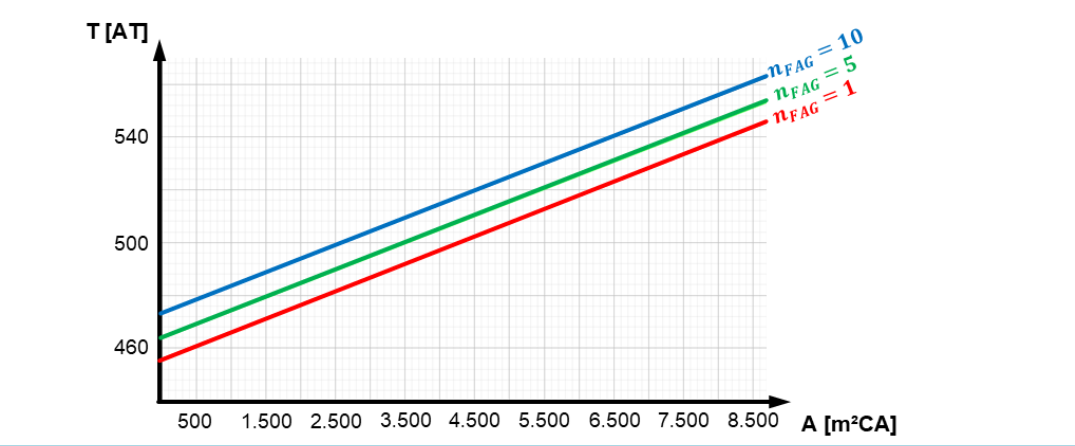
Fläche einschließlich aller Arbeits- und Lagerflächen auf dem Baugrundstück anzusetzen sind.



Erläuterungen:

$T = 1.506{,}607 \cdot A^{0{,}274} \cdot n_F^{0{,}142}$ *(vgl. LOVE ET AL. (2005), S. 193)*

Abb. 17: Flächenbasiertes RM von LOVE ET AL. (2005)[123]



Erläuterungen:

$T = 453{,}97 + 0{,}0103 \cdot A + 1{,}92 \cdot n_{FAG} + 58{,}54 \cdot n_{FBG}$ *(vgl. JARKAS (2015), S. 6)*

$(mit: n_{FBG} = 0)$

Abb. 18: Flächenbasierten RM von JARKAS (2015)[124]

Widersprüche bei der Anwendung des RM von JARKAS (2015) ergeben sich unter anderem aus den jeweils enthaltenen Konstanten, aufgrund derer die minimale Bauzeit von Bürogebäuden 453,97 AT beträgt.[125]

[123] Eigene Darstellung.

[124] Eigene Darstellung.

[125] Berechnet aus RM nach JARKAS (2015), S. 6 (vgl. Eq. (L.40), Anlage). Anm.: Die angegebene minimale Bauzeit des RM überschreitet damit die minimale Dauer der von JARKAS (2015) untersuchten Bürogebäude von 420 AT (vgl. a. a. O., S. 4).

Weiterhin ergibt sich aus dem flächenbasierten RM von JARKAS (2015), dass die Bauzeit mit einer steigenden CA bei Bürogebäuden lediglich um 0,0103 AT pro m² ansteigt.[126] Dass eine höhere Gebäudegrundfläche bereits aufgrund steigender Ausführungsmengen bei gleichbleibenden Ressourcen zu einer höheren Bauzeit führt, ist nach Ansicht des Verfassers unstrittig. Geringere Lager- und Arbeitsflächen, z. B. in urbanen Gebieten, führen allerdings regelmäßig zu längeren Bauzeiten, da z. B. die Ressourcenanzahl eingeschränkt wird, Baugeräte nicht ihre vollen Leistungswerte erbringen können und die Gesamt-Produktivität durch die vorherrschenden Platzverhältnisse absinkt.[127] Größere Arbeits- und Lagerflächen ermöglichen hingegen Kapazitätserhöhungen ohne massive Produktivitätsminderungen, woraus verkürzte Bauzeiten entstehen können.[128] Dem generellen Anstieg der Bauzeit im RM durch die ansteigende Baufläche kann demnach aus baubetrieblicher Sicht nicht gefolgt werden. Vielmehr ist die CA nach Ansicht des Verfassers als Bezugsgröße zur Bauzeitermittlung in der vorliegenden Form ungeeignet.

Statt die Bauzeitschätzung, wie in JARKAS (2015) vorgesehen, ausschließlich auf die gesamte CA zu beziehen, wäre ein kombinierter Ansatz aus der Gebäudegrundfläche und Baustellenfläche womöglich zielführender. So könnte in einem RM beispielsweise eine Bauzeiterhöhung berücksichtigt werden, sobald die Arbeits- und Lagerflächen einen bestimmten Grenzwert in Abhängigkeit von der Gebäudegrundfläche unterschreiten.

Aus dem RM nach JARKAS (2015) resultiert weiterhin, dass die Bauzeit bei Bürogebäuden für jedes oberirdische Geschoss linear um 1,92 AT und für jedes zusätzliche unterirdische Geschoss linear um 58,54 AT ansteigt.[129] Diese pauschale Erhöhung der Ausführungszeit ist aus baubetrieblicher Sicht nicht sinnvoll. Im Verhältnis betrachtet bedeutet dies weiterhin, dass die Ausführungszeiten unterirdischer Geschosse bei Bürogebäuden im Vergleich zu Obergeschossen etwa 30,5-fach höher liegen. Dem kann aus baubetrieblicher Sicht ebenfalls nicht gefolgt werden.

Zwischenfazit 18: Da das flächenbasierte RM von JARKAS (2015) keine Bauzeiten von weniger als 453,97 AT zulässt, eine unrealistische, pauschale und lineare Erhöhung der Bauzeit für zusätzliche Geschosse vorsieht, die nicht eindeutig definierte „Construction Area“ als Bezugsgröße verwendet und deren unterstellter Einfluss auf die Bauzeit nicht eindeutig nachvollziehbar ist, kann dessen Anwendbarkeit für die Baupraxis ausgeschlossen werden.

[126] Berechnet aus RM nach JARKAS (2015), S. 6 (vgl. Eq. (L.40), Anlage).

[127] Vgl. z. B. auch HOFSTADLER (2014), S. 20, 56.

[128] Der generelle Zusammenhang zwischen der Produktivität und dem Mindestplatzbedarf verschiedener Tätigkeiten ergibt sich z. B. aus HOFSTADLER (2014), S. 129 ff.

[129] Berechnet aus RM nach JARKAS (2015), S. 6 (vgl. Eq. (L.40), Anlage).

B.2.3.3 Multiple Regressionsmodelle

Aufgrund der Komplexität multipler RM und der korrelierenden Variablen[130] ist eine baubetriebliche Plausibilitätsprüfung, wie sie für kosten- und flächenbasierte RM durchgeführt wurde, nicht zielführend. Da die gesichteten multiplen RM allerdings ausnahmslos auf den Baukosten und Gebäudegrundflächen beruhen (vgl. Eq. (L.41) bis Eq. (L.43), Anlage), sind die vorangegangenen Feststellungen für kosten- und flächenbasierte RM zum Großteil auch auf multiple RM übertragbar.

Zwischenfazit 19: Da die vorangegangenen Feststellungen für kosten- und flächenbasierte RM (vgl. Zwischenfazit 1 bis 18) z. T. auch auf multiple RM übertragbar sind, ist deren Anwendbarkeit für die Baupraxis nicht belegbar.

Weiterhin ergibt sich, dass STOY ET AL. (2007) und AHMADU ET AL. (2015) in ihren multiplen RM zwar die Gebäudegrundflächen, nicht aber die Geschossanzahl berücksichtigen (vgl. Eq. (L.41) u. Eq. (L.43), Anlage) und diese damit baubetrieblichen Grundsätzen widersprechen (vgl. Abb. 15). Anders GUERRERO ET AL. (2014), die die Geschossanzahl zusätzlich zur GFA und den Baukosten berücksichtigen (vgl. Eq. (L.42), Anlage).

Weitere Unsicherheiten bei der Anwendung resultieren aus dem RM von AHMADU ET AL. (2015), da die vier festzulegenden Variablen zur Berücksichtigung verspäteter Zahlungen, Planfreigaben und Baufeldübergaben sowie Änderungsanordnungen in AT (vgl. Eq. (L.43), Anlage) insbesondere in frühen Planungsphasen nicht fundiert festgelegt werden können.[131]

Zwischenfazit 20: Die sinnvolle baupraktische Anwendbarkeit multipler RM ist nicht belegbar.

[130] Z. B. führt die Änderung der BGF gleichzeitig zu einer Veränderung der Baukosten – so z. B. auch bei Kostenschätzungen auf Grundlage von Kostenkennwerten, die sich auf die BGF beziehen (vgl. z. B. BKI (2016)).

[131] Im Gegensatz dazu geben AHMADU ET AL. (2015) an, dass die Festlegung der genannten Variablen problemlos auf der Grundlage vergleichbarer abgeschlossener Projekte und anhand von Erfahrungswerten möglich ist (vgl. a. a. O., S. 82).

B.2.4 Kritische Würdigung der gesichteten Indirekten Methoden[132]

Eine ausführliche Darstellung der gesichteten Indirekten Methoden erfolgt in Kapitel L.1.2 (Anlage).

Zusammenfassend lässt sich für die gesichteten Indirekten Methoden festhalten, dass veröffentlichter Kennzahlen, vereinfachte Aufwandsfunktionen und Diagramme häufig ausdrücklich auf Erfahrungswerten beruhen bzw. deren Datengrundlage nicht angegeben wird.[133] Da anzunehmen ist, dass diese Erfahrungswerte aus abgeschlossenen Bauprojekten abgeleitet wurden, sind hierin mit hoher Wahrscheinlichkeit auch Bauablaufstörungen berücksichtigt, die generell zu überhöhten Ergebnissen führen.

Zwischenfazit 21: Die gesichteten Indirekten Methoden beruhen häufig auf Erfahrungswerten, die mit hoher Wahrscheinlichkeit zu überhöhten Ergebnissen führen, oder auf nicht belegten Datengrundlagen, weshalb deren Anwendbarkeit für die Baupraxis generell zumindest in Frage zu stellen ist.

Des Weiteren ist feststellbar, dass der BRI die vorwiegend verwendete Bezugsgröße der gesichteten Indirekten Methoden darstellt. Grundsätzlich gilt jedoch, dass die tatsächliche Bauzeit nicht aus dem BRI, sondern aus der Menge des verbauten Baustoffs resultiert. Der BRI kann ausschließlich einen Näherungswert darstellen, sofern vergleichbare Baustoffmengen bzw. Feststoffanteile unterstellt werden.

Zwischenfazit 22: Die Bauzeit eines Gebäudes ergibt sich aus den notwendigen Fertigungsmengen. Da die vorwiegend verwendete Bezugsgröße der gesichteten Indirekten Methoden der BRI darstellt, ist deren Anwendbarkeit für die Baupraxis nicht belegbar.

Weiterhin ist festzuhalten, dass die Genauigkeit der Bauzeitermittlung aller Indirekten Methoden von der Festlegung einer zweckmäßigen Anzahl an AK abhängig ist.

---

[132] Die Anwendbarkeit der gesichteten Ansätze in der Baupraxis setzen unter anderem voraus, dass vergleichbare Bauverfahren vorliegen. Dementsprechend kann eine unveränderte Anwendbarkeit der Ansätze aus älteren Veröffentlichungen grundsätzlich ausgeschlossen werden, da diese auf nicht mehr aktuellen Fertigungsverfahren und Aufwandswerten beruhen (vgl. z. B. die Entwicklung des Aufwandswerts von Schalarbeiten in HOFFMANN ET AL. (2012), S. 11). Die vorliegende kritische Würdigung beschränkt sich daher auf die generelle Plausibilitätsprüfung der gesichteten Ansätze.

[133] Für nicht belegte Erfahrungswerte wird an dieser Stelle beispielhaft auf SOMMER (2009), S. 110 und KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 119 f. verwiesen. Wohingegen z. B. von DREES/SPRANZ (1976) der Umfang des untersuchten Datenmaterials zur Kennzahlenermittlung angegeben wird (vgl. a. a. O., S. 86). Auch PLATZ (1982) gibt zumindest Streuungen der angesetzten Mittelwerte zur Vereinfachung der entwickelten Aufwandsfunktion an, ohne jedoch Angaben zu deren Herkunft zu machen (vgl. a. a. O., S. 97).

Zwischenfazit 23: Die Genauigkeit der Bauzeitermittlung mittels Indirekter Methoden ist zwangsläufig von der realistischen Festlegung der einsetzbaren Ressourcen abhängig.

B.2.4.1 Kennzahlen

Die Grundlage der Kennzahlen von **DREES/SPRANZ (1976)** bildet eine Auswertung von neun Hochbauprojekten.[134] Angaben zum Erhebungszeitraum sowie zum möglichen Streubereich sind nicht enthalten. Ebenso finden sich keine Hinweise, ob die angegebenen Kennzahlen für Stahlbeton-, Mauerwerksbauten und/oder Mischbauweisen anwendbar sind.

Zwischenfazit 24: Da die Kennzahlen von DREES/SPRANZ (1976) lediglich auf einer geringen Anzahl ausgewerteter Projekte beruhen, keine Angaben zum Erhebungszeitraum und Streubereichen aufweisen und nicht näher hinsichtlich des Anwendungsbereichs spezifiziert werden, ist deren Anwendbarkeit für die Baupraxis nicht belegbar.

In **BAUCH (2004)** finden sich keine Angaben zur Datengrundlage der angegebenen Kennzahlen. Obwohl auch der Erhebungszeitraum nicht ausdrücklich angegeben ist, kann auf die Aktualität der angegebenen Kennzahlen geschlossen werden, da Angaben zur Entwicklung der angegebenen Gesamt-Aufwandswerte über die vergangenen zehn Jahre gemacht werden.[135]

Obwohl von BAUCH (2004) Erläuterungen zur Festlegung des Schwierigkeitsgrads angegeben werden,[136] ist die Festlegbarkeit der Eingangsgrößen als subjektiv einzuordnen. Trotz der generellen Erläuterungen zur Anwendung der Kennzahlen bzw. zur notwendigen Festlegung des Schwierigkeitsgrads,[137] können sich aufgrund der Bandbreite der angegebenen Kennzahlen und subjektiven Einschätzungen des Schwierigkeitsgrads große Unschärfen ergeben. So unter- bzw. überschreiten die angegebenen Grenzwerte von 0,5 und 1,8 Ah/m³BRI den berechneten Mittelwert von 1,15 Ah/m³BRI um ca. ± 57 %.[138]

Zwischenfazit 25: Da die Kennzahlen von BAUCH (2004) keine Angaben zur Anzahl der ausgewerteten Projekte enthalten, keine exakten Angaben zum Erhebungszeitraum aufweisen und keine objektive Festlegung des notwendigen Schwierigkeitsgrads als Eingangsgröße ermöglichen, ist deren Anwendbarkeit für die Baupraxis nicht belegbar.

---

[134] Vgl. DREES/SPRANZ (1976), S. 86.

[135] Vgl. BAUCH (2004), S. 78.

[136] Vgl. BAUCH (2004), S. 78.

[137] Vgl. BAUCH (2004), S. 78.

[138] Berechnet aus BAUCH (2004), S. 78.

B.2.4.2 Aufwandsfunktionen

HRUSCHKA (1969) legt seiner Aufwandsfunktion einen Zusammenhang zwischen dem Gesamt-Aufwandswert für Rohbauarbeiten und dem verbauten Baustoffgewicht zugrunde (vgl. Eq. (L.44), Anlage) und validiert diesen durch die statistische Auswertung von 104 Bauobjekten.[139]

Zwischenfazit 26: Da die Aufwandsfunktion von HRUSCHKA (1969) auf der Prämisse beruht, dass der Aufwand zur Verarbeitung der Baustoffe im Rohbau pro Gewichtseinheit bei den damals üblichen Fertigungsverfahren annähernd konstant ist, und dies auf aktuelle Bauverfahren nicht mehr zutrifft,[140] kann deren Anwendbarkeit für die heutige Baupraxis ausgeschlossen werden.

Der von **PLATZ (1982)** formulierten „ursprünglichen“ [141] Aufwandsfunktion (vgl. Eq. (L.45), Anlage) kann aus baubetrieblicher Sicht grundsätzlich nicht widersprochen werden.

Der vereinfachten Aufwandsfunktion (vgl. Eq. (L.46), Anlage) von PLATZ (1982) liegt die These zugrunde, dass die Bewehrungs- und Betonagearbeiten in der ursprünglichen Aufwandsfunktion (vgl. Eq. (L.45), Anlage) *„hinreichend genau durch konstante Mittelwerte ersetzt werden [können]“*[142]. Gleichzeitig werden von PLATZ (1982) für die genannten Tätigkeiten jedoch Grenzwerte mit großen Streubereichen angegeben ohne deren Grundlage jedoch zu belegen.[143] Für Bewehrungsarbeiten wird ein Mittelwert von 30 Ah/t mit einem Streubereich von ca. ±33 %, für Betonagearbeiten ein Mittelwert von 2,20 Ah/m³ mit einem Streubereich von ca. ±36 % und für Schalarbeiten ein Mittelwert von 1,50 Ah/m² mit einem Streubereich von +66 % und -50 % angegeben.[144] Werden darüber hinaus die angegebenen üblichen Schalungs- und Bewehrungsanteile berücksichtigt und die Aufwandswerte so auf m³Feststoff umgerechnet, so steigt der Streubereich für Schalarbeiten auf ca. +122 % und ca. -56 % sowie für Bewehrungsarbeiten auf ca. +100 % und ca. -67 %.[145]

---

[139] Vgl. HRUSCHKA (1969), Abschn. 3.32.

[140] Beispielhaft wird an dieser Stelle auf die Entwicklung des Aufwandswerts von Schalarbeiten verwiesen (vgl. HOFFMANN ET AL. (2012), S. 11).

[141] „Ursprünglich“, da im Gegensatz zur „vereinfachten“ Aufwandsfunktion, keine mittleren Aufwandswerte für verschiedene Bauprozesse in Ansatz gebraht werden.

[142] PLATZ (1982), S. 97.

[143] Die angegebenen oberen und unteren Grenzwerte so wie Mittelwerte werden lediglich als im Hochbau übliche Kennzahlen bezeichnet (vgl. PLATZ (1982), S. 97).

[144] Vgl. PLATZ (1982), S. 97.

[145] Vgl. PLATZ (1982), S. 97. Anm.: Der Streubereich der Betonagearbeiten bleibt entsprechend unverändert.

Zwischenfazit 27: Da die ursprüngliche Aufwandsfunktion von PLATZ (1982) grundsätzlich auf den Fertigungsmengen und Aufwandswerten beruht, kann deren generelle Anwendbarkeit bestätigt werden.
Da die vereinfachte Aufwandsfunktion von PLATZ (1982) unter anderem auf mittleren Aufwandswerten beruhen, die teilweise große Streubereiche aufweisen und sich ausschließlich auf die damals üblichen Fertigungsverfahren beziehen, die auf aktuelle Bauverfahren nicht mehr übertrag sind, kann deren Anwendbarkeit für die heutige Baupraxis ausgeschlossen werden.[146]

GREINER ET AL. (2009) haben die ursprüngliche Aufwandsfunktion von PLATZ (1982) (vgl. Eq. (L.45), Anlage) übernommen und verwenden bei der Herleitung einer vereinfachten Aufwandsfunktion weiterhin Zeitbedarfsfunktionen, die der Ermittlung von prozessorientierter Aufwandswerte dienen (vgl. Eq. (L.47) u. Eq. (L.48), Anlage). Obwohl hierbei sowohl eigene als auch aus der Literatur entnommene Anhalts- und Erfahrungswerte verwendet werden, kann deren Herkunft nicht eindeutig ermittelt werden.[147]

Bei der Überprüfung der angegebenen Zeitbedarfsfunktionen von GREINER ET AL. (2009) ergeben sich teilweise erhebliche Widersprüche. Die angegebene Formel zur Bestimmung des Aufwandswerts für das Verlegen der Bewehrung (vgl. Eq. (L.48), Anlage) ist fehlerhaft, da für alle in der Baupraxis üblichen Bewehrungsdurchmesser negative Aufwandswerte resultieren.[148]

Weiterhin enthalten die angegebenen Zeitbedarfsfunktionen für Schalungs-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten von GREINER ET AL. (2009) jeweils einen Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung von Randzeiten.[149] Randzeiten werden jedoch als Zeitanteil eines Aufwandswerts definiert, der zwar kalkulatorisch zu berücksichtigen ist, sich jedoch nicht auf die produktive Bauleistung und damit die Bauzeit auswirkt (vgl. Kap. C.4.1.1).[150] GREINER ET AL. (2009) geben keine ausdrückliche Begründung für die Erhöhung der angegebenen Aufwandswerte durch Zuschläge für Randzeiten an. Ob es sich hierbei um einen Zuschlag zur Berücksichti-

[146] Beispielhaft wird an dieser Stelle auf die Entwicklung des Aufwandswerts von Schalarbeiten verwiesen (vgl. HOFFMANN ET AL. (2012), S. 11).

[147] Vgl. GREINER ET AL. (2009), S. 155 ff. Anm.: Dabei wird von GREINER ET AL. (2009) auf Anhaltswerte von RYBICKI (1988) verwiesen (vgl. GREINER ET AL. (2009), S. 155). Bei der Herleitung der angegebenen Anhaltswerte in RYBICKI (1988) *„wurden neben den in Ingenieurbüros angesammelten Erfahrungen zahlreiche Prospekte, Bemessungstabellen, DIN-Vorschriften, Bauaufsichtliche Zulassungen und Tabellenbücher (a. a. O., S. 292)“* sowie wie weitere Literatur verwendet (vgl. ebd.).

[148] Für Einzel- und Streifenfundamente ergeben sich z. B. – rechnerisch – bis zu einem Stabdurchmesser von ca. 100 mm negative Aufwandswerte.

[149] Vgl. GREINER ET AL. (2009), S. 158 ff.

[150] So auch von GREINER ET AL. (2009) selbst definiert (vgl. a. a. O., S. 152).

gung von Baustelleneinrichtung, Baustellenräumung und sonstigen Arbeiten handelt, wie in der Aufwandsfunktion von PLATZ (1982) enthalten (vgl. Eq. (L.45), Anlage), kann nicht eindeutig ermittelt werden.

Zwischenfazit 28: Da die vereinfachte Aufwandsfunktion von GREINER ET AL. (2009) unter anderem auf mittleren Aufwandswerten beruht, deren Herkunft und Datengrundlage nicht eindeutig dargestellt wird, ist deren Anwendbarkeit für die Baupraxis nicht belegbar.
Da die Zeitbedarfsfunktion zur Ermittlung des Aufwandswerts von Bewehrungsarbeiten von GREINER ET AL. (2009) für alle in der Baupraxis üblichen Bewehrungsdurchmesser zu negativen Aufwandswerten führt und Randzeiten, die zwar kalkulatorisch nicht aber im Rahmen der Terminplanung zu berücksichtigen sind, hinzugerechnet werden, kann deren Anwendbarkeit für die Baupraxis zumindest zum Teil ausgeschlossen werden.

KOCHENDÖRFER ET AL. (2010) haben die vereinfachte Aufwandsfunktion von PLATZ (1982), einschließlich der darin enthaltenen mittleren Aufwandswerte für Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten, unverändert übernommen.[151] Durch die Optimierung der Fertigungsverfahren in den vergangenen Jahrzehnten und den damit verbundenen Verringerungen der zugehörigen Aufwandswerte, ist die Anwendbarkeit der vereinfachten Aufwandsfunktion nach PLATZ (1982) (vgl. Eq. (L.46), Anlage) für die heutige Baupraxis jedoch in Frage zu stellen,[152] weshalb auch die Anwendbarkeit des vorgestellten Verfahrens von KOCHENDÖRFER ET AL. (2010) nicht belegbar ist.

Die von KOCHENDÖRFER ET AL. (2010) vorgesehene Bestimmung des Feststoffanteils auf Grundlage des Verhältnisses zwischen der mittleren lichten Geschosshöhe und der mittleren Geschosshöhe sowie des Verhältnisses zwischen der KGF und der BGF wirkt auf den ersten Blick schlüssig. Allerdings wird nicht berücksichtigt, dass die KGF, die die Grundfläche aller aufgehenden Baukonstruktionen beinhaltet,[153] auch Bauelemente umfasst, die nicht massiv sondern z. B. als Ständerwände gefertigt werden. Der resultierende Feststoffanteil und die Bauzeit erhöhen sich bei nicht Beachtung dieses Zusammenhangs entsprechend.

Zwischenfazit 29: Da die Aufwandsfunktion von KOCHENDÖRFER ET AL. (2010) der vereinfachten Aufwandsfunktion von PLATZ (1982) entspricht, kann deren Anwendbarkeit für die heutige Baupraxis ausgeschlossen werden.

[151] Vgl. KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 119 i. V. m. PLATZ (1982), S. 97.

[152] Beispielhaft wird an dieser Stelle auf die Entwicklung des Aufwandswerts von Schalarbeiten verwiesen (vgl. HOFFMANN ET AL. (2012), S. 11).

[153] Vgl. DIN 277-1 (2016), S. 4.

B.2.4.3 Graphische Verfahren

Die vorgestellten Diagramme von **HOFSTADLER (2007)** sind grundsätzlich schlüssig (vgl. Abb. 102 und Abb. 103, Anlage).

Die Anwendung in den frühen Planungsphasen setzt die projektspezifische Festlegung eines mittleren Gesamt-Aufwandswerts für die Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten von vertikalen und horizontalen Bauteilen in Ah pro m³BRI (vgl. Abb. 102, Anlage) – und damit auch die projektspezifische Abschätzung des Anteils vertikaler und horizontaler Bauteile sowie des Bewehrungs- und Schalungsanteils – voraus.

Im Gegensatz zu den übrigen Indirekten Methoden ermöglichen die Diagramme von HOFSTADLER (2007) eine schnelle und einfache Gegenüberstellung von Bauzeiten bei abweichenden Eingangswerten.

Zwischenfazit 30: Die sichere Anwendung der Diagramme von HOFSTADLER (2007) in den frühen Planungsphasen setzt die projektspezifische Festlegung eines mittleren Gesamt-Aufwandswerts für die Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten der vertikalen und horizontalen Bauteile voraus.

In **SOMMER (2009)** finden sich keinerlei Angaben zur Datengrundlage und dem Erhebungszeitraum des dargestellten Diagramms. Ebenso wird nicht angegeben, ob das Diagramm auf Stahlbeton-, Mauerwerksbauten und/oder Mischbauweisen anwendbar ist. Weiterhin werden keine näheren Spezifizierungen der angegebenen Schwierigkeitsgrade „einfach“, „mittel“, schwierig“ und „sehr schwierig“ angegeben,[154] weshalb die Abschätzung des Schwierigkeitsgrads als äußerst subjektiv einzuordnen ist.

Der sicheren Anwendung des Diagramms von SOMMER (2009) steht weiterhin die Streuung der resultierenden Gesamt-Aufwandswerte entgegen. Bereits für Gebäude mit einem Schwierigkeitsgrad von „mittel“ bis „schwierig“ ergeben sich Gesamt-Aufwandswerte von 0,5 bis 0,9 Ah pro m³BRI für oberirdische Geschosse bzw. 1,1 bis 1,6 Ah pro m³BRI für unterirdische Geschosse, was Abweichungen von ±29 % bzw. ±23 % von den jeweils berechneten

[154] Ob sich die Angaben „einfach“, „mittel“, „schwierig“ und „sehr schwierig“ auf der Ordinate tatsächlich auf den Schwierigkeitsgrad beziehen, wird von SOMMER (2009) nicht ausdrücklich angegeben (vgl. a. a. O., S. 110).

Mittelwerten entspricht.[155] Für Gebäude mit einem Schwierigkeitsgrad von „schwierig“ bis „sehr schwierig“ steigen diese Abweichungen auf ±72 % bzw. ±61 % an.[156]

Bei der weitergehenden Literaturrecherche zeigte sich außerdem, dass das dargestellte Diagramm in identischer Form bereits in SOMMER (1994) veröffentlicht wurde.[157] Weiterentwicklung von Bauverfahren der vergangenen Jahre werden dementsprechend nicht berücksichtigt.[158]

Zwischenfazit 31: Da das Diagramm von SOMMER (2009) keine Angaben zur Datengrundlage, zum Erhebungszeitraum und zum Anwendungsbereich enthält, keine objektive Festlegung der Eingangsgrößen möglich ist, die angegebenen Diagrammwerte große Streubereiche aufweisen und in den vergangenen 25 Jahren unverändert geblieben sind, kann dessen Anwendbarkeit für die heutige Baupraxis ausgeschlossen werden.

B.2.4.4 Alternative Ansätze

GREITEMANN (2017) verfolgt einen anderen Ansatz. Ausgehend vom Objektsoll wird ein Bauzeitermittlungsverfahren für den Roh- und Ausbau vorgestellt (vgl. Kap. L.1.2.4, Anlage), das die Ermittlung der Gesamtbauzeit und Vertragstermine aller Gewerke aus Sicht des Bauherrn zum Ziel hat.[159] GREITEMANN (2017) fasst Bauprozesse zu Modulen zusammen, wobei keine Abbildung der Bauprozesse und deren AOB stattfindet.[160]

Anders als das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte prozessorientierte Verfahren, findet das Verfahren von GREITEMANN (2017) erst nach der Anfertigung des ersten Bauentwurfs in LPH 3 Anwendung.[161]

[155] Die Gesamt-Aufwandswerte wurden aus Abb. 104 (Anlage) ermittelt. Der berechnete Mittelwert für oberirdische Geschosse beträgt 0,7 Ah pro m³BRI und für unterirdische Geschosse 1,35 Ah pro m³BRI.

[156] Die Gesamt-Aufwandswerte für oberirdische Geschosse wurden aus Abb. 104 (Anlage) zu 0,9 bis 2,2 Ah pro m³BRI (berechneter Mittelwert = 1,55 Ah pro m³BRI) und für unterirdische Geschosse zu 1,6 bis 3,55 Ah pro m³BRI (berechneter Mittelwert = 2,575 Ah pro m³BRI) ermittelt.

[157] Vgl. SOMMER (1994), S. 120 i. V. m. SOMMER (2009), S. 110.

[158] Beispielhaft wird an dieser Stelle auf die Entwicklung des Aufwandswerts von Schalarbeiten verwiesen (vgl. HOFFMANN ET AL. (2012), S. 11).

[159] Vgl. GREITEMANN (2017), S. 9.

[160] Vgl. GREITEMANN (2017), S. 184 ff.

[161] Vgl. GREITEMANN (2017), S. 7.

B.2.5 Schlussfazit

Auf Grundlage der vorangegangenen kritischen Würdigung der Direkten und Indirekten Methoden (vgl. Kap. B.2.3 u. Kap. B.2.4) lassen sich folgende Problematiken aus der gesichteten Literatur zusammenfassen, die auch bei der Festlegung der definierten Zielstellung berücksichtigt werden (vgl. Kap. A.2):

- Unrealistische Ergebnisse und z. T. auch negative Bauzeiten (vgl. Zwischenfazit 9 bis 11, 17, 18 u. 28)
- Verletzung baubetrieblicher Grundsätze bzw. kein baupraktischer Bezug (vgl. Zwischenfazit 7, 8, 13 bis 16, 18, 22 u. 28)
- Nicht eindeutig definierte Eingangsgrößen (vgl. Zwischenfazit 16, 18 u. 31)
- Subjektiv einschätzbare Eingangsgrößen (vgl. Zwischenfazit 4, 25, 30 u. 31)
- Fragwürdiger Zusammenhang zwischen zugrunde gelegten Eingangsgrößen und Bauzeit (vgl. Zwischenfazit 2, 3, 5, 6 u. 12)
- Erfahrungswerte ohne Beleg der Herkunft, der Anzahl der ausgewerteten Projekte und/oder des Erhebungszeitraums (vgl. Zwischenfazit 21, 24, 25, 28 u. 31)
- Fehlende Spezifizierung des Anwendungsbereichs (vgl. z. B. Zwischenfazit 24)
- Unabhängigkeit von der Anzahl wirtschaftlich einsetzbarer Ressourcen bei der Anwendung Direkter Methoden (vgl. Zwischenfazit 1)
- Fehlende Anwendbarkeit auf heutige Bauverfahren (vgl. Zwischenfazit 26, 27, 29 u. 31)
- Modellentwicklung bzw. Kennzahlenermittlung auf Grundlage statistischer Auswertungen tatsächlicher Bauzeiten ohne Angaben zum Umgang mit darin möglicherweise enthaltenen Störungen und Beschleunigungsmaßnahmen (vgl. Zwischenfazit 1 u. 24)
- Teilweise enorme Bandbreiten der resultierenden Bauzeiten selbst bei Anwendung eines einzelnen Verfahrens (insbesondere Kennzahlen)

Die ermittelten Problematiken gilt es bei der Entwicklung des Bauzeitermittlungsverfahrens zu vermeiden bzw. bei der Formulierung der Zielstellung (vgl. Kap. A.2) zu berücksichtigen.

C. Grundlagen der Verfahrensentwicklung

Die Erläuterung der Grundlagen ist thematisch analog zum Aufbau der Arbeit gegliedert (vgl. Kap. A.6). Zunächst erfolgt die erfolgt die Darstellung der notwendigen Grundlagen zur Entwicklung des BAM und Referenzgebäudes (vgl. Kap. C.1 u. Kap. C.2). Anschließend werden die Grundlagen zur Ermittlung der Fertigungsmengen und der Bauzeit erläutert (vgl. Kap. C.3 u. Kap. C.4).

C.1 Bauablauf-Modell

Der Bauzeitermittlung liegt ein BAM (Netzplan) zugrunde, das festgelegte potenziell bauzeitbestimmende Vorgänge[162] enthält und auf Grundlage eines prozessorientierten Projektstrukturplans (PSP)[163] entwickelt wird (vgl. Kap. D).

Das BAM stellt einen idealisierten Ablaufplan dar, der Einarbeitungseffekte sowie mögliche Störungen durch Witterungseinflüsse, verspätete Bereitstellung von Ausführungsplänen, nicht erfolgte Materiallieferungen usw. nicht berücksichtigt. Weiterhin werden ausschließlich Schalungs-, Randschalungs-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten berücksichtigt, da diese Prozesse, wie gezeigt wird, für die Ermittlung der Rohbaudauer maßgebend sind. Auf eine pauschale Erhöhung des Arbeitsaufwands zur Berücksichtigung weiterer Einflüsse, wie z. B. Zuschlagsfaktoren für die Berücksichtigung sonstiger Arbeiten,[164] wird verzichtet. Einerseits, da der Fokus des entwickelten Verfahrens auf der Ermittlung wirtschaftlicher Bauzeiten bei einem wirtschaftlichen Bauablauf ohne Störungen liegt, und andererseits, um die Transparenz der verwendeten Parameter und des dargestellten Verfahrens insgesamt zu erhöhen.

Dem BAM wird eine Unterteilung des Referenzgebäudes in Fertigungsabschnitte bzw. Takte zugrunde gelegt, um für spezialisierte Kolonnen (vgl. Kap. G.1.3.4) eine Wiederholung (nahezu) gleicher Ablaufabschnitte zu erzielen.[165] Durch Taktfertigung und den Einsatz spezialisierter Kolonnen kann die Produktivität gesteigert und gleichzeitig die notwendigen Vorhaltemengen, z. B. von Schalung, reduziert werden.[166]

---

[162] Die Definition des Begriffs „potenziell bauzeitbestimmende Vorgänge“ ergibt sich aus dem Glossar.

[163] PSP dienen der überschaubaren Gliederung komplexer Projekte in planbare Teilprojekte bzw. Arbeitspakete (vgl. KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 81).

[164] Vgl. z. B. PLATZ (1982), S. 97.

[165] Vgl. BERNER ET AL. (2013), S. 87.

[166] Vgl. GRALLA (2011), S. 250 u. HOFSTADLER (2014), S. 203.

Ein Fertigungsabschnitt kann generell ein gesamtes Geschoss oder ein Teil eines Geschosses umfassen, wobei auch vorlaufende, von der übrigen Taktung weitestgehend unabhängige Bauelemente (z. B. Gebäudekerne) möglich sind. Mögliche Taktfolgen sind in Abb. 19 schematisch dargestellt.

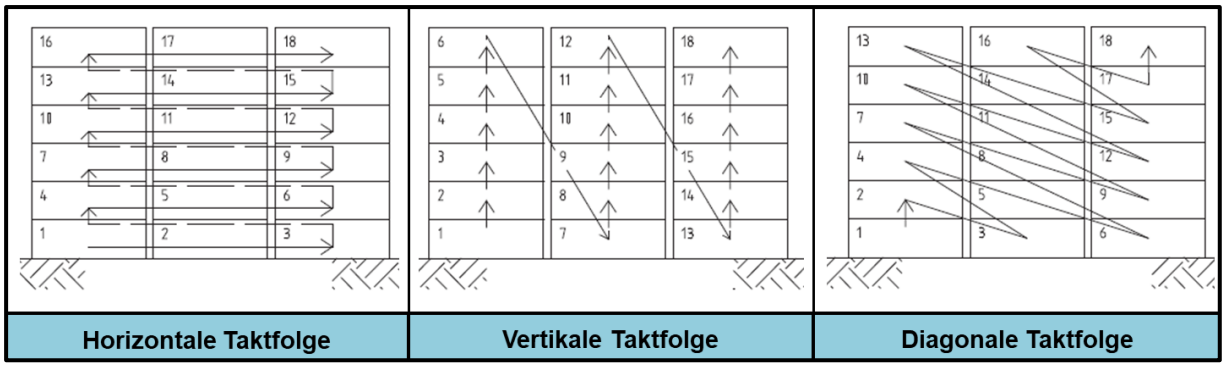


Abb. 19: Taktfolgen im Hochbau[167]

Dem BAM wird eine horizontale Taktfolge (ohne vorlaufende Bauteile, vgl. Kap. A.3) zugrunde gelegt, da hierdurch eine Minimierung von Leer- und Wartezeiten[168] erzielt werden kann. Dies wird in Abb. 20 veranschaulicht in der Ablaufpläne eines exemplarischen Bauobjekts bei horizontaler, vertikaler und diagonaler Taktfolge gegenübergestellt sind.

Aus Abb. 20 ergibt sich, dass Leerzeiten durch horizontale Taktfolgen im Vergleich zur vertikalen und diagonalen Taktfolge deutlich reduziert werden können. Auch Wartezeiten können deutlich reduziert und damit eine kontinuierlichere Auslastung der Kolonnen erzielt werden. Insgesamt ist durch die gewählte horizontale Taktfolge für das vorliegende Beispiel eine deutlich kürzere Bauzeit möglich.

C.2 Referenzgebäude

Der Bauzeitermittlung liegt ein Referenzgebäude zugrunde, das einen für die vorgesehene Typologie (z. B. Bürogebäude) möglichen Gebäudeaufbau darstellt und anhand der definierten Eingangs- und/oder Gebäudeparameter bestimmt wird.

[167] BERNER ET AL. (2013), S. 87 (schematisch).

[168] Die Definitionen der Begriffe „Leerzeit“ und „Wartezeit“ ergeben sich aus dem Glossar.

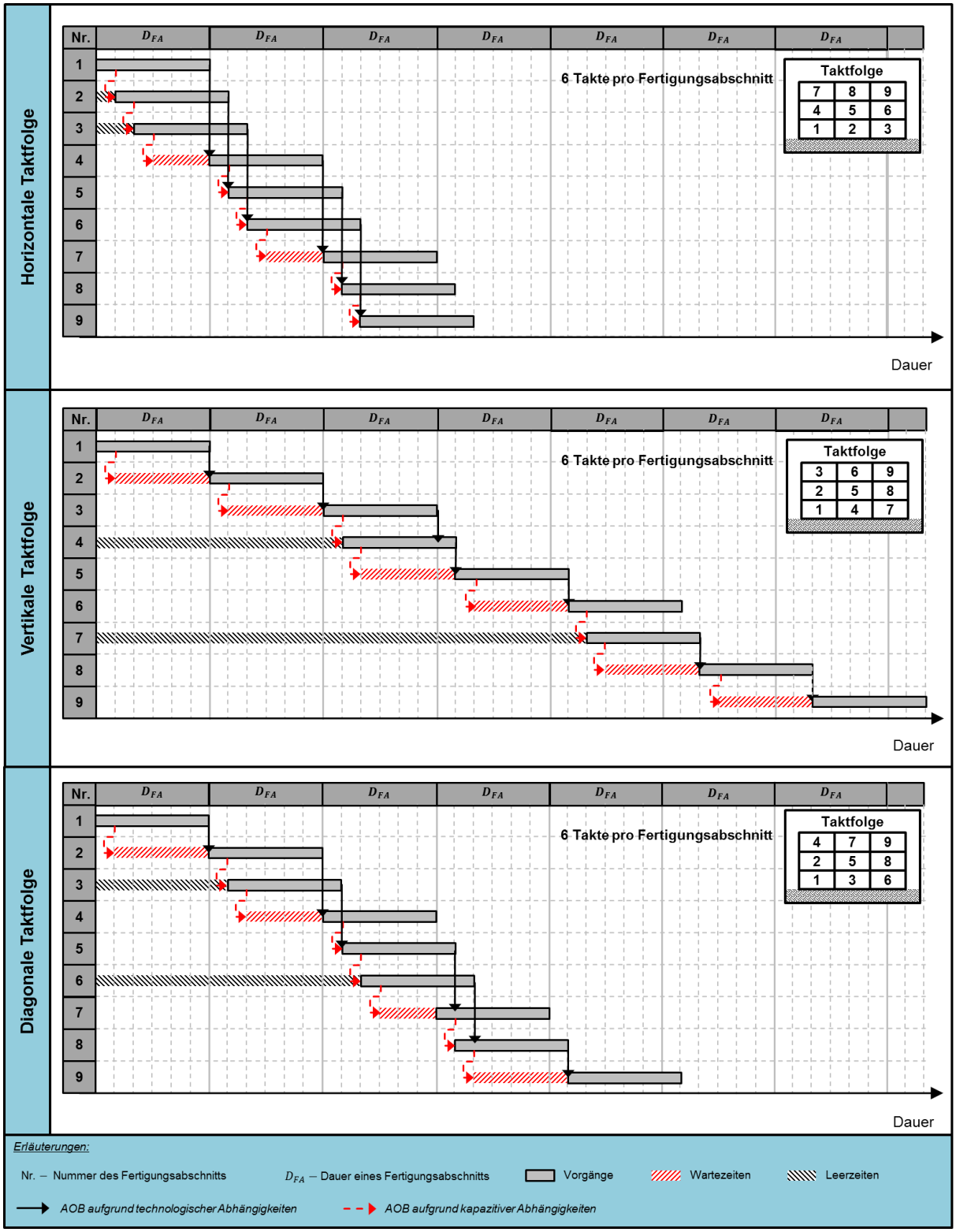


Abb. 20: Bauabläufe unterschiedlicher Taktfolgen[169]

[169] Eigene Darstellung (exemplarisch für ein dreigeschossiges Gebäude mit drei Fertigungsabschnitten pro Geschoss). Einarbeitungseffekte bleiben unberücksichtigt (vgl. Kap. C.1).

C.2.1 Ableitung von Parametern aus Literaturangaben

Die minimalen, erwarteten und maximalen Soll-Werte der Gebäudeparameter „Geschosshöhe der Regelgeschosse (RG)“ (RG-Höhe), „Gebäudetiefe“ und „Bewehrungsanteil“ (vgl. Kap. E.2.1, Kap. E.2.5 u. Kap. E.2.15) sowie die Parameter „BGF-Bedarf pro Arbeitsplatz (AP)“ und „Verhältnis zwischen der Netto-Raumfläche [170] (NRF) und BGF“(vgl. Kap. E.2.13.2) werden auf Grundlage von Literaturangaben, mittels Balkenplänen und Kumulationen wie folgt ermittelt (vgl. Abb. 137 bis Abb. 147, Anlage):

Balkenplan

Auf der Ordinate werden die recherchierten Literaturangaben aufgetragen, wobei angegebene Wertebereiche und Einzelwerte von Minimal- und Maximalwerten differenziert werden. Auf der Abszisse werden die jeweiligen Literaturangaben maßstäblich bezogen auf die jeweilige Bezugsgröße dargestellt. Wertebereiche werden als Balken – teilweise farblich differenziert bzw. gruppiert – und Einzelwerte als Rauten visualisiert.

Minimal- oder Maximalwerte werden in Form von Dreiecken dargestellt und in idealisierte Balken überführt. Da die Überführung in idealisierte Balken dazu führt, dass aus angegebenen Minimal- und Maximalwerten Balken bis hin zum Wert „unendlich“ bzw. „null“ resultieren, werden die idealisierten Balken nur bis zum niedrigsten bzw. höchsten Wert der angegebenen Wertebereiche oder Einzelwerte berücksichtigt und entsprechend „abgeschnitten“.

Kumulation

In den Kumulationen unterhalb des Balkenplans wird jeweils die Anzahl der angegebenen Werte im Balkenplan aufsummiert.

Auf Grundlage der Kumulationen werden anschließend die jeweiligen minimalen, erwarteten und maximalen Parameter wie folgt ermittelt:

- *Erwarteter Wert:* Der erwartete Wert resultiert aus dem Modalwert der jeweiligen Kumulation (vgl. z. B. Abb. 139, Anlage; hier: „Gruppenbüros, UDmL“). Ergibt eine Kumulation keinen eindeutigen Modalwert sondern einen oder mehrere Wertebereich/e (vgl. z. B. Abb. 137, Anlage; hier: „Zellenbüros, oUD“ u. Abb. 141, Anlage; hier: „Einbündige Anlagen“), so wird als erwarteter Wert dessen bzw. deren Mittelwert in Ansatz gebracht.

[170] Die Definition des Begriffs „Netto-Raumfläche“ ergibt sich aus dem Glossar.

- *Minimaler und maximaler Wert:* Für den minimalen Wert wird das 5 %-Quantil und für den maximalen Wert das 95 %-Quantil der jeweiligen Kumulation in Ansatz gebracht (vgl. z. B. Abb. 143, Anlage; hier: „Gruppenbüros, dreibündig“).

C.2.2 Gebäudeprofil

C.2.2.1 Flächenbedarf des Nutzers

Der Flächenbedarf des Nutzers bezieht sich, anders als die Definition der BGF gemäß DIN 277-1 (2016),[171] auf die Rohbaumaße des Referenzgebäudes und wird als Summe der Grundflächen des EG und aller RG definiert, wobei jeweils die äußeren Maße des Rohbaus angesetzt werden. Bekleidungen (z. B. die Außenseite von Putzschichten oder Außenschalen mehrschaliger Wandkonstruktionen) bleiben entsprechend unberücksichtigt. Im weiteren Verlauf der Ausarbeitung werden vorhandene Abweichungen zwischen der Gebäudegrundfläche des Rohbaus und der Gebäudegrundfläche, die rechnerisch aus der BGF und Geschossanzahl resultiert, als marginal eingestuft und entsprechend vernachlässigt.[172]

C.2.2.2 Büroorganisationsform/Bürotypen

Die zweckmäßige Büroorganisationsform (in der vorliegenden Arbeit als „Bürotyp“ bezeichnet) ergibt sich unter anderem aus den innerbetrieblichen Arbeitsabläufen.[173] Obwohl eine Vielzahl unterschiedlicher Bürotypen existiert, in den vergangenen Jahren auch Bürokonzepte vorgesehen wurden, die keine eindeutige Definition des Bürotyps zulassen, und auch Kombinationen verschiedener Bürotypen innerhalb eines Gebäudes und Geschosses möglich sind, werden in der Literatur regelmäßig vier klassische Bürotypen klassifiziert, die auch bei der Entwicklung des Referenzgebäudes zugrunde gelegt werden:[174]

- *Zellenbüros*:[175] Aneinanderreihung von räumlich abgetrennten Einzel- und Mehrpersonenbüros entlang der Fassade.

---

[171] Vgl. DIN 277-1 (2016), S. 10.

[172] Vgl. Glossar (hier: „Gebäudegrundfläche“).

[173] Vgl. LÖHNERT (2006), S.11 u. STANIEK (2005), S. 55. Anm.: Eine umfangreiche Zusammenfassung von Einflussfaktoren auf die Auswahl des zweckmäßigen Bürotyps findet sich z. B. in STANIEK (2005), S. 55.

[174] Vgl. STANIEK (2005), S. 56. Anm.: Weitere Bürotypen sind z. B. Business-Clubs, Reversible Büros und Non-territoriale Bürokonzepte (vgl. z. B. a. a. O., S. 59 f., 64 ff.). Für eine weitergehende Erläuterung der angegebenen Bürotypen wird z. B. auf HEISEL (2013), S. 273 ff.; STANIEK (2005), S. 55 ff. u. LÖHNERT (2006), S. 11 ff. verwiesen.

[175] Vgl. HEISEL (2013), S. 273 u. STANIEK (2005), S. 57, 62.

- Kombibüros:[176] Aneinanderreihung räumlich abgetrennter Einzel- und Mehrpersonenbüros entlang der Fassade und einem innenliegendem Gemeinschaftsbereich.
- *Gruppenbüros*:[177] Aneinanderreihung von räumlich abgetrennten, offenen Raumstrukturen mit bis zu 20 bis 25 Arbeitsplätzen in einem Raum.
- *Großraumbüros*:[178] Offene Raumstruktur mit mehr als 20 Arbeitsplätzen und flurloser Gebäudeerschließung (vgl. Kap. C.2.2.3). Den einzigen festen Einbau stellt der Gebäudekern mit Treppenhäusern, Aufzugsschächten und Toiletten dar.

Exemplarische Grundrisse der genannten Bürotypen sind in Abb. 21 dargestellt.

Da moderne Büroimmobilien – insbesondere bei geplanten Vermietungen – für alle gängigen Nutzungsanforderungen geeignet sein sollten, um die Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit im Lebenszyklus der Immobilie zu steigern,[179] wird bei der Verfahrensentwicklung zusätzlich der Bürotyp „Flexibel“ (vgl. Kap. E.1.1.2) definiert.

Durch die anwenderspezifische Vorgabe des Bürotyps „Flexibel“ können unterschiedliche Bürotypen innerhalb des Gebäudes, aber auch innerhalb eines einzelnen Geschosses, ermöglicht werden.

Der Bürotyp beeinflusst insbesondere die zweckmäßige RG-Höhe (vgl. Kap. E.2.1) und zweckmäßige Gebäudetiefe (vgl. Kap. E.2.5). Um die Umnutzbarkeit des Gebäudes auf alle gängigen Bürotypen zu ermöglichen, werden bei Vorgabe des Bürotyps „Flexibel“ entsprechend multifunktionale Werte für die RG-Höhe (vgl. Kap. E.2.1.3) und Gebäudetiefe (vgl. Kap. E.2.5.3) festgelegt, woraus sich vergleichsweise höhere Fertigungsmengen ergeben.

C.2.2.3 Bundanzahl/Gebäudeerschließungsart

Die Bundanzahl bzw. Gebäudeerschließungsart ergibt sich aus der Anzahl der im Grundriss parallel angeordneten Erschließungsflure und wirkt sich maßgeblich auf die Gebäudetiefe aus.

Obwohl auch Kombinationen unterschiedlicher Gebäudeerschließungsarten innerhalb eines Geschosses und/oder Bauobjektes möglich sind,[180] wird für das gesamte Referenzgebäude eine gleichbleibende Bundanzahl zugrunde gelegt, wobei eine Beschränkung auf flurlose sowie ein-, zwei- und dreibündige Gebäudeerschließungen erfolgt (vgl. Abb. 22).

---

[176] Vgl. STANIEK (2005), S. 58, 63.

[177] Vgl. HEISEL (2013), S. 274 u. STANIEK (2005), S. 57, 61.

[178] Vgl. HEISEL (2013), S. 275 u. STANIEK (2005), S. 56, 60.

[179] Vgl. FUCHS (2002), S. 41.

[180] Vgl. HEISEL (2013), S. 280.

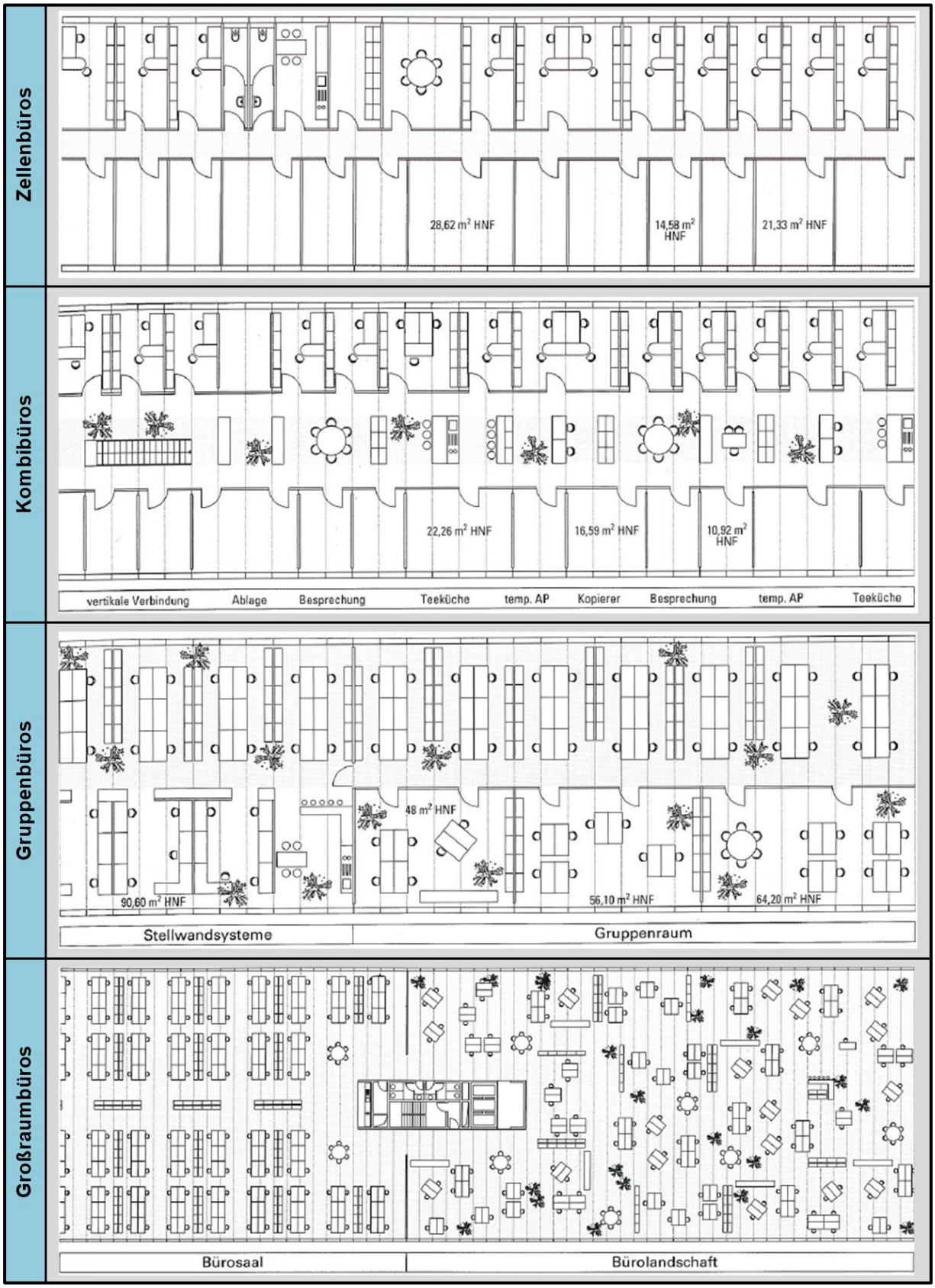


Abb. 21: Mustergrundrisse von Zellen-, Kombi-, Gruppen- und Großraumbüros[181]

[181] Vgl. STANIEK (2005), S. 60 ff.

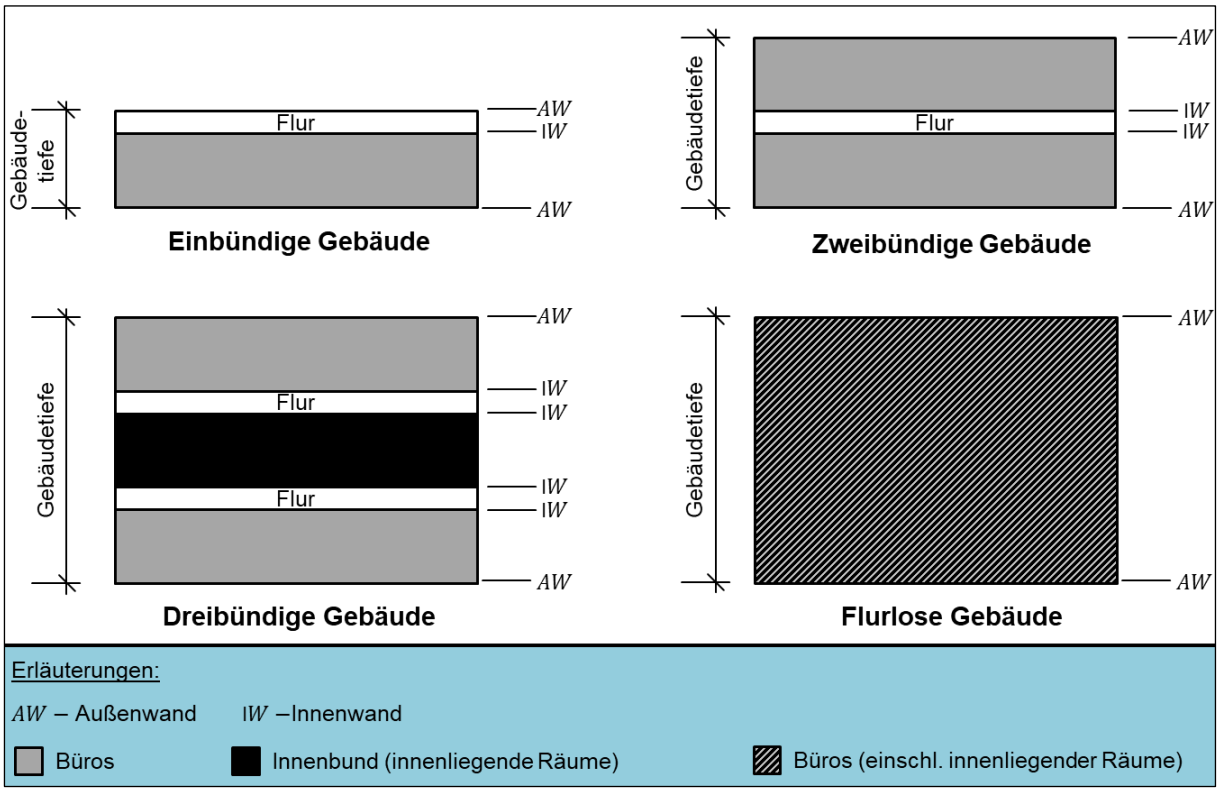


Abb. 22: Grundrissaufteilungen bei unterschiedlichen Bundanzahlen[182]

Einbündige Gebäudeerschließungen, bei denen ein Flur einseitig angeordnete Büroräume erschließt, sind aufgrund ihres hohen Erschließungsanteils i. d. R. unwirtschaftlich und nur bei tiefen Büroräumen vertretbar.[183] Zweibündige Gebäudeerschließungen, bei denen ein Flur beidseitig angeordnete Büroräume erschließt, sind als Standardlösung für Bürogebäude anzusehen.[184] Bei dreibündigen Anlagen erschließen zwei parallel verlaufende Flure die an den Außenseiten des Gebäudes angeordneten Büroräume und einen zwischen den Fluren angeordneten Innenbund.[185] Der Innenbund kann einzelne oder mehrere hintereinander angeordnete Räume enthalten, wie z. B. Treppenhäuser, Aufzüge, Toilettenanlagen, Archive aber auch Besprechungsräume und Labore sowie bei Kombibüros auch Gemeinschaftsbereiche. Für Großraumbüros ist auch die Umsetzung flurloser Erschließungstypen möglich.[186]

[182] Eigene Darstellung (schematisch).

[183] Vgl. HEISEL (2013), S. 280 u. KISTER ET AL. (2016), S. 492.

[184] Vgl. HEISEL (2013), S. 281 u. KISTER ET AL. (2016), S. 492.

[185] Vgl. HEISEL (2013), S. 282.

[186] Vgl. HEISEL (2013), S. 283.

C.2.3 Maß der baulichen Nutzung

Das Maß der baulichen Nutzung ist im Bebauungsplan gemäß der Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO) stets durch die Angabe der GRZ oder der zulässigen Grundfläche der baulichen Anlage und bei Bedarf auch durch die Angabe der zulässigen Anzahl der Vollgeschosse[187] oder die zulässige Höhe der baulichen Anlage festzusetzen.[188] Weitere mögliche Vorgaben zur Festsetzung des Maßes der baulichen Nutzung ergeben sich aus § 16 Abs. 2 BauNVO. Die Definition des Maßes der baulichen Nutzung ist im Rahmen des entwickelten Verfahrens auf folgende Angaben beschränkt:[189]

- Baugrundstücksfläche
- Zulässige Grundfläche der baulichen Anlage
- Grundflächenzahl (GRZ)
- Geschossflächenzahl (GFZ)
- Zulässige Anzahl von Vollgeschossen
- Zulässige Höhe der baulichen Anlage

Neben den genannten Parametern können auch andere Vorgaben Auswirkungen auf die Gebäudegeometrie haben (z. B. Abstandsflächen, Baulinien, Baugrenzen usw.), die bei der Ermittlung des Referenzgebäudes jedoch vernachlässigt werden, da davon ausgegangen wird, dass diese Vorgaben durch die Anordnung kombiniert-rechteckiger Grundrissformen i. d. R. eingehalten werden können. Weiterhin ist die projektspezifische Anpassung der Gebäudegeometrie bei der Verfahrensanwendung möglich.

---

[187] Die Definition des Begriffs „Vollgeschoss“ ergibt sich aus dem Glossar.

[188] Vgl. § 16 Abs. 3 BauNVO. Anm.: Bei fehlender Festlegung der GRZ und GFZ ergeben sich die Obergrenzen aus § 17 Abs. 1 BauNVO, die unter den in § 17 Abs. 2 BauNVO angegebenen Voraussetzungen auch überschritten werden dürfen. Neben zulässigen Höchstmaßen können auch entsprechende Mindestmaße oder zwingende Maße festgelegt werden (vgl. § 16 Abs. 4 BauNVO). Bei der Festlegung der Geschossanzahl und -höhen gilt es dies entsprechend zu berücksichtigen.

[189] Die zugehörigen Begriffsdefinitionen ergeben sich aus dem Glossar. Auf die Berücksichtigung der Baumassenzahl zur Berechnung der Gebäudegrundfläche wird verzichtet. Anm.: *„Die Baumassenzahl gibt an, wieviel Kubikmeter Baumasse je Quadratmeter Grundstücksfläche […] zulässig sind (§ 21 Abs. 1 BauNVO)“*.

C.2.4 Gebäudeparameter

C.2.4.1 Flächenbedarf von Installationsschächten

Bei der Bemessung des Flächenbedarfs und Querschnitts der Installationsschächte sind die Anzahl und Außendurchmesser der Rohrleitungen und Lüftungskanäle einschließlich deren Dämmung sowie ein entsprechender Arbeitsraum, mögliche Abzweigungen und Armaturen zu berücksichtigen.[190] Weiterhin kann die Berücksichtigung entsprechender Reserven zur Steigerung der Gebäudeflexibilität zweckmäßig sein.

Der Flächenbedarf von Installationsschächten kann für übliche TGA-Belegungen anhand von Kennwerten gemäß VDI 2050-1.1 (2017) ermittelt werden, die als prozentualer Anteil der BGF der Installationsschächte an der BGF des Gebäudes angegeben sind.[191] Die Ermittlung erfolgt gemäß VDI 2050-1.1 (2017) durch die Festlegung von acht Auswahlkriterien in Tabellenform und ist für die Entwicklung des Referenzgebäudes in Tab. 2 dargestellt.

Von den angegebenen Auswahlkriterien 1 bis 5 dürfen jeweils nur eine und von Kriterium 6 bis 8 jeweils maximal drei Festlegungen in den Spalten B, C oder D getroffen werden.[192] Nach Festlegung aller Kriterien wird die Anzahl der ausgewählten Kriterien in den Spalten B, C und D in der Zeile „Summe“ kumuliert.[193] Aus dem Maximum resultiert die entsprechende Einstufung des Platzbedarfs der Installationsschächte bezogen auf die BGF des Gebäudes:[194]

- Geringer Platzbedarf (≤ 1 %)
- Mittlerer Platzbedarf (≤ 2 %)
- Hoher Platzbedarf (> 2 %)

[190] Vgl. BOHNE (2014), S. 23.

[191] Vgl. VDI 2050-1.1 (2017), S. 7 ff.

[192] Vgl. VDI 2050-1.1 (2017), S. 7.

[193] Vgl. VDI 2050-1.1 (2017), S. 7.

[194] Vgl. VDI 2050-1.1 (2017), S. 8.

Tab. 2: Flächenbedarf von Installationsschächten nach VDI 2050-1.1 (2017)[195]

A	B	C	D	E	
Krite-rium	Einstufung der BGF des Installationsschachts[c)]			Gewichtung 1 bis 3	
	Gering bis 1 % pro m²BGF	**Mittel** über 1 bis 2 % pro m²BGF	**Hoch** über 2 % pro m²BGF		
1 Gebäudeklasse-MBO					Gewichtung mit 1, 2 oder 3
1.1	**GKL 1[a)]**				
1.2	**GKL 2[a)]**				
1.3		**GKL 3**	**GKL 3**		
1.4			**GKL 4**		
1.5			**GKL 5**		
2 Gebäudetyp					
2.1	Wohnhaus	Wohnhaus			
2.2	Verkaufsstätte	Verkaufsstätte	Verkaufsstätte		
2.3	Discounter	Discounter			
2.4		**Büro und Verwaltung**	**Büro und Verwaltung**		
…		…	…		
2.12		Industrie	Industrie		
3 Gebäudegrundriss					
3.1	quadratisch/rund				
3.2	**rechteckig**				
3.3		sternförmig	sternförmig		
3.4		Atrium	Atrium		
3.5		Freiform	Freiform		
4 Anzahl Schächte [b)]					
4.1	**geringe**	mittlere	hohe		
4.2	*(bis 3 St. pro 1.000 m² Gebäudegrundfläche)*	*(4 St. bis 5 St. pro 1.000 m² Gebäudegrundfläche)*	*(ab 6 St. pro 1.000 m² Gebäudegrundfläche)*		
5 Schachtanordnung					
5.1		**in Reihe, radial**	**in Reihe, radial**		
5.2	zentral	zentral	zentral		
5.3	frei	frei	frei		
6 Schachtausführung					Gewichtung mit 1, 2 und 3 (jeweils einmal)
6.1		**Beton**	**Beton**		
6.2		Mauerwerk	Mauerwerk		
6.3	Trockenbau	Trockenbau			
6.4		nach DIN 4102-4	nach DIN 4102-4		
6.5		nach DIN 4102-11	nach DIN 4102-11		
6.6	konfektioniert/System	konfektioniert/System			
7 Grundrisssituation					
7.1		frei stehend	frei stehend		
7.2		einseitig angebaut	einseitig angebaut		
7.3	zweiseitig angebaut	zweiseitig angebaut			
7.4	dreiseitig angebaut				
7.5	**vierseitig angebaut**				
7.6	raumabschl. Wand	raumabschl. Wand			
7.7	notwendiger Flur	notwendiger Flur			
7.8	notw. Treppenraum	notwendiger Treppenraum			

Fortsetzung Tab. 2 auf Folgeseite

[195] Vgl. VDI 2050-1.1 (2017), S. 9. Anm.: Die farblichen Hervorhebungen ergeben sich aus den Festlegungen zur Ermittlung des Flächenbedarfs der Installationsschächte in Kapitel E.2.12.

Fortsetzung Tab. 2

8 TGA					**Gewichtung mit 1, 2 und 3 (jeweils einmal)**
8.1	LAN	LAN	LAN		
8.2	Fernmeldeleitung				
8.3		**RLT zentral**	**RLT zentral**		
8.4		RLT dezentral			
8.5	Versorgung	Versorgung	Versorgung		
8.6	Entsorgung	Entsorgung	Entsorgung		
8.7			Brandmeldeanlage		
8.8			RAS		
8.9	Alarmierungsanlage				
8.10			CO-Warnanlage		
8.11		Sicherheitsstromversorg.			
Σ	bis 11	bis 22	bis 33		

Erläuterungen:
a) Für GKL 1 und GKL 2 ist eine überschlägige Ermittlung anhand der Tabelle in aller Regel nicht erforderlich.
b) Für die überschlägige Einschätzung wird die BGF eines einzelnen Geschosses betrachtet.

C.2.4.2 Aufzuganzahl

Bei Gebäudehöhen gemäß Musterbauordnung (MBO)[196] von mehr als 13 m sind Aufzüge in *„ausreichender Zahl“*[197] vorzusehen, von denen mindestens einer den Transport von Rollstühlen, Krankentragen und Lasten in alle Geschosse ermöglichen muss.[198] Die minimale Grundfläche eines Fahrkorbs, der zur Aufnahme von Krankentragen und Rollstühlen geeignet ist, wird in § 39 Abs. 5 Satz 1 MBO mit 1,10 m x 2,10 m angegeben.

Zu den geforderten Aufzügen in „ausreichender Zahl“ sind in der MBO keine weiteren Spezifizierungen angegeben. Auch in den entsprechenden Normen zur Ausführung von Personenaufzügen, DIN 15309 (2002) und DIN EN 81-20 (2020), finden sich keine Angaben zur Bestimmung der notwendigen Aufzuganzahl. Die zweckmäßige Aufzuganzahl wird stattdessen anhand von Kennwerten und überschläglichen Verkehrsberechnungen ermittelt (vgl. Kap. E.2.13).

Trotz der genannten Forderung nach § 39 Abs. 4 MBO, wird für das Referenzgebäude in Ansatz gebracht, dass bei Bürogebäuden mit mehr als einem Geschoss die Anordnung eines Aufzugs immer zweckmäßig ist und den Regelfall darstellt.[199]

---

[196] Die Definition des Begriffs „Gebäudehöhe gemäß MBO“ ergibt sich aus dem Glossar.

[197] § 39 Abs. 4 Satz 1 MBO.

[198] Vgl. § 39 Abs. 4 MBO.

[199] Nach AMEV (2017) bleiben Gebäudenutzer unterhalb des zweiten Obergeschosses bei der Verkehrsberechnung zur Bestimmung der Aufzuganzahl unberücksichtigt (vgl. a. a. O., S. 71).

C.2.5 Bauelemente

Bei der Entwicklung des Referenzgebäudes werden folgende Bauelemente berücksichtigt, deren jeweilige Anordnungen im Referenzgebäude in Abb. 23 exemplarisch dargestellt sind:

- Treppenhäuser
- Installationsschächte
- Aufzugschächte
- Brandschutzwände
- Stützen

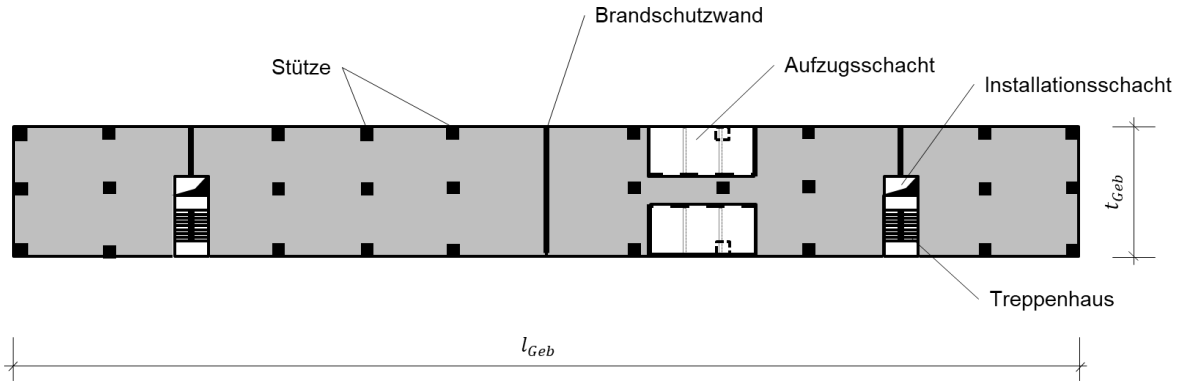


Abb. 23: Berücksichtigte Bauelemente des Referenzgebäudes[200]

Die Anzahl der zu platzierenden Bauelemente resultiert aus der Anzahl und Geometrie der Nutzungseinheiten[201] (NE) des Referenzgebäudes (vgl. Kap. C.2.5.1).

Die ermittelte Anzahl, Geometrie und Anordnung der Bauelemente des Referenzgebäudes kann ausschließlich einen möglichen Gebäudeaufbau darstellen. Ziel ist nicht die Vorermittlung eines in jeder Einzelheit zutreffenden Bauentwurfs, sondern ausschließlich eine hinreichend genaue Ermittlung der Fertigungsmengen zur Bauzeitermittlung.

Bei der Positionierung der Stützen werden die Geometrien und die Anzahl der übrigen Bauelemente (z. B. Aufzugsschächte) nicht berücksichtigt, weshalb auch keine Reduzierung der Stützenanzahl stattfindet, wenn diese rechnerisch z. B. innerhalb eines Aufzugsschachts angeordnet werden.

[200] Eigene Darstellung (exemplarisch, Grundriss).

[201] Die Definition des Begriffs „Nutzungseinheit“ ergibt sich aus dem Glossar.

C.2.5.1 Nutzungseinheiten

Grundannahmen bei der Ermittlung der Geometrie und Anzahl

Bei der Ermittlung der Geometrie der NE wird die Kombination der Anforderungen an Brandabschnitte[202] und Rauchabschnitte[203] zugrunde gelegt, da durch deren kombinierte Berücksichtigung unter anderem die Minimierung der Bau- und Betriebskosten ermöglicht werden kann, da weniger Wände und Türen eingebaut und gewartet werden müssen.[204]

Gemäß MBO handelt es sich bei Büro- und Verwaltungsgebäuden, die in einem Geschoss eine BGF von mehr als 1.600 m²BGF oder NE von mehr als 400 m²BGF aufweisen, um Sonderbauten[205] (vgl. Tab. 54, Anlage), an die unter anderem erhöhte brandschutztechnische Anforderungen gestellt werden.[206] Werden Gebäude hingegen in abgeschlossene NE von nicht mehr als 400 m²BGF gegliedert und weisen jeweils einen von anderen NE unabhängigen Rettungsweg auf, so können die Anforderungen an Sonderbauten und die Anordnung notwendiger Flure[207] vermieden werden.[208] Daraus resultiert eine Steigerung der Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit des Gebäudes, wodurch auch offene Bürotypen ermöglicht werden können.

Dementsprechend wird bei der Entwicklung des Referenzgebäudes bei ein-, zwei- und dreibündigen Gebäudeerschließungen grundsätzlich von einer Einteilung in NE kleiner gleich 400 m² ausgegangen. Im Gegensatz dazu erfolgt für flurlose Anlagen (Großraumbüros) keine Einteilung in NE, da davon ausgegangen wird, dass regelmäßig eine möglichst offene Raumstruktur angestrebt wird (vgl. Kap. C.2.2.2).

Bei der Ermittlung der Geometrie der NE wird unterstellt, dass die notwendigen Treppen an den Brandschutzwänden angeordnet werden, da hierdurch eine Minimierung der Treppenhausanzahl erzielt werden kann (vgl. Abb. 40). Bei der Ermittlung der BGF der NE werden die Grundflächen der Treppenhäuser übermessen.

---

[202] Die Einteilung des Gebäudes in Brandabschnitte soll den Übertritt von Bränden auf anliegende Gebäudeteile aber auch benachbarte Gebäude verhindern. Brandabschnitte werden von Außenwänden und/oder Brandschutzwänden sowie Decken und Böden begrenzt.

[203] Die Einteilung des Gebäudes in Rauchabschnitte soll im Brandfall die Ausbreitung von Rauch im Gebäude verhindern, um eine Personenrettung zu ermöglichen.

[204] Vgl. TSCHÖPE/GÄFKE (2011), S. 475.

[205] Vgl. auch Begriff „Gebäudegruppe“ im Glossar (Kap. K.2, Anlage).

[206] Vgl. §§ 2 Abs. 3 Satz 3, Abs. 4 u. 51 MBO.

[207] Notwendige Flure werden als *„Flure, über die Rettungswege aus Aufenthaltsräumen oder aus Nutzungseinheiten mit Aufenthaltsräumen zu Ausgängen in notwendige Treppenräume oder ins Freie führen (§ 36 Abs. 1 Satz 1 MBO)“* definiert.

[208] Vgl. § 36 Abs. 1 Nr. 4 MBO.

Differenzierung der Nutzungseinheiten des Typs 0, 1, und 2

Bei der Ermittlung der Geometrie und Anzahl der NE (vgl. Kap. E.3.1) werden NE des Typs 0 (NE 0), NE des Typs 1 (NE 1) und NE des Typs 2 (NE 2) unterschieden.

Aufgrund der Vorgaben gemäß § 36 Abs. 3 MBO sind generell zwei unterschiedliche Typen von NE hinsichtlich der Anzahl der Fluchtrichtungen zu differenzieren, da hieraus, insbesondere aufgrund der Vorgaben zur maximalen Länge von Rauchabschnitten, unterschiedliche Geometrien der NE resultieren:[209]

- *NE 1*: NE mit zwei Fluchtrichtungen, d. h. ohne Stichflur.
- *NE 2*: NE mit einer Fluchtrichtung, d. h. mit Stichflur

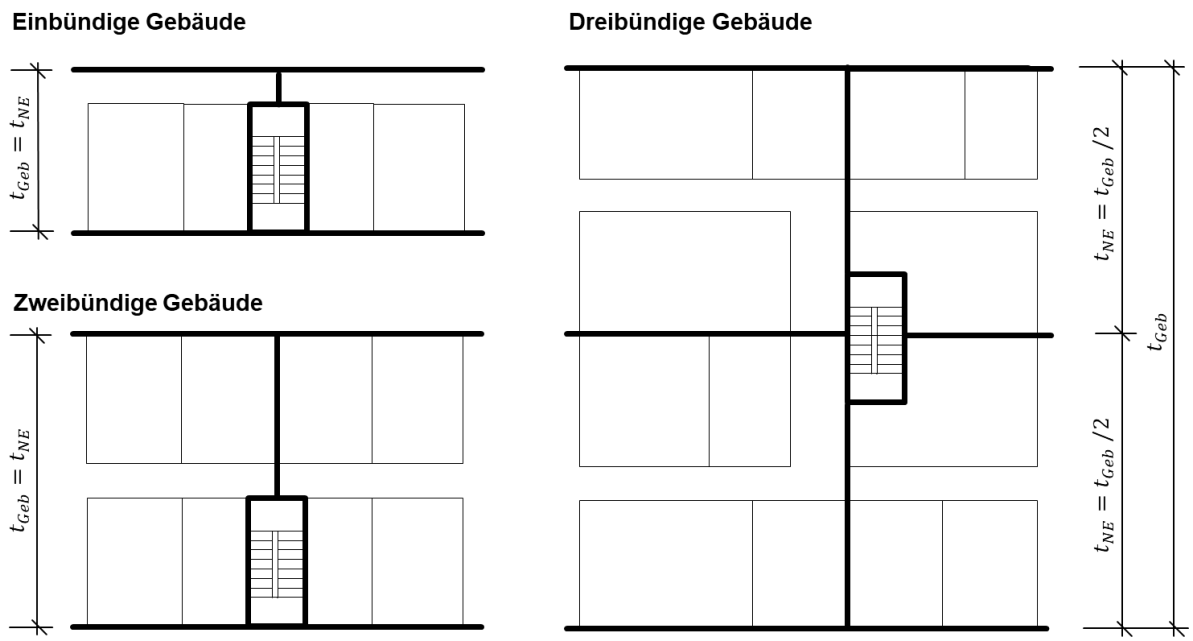
Der Bestimmung der Anzahl der NE werden rechteckige Grundrissformen zugrunde gelegt (vgl. Kap. A.3), die lediglich über zwei Gebäudestirnseiten verfügen – d. h. keine T- oder kammförmigen Gebäude o. ä. (vgl. Abb. 2). Diese Grundannahme hat insbesondere Auswirkungen auf die maximal mögliche Anzahl der NE 2.

Bevor ermittelt wird, ob eine Anordnung von NE 2 an den Gebäudestirnseiten zweckmäßig ist, um die Anzahl notwendiger Treppenhäuser zu reduzieren und damit die NUF des Gebäudes potenziell steigern zu können, wird für das Referenzgebäude zunächst die Anzahl der NE 0, d. h. NE mit identischer Geometrie ohne Berücksichtigung möglicher Stichflure, ermittelt (vgl. Kap. E.3.1.2). Auf Grundlage der Anzahl der NE 0 wird anschließend ermittelt, ob eine Anordnung von NE 2 zu einer Reduzierung der Treppenhausanzahl und damit Steigerung der NUF führt oder ob die alleinige Anordnung von NE 1 zweckmäßig ist. Nach der Ermittlung der Anzahl der NE 1 und NE 2 wird abschließend deren Geometrie ermittelt.

Anordnung der NE im Grundriss

Die Anordnung der NE im Grundriss des Referenzgebäudes erfolgt in Abhängigkeit von der Gebäudeerschließungsart (vgl. Abb. 24 u. Abb. 36 bis Abb. 39). Bei dreibündigen Anlagen werden zwei hintereinanderliegende NE in Richtung der Gebäudetiefe und im mittleren Bund liegende Treppenhäuser angeordnet, um die Fluchtweglängen und damit die Treppenhausanzahl zu reduzieren. Bei ein- und zweibündigen Anlagen wird eine zentrale Anordnung der Treppenhäuser hingegen als regelmäßig nicht zweckmäßig betrachtet, da diese den Verlauf der Erschließungsflure behindern können. Deshalb wird bei ein- und zweibündigen Anlagen nur eine NE in Richtung der Gebäudetiefe angeordnet.

[209] Gemäß § 36 Abs. 3 Satz 2 MBO sollten Rauchabschnitte eine Länge von 30 m nicht überschreiten. Ist hingegen nur eine Fluchtrichtung vorgesehen so ist die maximale Länge eines Rauchabschnitts auf 15 m zu begrenzen (vgl. § 36 Abs. 3 Satz 4 MBO).



Flurlose Gebäude: Keine Einteilung in Nutzungseinheiten

Abb. 24: Anordnung der NE in Abhängigkeit von der Bundanzahl[210]

C.2.5.2 Treppenhäuser

Für die Grundrissbestimmung der Treppenhäuser werden insbesondere die Bemessungsvorschriften für notwendige Treppen[211] gemäß DIN 18065 (2020) und für die notwendige Anzahl die Vorgaben zum Brandschutz (Flucht- und Rettungswege unter anderem gemäß MBO) zugrunde gelegt. Obwohl für die Bemessung der Hauptmaße von Gebäudetreppen grundsätzlich die Regelungen der jeweils anzuwendenden Landesbauordnungen einzuhalten sind, erfolgt die Ermittlung der voraussichtlichen Treppenmaße anhand der Vorgaben gemäß DIN 18065 (2020), da diese sicherstellen soll, *„dass die grundsätzlichen, die Treppen betreffenden Anforderungen (der Gesetzgeber) in den Bauordnungen hinsichtlich der sicheren Begehbarkeit der Treppen im Regelfall der alltäglichen Nutzung ebenso wie der sicheren Benutzung der Treppe als Teil des Rettungsweges im Brandfall erfüllt werden“* [212].

Die ermittelten Treppenmaße berücksichtigen ausschließlich notwendige Treppen im Verlauf von Fluchtwegen. Sonstige Treppen, z. B. offene Treppen als Gestaltungselemente, die ebenfalls als Fluchtweg dienen können, werden nicht bzw. ausschließlich als notwendige Treppenhäuser berücksichtigt.

---

[210] Eigene Darstellung (schematisch, Grundriss).

[211] *„Treppe, die nach den behördlichen Vorschriften (z. B. Bauordnungen der Länder) als Teil des Rettungsweges vorhanden sein muss (DIN 18065 (2020), S. 6)“.*

[212] DIN 18065 (2020), S. 4.

Aufgrund der Vorgaben gemäß Arbeitsstättenrichtlinie (ASR), wonach geradläufige Treppen im Verlauf von Fluchtwegen zu bevorzugen sind,[213] werden der Ermittlung der Treppenhaus-Geometrie einläufig gerade oder mehrläufig gegenläufige Treppen mit einem oder mehreren Zwischenpodesten zugrunde gelegt.

Obwohl die alte Fassung der MBO auch Ausnahmen zulässt, müssen notwendige Treppenräume gemäß § 35 Abs. 3 MBO a. F. an Außenwänden positioniert werden und über einen unmittelbaren Ausgang ins Freie verfügen.[214] Dies gilt aufgrund des Verlaufs der Erschließungsflure insbesondere für ein- und zweibündige Anlagen. Bei dreibündigen Anlagen ist eine zentrale Positionierung der Treppenhäuser im mittleren Bund grundsätzlich zweckmäßig, um die Fluchtwege möglichst kurz zu halten und gleichzeitig die Anzahl notwendiger Treppenhäuser zu reduzieren (vgl. Abb. 24).

Für die Bemessung der Treppenhäuser werden in allen Geschossen identische Grundrisse unterstellt. Die Treppenhaus-Geometrie wird ausschließlich auf Grundlage der RG-Höhe ermittelt. Es wird davon ausgegangen, dass eine Vergrößerung des Treppenhaus-Grundrisses bei größeren Geschosshöhen des Erdgeschosses (EG-Höhen) beispielsweise durch die Anordnung zusätzlicher Zwischenpodeste vermieden werden kann.

C.3 Ermittlung der Fertigungsmengen

In VOB Teil C (Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen – VOB/C) sind DIN-Normen mit Abrechnungsregeln zu verschiedenen Gewerken enthalten. Für die Ermittlung der Fertigungsmengen von Beton- und Stahlbetonarbeiten ist dabei DIN 18331 (2019) maßgebend. Wird VOB Teil B (Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen – VOB/B) zur Grundlage des Bauvertrags, so wird auch VOB/C zum Vertragsbestandteil.[215] VOB Teil A (Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen – VOB/A) schreibt für öffentliche AG in § 8a Abs. 1 Satz 1 VOB/A die Verwendung der VOB/B und VOB/C als Vertragsbestandteil vor, weshalb auch die Einhaltung der Abrechnungsregeln nach DIN 18331 (2019) verpflichtend sind. Im Gegensatz dazu können nicht-öffentliche AG auch andere Abrechnungsregeln mit ihren Vertragspartnern vereinbaren.[216]

---

[213] Vgl. ASR A2.3 (2007), S. 7.

[214] In der aktuellen Fassung heißt es in § 35 Abs. 3 Satz 1 MBO hingegen nur noch: „Jeder notwendige Treppenraum muss einen unmittelbaren Ausgang ins Freie haben (ebd.)“.

[215] Vgl. § 1 Abs. 1 VOB/B.

[216] Vgl. z. B. BERNER ET AL. (2013), S. 24.

Um die Nachvollziehbarkeit der Ermittlung der Fertigungsmengen zu erhöhen wird von den Vorgaben zur Abrechnung von Stahlbetonarbeiten gemäß DIN 18331 (2019) vereinzelt abgewichen. Zunächst erfolgt die Darstellung der zugrunde gelegten Randbedingungen bei der Ermittlung der Betonvolumina. Die Schalungsflächen und Bewehrungsmengen werden anschließend idealisiert auf Grundlage des jeweiligen Betonvolumens bestimmt.

C.3.1 Betonvolumina

Folgende Randbedingungen werden der Berechnung der Betonvolumina der einzelnen Bauteile zugrunde gelegt:

- Horizontale Bauteile:
  - Die Höhe wird von der Unterseite bis zur Oberseite einer jeden Rohdecke gemessen.
  - Für die Aussparungen der Treppenhäuser, Installationsschächte und Aufzüge wird angenommen, dass diese regelmäßig den Grenzwert von 0,50 m³ zur Übermessung von Öffnungen gemäß DIN 18331 (2019) überschreiten, weshalb diese, unabhängig von ihrer tatsächlichen Größe, grundsätzlich abgezogen werden.[217]
  - Mögliche Aussparungen für Aufzugsüberfahrten in der obersten Geschossdecke bleiben unberücksichtigt.
- Vertikale Bauteile:
  - Die Höhe wird von der Oberseite der Rohdecke bis zur Unterseite der darüber liegenden Rohdecke gemessen.
  - Aussparungen für Türen und sonstige Öffnungen werden, anders als in DIN 18331 (2019) vorgesehen,[218] unabhängig von ihrer tatsächlichen Größe, grundsätzlich übermessen und lediglich näherungsweise in Abzug gebracht. Die Ermittlung des Betonvolumens der Außenwände erfolgt unabhängig vom Volumen der Öffnungen anhand des Anteils der Fensterflächen.

[217] Vgl. DIN 18331 (2019), S. 19.

[218] Vgl. DIN 18331 (2019), S. 20.

- Einbindungen kreuzender Wände werden, unabhängig von ihrer tatsächlichen Größe, anders als in DIN 18331 (2019) vorgesehen,[219] grundsätzlich übermessen.
- Stützen, die aufgrund der Geometrie und Anordnung der Treppenhäuser, Installationsschächte und Aufzüge entfallen könnten, werden dennoch mitberücksichtigt (vgl. Abb. 23).

C.3.2 Randschalungslängen

Die Ermittlung der Randschalungslängen erfolgt auf Grundlage des Gebäudeumfangs und dem Umfang der Deckenaussparungen sowie der Geschossanzahl.

Zusätzliche Randschalungslängen, die aufgrund der Einteilung des Referenzgebäudes in Fertigungsabschnitte entstehen, werden vernachlässigt.

C.3.3 Schalungsflächen

Die Ermittlung der Schalungsflächen erfolgt vereinfacht auf Grundlage der Betonvolumina. Abweichungen, wie z. B. aufgrund von Bauteil-Durchdringungen, werden als marginal eingestuft und vernachlässigt.

Für einseitige Schalungen, wie z. B. für Geschossdecken, ergibt sich die Schalungsfläche ($A_{S,1s}$) aus dem zugehörigen Betonvolumen ($V_{B,i}$) und der Bauteilstärke (d_i):

$$A_{S,1s}\,[m^2] = \frac{V_{B,i}}{d_i} \tag{C.1}$$

Für zweiseitige Schalungen ($A_{S,2s}$) von Wänden und vierseitige Schalungen ($A_{S,4s}$) von Stützen ergibt sich die Schalungsfläche entsprechend zu:

$$A_{S,2s}\,[m^2] = 2 \cdot \frac{V_{B,i}}{d_i} \tag{C.2}$$

$$A_{S,4s}\,[m^2] = 2 \cdot V_{B,i} \cdot \left(\frac{1}{t_{St}} + \frac{1}{l_{St}}\right) \tag{C.3}$$

Hierin repräsentieren t_{St} und l_{St} die Stützenbreite und Stützenlänge bzw. den Stützenquerschnitt.

[219] Vgl. DIN 18331 (2019), S. 19.

C.3.4 Bewehrungsmengen

Die Ermittlung der Bewehrungsmenge ($M_{Bew,i}$) erfolgt auf Grundlage des zugehörigen Betonvolumens ($V_{B,i}$) und Bewehrungsanteils ($a_{Bew,i}$):

$$M_{Bew,i}\,[t] = V_{B,i} \cdot a_{Bew,i} \tag{C.4}$$

C.4 Bauzeitermittlung

C.4.1 Vorgangsdauern und Taktzeit

C.4.1.1 Aufwandswerte und Arbeitsaufwand

Anders als objektorientierte Kennzahlen, sind Aufwandswerte prozessorientiert und beziehen sich auf eine messbare Arbeitsmenge (z. B. m³Beton, m²Schalung usw.). Bei der Anwendung von Aufwandswerten ist deren vorgesehener Verwendungszweck zu beachten. Aufwandswerte für die Terminplanung beschreiben die produktive Bauleistung und beschränken sich somit ausschließlich auf Platzzeiten, wohingegen es im Rahmen der Kalkulation auch Randzeiten zu berücksichtigen gilt, die zwar kostenrelevant sind, jedoch die Fertigungszeit vor Ort nicht unmittelbar beeinflussen.[220] Bei identischen Bauprozessen ist ein Aufwandswert für die Terminplanung somit generell kleiner gleich dem zugehörigen Aufwandswert für die Kostenermittlung.[221]

C.4.1.2 Ressourcenanzahl

Die Anzahl der vom Unternehmer im Rahmen der Bauausführung eingesetzten Ressourcen[222] richtet sich nach der vorgegebenen Bauzeit.[223] Dabei wird vom AN generell die Minimierung der Kosten und der wirtschaftliche Einsatz seiner Ressourcen angestrebt, wohingegen für AG i. d. R. zwar ebenfalls minimale Baukosten aber gleichzeitig auch minimale Bauzeiten im Fokus stehen.

---

[220] Vgl. z. B. FLEISCHMANN/HEMMERICH (2004), S. 19; KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 117; BRÜSSEL (2002), S. 292 u. GREINER ET AL. (2009), S. 152. Anm.: Im Gegensatz dazu werden die Aufwandswerte zur Abschätzung der Rohbauzeit in GREINER ET AL. (2009) durch Zuschläge für Randzeiten erhöht (vgl. a. a. O., S. 158 ff.).

[221] Vgl. HÄNDLER/SCHWARZ (2017), S. 239.

[222] Obwohl hierzu alle eingesetzten AK und Baugeräte zählen, werden in der vorliegenden Arbeit ausschließlich (gewerbliche) AK und Krane betrachtet, da diese den Baufortschritt im Hochbau bestimmen (vgl. HOFSTADLER (2014), S. 74, 227).

[223] Vgl. HOFSTADLER (2007), S. 56.

Die einsetzbare Ressourcenanzahl wird durch die zur Verfügung stehende Arbeitsfläche im Grundriss und die Anzahl der installierbaren Geräte (im Hochbau insbesondere Krane) begrenzt.[224] Durch die Maximierung der Ressourcenanzahl kann die Bauzeit auf ein Minimum reduziert werden.[225] Durch die Vorgabe wirtschaftlicher Bauzeiten wird ein entsprechend wirtschaftlicher Ressourceneinsatz ermöglicht, woraus vergleichsweise geringere Kosten für den AN und dadurch geringere Baupreise resultieren können (vgl. Kap. B.1.2).

Kolonnenzusammensetzung

Generell können zwei unterschiedliche Kolonnenzusammensetzungen unterschieden werden:[226]

- Gemischte Kolonnen, die auf der Baustelle verschiedene Tätigkeiten, wie z. B. Schal-, Bewehrungs- und/oder Betonagearbeiten, durchführen und
- Spezialisierte Kolonnen, die auf der Baustelle fortlaufend (nahezu) gleiche Tätigkeiten durchführen.

Obwohl auch der Einsatz gemischter Kolonnen vorteilhaft sein kann, wird bei Taktfertigung der Einsatz spezialisierter Kolonnen bevorzugt, da hieraus eine erhebliche Steigerung der Arbeitsproduktivität resultieren kann.[227]

Kolonnenstärke

Die optimale Anzahl der AK pro Kolonne (kurz: „Kolonnenstärke“) ist von der Art der Tätigkeit und des Bauteils abhängig.[228] Um Produktivitätsminderungen entgegenzuwirken, sollten unsystematische Vergrößerungen oder Verkleinerungen der Kolonnenstärke um einzelne AK vermieden werden, stattdessen sollten bei ausreichender Gebäudegrundfläche mehrere Kolonnen gleicher Zusammensetzung parallel eingesetzt werden.[229] Die Anzahl der insgesamt eingesetzten AK eines Prozesses sollte dabei ein ganzzahliges Vielfaches einer zugehörigen Kolonne betragen.[230]

[224] Vgl. z. B. HOFSTADLER (2007), S. 56 u. SUNDERMEIER (2020), S. 7.44.

[225] Vgl. HOFSTADLER (2007), S. 56.

[226] Vgl. BERNER ET AL. (2013), S. 33.

[227] Vgl. BERNER ET AL. (2013), S. 33.

[228] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 65.

[229] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 129 ff.

[230] Vgl. HRUSCHKA (1968), S. 107.

C.4.1.3 Krananzahl

Der horizontale und vertikale Transport von Schalung, Bewehrung usw. erfolgt bei Stahlbetonbauwerken mittels Baustellenkranen, deren Anzahl und Dimension maßgeblichen Einfluss auf die Produktivität haben.[231] Die Krananzahl wird durch den Gebäudegrundriss und die verfügbare Baustelleneinrichtungsfläche begrenzt.[232] Eine optimale Krananzahl liegt vor, wenn für die eingesetzten AK keine ungeplanten Kranwartezeiten entstehen.[233] Weiterhin gilt es allerdings auch Stillstandzeiten von Kranen möglichst zu vermeiden:

> *„Bei der Festlegung der Anzahl der Krane ist darauf zu achten, dass nicht zu viele Krane vorgehalten werden, da sonst Leerkosten aufgrund von Kranwartezeiten entstehen. Auf der anderen Seite sind auch nicht zu wenige Krane zu wählen, da sonst bei den Arbeitskräften Wartezeiten die Folge sind. Es ist daher ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Anzahl der Krane und Arbeitskräfte je Kran herzustellen, damit die Ausfallkosten minimal werden.“* [234]

Nach SEELING (1979) können drei Methoden zur Bestimmung der Krananzahl differenziert werden:[235]

- Kennwertverfahren
- Leistungsabschätzungen über die Kran-Spielzeit
- Warteschlangenmodelle

Zur Ermittlung der Krananzahl ganzer Baustellen sind Leistungsabschätzungen über Kran-Spielzeiten und Warteschlangenmodelle nur bedingt geeignet.[236] Kennwertverfahren zur Bestimmung der Krananzahl können z. B. auf folgenden Bezugsgrößen beruhen:[237]

- Zu bedienende AK pro Kran
- Zu erstellender BRI pro Kran und Monat
- Zu verarbeitendes Baustoffgewicht pro Kran und Monat
- Gebäudegrundfläche und Kranradius

---

[231] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 74 u. HOFSTADLER (2007), S. 46, 227.

[232] Vgl. HOFSTADLER (2007), S. 174.

[233] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 74.

[234] HOFSTADLER (2014), S. 159.

[235] Vgl. SEELING (1979), S. 24.

[236] Vgl. DREES ET AL. (1980), S. 823; BAUER (2007), S. 246 u. HOFSTADLER (2007), S. 172.

[237] Vgl. SCHACH/OTTO (2011), S. 18 f.; HOFSTADLER (2007), S. 159 ff. u. BAUER (2007), S. 239 ff. Anm.: Für eine ausführliche Erläuterung der genannten Verfahren wird an dieser Stelle z. B. auf HOFSTADLER (2007) u. BAUER (2007) verwiesen.

Bei der Ermittlung der Krananzahl über den BRI und das Baustoffgewicht ist die geplante Kran-Einsatzdauer in Ansatz zu bringen.[238] Die Krananzahl resultiert bei den genannten Bezugsgrößen somit aus der vorgegebenen Bauzeit. Unrealistisch kurze Bauzeiten führen dabei zu einer entsprechend unrealistisch hohen Anzahl von Baukranen. Gleiches gilt mittelbar auch für die Krananzahl auf Grundlage der Anzahl der AK, da diese *„im Wesentlichen aus den Terminvorgaben“* [239] resultiert.

Da das Ziel des entwickelten Verfahrens die Ermittlung wirtschaftlicher und somit realistischer Bauzeiten ist und die Bauzeit ebenso wie die Anzahl der AK zum Zeitpunkt der Bestimmung der Krananzahl eine noch unbekannte Größe darstellt, kommt von den angegebenen Bezugsgrößen zur Ermittlung der Krananzahl ausschließlich die Gebäudegrundfläche und der Kranradius in Betracht.

Ein Verfahren zur Ermittlung der Krananzahl auf Grundlage der Gebäudegrundfläche und des mittleren Kranradius findet sich in HOFSTADLER (2007).

Die Krananzahl nach HOFSTADLER (2007) (n'_{Kr}) wird über die Gebäudegrundfläche, den Kranradius (r_{Kr}) und die Krandichte (f_{Kr}) ermittelt:[240]

$$n'_{Kr} = \frac{f_{Kr} \cdot A_{Geb}}{r_{Kr}^2 \cdot \pi} \tag{C.5}$$

Die Krandichte beschreibt die mittlere Krananzahl pro m² Gebäudegrundfläche und beträgt erfahrungsgemäß zwischen 1,5 und 2,5 Krane pro m².[241] Der Schwenkbereich von Kranen kann vollständig über dem Bauwerk liegen, sofern diese innerhalb des Gebäudes angeordnet werden, wodurch eine Minimierung der Krananzahl bei vollflächiger Kranabdeckung des Gebäudegrundrisses erzielt werden kann.[242] Liegen ca. 50 % der Krane innerhalb des Gebäudegrundrisses, so kann eine Krandichte von 1,5 Kranen pro m² angenommen werden, wohingegen für ausschließlich außerhalb des Gebäudegrundrisses angeordnete Krane eine Krandichte von 2,5 Kranen pro m² in Ansatz zu bringen ist.[243]

Das dargestellte Verfahren nach HOFSTADLER (2007) berücksichtigt lediglich die Gebäudegrundfläche (vgl. Eq. (C.5)) – nicht aber die vorliegende Grundrissform – woraus grundsätzlich eine unrealistisch geringe Krananzahl resultieren kann. Zur Abdeckung sehr geringer

[238] Vgl. z. B. HOFSTADLER (2007), S. 163, 165, 167.

[239] HOFSTADLER (2007), S. 161.

[240] Vgl. HOFSTADLER (2007), S. 174.

[241] Vgl. HOFSTADLER (2007), S. 174.

[242] Vgl. HOFSTADLER (2007), S. 174.

[243] Vgl. HOFSTADLER (2007), S. 174.

Gebäudetiefen und großer Gebäudelängen ist zur vollflächigen Kranabdeckung der Gebäudegrundfläche generell eine vergleichsweise höhere Krananzahl notwendig.

In diesem Fall ist zur Ermittlung einer realistischen Krananzahl ein alternatives geometrisches Verfahren notwendig, das den gesamten Gebäudegrundriss berücksichtigt. Dieses wird in Kapitel G.1.3.3 vorgestellt.

C.4.2 Netzplantechnik

Die Bauzeitermittlung erfolgt auf Grundlage des BAM unter Verwendung der Netzplantechnik[244] in Form eines Vorgangsknoten-Netzplans, in dem Vorgänge und Ereignisse durch Knoten dargestellt und vorherrschende Abhängigkeiten bzw. Anordnungsbeziehungen (AOB) durch verbindende Pfeile symbolisiert werden.[245]

Da im Rahmen des Verfahrens die minimale, erwartete wirtschaftliche und maximale Bauzeiten bestimmt werden sollen, werden drei unterschiedliche BAM zur Bauzeitermittlung verwendet (vgl. Kap. G.2.1).

Generell werden im BAM zwei Arten von AOB hinsichtlich ihrer Ursache unterschieden:

- Technologische AOB (AOB_t) und
- Kapazitive AOB (AOB_k)

Technologische AOB werden beispielsweise vorgesehen, um zu veranschaulichen, dass die Geschossdecke fertiggestellt sein muss, bevor die Schalarbeiten an den hierauf befindlichen vertikalen Bauteilen begonnen werden können. Kapazitive AOB sind zu berücksichtigen, wenn ein Prozess aus technologischer Sicht zwar ausgeführt werden kann, die hierfür notwendigen Ressourcen (im BAM = AK) jedoch durch einen anderen Vorgang gebunden sind. Kapazitive AOB können somit generell durch die Erhöhung der Ressourcenanzahl eliminiert werden, was auf technologische AOB nicht zu trifft.

---

[244] Die Netzplantechnik ist ein auf *„Ablaufstrukturen basierende[s] Verfahren zur Analyse, Beschreibung, Planung, Steuerung, Überwachung von Abläufen, wobei Zeit, Kosten, Ressourcen und weitere Größen berücksichtigt werden können (DIN 69900 (2009), S. 10)“* und erlaubt die systematische Berechnung der frühesten und spätesten Anfangs- und Endzeitpunkte der einzelnen Vorgänge sowie der zugehörigen Pufferzeiten und des kritischen Wegs (vgl. ebd.).

[245] Vgl. DIN 69900 (2009), S. 4, 15, 26. Anm.: Auf eine umfangreiche Erläuterung der Netzplantechnik wird an dieser Stelle verzichtet. Stattdessen wird z. B. auf ALTROGGE (1996); BERNER ET AL. (2013), S. 111 ff. u. NOOSTEN (2013) verwiesen.

Generell können die gegenseitigen Abhängigkeiten der Vorgänge in einem Netzplan durch vier mögliche AOB ausgedrückt werden:[246]

- Normalfolgen (NF), die das Ende eines Vorgangs mit dem Anfang seines nachfolgenden Vorgangs verknüpfen,
- Anfangsfolgen (AF), die den Anfang eines Vorgangs mit dem Anfang seines nachfolgenden Vorgangs verknüpfen,
- Endfolgen (EF), die das Ende eines Vorgangs mit dem Ende seines nachfolgenden Vorgangs verknüpfen und
- Sprungfolgen, die den Anfang eines Vorgangs mit dem Ende seines nachfolgenden Vorgangs verknüpfen.

Die verwendeten AOB im BAM beschränken sich auf NF, AF und EF.

[246] Vgl. DIN 69900 (2009), S. 4, 5, 11, 14.

D. Entwicklung des Bauablauf-Modells

D.1 Projektstrukturplan (PSP)

Das BAM (vgl. Kap. C.1) wird aus dem PSP in Abb. 25 entwickelt, der das Referenzgebäude in vier weitere Ebenen gliedert.

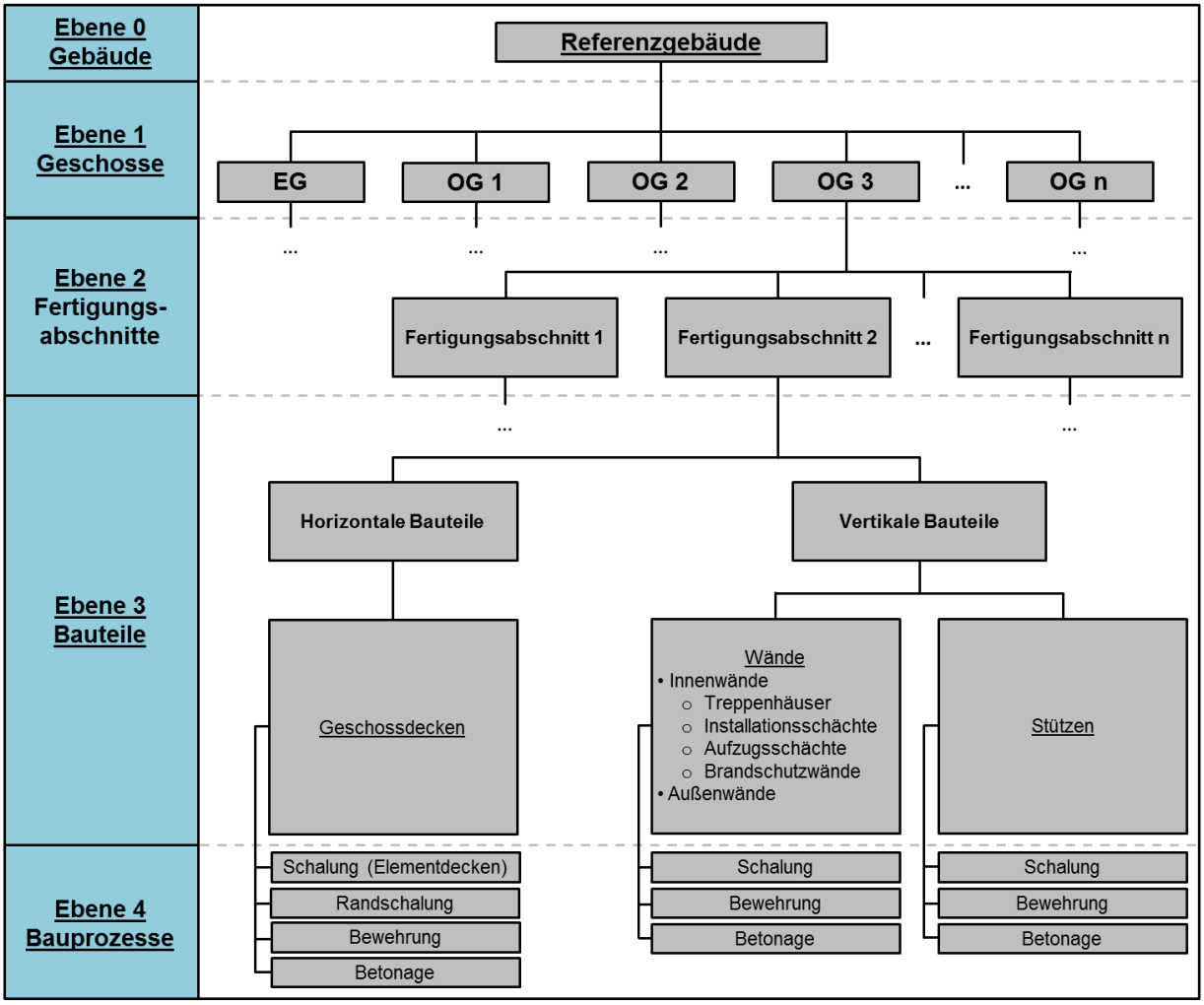


Abb. 25: PSP des Referenzgebäudes zur Entwicklung des BAM[247]

In PSP-Ebene 1 erfolgt eine Gliederung in die einzelnen Geschosse des Referenzgebäudes, die in PSP-Ebene 2 jeweils in Fertigungsabschnitte (vgl. Kap. G.1.3.5) verfeinert werden. In PSP-Ebene 3 erfolgt für die einzelnen Fertigungsabschnitte jeweils eine Differenzierung horizontaler Bauteile (d. h. Geschossdecken) und vertikaler Bauteile (d. h. Wände und Stützen). Das Bauteil „Wände“ wird in Außen- und Innenwände gegliedert, wobei bei den Innenwänden weiterhin Wände der Treppenhäuser, Installations- und Aufzugsschächte sowie

[247] Eigene Darstellung.

Brandschutzwände unterschieden werden. In PSP-Ebene 4 erfolgt anschließend jeweils eine Gliederung in die einzelnen Bauprozesse „Schalung“, „Randschalung“, „Bewehrung“ und „Betonage“ zur Herstellung der angegebenen Bauteile.

D.2 Ablaufplan auf Bauprozessebene

Der Bauablauf zur Herstellung der Bauteile eines Fertigungsabschnitts ist in Abb. 26 auf Prozessebene (PSP-Ebene 3 und 4) qualitativ dargestellt.

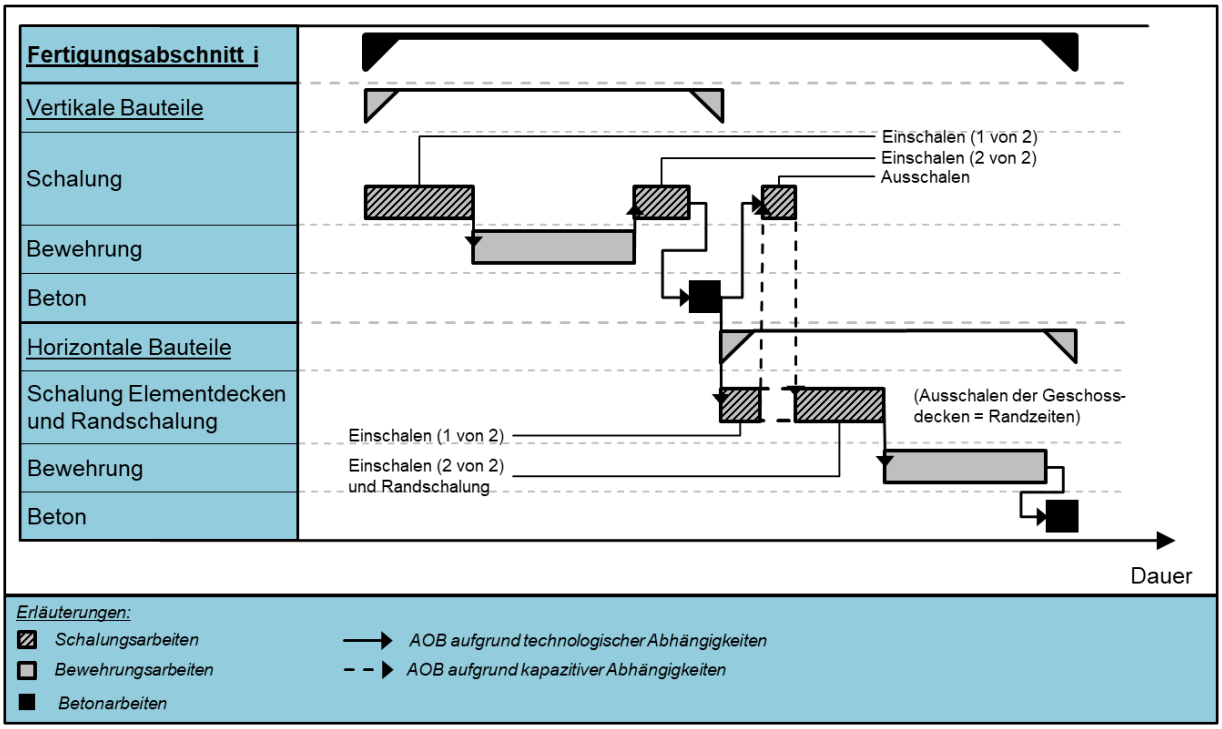


Abb. 26: Bauablauf zur Herstellung eines Fertigungsabschnitts auf Bauprozessebene[248]

Den AOB des Ablaufplans in Abb. 26 wird eine konstante Anzahl an AK zugrunde gelegt, weshalb keine parallel ablaufenden Prozesse und Vorgangsüberlappungen vorgesehen sind und entsprechend technologische und kapazitive AOB (vgl. Kap. C.4.2) unterschieden werden. Da das Ziel des entwickelten Verfahrens primär die Ermittlung einer erwarteten wirtschaftlichen Bauzeit ist, werden vorhandene Beschleunigungspotenziale (z. B. die Kompensation der Vorgangsunterbrechung des Vorgangs „Schalung Elementdecken und Randschalung“ in Abb. 26 durch zusätzliche AK) im Ablaufplan in Abb. 26 vernachlässigt. Es wird davon ausgegangen, dass dies keine nennenswerten Auswirkungen auf die Genauigkeit des Gesamtverfahrens hat (vgl. auch Kap. B.1.2, hier: „Auswirkungen unterschiedlicher Bauzeit-

[248] Eigene Darstellung (qualitativ).

vorgaben“).[249] Insbesondere mit Rücksicht auf den Genauigkeitsgrad der übrigen in die Berechnung der Bauzeit eingehenden Faktoren, können die Auswirkungen eines Einflussfaktors dieser Größenordnung als geringfügig betrachtet werden.

Gleichzeitig ermöglicht die Arbeitshilfe eine Anpassung der Anzahl der eingesetzten Kolonnen bzw. AK oder der Taktzeiten, wodurch verschiedene Varianten des Bauablaufs gegenübergestellt werden können, um z. B. Beschleunigungspotenziale zu ermitteln.

Wie Abb. 26 zeigt, beginnt ein Fertigungsabschnitt mit dem einseitigen Einschalen der vertikalen Bauteile, dem Bewehrungseinbau und dem darauffolgenden Schließen der Wand- und Stützenschalung. Daraufhin erfolgt die Betonage der vertikalen Bauteile. Nach der Betonage der vertikalen Bauteile beginnt die Schalung der horizontalen Bauteile, wobei aufgrund der vorgesehenen konstanten Anzahl an AK eine Unterbrechung zum Ausschalen der vertikalen Bauteile vorgesehen ist, bevor die Schalarbeiten an der Decke abgeschlossen werden können. Anschließend erfolgen die Bewehrung und die Betonage der Geschossdecke. Das Ausschalen der horizontalen Bauteile wird als Randzeit definiert und bleibt im Ablaufplan entsprechend unberücksichtigt.

D.3 Taktung auf PSP-Ebene 3 und 4

Zur Taktplanung wird der Ablaufplan aus Abb. 26 in einen idealisierten Ablaufplan überführt (vgl. Abb. 27), der in sechs Takte mit folgenden Bauprozessen gegliedert wird:

- *Takt 1:* Einschalen vertikale Bauteile
- *Takt 2:* Bewehrung vertikale Bauteile
- *Takt 3:* Betonage vertikale Bauteile
- *Takt 4:*
  - Einschalen horizontale Bauteile
  - Randschalung horizontale Bauteile
  - Ausschalen vertikale Bauteile
- *Takt 5:* Bewehrung horizontale Bauteile
- *Takt 6:* Betonage horizontale Bauteile

[249] Auch eine gegenseitige Kompensation der Bauzeitänderungen durch die ebenfalls nicht berücksichtigten Einarbeitungseffekte (vgl. Kap. D.3) ist möglich.

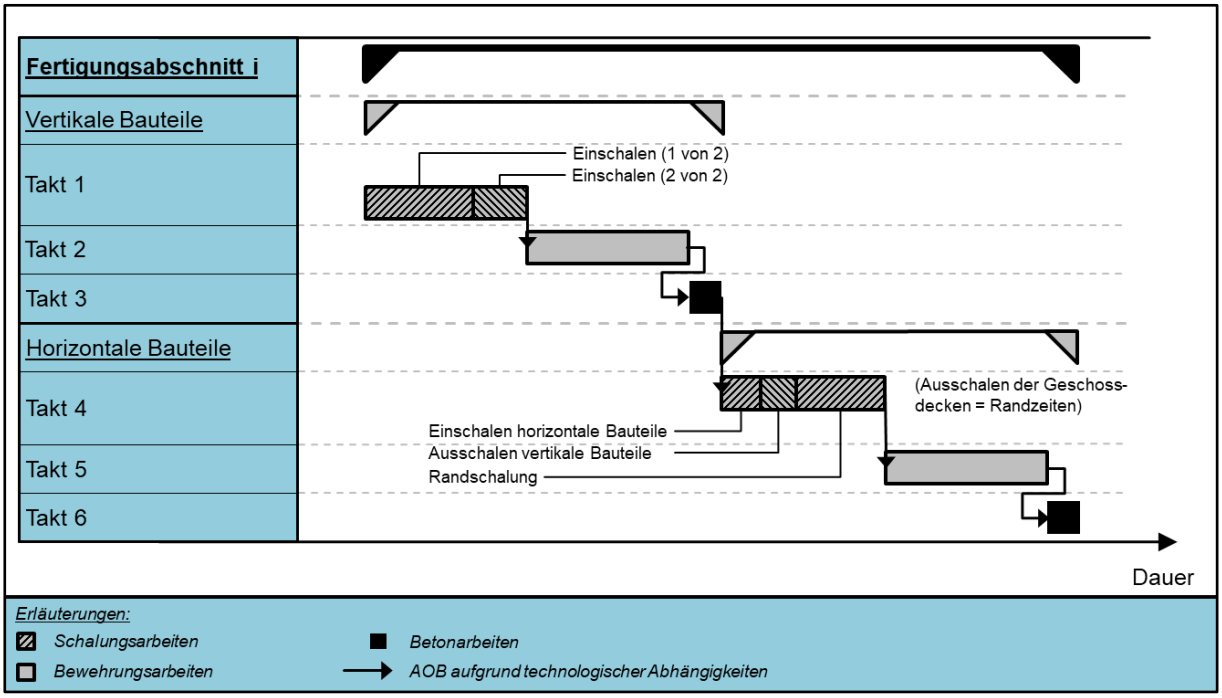


Abb. 27: BAM (PSP-Ebene 3 und 4: Bauprozesse) – Herstellung eines Fertigungsabschnitts (Taktung)[250]

Der Taktplanung werden identische Herstellungsdauern der einzelnen Takte (kurz: „Taktzeiten“) jedes Fertigungsabschnitts unterstellt, wobei Einarbeitungseffekte unberücksichtigt bleiben (vgl. Kap. C.1).[251] Es wird davon ausgegangen, dass dies keine nennenswerten Auswirkungen auf die Genauigkeit des Gesamtverfahrens hat.[252] Insbesondere mit Rücksicht auf den Genauigkeitsgrad der übrigen in die Berechnung der Bauzeit eingehenden Faktoren, können die Auswirkungen eines Einflussfaktors dieser Größenordnung als geringfügig betrachtet werden.

Gleichzeitig ermöglicht die Arbeitshilfe eine Anpassung der Aufwandswerte einzelner Prozesse.

Weiterhin erfolgt die Ermittlung der Anzahl der Fertigungsabschnitte unter der Prämisse, dass deren Betonage durch eine einzelne Kolonne innerhalb eines AT möglich sein muss.[253] Ein Fertigungsabschnitt ist nach der Fertigstellung der Betonagearbeiten der horizontalen Bauteile (Takt 6) soweit abgeschlossen, dass die Arbeiten an Takt 1 des unmittelbar darüber liegenden Fertigungsabschnitts, im unmittelbaren Anschluss nach der Aushärtung des Betons über Nacht, beginnen können.

---

[250] Eigene Darstellung (qualitativ).

[251] Die Ermittlung der Taktzeit ergibt sich aus Eq. (G.12) und Eq. (G.13).

[252] Auch eine gegenseitige Kompensation der Bauzeitänderungen durch die ebenfalls nicht berücksichtigten Beschleunigungspotenziale (vgl. Kap. D.2) ist möglich.

[253] Vgl. z. B. BERNER ET AL. (2013), S. 92.

Die Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts im EG ($D_{FA,EG}$) und in den RG ($D_{FA,RG}$) wird als Zeitspanne zwischen dem Beginn der Schalung der vertikalen Bauteile und der Fertigstellung der Betonage der horizontalen Bauteile definiert:

$$D_{FA,EG} = 5 \cdot D_{T,EG} + 1 \quad \text{(D.1)}$$

$$D_{FA,RG} = 5 \cdot D_{T,RG} + 1 \quad \text{(D.2)}$$

Das Ausschalen der vertikalen Bauteile wird Takt 4 zugeordnet, wobei auch hier eine Aushärtezeit des Betons über Nacht in Ansatz gebracht wird. Für Taktzeiten von mehr als einem AT resultieren für Takt 3, aufgrund des dargestellten Zusammenhangs, zeitliche Reserven.

Das Ausschalen der horizontalen Bauteile wird als Randzeit definiert, weshalb die zugehörige Ausschalfrist ausschließlich bei der abschließenden Bestimmung der Rohbauzeit berücksichtigt werden muss.

D.4 Taktung auf PSP-Ebene 2

In Abb. 28 ist der resultierende Ablaufplan der entwickelten Taktung aus Kapitel D.3 auf Ebene der Fertigungsabschnitte (PSP-Ebene 2) für die Herstellung eines Geschosses qualitativ dargestellt.

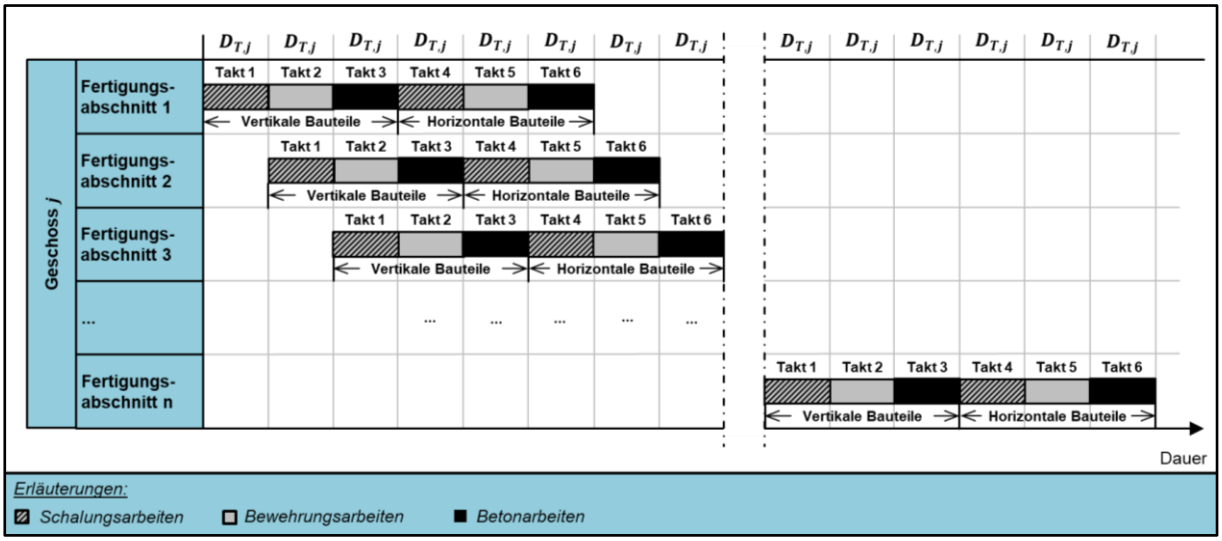


Abb. 28: BAM (PSP-Ebene 2: Fertigungsabschnitte) – Herstellung eines Geschosses[254]

Die angegebene Taktzeit (D_T) repräsentiert die Dauer zwischen jeweils gleichen Bauprozessen zweier aufeinanderfolgender Fertigungsabschnitte. Da bei der Taktfertigung eine konti-

[254] Eigene Darstellung (qualitativ). Anm.: Obwohl für die Betonage-Takte gilt, dass die Betonage innerhalb eines Tages erfolgt, werden für die Taktzeiten identische Werte dargestellt (vgl. Kap. D.3).

nuierliche Beschäftigung der einzelnen Kolonnen angestrebt wird,[255] entspricht die Dauer zwischen dem Beginn eines Fertigungsabschnitts und dem Beginn des darauffolgenden Fertigungsabschnitts innerhalb des gleichen Geschosses der Taktzeit.

D.5 Taktung auf PSP-Ebene 1

In Abb. 29 ist der resultierende Ablaufplan für identische Taktzeiten in allen Geschossen schematisch dargestellt, wobei eine Differenzierung hinsichtlich der Anzahl der Fertigungsabschnitte ($n_{FA,0}$) stattfindet.

Die dargestellten AOB in Abb. 29 zeigen, dass Takt 1 eines Fertigungsabschnitts i im Geschoss j aus technologischen Gründen erst beginnen kann, wenn Takt 6 des unmittelbar darunterliegenden Fertigungsabschnitts i in Geschoss $j-1$ fertiggestellt wurde.[256] Gleichzeitig ist der Beginn von Takt 1 des Fertigungsabschnitts i im Geschoss j aus kapazitiven Gründen erst möglich, wenn Takt 1 im letzten Fertigungsabschnitt n in Geschoss $j-1$ abgeschlossen ist.

Aufgrund der gewählten Einteilung in sechs Takte (vgl. Kap. D.3), können im Hinblick auf die Anzahl der Fertigungsabschnitte eines Geschosses dementsprechend drei Fälle unterschieden werden:

- $n_{FA,0} = 6$: In jedem der sechs Fertigungsabschnitte wird nach der Anlaufphase einer der sechs definierten Bauprozesse eines Fertigungsabschnitts ausgeführt. Es entstehen keine Warte- und Leerzeiten.
- $n_{FA,0} < 6$: Nach Fertigstellung von Takt 1 des letzten Fertigungsabschnitts n eines Geschosses $j-1$ kommt es für die zugehörige Kolonne zu technologisch bedingten Wartezeiten, da Takt 6 des ersten Fertigungsabschnitts des unmittelbar darunter liegenden Geschosses $j-1$ noch nicht abgeschlossen wurde und Takt 1 des ersten Fertigungsabschnitts des Geschosses j somit noch nicht beginnen kann.
- $n_{FA,0} > 6$: Nach Fertigstellung von Takt 6 des ersten Fertigungsabschnitts eines Geschosses $j-1$ kommt es zu kapazitiv bedingten Leerzeiten, da Takt 1 des ersten Fertigungsabschnitts des Geschosses j nicht im unmittelbaren Anschluss erfolgt, obwohl dies technologisch möglich wäre. Durch den parallelen Einsatz zu-

[255] Vgl. BERNER ET AL. (2013), S. 90 u. GRALLA (2011), S. 252.

[256] Dauer der Betonage eines Fertigungsabschnitts = 1 AT. Eine Aushärtung des Betons über Nacht wird als ausreichend zugrunde gelegt.

sätzlicher Kolonnen, kann bei vorliegenden Leerzeiten die Bauzeit reduziert und z. B. die Kranauslastung gesteigert werden.

Obwohl die Einteilung des Referenzgebäudes in sechs Fertigungsabschnitte wie hier dargestellt vorteilhaft sein kann, erfolgt die Ermittlung der erwarteten Anzahl der Fertigungsabschnitte auf Grundlage des Betonvolumens der horizontalen oder vertikalen Bauteile pro Geschoss und der zugehörigen Tagesleistung einer Betonierkolonne und stellt somit eine projektspezifische Größe dar. Die dargestellten Ermittlungsansätze ermöglichen die Anpassung des BAM auf mögliche Varianten des Bauablaufs, z. B. abweichende Anzahlen der Fertigungsabschnitte, aus denen unterschiedliche Bauzeiten resultieren können.

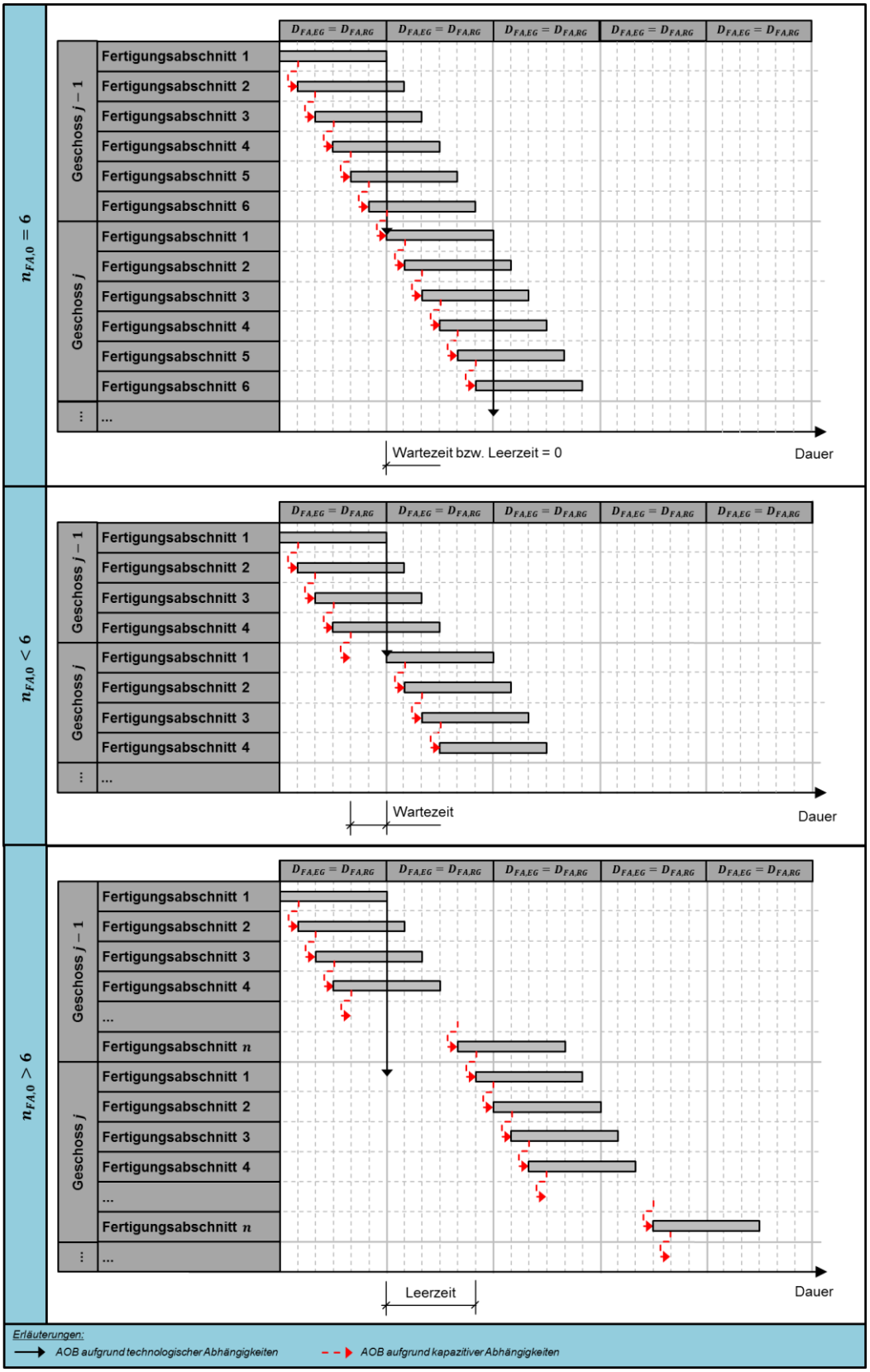


Abb. 29: Auswirkungen unterschiedlicher Anzahlen von Fertigungsabschnitten[257]

[257] Eigene Darstellung (schematisch). Anm.: Die Darstellung der AOB ist auf Takt 1 beschränkt. Auf die farbliche Hervorhebung von Leer- und Wartezeiten wie in Abb. 20 wird verzichtet. Einarbeitungseffekte bleiben unberücksichtigt (vgl. Kap. C.1).

E. Entwicklung des Referenzgebäudes

Der generelle Ablauf der Entwicklung des Referenzgebäudes ist in Abb. 30 zusammengefasst. Weiterhin sind für die einzelnen Ermittlungen der Gebäudeparameter sowie der geometrischen und quantitativen Parameter der Bauelemente (vgl. Kap. E.2 u. Kap. E.3) jeweils separate Ablaufschemata enthalten (vgl. Abb. 105 bis Abb. 136, Anlage).

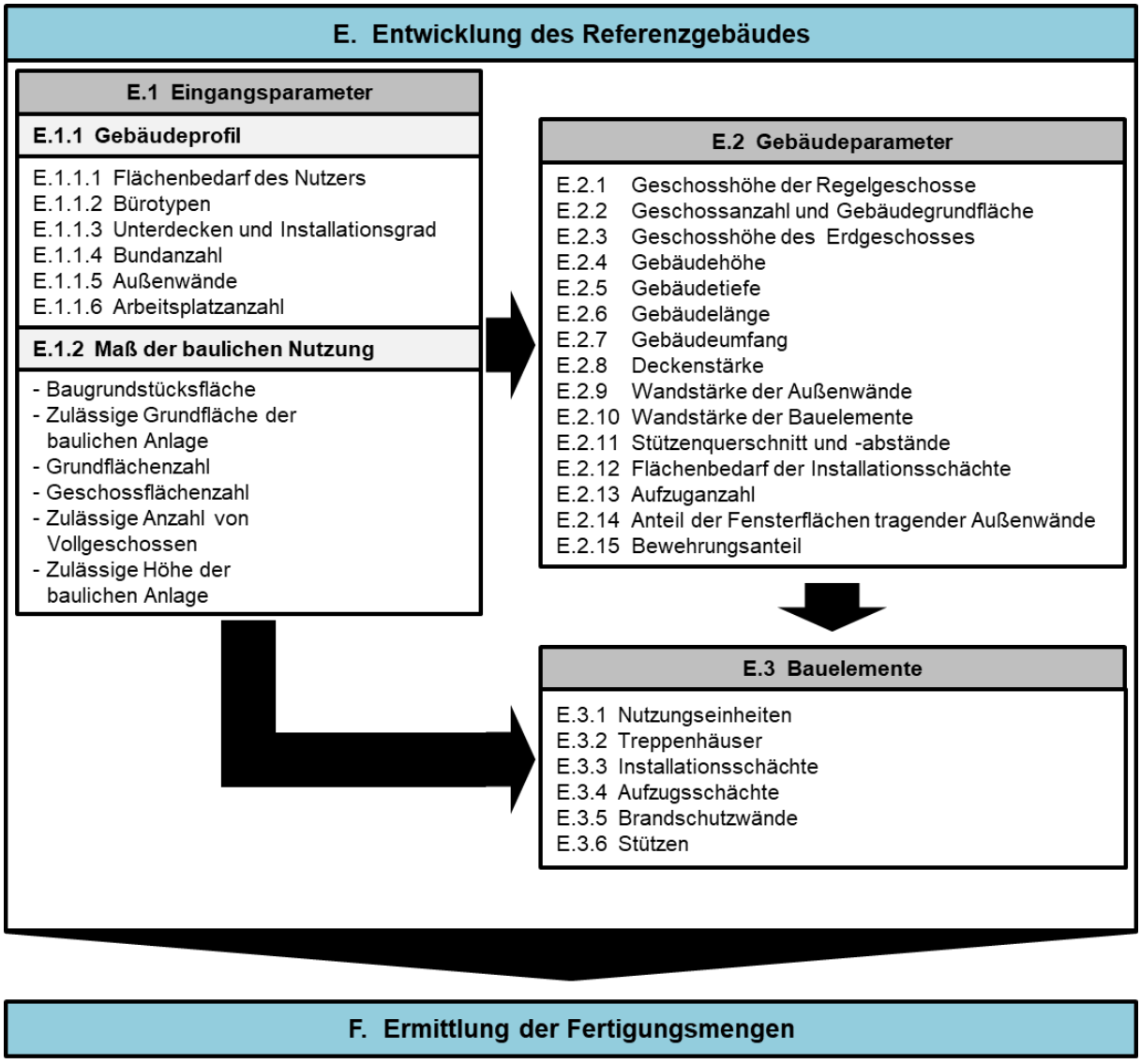


Abb. 30: Entwicklung des Referenzgebäudes – Ablaufschema[258]

Auf Grundlage der Eingangsparameter „Gebäudeprofil“ und „Maß der baulichen Nutzung“ (vgl. Kap. E.1.1 u. Kap. E.1.2) werden die „Gebäudeparameter“ (vgl. Kap. E.2) des Referenzgebäudes bestimmt. Dies umfasst die Ermittlung des Gebäudegrundrisses und der Gebäudehöhe sowie die Festlegung von Gebäudeparametern auf Bauteil- bzw. Bauelement-

[258] Eigene Darstellung.

ebene. Anhand der Eingangs- und Gebäudeparameter erfolgt anschließend die Einteilung des Grundrisses des Referenzgebäudes in NE (vgl. Kap. E.3.1) und die Ermittlung der geometrischen und quantitativen Parameter der Bauelemente (vgl. Kap. E.3.2 bis Kap. E.3.6) aus denen anschließend die Fertigungsmengen zur Bauzeitermittlung bestimmt werden (vgl. Kap. F).

E.1 Eingangsparameter

E.1.1 Gebäudeprofil

Zur Bestimmung der minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudeparameter (vgl. Kap. E.2) ist mindestens die Festlegung des Bürotyps, der Unterdecke und des Installationsgrads, der Bundanzahl und der Außenwände notwendig (vgl. Kap. E.1.1.2 bis Kap. E.1.1.5). Die Vorgabe des Flächenbedarfs des Nutzers und der AP-Anzahl (vgl. Kap. E.1.1.1 u. Kap. E.1.1.6) ist bei der Verfahrensanwendung optional.

E.1.1.1 Flächenbedarf des Nutzers

Der Flächenbedarf des Nutzers (BGF_{erf}) wirkt sich maßgeblich auf die Geschossanzahl und die Gebäudegrundfläche aus (vgl. Kap. E.2.2). Da es bei der Definition des Flächenbedarfs die beiden Fälle „Bedarfsdeckung“ und „Nutzungsmaximierung“ zu differenzieren gilt, ist dessen Festlegung optional.[259]

Die Definition des Flächenbedarfs des Nutzers ist daher auf Werte größer null und bei vorgesehener Nutzungsmaximierung auf „keine Vorgabe“ beschränkt:

$$BGF_{erf}\ [m^2] = \{x | x \in \mathbb{R}_{>0} \vee\ x \in \emptyset\} \tag{E.1}$$

E.1.1.2 Bürotypen

Der Bürotyp wirkt sich auf die zweckmäßige Bürotiefe[260], die durch die Anforderungen an die natürliche Belichtung und Belüftung der Innenräume begrenzt wird,[261] und damit auch auf die zweckmäßige Gebäudetiefe (vgl. Kap. E.2.5) aus. Weiterhin wird z. B. die zweckmäßige RG-Höhe auf Grundlage des Bürotyps bestimmt (vgl. Kap. E.2.1). Die Definition des Bürotyps ist auf die folgenden Angaben beschränkt (vgl. Kap. C.2.2.2):

- Zellenbüros

[259] Vgl. hierzu auch die Angaben zum Begriff „Flächenbedarf des Nutzers“ im Glossar.

[260] Die Definition des Begriffs „Bürotiefe“ ergibt sich aus dem Glossar.

[261] Vgl. DIN 5034-1 (2011), S. 15 u. E DIN 5034-1 (2019), S. 14.

- Kombibüros
- Gruppenbüros
- Großraumbüros
- Flexibel

E.1.1.3 Unterdecken und Installationsgrad

Die mögliche Anordnung von Unterdecken und der geplante Installationsgrad – insbesondere die Lüftungstechnik – wirken sich maßgeblich auf die zweckmäßige RG-Höhe aus (vgl. Kap. E.2.1).

Die Definition der Unterdecke ist auf die folgenden Angaben beschränkt:

- *Ja*, d. h. mit Unterdecke
- *Nein*, d. h. ohne Unterdecke

Die Definition des Installationsgrads ist auf die folgenden Angaben beschränkt:

- Ohne Lüftungstechnik
- Mit Lüftungstechnik

Während in Kapitel E.2.1 erwartete RG-Höhen von Zellen-, Kombi- und Gruppenbüros für Geschosse mit und ohne Unterdecke sowie mit und ohne Lüftungstechnik abgeleitet werden, liegen für Großraumbüros und den Bürotyp „Flexibel“ lediglich RG-Höhen mit Unterdecke und mit Lüftungstechnik vor (vgl. Kap. E.2.1.2). Zur Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen RG-Höhen ist die Definition der Unterdecke und des Installationsgrads für Großraumbüros und den Bürotyp „Flexibel“ entsprechend eingeschränkt.

E.1.1.4 Bundanzahl

Die Bundanzahl (n_{Bd}) (vgl. Kap. C.2.2.3) wirkt sich maßgeblich auf die Gebäudetiefe (vgl. Kap. E.2.5) aus. Die Definition der Bundanzahl ist auf die folgenden Angaben beschränkt:

$$n_{Bd}[-] = \begin{cases} 1 & wenn: einbündige\ Gebäudeerschließung \\ 2 & wenn: zweibündige\ Gebäudeerschließung \\ 3 & wenn: dreibündige\ Gebäudeerschließung \\ 0 & wenn: flurlose\ Gebäudeerschließung \end{cases} \quad \text{(E.2)}$$

Zur Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefe ist die Berücksichtigung einer geeigneten Kombination aus Bürotyp und Bundanzahl notwendig (vgl. Kap. E.2.5.2).

E.1.1.5 Außenwände

Für die Außenwände kann definiert werden:

- *Tragend*, d. h. vorgesehene Fertigung in Stahlbetonbauweise)
- *Nicht tragend*, d. h. vorgesehene Einsatz vorgehängter Fassaden

Die Festlegung tragender oder nicht tragender Außenwände hat, ggf. in Kombination mit dem Anteil der Fensterflächen tragender Außenwände (vgl. Kap. E.2.14), maßgeblichen Einfluss auf die Fertigungsmengen (vgl. Kap. F).

E.1.1.6 Arbeitsplatzanzahl

Die Definition der AP-Anzahl (n_{AP}) ist optional und dient der Ermittlung der Benutzeranzahl der Aufzugsanlage und damit der Bestimmung der Aufzuganzahl (vgl. Kap. E.2.13). Ohne Definition der AP-Anzahl erfolgt die Bestimmung der Benutzeranzahl der Aufzugsanlage anhand der BGF und des ermittelten Flächenbedarfs pro AP (vgl. Kap. E.2.13.2).

Die Definition der AP-Anzahl ist daher auf ganze Zahlen größer null und auf „keine Vorgabe“ beschränkt:

$$n_{AP}[-] = \{x | x \in \mathbb{N} \ \vee \ x \in \emptyset\} \tag{E.3}$$

E.1.2 Maß der baulichen Nutzung

Zur Ermittlung der maximalen Gebäudegrundfläche ($A_{Geb,max}$) (vgl. Kap. E.2.2) ist mindestens die Angabe der zulässigen Grundfläche der baulichen Anlage ($A_{Geb,zul}$) oder der Baugrundstücksfläche (A_{GS}) und GRZ notwendig:

$$A_{Geb,max}\,[m^2] = f\left(A_{Geb,zul}, GRZ, A_{GS}\right) \tag{E.4}$$

$$\left(mit: \left\{A_{Geb,zul} \vee (GRZ \wedge A_{GS})\right\} \notin \emptyset\right)$$

Zur Ermittlung der maximalen Geschossanzahl ($n_{G,max}$) (vgl. Kap. E.2.2) ist mindestens die Angabe der zulässigen Anzahl von Vollgeschossen ($n_{G,zul}$), der zulässigen Höhe der baulichen Anlage ($h_{Geb,zul}$) und Festlegung der RG-Höhen (h_{RG}) oder der GRZ und GFZ notwendig:

$$n_{G,max}\,[-] = f\left(n_{G,zul}, h_{Geb,zul}, h_{RG}, GRZ, GFZ\right)$$
$$\left(mit: \left\{n_{G,zul} \vee \left(h_{Geb,zul} \wedge h_{RG}\right) \vee (GRZ \wedge GFZ)\right\} \notin \emptyset\right) \tag{E.5}$$

Bei der Berechnung der maximalen Gebäudegrundfläche und maximalen Geschossanzahl können auch Kombinationen verschiedener Vorgaben des Maßes der baulichen Nutzung zu berücksichtigen sein (vgl. Kap. E.2.2).

Die Definitionen der zulässigen Anzahl von Vollgeschossen, der Baugrundstücksfläche, der zulässigen Grundfläche der baulichen Anlage, der GRZ und der zulässigen Höhe der baulichen Anlage sind auf Werte größer null und „keine Vorgabe“ beschränkt, wobei die zulässige Anzahl von Vollgeschossen zusätzlich auf ganze Zahlen eingeschränkt ist:

$$n_{G,zul}\,[-] = \{x | x \in \mathbb{N} \ \vee \ x \in \emptyset\} \tag{E.6}$$

$$A_{GS}\,[m^2] = \{x | x \in \mathbb{R}_{>0} \vee \ x \in \emptyset\} \tag{E.7}$$

$$A_{Geb,zul}\,[m^2] = \{x | x \in \mathbb{R}_{>0} \ \vee \ x \in \emptyset\} \tag{E.8}$$

$$h_{Geb,zul}\,[-] = \{x | x \in \mathbb{R}_{>0} \ \vee \ x \in \emptyset\} \tag{E.9}$$

$$GFZ\,[-] = \{x | x \in \mathbb{R}_{>0} \vee \ x \in \emptyset\} \tag{E.10}$$

Die Definition der GRZ ist auf Werte größer null und kleiner gleich eins sowie „keine Vorgabe“ begrenzt:

$$GRZ\,[-] = \{x | 0 < x \leq 1 \ \vee \ x \in \emptyset\} \tag{E.11}$$

Aufgrund der Definitionen der GFZ und GRZ muss gelten:[262]

$$GFZ[-] \geq GRZ\,[-] \tag{E.12}$$

E.2 Gebäudeparameter

Die Ermittlung der Gebäudeparameter beruht auf den Eingangsparametern „Gebäudeprofil“ und „Maß der baulichen Nutzung“ (vgl. Kap. E.1).

E.2.1 Geschosshöhe der Regelgeschosse

Der Ablauf der Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen RG-Höhe ist in Abb. 105 (Anlage) zusammengefasst.

[262] Die Definitionen der Begriffe „Grundflächenzahl“ und „Geschossflächenzahl“ ergeben sich aus dem Glossar.

E.2.1.1 Allgemeines

Die Ermittlung der Geschosshöhen des Referenzgebäudes ist zunächst ausschließlich auf RG begrenzt und erfolgt auf der Grundlage zweckmäßiger RG-Höhen von Büroräumen gemäß Literatur. Die Ermittlung der EG-Höhe erfolgt anschließend in Kapitel E.2.3.

Die RG-Höhe von Büroräumen ist maßgeblich vom Bürotyp sowie der Anordnung möglicher Unterdecken und dem Installationsgrad anhängig (vgl. Kap. E.1.1.2 u. Kap. E.1.1.3). Bei der Ermittlung werden daher für die einzelnen Bürotypen folgende RG-Höhen differenziert:

- Ohne Unterdecke (oUD),
- Mit Unterdecke, aber ohne Lüftungstechnik (UDoL)
- Mit Unterdecke und mit Lüftungstechnik (UDmL)

Um den Umfang der Datengrundlage zu vergrößern, werden neben Literaturangaben zu üblichen RG-Höhen auch Vorgaben zu lichten Raumhöhen[263] verwendet, die in Deutschland in der Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) und ASR A1.2 (2013) sowie in Österreich in der Bundes-Arbeitsstättenverordnung (B-AStV) angegeben sind.[264]

Um lichte Raumhöhen zur Ermittlung von üblichen RG-Höhen verwenden zu können, sind diese zunächst auf Geschosshöhen umzurechnen. Dies erfolgt durch die Festlegung einer mittleren Deckenstärke, Fußbodenhöhe und Installationshöhe[265] (vgl. Abb. 96):

- Deckenstärke = 25 cm (entspricht der erwarteten Deckenstärke der Geschossdecken (vgl. Kap. E.2.8))
- Fußbodenhöhe = 10 cm

  Die Fußbodenhöhe wird in Anlehnung an HEISEL (2013) mit 10 cm festgelegt.[266]

[263] Die Definition des Begriffs „lichte Raumhöhe“ ergibt sich aus dem Glossar.

[264] Da in der aktuellen Fassung der ArbStättV keine konkreten Vorgaben zu lichten Raumhöhen angegeben sind, werden die Angaben aus der ArbStättV a. F. übernommen, die gleichzeitig auch in ASR A1.2 (2013) verwendet werden (vgl. § 23 Abs. 2 ArbStättV a. F. i. V. m. ASR A1.2 (2013), S. 12). Gemäß der aktuellen ArbStättV müssen Arbeitsräume lediglich *„eine ausreichende Grundfläche und eine, in Abhängigkeit von der Größe der Grundfläche der Räume, ausreichende lichte Höhe aufweisen, so dass die Beschäftigten ohne Beeinträchtigung ihrer Sicherheit, ihrer Gesundheit oder ihres Wohlbefindens die Räume nutzen oder ihre Arbeit verrichten können (Anhang 1.2 ArbStättV)“*.

[265] Die Definitionen der Begriffe „Fußbodenhöhe“ und „Installationshöhe“ ergeben sich aus dem Glossar.

[266] Vgl. HEISEL (2013), S. 296 u. KISTER ET AL. (2016), S. 493. Anm.: Der angegebene Wert ergibt sich für Unterflurkanäle oder Hohlraumestrich (vgl. ebd.).

- Installationshöhe = 50 cm

  Nach KISTER ET AL. (2016) ist für Gebäude mit Installationsanforderungen aber ohne Lüftungstechnik eine Installationshöhe von 32 cm vorzusehen, wohingegen bei lüftungstechnisch versorgten Büroräumen eine Installationshöhe von mindestens 50 cm empfehlenswert ist.[267] Durch kreuzende Lüftungskanäle können sich Installationshöhen von ca. 97 cm ergeben.[268] Nach HEISEL (2013) ergeben sich für Bürogebäude ohne Lüftungstechnik Installationshöhen von 30 bis 40 cm und für lüftungstechnisch versorgte Büroräume Installationshöhen von 40 bis 60 cm.[269] Ähnliche Richtwerte ergeben sich auch aus BOHNE (2014), wonach die Mindesthöhe abgehängter Decken ca. 30 cm beträgt, die jedoch bei Gebäuden mit Klimatechnik auf 40 bis 60 cm zu erhöhen ist.[270]

Bei der Ermittlung zweckmäßiger RG-Höhen bleiben die Vorgaben aus DIN 5034-1 (2011) bzw. E DIN 5034-1 (2019) unberücksichtigt, da hierin lediglich Angaben zur Vergleichbarkeit von Arbeits- und Wohnräumen enthalten sind.[271] Weiterhin unberücksichtigt bleiben die Vorgaben zur lichten Raumhöhe gemäß der Verordnungen der Länder über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten, wie z. B. der Bayerischen Versammlungsstättenverordnung (VStättV), da diese auf Bürogebäude i. d. R. nicht anzuwenden sind.[272]

Auch auf die Berücksichtigung von statistisch ermittelten Planungskennwerten, die das Verhältnis zwischen dem BRI und der BGF beschreiben wird verzichtet. Zwar wird das Verhältnis zwischen dem BRI und der BGF in BKI (2016) ausdrücklich als mittlere Geschosshöhe definiert,[273] bei näherer Betrachtung der zugrunde liegenden Daten ist jedoch feststellbar, dass diese zur Ermittlung von RG-Höhen ungeeignet sind, da die Summe der Regel- und Sonderfall-Flächen gemäß DIN 277-1 (2016) berücksichtigen werden.[274]

---

[267] Vgl. KISTER ET AL. (2016), S. 493.

[268] Vgl. KISTER ET AL. (2016), S. 493.

[269] Vgl. HEISEL (2013), S. 296.

[270] Vgl. BOHNE (2014), S. 24.

[271] Vgl. DIN 5034-1 (2011), S. 10 u. E DIN 5034-1 (2019), S. 15. Anm.: Eine ausdrückliche Definition des verwendeten Begriffs „Raumhöhe“ wird in DIN 5034-1 (2011) und E DIN 5034-1 (2019) nicht angegeben. Aus dem Kontext ergibt sich aber, dass diese dem hier definierten Begriff „lichte Raumhöhe“ entspricht (vgl. ebd. i. V. m. Glossar).

[272] Dies ergibt sich aus dem Geltungsbereich in § 1 Abs. 1 VStättV.

[273] Vgl. BKI (2016), S. 55.

[274] Vgl. HÄNDLER/SCHWARZ (2017), S. 244. Anm.: Bei der Berechnung des BRI bei Sonderfällen der Raumumschließung sind *„die Oberkanten der begrenzenden Baukonstruktionen (z. B. Brüstungen, Attiken, Geländer*) (*DIN 277-1 (2016), S. 12)*" und damit nicht zwingend die Oberkanten begrenzender Deckenflächen maßgebend. Werden bei den zugrunde liegenden Daten die Regel- und Sonderfall-Flächen der Raumumschließung in Summe betrachtet, so kann dies bei der Anwendung der Planungskennwerte zu nicht erkennbaren Fehlern bei den resultierenden Geschosshöhen führen.

Angaben zum Verhältnis zwischen dem BRI und der BGF, die ausschließlich den Regelfall der Raumumschließung berücksichtigen, ergeben sich z. B. aus BOGENSTÄTTER (2007). Aber auch bei ausschließlicher Berücksichtigung des Regelfalls der Raumumschließung, können sich bei der Berechnung der mittleren Geschosshöhe über das Verhältnis zwischen dem BRI und der BGF Ungenauigkeiten ergeben, da dieses auf alle Geschosse eines Gebäudes bezogen ist. Geschosse mit deutlich geringeren oder größeren Geschosshöhen, wie z. B. Tiefgaragen oder Empfangshallen, führen in diesem Fall zu nicht erkennbaren Abweichungen, die unter anderem auch von der Geschossanzahl abhängig sind.

Literaturangaben zum Verhältnis zwischen dem BRI und der BGF bleiben bei der Ermittlung der RG-Höhen daher gänzlich unberücksichtigt.

E.2.1.2 Datenermittlung

Die Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen RG-Höhen von Zellen-, Kombi-, Gruppen- und Großraumbüros resultiert aus den Balkenplänen und Kumulationen in Abb. 137 bis Abb. 140 (Anlage) und ist in Tab. 3 zusammengefasst.[275]

Aus Tab. 3 ergeben sich für Zellen-, Kombi- und Gruppenbüros RG-Höhen oUD, UDoL und UDmL. Da in Großraumbüros Unterdecken mit Lüftungstechnik den Regelfall darstellen, sind hierfür lediglich RG-Höhen UDmL angegeben.

Die ermittelten RG-Höhen in Tab. 3 sind grundsätzlich plausibel und zur Entwicklung des Referenzgebäudes generell anwendbar. Dennoch stellt die RG-Höhe grundsätzlich eine projektspezifische Größe dar, die vor der eigentlichen Bauplanung nicht mit absoluter Genauigkeit prognostiziert werden kann. Unter anderem, da neben technischen und organisatorischen Randbedingungen, wie z. B. dem Installationsgrad und dem Bürotyp, auch gestalterische und finanzielle Aspekte (z. B. reduzierte RG-Höhe zur Steigerung der Geschossanzahl und NUF) Auswirkungen auf die tatsächliche RG-Höhe haben können.

Die ermittelten minimalen, erwarteten und maximalen RG-Höhen können dementsprechend lediglich Richtwerte für übliche Geschosshöhen darstellen, die zur Bedarfsdeckung regelmäßig zweckmäßig sind, jedoch von der tatsächlichen RG-Höhe abweichen können.

[275] Der Ablauf der Ermittlung ist in Kapitel C.2.1 erläutert. Anm.: Auf die Berücksichtigung der Wertebereiche nach KÜHFUß/PAWLITSCHKO (2008), S.11 ff., STANIEK (2005), S. 60 ff., STANIEK/STANIEK (2013), S. 36 f. und LÖHNERT (2006), S.13 wurde teilweise verzichtet, da diese nicht hinreichend genau hinsichtlich des Installationsgrads bzw. der Unterdecken definiert werden.

Tab. 3: Minimale, erwartete und maximale Geschosshöhen der Regelgeschosse[276]

	$h_{RG}\ [m]$								
	Ohne Unterdecke			**Mit Unterdecke**					
				Ohne Lüftung			**Mit Lüftung**		
	min	**erw**	**max**	**min**	**erw**	**max**	**min**	**erw**	**max**
Zellenbüros	2,85	3,00	3,48	3,10	3,15	3,57	3,35	3,53	3,99
Kombibüros[a)]	2,85	3,10	3,35	(3,35)			3,35	3,60	3,85
Gruppenbüros[a)]	3,08	3,25	3,35	(3,35)	(3,46)*	(3,56)	3,56	3,85	4,45
Großraumbüros	k. A.			k. A.			3,80	4,20	4,35
Flexibel[b)]	k. A.			k. A.			(3,80)	(4,20)	(4,45)

Erläuterungen:
Werte in Klammern werden wegen fehlender Literaturangaben nicht aus den Balkenplänen und Kumulationen (vgl. Kap. L.2.2), sondern aus den übrigen hier angegebenen Tabellenwerten abgeleitet.

a) Die minimale RG-Höhe der Kombi- und Gruppenbüros resultiert aus der maximalen RG-Höhen des zugehörigen Bürotyps ohne Unterdecke.
Die maximale RG-Höhe von Kombi- und Gruppenbüros resultiert aus der minimalen RG-Höhen des zugehörigen Bürotyps mit Unterdecke und Lüftungstechnik.
Die erwartete RG-Höhe von Kombi- und Gruppenbüros resultiert aus dem Mittelwert dieser Werte.

b) Der Ermittlung wird zugrunde gelegt, dass flexible Bürogebäude für alle angegebenen Bürotypen und damit auch für die Aufnahme von Unterdecken und Lüftungstechnik geeignet sein sollten.
Die minimale, erwartete und maximale RG-Höhen des Bürotyps „Flexibel" resultiert daher jeweils aus dem höchsten Wert der übrigen ermittelten minimalen, erwarteten und maximalen RG-Höhen.

E.2.1.3 Geschosshöhen flexibler Gebäude

Da Gebäude für lange Nutzungsdauern konzipiert und errichtet werden, stellt die Technische Gebäudeausrüstung (TGA) einen integralen Bestandteil bei der Änderung der Raum- und Gebäudenutzung im Laufe des Lebenszyklus eines Gebäudes dar.[277] Im Sinne einer nachhaltigen Gebäudeplanung ist somit auch die Untersuchung der Geschosshöhen hinsichtlich der Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit des Gebäudes als Teilaspekt der Nachhaltigkeit zweckmäßig.

Flexible Bürogebäude sollten die Umnutzbarkeit auf alle gängigen Bürotypen ermöglichen. Die Anpassungsfähigkeit auf abweichende Nutzungsarten kann aus Abb. 31 abgeleitet werden, in der die lichten Raumhöhen unterschiedlicher Gebäudetypologien den lichten Raumhöhen gegenübergestellt sind, die näherungsweise aus den ermittelten RG-Höhen berechnet werden können.

Aus Abb. 31 ergibt sich, dass die lichten Raumhöhen von Zellen-, Kombi- und Gruppenbüros größtenteils auch auf die Nutzungsarten „Arbeiten", „Wohnen" und „Wohnen auf Zeit" anwendbar sind. Lediglich die lichte Raumhöhe von Ateliers wird von der lichten Raumhöhe von Zellenbüros unterschritten. Eine nachträgliche Umnutzung von Großraumbüros auf die

[276] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Tabellenwerte resultieren, sofern nicht anders angegeben, aus Abb. 137 bis Abb. 140 (Anlage).

[277] Vgl. VDI 6028-1.1 (2013), S. 4.

anderen dargestellten Nutzungsarten ist, z. B. durch abgehängte Decken, ausnahmslos möglich. Gleiches gilt für den Bürotyp „Flexibel“ (vgl. Kap. C.2.2.2).

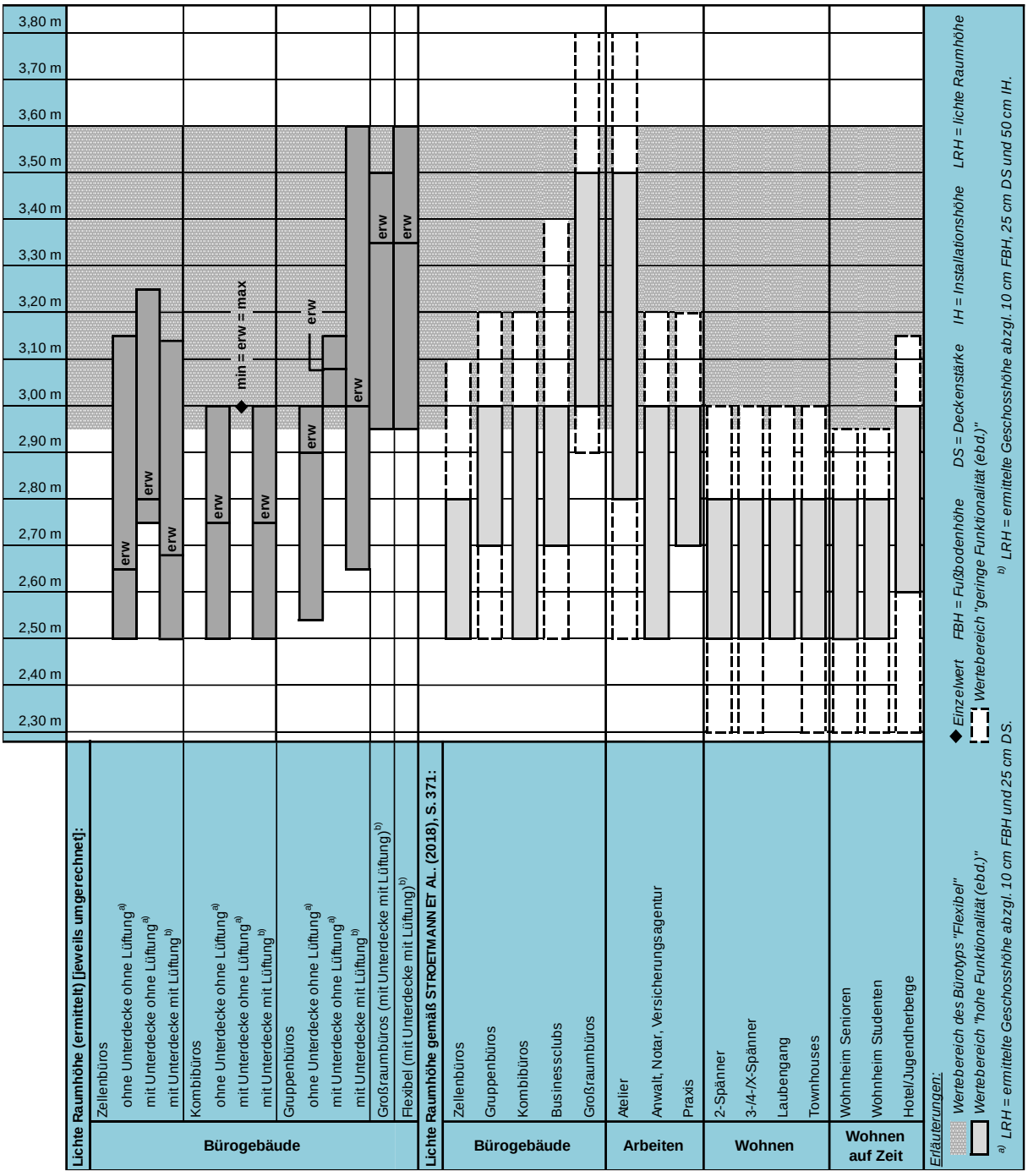


Abb. 31: Lichte Raumhöhen diverser Gebäudetypologien[278]

Daraus kann geschlussfolgert werden, dass nachträgliche Änderungen der Gebäudenutzung für die ermittelten RG-Höhen grundsätzlich möglich sind, insbesondere sofern bei der Planung bereits Unterdecken berücksichtigt werden.

[278] Eigene Darstellung. Anm.: Die Angaben gemäß STROETMANN ET AL. (2018) beziehen sich auf Gebäude in Stahlverbundbauweise. Da lediglich die lichten Raumhöhen verglichen werden, können diese allerdings generell auch auf Stahbetonbauwerke übertragen werden.

E.2.2 Geschossanzahl und Gebäudegrundfläche

Der Ablauf der Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Geschossanzahl und zugehörigen Gebäudegrundfläche ist in Abb. 106 (Anlage) zusammengefasst.

Die maximale Gebäudegrundfläche und maximale Geschossanzahl ergeben sich aus den Vorgaben zum Maß der baulichen Nutzung (vgl. Kap. E.1.2).

Die maximale Geschossanzahl ($n_{G,max}$) kann aus dem Verhältnis der zulässigen Höhe der baulichen Anlage zur RG-Höhe, dem Verhältnis der zulässigen GFZ zur zulässigen GRZ oder der zulässigen Anzahl von Vollgeschossen resultieren, wobei der auf die nächste ganze Zahl abgerundete Minimalwert maßgebend ist:

$$n_{G,max}\ [-]\ = \left\lfloor min\left(n_{G,zul}, \frac{h_{Geb,zul}}{h_{RG}}, \frac{GFZ}{GRZ}\right)\right\rfloor \tag{E.13}$$

Die maximale Gebäudegrundfläche ($A_{Geb,max}$) kann aus der zulässigen Grundfläche der baulichen Anlage oder der Baugrundstücksfläche und GRZ resultieren, wobei der Minimalwert maßgebend ist:

$$A_{Geb,max}\ [m^2] = min\left(A_{Geb,zul}, A_{GS} \cdot GRZ\right) \tag{E.14}$$

Die Ermittlung der Geschossanzahl und Gebäudegrundfläche erfolgt auf Grundlage des optional zu berücksichtigenden Flächenbedarfs des Nutzers (vgl. Kap. E.1.1.1) oder der zulässigen BGF des Gebäudes, die aus den Vorgaben zum Maß der baulichen Nutzung resultiert (vgl. Kap. E.1.2). Die zulässige BGF kann einerseits durch die Beschränkung der GFZ im Bebauungsplan beschränkt sein. Andererseits können auch die maximale Geschossanzahl und maximale Gebäudegrundfläche die zulässige BGF begrenzen. Die zulässige BGF ergibt sich zu:[279]

$$BGF_{zul}\ [m^2] = min\left(A_{Geb,max} \cdot n_{G,max}, A_{GS} \cdot GFZ\right) \tag{E.15}$$

Sofern das Baugrundstück zur Deckung des Flächenbedarfs geeignet ist, muss der definierte Flächenbedarf des Nutzers die zulässige BGF unterschreiten. Somit muss generell gelten:

$$BGF_{erf} \leq BGF_{zul}\ [m^2] \tag{E.16}$$

Die BGF des Referenzgebäudes ergibt sich aus dem Minimum des Flächenbedarfs des Nutzers und der zulässigen BGF zu:

$$BGF_{RB}\ [m^2] = min\left(BGF_{erf}, BGF_{zul}\right) \tag{E.17}$$

[279] Obwohl die zulässige Höhe der baulichen Anlage und die RG-Höhe die zulässige BGF nur mittelbar beeinflussen, werden diese dennoch durch die maximale Geschossanzahl berücksichtigt.

Die minimale Gebäudegrundfläche ($A_{Geb,min}$), die zur Deckung des vorgesehenen BGF-Bedarfs notwendig ist, ergibt sich aus der BGF des Referenzgebäudes und der maximalen Geschossanzahl:

$$A_{Geb,min}\ [m^2] = \frac{BGF_{RB}}{n_{G,max}} \tag{E.18}$$

In gleicher Form, allerdings auf Grundlage der maximalen Gebäudegrundfläche, erfolgt auch die Ermittlung der minimalen Geschossanzahl ($n_{G,min}$), die zur Deckung des vorgesehenen BGF-Bedarfs notwendig ist:

$$n_{G,min}[-] = \left\lceil \frac{BGF_{RB}}{A_{Geb,max}} \right\rceil \tag{E.19}$$

Bei der Ermittlung der erwarteten Geschossanzahl ($n_{G,erw}$) ist eine Fallunterscheidung durchzuführen. Ist eine minimale und maximale Geschossanzahl vorgegeben, so wird für die erwartete Geschossanzahl deren aufgerundeter Mittelwert in Ansatz gebracht. Konnte aufgrund der angegebenen Eingangsparameter lediglich eine minimale oder eine maximale Geschossanzahl bestimmt werden, so werden jeweils diese Vorgaben als erwartete Geschossanzahl übernommen. Ist hingegen weder eine minimale noch eine maximale Geschossanzahl vorgegeben, so ist auch für die erwartete Geschossanzahl keine Angabe möglich. Die erwartete Geschossanzahl ergibt sich somit aus folgendem Zusammenhang:

$$n_{G,erw}\ [-] = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_{G,min} \in \emptyset \ \wedge \ n_{G,max} \in \emptyset \\ n_{G,max} & wenn: n_{G,min} \in \emptyset \ \wedge \ n_{G,max} \notin \emptyset \\ n_{G,min} & wenn: n_{G,min} \notin \emptyset \ \wedge \ n_{G,max} \in \emptyset \\ \left\lceil \frac{n_{G,min} + n_{G,max}}{2} \right\rceil & wenn: n_{G,min} \notin \emptyset \ \wedge \ n_{G,max} \notin \emptyset \end{cases} \tag{E.20}$$

Die erwartete Gebäudegrundfläche wird anschließend auf Grundlage der BGF des Referenzgebäudes und der erwarteten Geschossanzahl bestimmt:[280]

$$A_{Geb,erw}\ [m^2] = \frac{BGF_{RB}}{n_{G,erw}} \tag{E.21}$$

Größere Geschossanzahlen führen bei identischen BGF des Referenzgebäudes zu einer geringeren Gebäudegrundfläche. Geringere Gebäudegrundflächen reduzieren die Anzahl der wirtschaftlich einsetzbaren AK und führen bei identischen Fertigungsmengen damit i. d. R. zu längeren Bauzeiten (vgl. auch Abb. 15).

[280] Da dem Referenzgebäude gleichbleibende Geometrien der einzelnen Geschosse unterstellt werden (vgl. Kap. A.3) ist die Anpassung der Gebäudegrundfläche in der Arbeitshilfe nicht möglich. Stattdessen kann die Gebäudegrundfläche über die Veränderung der Geschossanzahl angepasst werden.

E.2.3 Geschosshöhe des Erdgeschosses

Der Ablauf der Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen EG-Höhe ist in Abb. 107 (Anlage) zusammengefasst.

Anders als für die RG-Höhen von Büroräumen, können für EG keine zweckmäßigen Geschosshöhen ermittelt werden, da die vorgesehene Funktion des EG grundsätzlich nutzerspezifisch ist. So kann das EG z. B. als RG oder auch als Empfangshalle mit einem Vielfachen der RG-Höhe ausgeführt werden.

Bei der Ermittlung der Geschossanzahl wurde das EG zuvor als RG in Ansatz gebracht (vgl. Kap. E.2.2), woraus zuvor nicht genutzte Höhenreserven für die maximale EG-Höhe ($h_{EG,max}$) resultieren können. Bei der Ermittlung der minimalen und erwarteten EG-Höhen ($h_{EG,min}$ u. $h_{EG,erw}$) werden die ermittelten RG-Höhe in Ansatz gebracht. Ergibt sich aus dem Maß der baulichen Nutzung (vgl. Kap. E.1.2) hingegen keine zulässige Höhe der baulichen Anlage, so kann auch keine maximale EG-Höhe angegeben werden:

$$h_{EG,min}[m] = h_{RG,min} \tag{E.22}$$

$$h_{EG,erw}[m] = h_{RG,erw} \tag{E.23}$$

$$h_{EG,max}[m] = \begin{cases} h_{Geb,zul} - h_{RG} \cdot (n_G - 1) & wenn: h_{Geb,zul} \in \mathbb{R}_{>0} \\ \emptyset & wenn: h_{Geb,zul} \in \emptyset \end{cases} \tag{E.24}$$

E.2.4 Gebäudehöhe

Der Ablauf der Ermittlung der Gebäudehöhe und Gebäudehöhe gemäß MBO ist in Abb. 108 (Anlage) zusammengefasst.

Die Gebäudehöhe (h_{Geb}) wird aus der Geschossanzahl sowie der EG- und RG-Höhe bestimmt (vgl. Abb. 97, Anlage):

$$h_{Geb}\,[m] = h_{EG} + (n_G - 1) \cdot\ h_{RG} \tag{E.25}$$

Wobei generell gelten muss:

$$h_{Geb}\,[m] \leq h_{Geb,zul} \tag{E.26}$$

Zur Ermittlung des Flächenbedarfs der Installationsschächte (vgl. Kap. E.2.12) ist weiterhin die Ermittlung der Gebäudehöhe gemäß MBO[281] ($h_{Geb(MBO)}$) notwendig:

$$h_{Geb(MBO)}[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_G = 1 \\ h_{EG} + (n_G - 1) \cdot h_{RG} - h_{RG} & wenn: n_G > 1 \end{cases} \tag{E.27}$$

[281] Die Definition des Begriffs „Gebäudehöhe gemäß MBO“ ergibt sich aus dem Glossar.

E.2.5 Gebäudetiefe

E.2.5.1 Allgemeines

Der Ablauf der Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefe ist in Abb. 109 (Anlage) zusammengefasst.

Die Gebäudetiefe ist maßgeblich vom Bürotyp und der Bundanzahl abhängig (vgl. Kap. E.1.1.2 u. Kap. E.1.1.4), weshalb die Ermittlung entsprechend differenziert wird.

Veröffentlichte übliche Gebäude- und Bürotiefen werden hinsichtlich der Bemessungsgrundlage in einigen Fällen nicht eindeutig definiert. Bei der Ermittlung der Gebäudetiefe wird daher, sofern in der angegebenen Literatur nicht ausdrücklich anders definiert, die angegebene Definition der Gebäudetiefe zugrunde gelegt.[282] Mögliche Abweichungen bei der Verwendung von Literaturangaben zwischen Rohbau- und Fertigmaßen werden für den vorgesehenen Zweck als vernachlässigbar gering eingestuft.

Um den Umfang der Datengrundlage zu vergrößern, werden neben Literaturangaben zu üblichen Gebäudetiefen auch Vorgaben zu Bürotiefen verwendet.

Um Bürotiefen zur Ermittlung von üblichen Gebäudetiefen verwenden zu können, sind diese zunächst umzurechnen. Dies erfolgt durch die Festlegung der mittleren Flurbreite, Außenwanddicke und Innenwanddicke:[283]

- Flurbreite = 1,50 m

  Die Flurbreite wird anhand der Vorgaben an die barrierefreie Planung öffentlicher zugänglicher Gebäude nach DIN 18040-1 (2010) und der Anforderungen an Fluchtwege gemäß ASR A2.3 (2007) bestimmt.

  Gemäß DIN 18040-1 (2010) sind Flure ausreichend breit für die Nutzung mit Rollstühlen oder anderen Gehhilfen zu dimensionieren, wofür eine nutzbare Mindestbreite von 1,50 m angegeben wird.[284]

  Die Mindestbreite von Fluchtwegen gemäß ASR A2.3 (2007) ergibt sich aus der höchstmöglichen Anzahl anwesender Personen, die den Flur im Bedarfsfall als Fluchtweg verwenden müssen. Für die herkömmliche Büronutzung kann die maximale Anzahl dieser Personen anhand des minimalen Flächenbedarfs pro AP (vgl. auch Tab. 7) und der Gesamtfläche des Einzugsgebiets des Fluchtwegs ab-

[282] Die Definition des Begriffs „Gebäudetiefe“ ergibt sich aus dem Glossar.

[283] Die Definitionen der Begriffe „Flurbreite“, „Außenwanddicke“ und „Innenwanddicke“ ergeben sich aus dem Glossar.

[284] Vgl. DIN 18040-1 (2010), S. 10.

geschätzt werden. Für den minimalen Flächenbedarf pro AP wird dabei Minimalwert gemäß ASR 1.2 (2013) von 8 m² pro AP in Ansatz gebracht.[285] Für das Einzugsgebiet des Fluchtwegs wird der Grenzwert für Sonderbauten von 1.600 m² nach § 2 Abs. 4 Nr. 3 MBO angesetzt, ab dem besondere Anforderungen an den Brandschutz zu stellen sind.[286] Für das Einzugsgebiet ergeben sich somit bis zu 200 Personen. Die Mindest-Flurbreite resultiert aus ASR A2.3 (2007) damit zu 1,20 m.[287]

- Außenwanddicke = 35 cm (vgl. Kap. E.2.9)
- Innenwanddicke = 20 cm (vgl. Kap. E.2.10)

Bei der Ermittlung der Gebäudetiefe dreibündiger und flurloser Anlagen wird die Raumtiefe des Innenbunds bzw. innenliegender Räume vernachlässigt, da diese grundsätzlich eine unbekannte, nicht vorhersehbare und nutzerspezifische Größe darstellt. So können einzelne oder mehrere hintereinanderliegende Räume vorgesehen werden, deren Tiefe dem entsprechenden Zweck angepasst werden (z. B. Kopierräume, WC-Anlagen und Teeküchen aber auch Labore und Besprechungsräume). Bei flurlosen Anlagen wird die Gebäudetiefe aus der doppelten Summe der Bürotiefe und Außenwanddicke bestimmt.

E.2.5.2 Datenermittlung

Die Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefe von Zellen-, Kombi-, Gruppen- und Großraumbüros resultiert aus den Balkenplänen und Kumulationen in Abb. 141 bis Abb. 144 (Anlage) und ist in Tab. 4 zusammengefasst.[288]

Aus Tab. 4 ergeben sich für Zellenbüros ausschließlich Gebäudetiefen für ein- bis dreibündige Anlagen. Für Kombibüros sind lediglich Werte für dreibündige und für Großraumbüros nur flurlose Gebäudeerschließungen angegeben, wohingegen für Gruppenbüros für alle berücksichtigten Gebäudeerschließungsarten entsprechende Gebäudetiefen enthalten sind.

Die ermittelten Gebäudetiefen in Tab. 4 sind grundsätzlich plausibel und zur Entwicklung des Referenzgebäudes generell anwendbar. Dennoch stellt die Gebäudetiefe grundsätzlich eine projektspezifische Größe dar, die vor der eigentlichen Bauplanung nicht mit absoluter Genauigkeit prognostiziert werden kann. Unter anderem, da neben der Baugrundstücksgeomet-

[285] Vgl. ASR A1.2 (2013), S. 5.

[286] Vgl. § 51 MBO. Anm.: Dass die angesetzte Fläche von 1.600 m² auch die Fläche der Flure und sonstiger Nebenräume beinhaltet wird vernachlässigt. Ebenso bleibt vernachlässigt, dass sich weitere externe Personen innerhalb des Gebäudeabschnitts aufhalten können.

[287] Vg. ASR A2.3 (2007), S. 6.

[288] Der Ablauf der Ermittlung ist in Kapitel C.2.1 erläutert.

rie, auch die Gebäudeausrichtung sowie Nachbarbebauungen Auswirkungen auf die tatsächliche Gebäudetiefe haben können.

Tab. 4: Minimale, erwartete und maximale Gebäudetiefen[289]

	t_{Geb} [m]											
	einbündig			zweibündig			dreibündig			flurlos		
	min	erw	max	min	erw	max	min	erw	max	min	erw	max
Zellenbüros	7,19	10,00	14,41	12,10	13,00	16,71	12,40	14,88	24,38	k.A.		
Kombibüros	k.A.			k.A.			12,55	14,50	18,35	k.A.		
Gruppenbüros	8,10	8,50	11,08	12,50	16,80	23,00	12,38	15,75	19,13	16,25	27,50	38,75
Großraumbüros	k.A.			k.A.			k.A.			18,90	35,35	39,10
Flexibel	k.A.			(min = 16,25 m)			(erw = 16,48 m)			(max = 16,71 m)		

Erläuterungen:
Werte in Klammern werden aus den übrigen hier angegebenen Tabellenwerten abgeleitet.

Der Ermittlung wird zugrunde gelegt, dass flexible Bürogebäude für Zellen-, Kombi- und Gruppenbüros mit flurloser, zwei- oder dreibündiger Gebäudeerschließung geeignet sein sollten.

Die minimale Gebäudetiefe des Bürotyps „Flexibel" resultiert daher aus dem höchsten Wert der übrigen berücksichtigten minimalen Gebäudetiefen (d. h. Gruppenbüros, flurlos).
Die maximale Gebäudetiefe des Bürotyps „Flexibel" resultiert aus dem niedrigsten Wert der übrigen berücksichtigten maximalen Gebäudetiefen (d. h. Zellenbüros, zweibündig).
Die erwartete Gebäudetiefe des Bürotyps „Flexibel" resultiert anschließend aus dem Mittelwert der minimalen und maximalen Gebäudetiefe des Bürotyps „Flexibel".

Die ermittelten minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefen können dementsprechend lediglich Richtwerte für übliche Gebäudetiefen darstellen, die zur Bedarfsdeckung regelmäßig zweckmäßig sind, jedoch von der tatsächlichen Gebäudetiefe abweichen können.

E.2.5.3 Gebäudetiefen flexibler Gebäude

Gebäude werden für lange Nutzungsdauern konzipiert und errichtet.[290] Im Sinne einer nachhaltigen Gebäudeplanung ist somit auch die Untersuchung der Gebäudetiefe hinsichtlich der Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit des Gebäudes als Teilaspekt der Nachhaltigkeit zweckmäßig (vgl. auch Kap. C.2.2.2).

Flexible Bürogebäude sollten die Umnutzbarkeit auf alle gängigen Bürotypen ermöglichen. Nach FUCHS (2002) können Bürogebäude ab einer lichten nutzbaren Grundrisstiefe[291] von

[289] Eigene Darstellung.

[290] Vgl. VDI 6028-1.1 (2013), S. 4.

[291] Eine exakte Definition des Begriffs „lichte nutzbare Grundrisstiefe" ist in FUCHS (2002) nicht angegeben. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass es sich um die Gebäudetiefe gemessen von Innenkante Außenwand zu Innenkante Außenwand handelt. Wird eine Außenwandstärke von 35 cm in Ansatz gebracht, so ergibt sich für die im Rahmen der Arbeit verwendete Definition eine Gebäudetiefe von 13,50 + 0,35*2 = 14,20 m.

ca. 13,50 m zwei- und dreibündig ausgebildet werden.[292] Die ermittelten minimalen Gebäudetiefen zwei- und dreibündiger Anlagen von 12,10 bzw. 12,50 m unterschreiten den angegebenen Wert zur nutzbaren Grundrisstiefe somit um ca. 7 bzw. 10 %. Die ermittelten minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefen des Bürotyps „Flexibel“ überschreiten den angegebenen Wert zur nutzbaren Grundrisstiefe hingegen um ca. 3 m (vgl. Tab. 4).

Die Anpassungsfähigkeit auf abweichenden Nutzungsarten kann aus Abb. 32 abgeleitet werden, in der die Gebäudetiefen unterschiedlicher Gebäudetypologien den ermittelten Gebäudetiefen gegenübergestellt sind.

Abb. 32 zeigt, dass die Gebäudetiefen zwei- und dreibündiger Anlagen größtenteils auch auf die Gebäudetypologien „Arbeiten“, „Wohnen“ und „Wohnen auf Zeit“ anwendbar sind. Die Gebäudetiefen von Großraumbüros weisen hingegen ausschließlich Überlappungen mit Ateliers auf. Der Bürotyp „Flexibel“ zeigt Überschneidungen mit den Gebäudetypologien „Arbeiten“ und teilweise „Wohnen auf Zeit“, wohingegen die angegebenen Gebäudetiefen der Gebäudetypologie „Wohnen“ um ca. 2,50 m überschritten werden.

Daraus kann geschlussfolgert werden, dass nachträgliche Änderungen der Gebäudenutzung zwei- und dreibündiger Bürogebäude sowie des Bürotyps „Flexibel“ für die ermittelten Gebäudetiefen grundsätzlich möglich sind. Die gängigen Gebäudetiefen von Großraumraumbüros sind für Änderungen der Gebäudenutzung hingegen nicht geeignet.

E.2.6 Gebäudelänge

Der Ablauf der Ermittlung der Gebäudelänge ist in Abb. 110 (Anlage) zusammengefasst.

Die Gebäudelänge ergibt sich, aufgrund der getroffenen Grundannahmen gleichbleibender Gebäudetiefen und rechteckiger Grundrisse des Referenzgebäudes (vgl. Kap. A.3), aus der Gebäudegrundfläche und der Gebäudetiefe über folgenden Zusammenhang:

$$l_{Geb}[m] = \frac{A_{Geb}}{t_{Geb}} \tag{E.28}$$

Die resultierende Gebäudelänge kann die Länge des Baugrundstücks, aufgrund der möglichen Anordnung kombiniert-rechteckiger Grundrissformen (vgl. Abb. 2), auch überschreiten.

E.2.7 Gebäudeumfang

Der Ablauf der Ermittlung der Gebäudeumfangs ist in Abb. 111 (Anlage) zusammengefasst.

[292] Vgl. FUCHS (2002), S. 41.

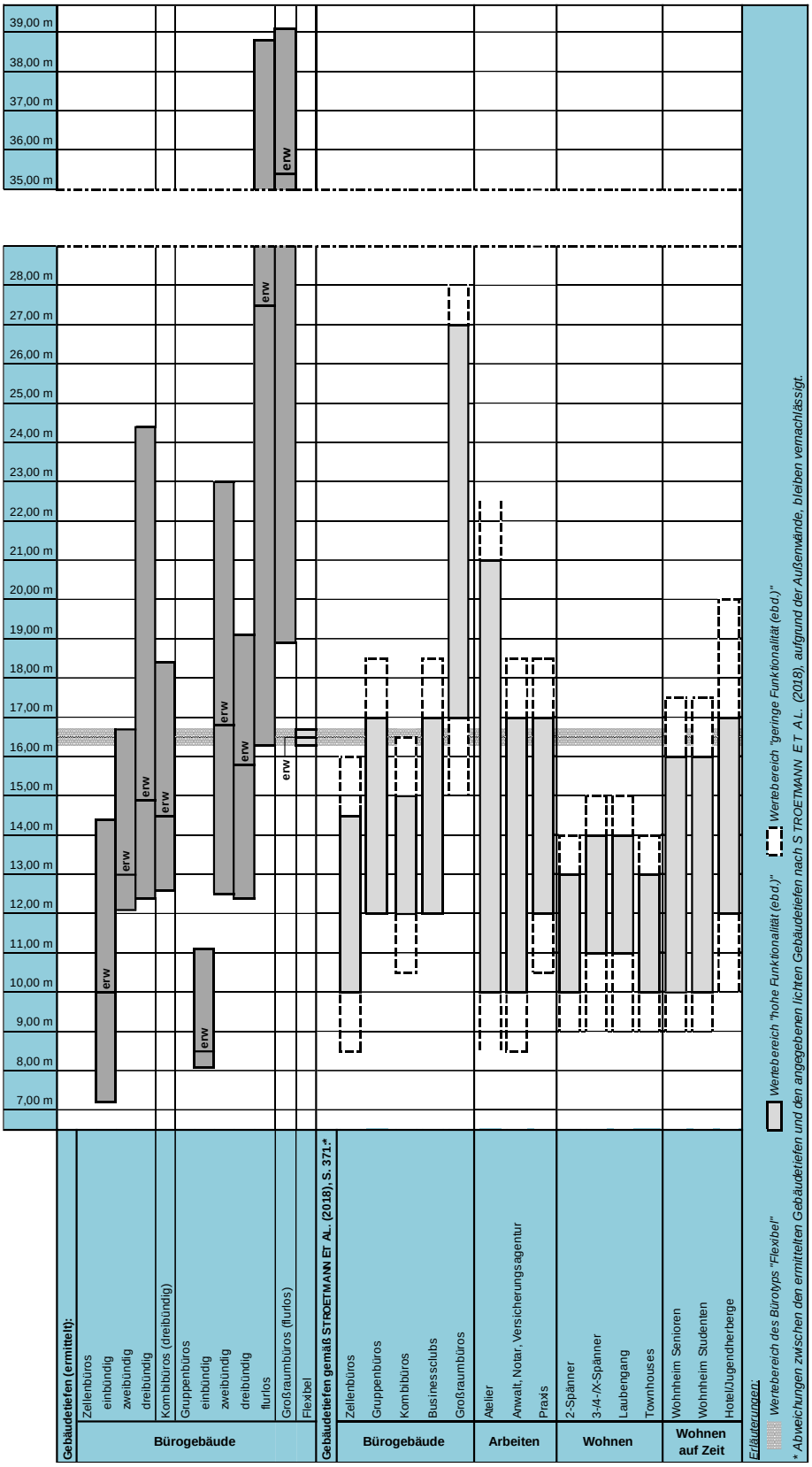


Abb. 32: Gebäudetiefen diverser Gebäudetypologien[293]

[293] Eigene Darstellung. Anm.: Die Angaben gemäß STROETMANN ET AL. (2018) beziehen sich auf Gebäude in Stahlverbundbauweise. Da lediglich die Gebäudetiefen verglichen werden, können diese allerdings generell auch auf Stahlbetonbauwerke übertragen werden.

Der Gebäudeumfang des Referenzgebäudes (U_{Geb}) ergibt sich, aufgrund der getroffenen Grundannahmen gleichbleibender Gebäudetiefen und rechteckiger Grundrisse des Referenzgebäudes (vgl. Kap. A.3), aus der Gebäudelänge und der Gebäudetiefe über folgenden Zusammenhang:

$$U_{Geb}\,[m] = 2 \cdot (l_{Geb} + t_{Geb}) \tag{E.29}$$

Baulich vollumfänglich umschlossene Innenhöfe führen zu einer Reduzierung des Gebäudeumfangs und damit auch insbesondere zu geringeren Außenwandflächen und Randschalungsmengen (vgl. Abb. 33). Da die hieraus resultierenden Mengen- und Bauzeitänderungen jedoch als marginal eingestuft werden können, wird auf die Berücksichtigung der Anzahl der baulich vollumfänglich umschlossenen Innenhöfe als Eingangsparameter des Gebäudeprofils verzichtet.

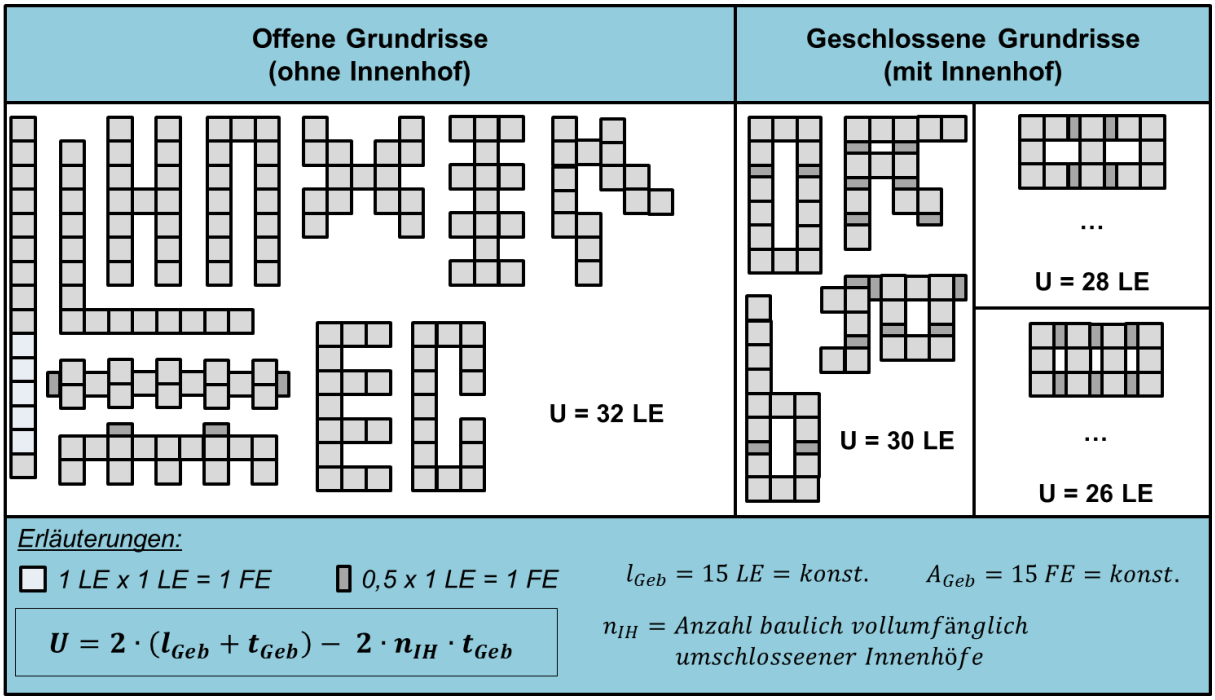


Abb. 33: Abweichungen des Gebäudeumfangs durch baulich vollumfänglich umschlossene Innenhöfe[294]

E.2.8 Deckenstärke

Der Ablauf der Ermittlung der Deckenstärke der Geschossdecken ist in Abb. 112 (Anlage) zusammengefasst.

Die minimale und maximale Deckenstärke der Geschossdecken ($d_{GD,min}$ u. $d_{GD,max}$) wird auf Grundlage des Grenzwertbereichs für Stahlbeton-Vollplatten nach RYBICKI/PRIETZ (2011)

[294] Eigene Darstellung.

festgelegt.[295] Als erwartete Deckenstärke ($d_{GD,erw}$) wird die angegebene Deckenstärke aus KISTER ET AL. (2016) und HEISEL (2013) in Ansatz gebracht:[296]

$$d_{GD,min}\ [m] = 0{,}10 \tag{E.30}$$

$$d_{GD,max}\ [m] = 0{,}30 \tag{E.31}$$

$$d_{GD,erw}\ [m] = 0{,}25 \tag{E.32}$$

E.2.9 Wandstärke der Außenwände

Der Ablauf der Ermittlung der Wandstärke der Außenwände ist in Abb. 113 (Anlage) zusammengefasst.

Für die minimale Wandstärke der Außenwände ($d_{AW,min}$) werden 17,5 cm und für die maximale Wandstärke der Außenwände ($d_{AW,max}$) 35 cm in Ansatz gebracht, wohingegen als erwartete Wandstärke der Außenwände ($d_{AW,erw}$) 24 cm zugrunde gelegt werden:[297]

$$d_{AW,min}\ [m] = 0{,}175 \tag{E.33}$$

$$d_{AW,max}\ [m] = 0{,}35 \tag{E.34}$$

$$d_{AW,erw}\ [m] = 0{,}24 \tag{E.35}$$

E.2.10 Wandstärke der Bauelemente

Der Ablauf der Ermittlung der Wandstärke der Bauelemente ist in Abb. 114 (Anlage) zusammengefasst.

Für die minimale Wandstärke der Bauelemente ($d_{IW,min}$),[298] d.h. der Treppenhäuser, Installations- und Aufzugsschächte sowie Brandschutzwände (vgl. Kap. E.3), werden 20 cm, für die erwartete Wandstärke der Bauelemente ($d_{IW,erw}$) 24 cm und für die maximale Wandstärke der Bauelemente ($d_{IW,max}$) 30 cm in Ansatz gebracht:

$$d_{IW,min}\ [m] = 0{,}20 \tag{E.36}$$

$$d_{IW,max}\ [m] = 0{,}30 \tag{E.37}$$

$$d_{IW,erw}\ [m] = 0{,}24 \tag{E.38}$$

[295] Vgl. RYBICKI/PRIETZ (2011), S. 30.

[296] Vgl. KISTER ET AL. (2016), S. 493 u. HEISEL (2013), S. 296.

[297] Für nicht tragende Außenwände gilt hingegen: $d_{AW,min} = d_{AW,erw} = d_{AW,max} = 0$.

[298] Index „IW“ = Innenwände.

E.2.11 Stützenquerschnitt und -abstände

Der Ablauf der Ermittlung des Stützenquerschnitts und der Stützenabstände ist in Abb. 115 (Anlage) zusammengefasst.

Der Entwicklung des Referenzgebäudes werden rechteckige Stützenquerschnitte zugrunde gelegt. Die verwendeten Definitionen der Stützenbreite und Stützenlänge sowie der Stützenabstände in Richtung der Gebäudetiefe und in Richtung der Gebäudelänge ergeben sich auch aus Abb. 49. Die zulässigen Stützenabstände werden jeweils zwischen den Mittelachsen der Stützen und ggf. vorhandenen Wänden gemessen.

Da zur Berechnung der Fertigungsmengen der Stützen lediglich die Bestimmung der Stützenanzahl notwendig ist, beschränkt sich die dargestellte Ermittlung, neben der Stützenbreite (t_{St}) und Stützenlänge (l_{St}), auf die zulässigen Stützenabstände in Richtung der Gebäudetiefe ($s_{St,t,zul}$) und in Richtung der Gebäudelänge ($s_{St,l,zul}$). Auf eine Ermittlung der vorhandenen Stützenabstände wird hingegen verzichtet. Die vorhandenen Stützenabstände in Richtung der Gebäudetiefe ($s_{St,t}$) und in Richtung der Gebäudelänge ($s_{St,l}$) dürfen die zugehörigen zulässigen Stützenabstände nicht überschreiten, weshalb gelten muss:

$$s_{St,t,zul} \leq s_{St,t} \tag{E.39}$$

$$s_{St,l,zul} \leq s_{St,l} \tag{E.40}$$

Der Stützenquerschnitt wird generell durch das Stützenraster begrenzt, da Überschneidungen nebeneinanderliegender Stützen auszuschließen sind. Dementsprechend muss für die Stützenquerschnitte und -abstände gelten:

$$t_{St} \ll s_{St,t,zul} \tag{E.41}$$

$$l_{St} \ll s_{St,l,zul} \tag{E.42}$$

Weiterhin werden die zulässigen Stützenabstände in Richtung der Gebäudetiefe und Gebäudelänge generell durch die Gebäudegeometrie, d. h. die Gebäudetiefe bzw. Gebäudelänge, begrenzt:

$$s_{St,t,zul} \leq t_{Geb} \tag{E.43}$$

$$s_{St,l,zul} \leq l_{Geb} \tag{E.44}$$

Für die minimale Stützenbreite und -länge ($t_{St,min}$ u. $l_{St,min}$) werden 20 cm und für die maximale Stützenbreite und -länge ($t_{St,max}$ u. $l_{St,max}$) 50 cm in Ansatz gebracht.[299] Als erwartete

[299] Der Mindestquerschnitt von Ortbetonstützen beträgt 20/20 cm (vgl. RYBICKI/PRIETZ (2011), S. 127).

Stützenbreite und -länge ($t_{St,erw}$ u. $l_{St,erw}$) wird jeweils der Mittelwert aus der minimalen und maximalen Stützenbreite bzw. Stützenlänge zugrunde gelegt:

$$t_{St,min}\ [m] = l_{St,min}\ [m] = 0{,}20 \tag{E.45}$$

$$t_{St,max}\ [m] = l_{St,max}\ [m] = 0{,}50 \tag{E.46}$$

$$t_{St,erw}\ [m] = l_{St,erw}\ [m] = 0{,}35 \tag{E.47}$$

Für die minimalen, erwarteten und maximalen zulässigen Stützenabstände in Richtung der Gebäudetiefe ($s_{St,t,zul,min}$, $s_{St,t,zul,erw}$ u. $s_{St,t,zul,max}$) und in Richtung der Gebäudelänge ($s_{St,l,zul,min}$, $s_{St,l,zul,erw}$ u. $s_{St,l,zul,max}$) werden jeweils identische Werte zugrunde gelegt. Stützenabstände, die rechnerisch zu einer Stützenpositionierung innerhalb eines Erschließungsflurs oder Bauelements führen, werden dennoch angewendet, da davon ausgegangen wird, dass dies in der Praxis durch eine geringfügige Anpassung des Stützenrasters ohne die Erhöhung der Stützenanzahl, korrigiert werden kann.

Die Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen zulässigen Stützenabstände erfolgt in Abhängigkeit vom Bürotyp anhand üblicher Stützenabstände bzw. Deckenspannweiten aus der Literatur. Hierbei gilt es weiterhin die angegebenen Grenzwerte aus Eq. (E.43) und Eq. (E.44) zu berücksichtigen. Die minimalen, erwarteten und maximalen zulässigen Stützenabstände ergeben sich aus Tab. 5.

Tab. 5: Minimale, erwartete und maximale Stützenabstände[300]

	$s_{St,t,zul}$ **und** $s_{St,l,zul}$ $[m]$		
	min	**erw**	**max**
Zellenbüros	4,50	$min(6{,}50; t_{Geb}; l_{Geb})$	
Kombibüros	4,50	$min(9{,}00; t_{Geb}; l_{Geb})$	
Gruppenbüros	5,50	$min(7{,}50; t_{Geb}; l_{Geb})$	
Großraumbüros	7,00	$min(9{,}00; t_{Geb}; l_{Geb})$	
Flexibel (jeweilige Maximalwerte)	7,00	$min(9{,}00; t_{Geb}; l_{Geb})$	

Da zulässige Stützenabstände ermittelt werden sollen, die den oberen Grenzwert der vorhandenen Stützenabstände darstellen, werden für die erwarteten zulässigen Stützenabstände jeweils die maximalen Werte der zulässigen Stützenabstände aus Tab. 5 angesetzt.

[300] Eigene Darstellung. Anm.: Zahlenwerte für Zellen-, Gruppen- und Großraumbüros nach HEISEL (2013), S. 293, 295. Die angegebenen Zahlenwerte für Kombibüros werden anhand der Minimal- und Maximalwerte von Zellen-, Gruppen- und Großraumbüros angenommen. Die angegebenen Zahlenwerte des Bürotyps „Flexibel“ sind aus den minimalen, erwarteten und maximalen Werten für Großraumbüros abgeleitet.

E.2.12 Flächenbedarf der Installationsschächte

Der Ablauf der Ermittlung des Flächenbedarfs der Installationsschächte ist in Abb. 116 (Anlage) zusammengefasst.

Die Ermittlung des Flächenbedarfs der Installationsschächte erfolgt auf Grundlage der acht Auswahlkriterien gemäß VDI 2050-1.1 (2017) (vgl. Kap. C.2.4.1). Für die Auswahlkriterien 2 bis 7 der Ermittlungstabelle (vgl. Tab. 2) ergeben sich, aufgrund der festgelegten Grundannahmen bei der Entwicklung des Referenzgebäudes (vgl. Kap. A.3) und nachfolgenden Festlegungen, gleichbleibende Eingangswerte:

- *Kriterium 2 „Gebäudetyp":* Die festgelegte Abgrenzung auf Büro- und Verwaltungsgebäude führt zu einem mittleren bis hohen Flächenbedarf der Installationsschächte.
- *Kriterium 3 „Gebäudegrundriss":* Die festgelegte rechteckige Grundrissform führt zu einem geringen Flächenbedarf der Installationsschächte.
- *Kriterium 4 „Anzahl Schächte":* Unabhängig von der Erschließungsart, wird von einer geringen Schachtanzahl, d. h. maximal drei Schächte pro 1000 m²BGF (vgl. Tab. 2), ausgegangen,[301] woraus ein geringer Flächenbedarf der Installationsschächte resultiert.
- *Kriterium 5 „Schachtanordnung":* Da in Reihe angeordnete Installationsschächte vorgesehen werden, ergibt sich ein mittlerer bis hoher Flächenbedarf der Installationsschächte.
- *Kriterium 6 „Schachtausführung":* Da Installationsschächte in Betonbauweise vorgesehen werden, ergibt sich ein mittlerer bis hoher Flächenbedarf der Installationsschächte.
- *Kriterium 7 „Grundrisssituation":* Da vierseitig angebaute Installationsschächte vorgesehen werden, ergibt sich ein geringer Flächenbedarf der Installationsschächte.

[301] Bei ein- und zweibündigen Anlagen wird für maximal zwei NE von maximal 400 m²BGF jeweils ein Installationsschacht angeordnet, wohingegen bei dreibündigen Anlagen jeweils ein Installationsschacht für maximal vier NE von maximal 400 m²BGF resultiert. Bei flurlosen Anlagen erfolgt keine Einteilung in NE, weshalb die an den Installationsschacht angeschlossene Gebäudegrundfläche flurloser Referenzgebäude variiert. Die Schachtanzahl entspricht der Treppenhausanzahl und resultiert aus dem maximalen Treppenhausabstand und der Gebäudetiefe. Die angegebenen Zusammenhänge ergeben sich aus Kapitel C.2.5.1 und E.3.3.2.

Die angegebenen Festlegungen sind in der Ermittlungstabelle in Tab. 2 farblich hervorgehoben. Für die Auswahlkriterien 2 bis 7 resultieren in Spalte B bis D der Ermittlungstabelle jeweils drei Angaben und damit gleiche Kumulationsergebnisse (vgl. Tab. 2). Daraus kann abgeleitet werden, dass die Festlegung des Flächenbedarfs der Installationsschächte mit hinreichender Genauigkeit durch die Ermittlung der Auswahlkriterien 1 und 8 „Gebäudeklasse-MBO“[302] und „TGA“ erfolgen kann.[303]

Der minimale und maximale Flächenbedarf der Installationsschächte ($a_{IS,min}$ u. $a_{IS,max}$) wird aus dem minimalen und maximalen Flächenbedarf der Installationsschächte aufgrund der GKL ($a_{IS,\min(GKL)}$ u. $a_{IS,\max(GKL)}$) und aufgrund der TGA bzw. des Installationsgrads ($a_{IS,\min(TGA)}$ u. $a_{IS,\max(TGA)}$) gemäß Tab. 6 ermittelt.

Tab. 6: Minimaler und maximaler Flächenbedarf der Installationsschächte[304]

	$a_{IS,i(GKL)}$ [−]	
	min	**max**
GKL 1 und GKL 2	0	0,01
GKL 3	0,01	0,02
GKL 4 und GKL 5	0,02	0,03*

	$a_{IS,i(TGA)}$ [−]	
	min	**max**
Ohne Lüftungstechnik	0	0,01
Mit Lüftungstechnik	0,01	0,02

** angenommener Maximalwert*

Bei der Festlegung des minimalen Flächenbedarfs der Installationsschächte ($a_{IS,min}$) wird das Minimum von $a_{IS,\min(GKL)}$ und $a_{IS,\min(TGA)}$ in Ansatz gebracht, wobei gleichzeitig ein minimaler Flächenbedarf von 1,0 % der BGF des Gebäudes berücksichtigt wird. Für den maximalen Flächenbedarf der Installationsschächte ($a_{IS,max}$) wird das Maximum von $a_{IS,\max(GKL)}$ und $a_{IS,\max(TGA)}$ angesetzt:

$$a_{IS,min}\ [-] = max\left(min\left(a_{IS,\min(GKL)};\ a_{IS,\min(TGA)}\right); 0{,}01\right) \tag{E.48}$$

$$a_{IS,max}\ [-] = max\left(a_{IS,\max(GKL)};\ a_{IS,\max(TGA)}\right) \tag{E.49}$$

Als erwarteter Flächenbedarf der Installationsschächte ($a_{IS,erw}$) wird der Mittelwert des minimalen und maximalen Flächenbedarfs der Installationsschächte in Ansatz gebracht:

$$a_{IS,erw}\ [-] = \frac{a_{IS,min} + a_{IS,max}}{2} \tag{E.50}$$

[302] Die Definition des Begriffs „Gebäudeklasse“ und deren Ermittlungsgrundlage ergeben sich aus dem Glossar.

[303] Die BGF einer NE wird für das Referenzgebäude auf maximal 400 m² beschränkt (vgl. Kap. C.2.5.1). Die angegebene TGA „Brandmeldeanlagen“, „RAS“ (Rauchansaugsysteme) und „CO-Warnanlage“ bleiben dabei unberücksichtigt.

[304] Eigene Darstellung. Anm.: Zahlenwerte gemäß VDI 2050-1.1 (2017), S. 9.

E.2.13 Aufzuganzahl

Der Ablauf der Ermittlung der Aufzuganzahl ist in Abb. 117 (Anlage) zusammengefasst. Für die Ermittlung der Benutzeranzahl der Aufzugsanlage pro Geschoss ist in Kapitel L.2.1 (vgl. Abb. 118, Anlage) ein separates Ablaufschema enthalten. Gleiches gilt für die drei verwendeten Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Aufzuganzahl nach der alten Fassung der Allgemeinen Ausführungsverordnung des Wirtschaftsministeriums zur Landesbauordnung des Landes Baden-Württemberg (LBOAVO a. F.), STRAKOSCH/CAPORALE (2010) und AMEV (2017) (vgl. Abb. 119 bis Abb. 121, Anlage).

E.2.13.1 Allgemeines

Die Aufzuganzahl wird nachfolgend anhand veröffentlichter Kennwerte und überschläglichen Verkehrsberechnungen ermittelt.

Die beim Referenzgebäude unberücksichtigten Untergeschosse (vgl. Kap. A.3) – insbesondere Tiefgaragen – können die notwendige Aufzuganzahl erhöhen, was bei der vorliegenden Ermittlung der Aufzuganzahl jedoch unberücksichtigt bleibt. Ebenfalls unberücksichtigt bleiben mögliche zusätzliche Service- und Lastenaufzüge. Dies kann bei der Festlegung der berücksichtigten Aufzuganzahl bei Bedarf korrigiert werden.

Die Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Aufzuganzahl ($n_{A,min}$, $n_{A,erw}$ u. $n_{A,max}$) erfolgt auf der Grundlage folgender Berechnungsgrößen:[305]

- Aufzuganzahl ($n_{A,1}$) auf Grundlage des Kennwerts gemäß LBOAVO a. F.
- Aufzuganzahl ($n_{A,2}$) auf Grundlage des Kennwerts gemäß STRAKOSCH/CAPORALE (2010)
- Aufzuganzahl ($n_{A,3}$) auf Grundlage der überschläglichen Verkehrsberechnung gemäß AMEV (2017)

Für Bürogebäude mit mehr als einem Geschoss wird zugrunde gelegt, dass die Anordnung mindestens eines Aufzugs immer zweckmäßig ist und daher den Regelfall darstellt (vgl. Kap. C.2.4.2). Auch da bei der Berechnung der Aufzuganzahl nach AMEV (2017) Gebäudenutzer unterhalb des zweiten Obergeschosses unberücksichtigt bleiben,[306] wird die minimale Aufzuganzahl ($n_{A,min}$) und maximale Aufzuganzahl ($n_{A,max}$) für eingeschossige Gebäude auf einen Aufzug festgelegt. Für Referenzgebäude mit mehr als zwei Geschossen

[305] Auf eine detaillierte Verkehrsberechnung, wie z. B. nach SCHEFFLER ET AL. (1998), wird verzichtet.

[306] Vgl. AMEV (2017), S. 71.

resultiert die minimale und maximale Aufzuganzahl aus dem Minimum bzw. Maximum der ermittelten Aufzuganzahlen $n_{A,1}$ bis $n_{A,3}$:

$$n_{A,min}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn\colon n_G[-] = 1 \\ 1 & wenn\colon n_G[-] = 2 \\ \min(n_{A,1}, n_{A,2}, n_{A,3}) & wenn\colon n_G[-] > 2 \end{cases} \tag{E.51}$$

$$n_{A,max}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn\colon n_G[-] = 1 \\ 1 & wenn\colon n_G[-] = 2 \\ \max(n_{A,1}, n_{A,2}, n_{A,3}) & wenn\colon n_G[-] > 2 \end{cases} \tag{E.52}$$

Als erwartete Aufzuganzahl ($n_{A,erw}$) wird der aufgerundete Mittelwert aus $n_{A,min}$ und $n_{A,max}$ angesetzt:

$$n_{A,erw}\,[-] = \left\lceil \frac{n_{A,min} + n_{A,max}}{2} \right\rceil \tag{E.53}$$

Die Aufzuganzahlen $n_{A,1}$ bis $n_{A,3}$ ergeben sich unter anderem aus der Benutzeranzahl der Aufzugsanlage,[307] die sich aus der vorgesehenen Anzahl der Arbeitsplätze gemäß Bedarfsplanung ergeben kann oder auf Grundlage von Kennwerten zum notwendigen Flächenbedarf pro AP und der BGF des Gebäudes bestimmt wird (vgl. Kap. E.1.1.6). Die zweckmäßige Aufzuganzahl richtet sich weiterhin nach der Förderleistung und damit der Tragfähigkeit der Aufzüge. Die Ermittlung der Aufzuganzahlen $n_{A,1}$ bis $n_{A,3}$, auf Grundlage der Benutzeranzahl der Aufzugsanlage (vgl. Kap. E.2.13.2) und Tragfähigkeit der Aufzüge (vgl. Kap. E.2.13.3), erfolgt in Kapitel E.2.13.4 bis E.2.13.6.

E.2.13.2 Benutzeranzahl der Aufzugsanlage pro Geschoss

Der Ablauf der Ermittlung der Benutzeranzahl der Aufzugsanlage pro Geschoss ist in Abb. 118 (Anlage) zusammengefasst.

Die Ermittlung der Benutzeranzahl der Aufzugsanlage pro Geschoss ($n_{B,0}$) erfolgt entweder auf Grundlage der Gebäudegrundfläche und Kennwerten zum Flächenbedarf pro AP (α_{AP}) oder – sofern die notwenigen Festlegungen im Rahmen des Gebäudeprofils getroffen wurden – auf Grundlage der optionalen AP-Anzahl (vgl. Kap. E.1.1.6):

$$n_{B,0}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn\colon n_G[-] = 1 \\ \left\lceil \frac{n_{AP}}{n_G} \right\rceil & wenn\colon n_G[-] > 1 \ \wedge n_{AP}[-] \in \mathbb{N} \\ \left\lceil \frac{A_{Geb}}{\alpha_{AP}} \right\rceil & wenn\colon n_G[-] > 1 \ \wedge n_{AP}[-] \in \emptyset \end{cases} \tag{E.54}$$

[307] Vgl. z. B. STORZ (2018), Rdnr. 86.

Die Ermittlung des minimalen, erwarteten und maximalen Flächenbedarfs pro AP ($\alpha_{AP,min}$, $\alpha_{AP,erw}$ u. $\alpha_{AP,max}$) von Zellen-, Kombi-, Gruppen- und Großraumbüros resultiert aus dem Balkenplan und der Kumulation in Abb. 145 (Anlage) und ist in Tab. 7 zusammengefasst.[308]

Tab. 7: Minimaler, erwarteter und maximaler BGF-Bedarf pro Arbeitsplatz[309]

	$\alpha_{AP}\left[\frac{m^2 BGF}{AP}\right]$		
	min	**erw**	**max**
Zellenbüros	10,0	22,5	27,8
Kombibüros	20,3	23,1	25,6
Gruppenbüros	26,0	27,0	27,9
Großraumbüros	14,4	26,5	26,5
Flexibel*	(10,0)	(22,5)	(25,6)

** Aufgrund fehlender Literaturangaben werden die minimalen, erwarteten und maximalen BGF-Bedarfe pro AP des Bürotyps „Flexibel" nicht aus dem Balkenplan und der Kumulation in Abb. 145 (Anlage), sondern aus den ermittelten BGF-Bedarfen der übrigen Bürotypen ermittelt. Hierbei wird zugrunde gelegt, dass die Aufzugsanlagen flexibler Bürogebäude für Zellen-, Kombi-, Gruppen- und Großraumbüros geeignet sein sollten. Die minimalen, erwarteten und maximalen BGF-Bedarfe pro AP des Bürotyps „Flexibel" resultieren daher jeweils aus dem niedrigsten Wert der übrigen ermittelten minimalen, erwarteten und maximalen BGF-Bedarfe (d. h. Zellenbüros bzw. Großraumbüros).*

Da die ermittelten Literaturwerte zum Flächenbedarf pro AP z. T. nicht auf die BGF, sondern auf die NRF bezogen sind, werden diese teilweise mittels üblicher Verhältnisse zwischen der NRF und BGF auf die BGF pro AP umgerechnet. Das mittlere Verhältnis zwischen der NRF und BGF wurde auf Grundlage des Balkenplans und der Kumulation in Abb. 146 (Anlage) näherungsweise zu 0,844 m²NRF pro m²BGF ermittelt.[310]

E.2.13.3 Tragfähigkeit der Aufzüge

Die Tragfähigkeit der Aufzüge (P_0) wirkt sich unmittelbar auf die Förderleistung des Aufzugs und damit auf deren notwendige Anzahl aus (vgl. Kap. E.2.13.6).

Nach DIN 15309 (2002) sind Aufzüge für normale und intensive Nutzungen zu differenzieren.[311] Aufzüge für die normale Nutzung und üblichen Tragfähigkeiten von 630, 800 und 1.000 bzw. 1.275 kg werden in Bürogebäuden mit maximal 15 Stockwerken eingesetzt.[312] In Gebäuden mit mehr als 15 Stockwerken sind Aufzüge für die intensive Nutzung und Tragfähigkeiten von 1.275, 1.600, 1.800 und 2.000 kg zweckmäßig.[313] Die notwendige Umrechnung

[308] Der Ablauf der Ermittlung ist in Kapitel C.2.1 erläutert.

[309] Eigene Darstellung.

[310] Der Ablauf der Ermittlung ist in Kapitel C.2.1 erläutert.

[311] Vgl. DIN 15309 (2002), S. 5 f.

[312] Vgl. DIN 15309 (2002), S. 5, 7.

[313] Vgl. DIN 15309 (2002), S. 6, 7.

der Tragfähigkeit der Aufzüge von Kilogramm in Personen pro Aufzug orientiert sich an den Vorgaben in DIN EN 81-20 (2020), wonach ein Gewicht von 75 kg pro Person anzusetzen ist.[314]

Um die geforderte Aufnahme einer Krankentrage innerhalb des Fahrkorbs nach § 39 Abs. 5 Satz 1 MBO zu ermöglichen, ist für mindestens einen Aufzug eine Tragfähigkeit von mindestens 1.275 kg bzw. 17 Personen zweckmäßig.[315] Bei der Ermittlung der Aufzuganzahl wird für alle Aufzüge von einer konstanten Tragfähigkeit von 17 Personen ausgegangen:

$$P_0\ [-] = 17 \tag{E.55}$$

E.2.13.4 Kennwertverfahren gemäß LBOAVO a. F.

Der Ablauf der Ermittlung der Aufzuganzahl nach dem Kennwertverfahren gemäß LBOAVO a. F. ist in Abb. 119 (Anlage) zusammengefasst.

Nach LBOAVO a. F. sind Aufzüge *„so zu bemessen, daß für je 20 auf den Aufzug angewiesene Personen ein Platz zur Verfügung steht“*[316]. Die Aufzuganzahl gemäß LBOAVO a. f. ergibt sich somit aus der Benutzeranzahl der Aufzugsanlage pro Geschoss, der Geschossanzahl und der Tragfähigkeit der Aufzüge somit zu:

$$n_{A,1}\ [-] = \left\lceil \frac{n_{B,0} \cdot (n_G - 1)}{20 \cdot P_0} \right\rceil \tag{E.56}$$

E.2.13.5 Kennwertverfahren gemäß STRAKOSCH/CAPORALE (2010)

Der Ablauf der Ermittlung der Aufzuganzahl nach dem Kennwertverfahren gemäß STRAKOSCH/CAPORALE (2010) ist in Abb. 120 (Anlage) zusammengefasst.

Nach STRAKOSCH/CAPORALE (2010) kann bei Bürogebäuden mit maximal 20 Geschossen und einer Gebäudegrundfläche von mindestens ca. 920 m² davon ausgegangen werden, dass mindestens ein Aufzug für jeweils 225 bis 250 Nutzer anzuordnen ist.[317] Die Aufzugan-

[314] Vgl. DIN EN 81-20 (2020), S. 9.

[315] Vgl. DIN 15309 (2002), S. 14.

[316] § 13 Abs. 5 Satz 1 LBOAVO a. F.

[317] Vgl. STRAKOSCH/CAPORALE (2010), S. 287 f. Anm.: Die Anwendbarkeit des angegebenen Kennwerts ist auf Aufzugsanlagen in Bürogebäuden beschränkt, die zentral angeordnet sind und damit nicht mehr als einen Eingangsbereich aufweisen, ausschließlich ein Parkgeschoss oder eine Kantine mit den übrigen Geschossen verbinden und nicht als Serviceaufzug mitbenutzt werden und somit ausschließlich auf Aufzüge, die der direkten Verbindung der Bürogeschosse mit der Lobby dienen (vgl. STRAKOSCH/CAPORALE (2010), S. 287).

zahl gemäß STRAKOSCH/CAPORALE (2010) ergibt sich aus der Benutzeranzahl der Aufzugsanlage pro Geschoss und der Geschossanzahl somit zu:[318]

$$n_{A,2}\,[-] = \begin{cases} \left\lceil \frac{n_{B,0} \cdot (n_G - 1)}{237{,}50} \right\rceil & wenn: A_{Geb}[m^2] \geq 920 \;\wedge\; n_G\,[-] \leq 20 \\ \emptyset & wenn: A_{Geb}[m^2] < 920 \;\vee\; n_G\,[-] > 20 \end{cases} \tag{E.57}$$

In STRAKOSCH/CAPORALE (2010) wird nicht angegeben, welche Tragfähigkeit und Fahrgeschwindigkeit dem angegebenen Kennwert zugrunde liegt. Jedoch wird als Minimalgröße für Bürogebäude eine Tragfähigkeit von 1.200 kg bzw. 1.400 kg und für hochfrequentierte Bürogebäude eine Tragfähigkeit von 1.600 und 1.800 kg angegeben.[319]

Auf die Anwendung des Diagramms zur Ermittlung der notwendigen Aufzuganzahl von STRAKOSCH/CAPORALE (2010) wird verzichtet.[320]

E.2.13.6 Überschlägliche Verkehrsberechnung gemäß AMEV (2017)

Der Ablauf der Ermittlung der Aufzuganzahl nach der überschläglichen Verkehrsberechnung gemäß AMEV (2017) ist in Abb. 121 (Anlage) zusammengefasst.

Da bei der Berechnung der Aufzuganzahl nach AMEV (2017) Gebäudenutzer unterhalb des zweiten Obergeschosses unberücksichtigt bleiben,[321] ist das Verfahren nach AMEV (2017) generell auf Gebäude mit mehr als zwei Geschossen beschränkt. Die überschlägliche Verkehrsberechnung nach AMEV (2017) dient der Ermittlung der Aufzuganzahl in öffentlichen Gebäuden.[322] Grundsätzlich kann aber davon ausgegangen werden, dass die vorgestellte Berechnungsmethodik auch auf nicht-öffentliche Gebäude anwendbar ist. Die Ermittlung der Aufzuganzahl gemäß AMEV (2017) erfolgt auf Grundlage der erforderlichen Förderleistung (F_{erf}) und vorhandenen Förderleistung pro Aufzug (F_{vorh}):

$$n_{A,3}\,[-] = \left\lceil \frac{F_{erf}}{F_{vorh}} \right\rceil \tag{E.58}$$

Erforderliche Förderleistung:

Die erforderlichen Förderleistung wird anhand der Gesamt-Benutzeranzahl der Aufzugsanlage (n_B) und der Gebäudefüllzeit ($Z_{F\ddot{u}}$) bestimmt.

$$F_{erf}\;\left[\frac{1}{min}\right] = \frac{n_B}{Z_{F\ddot{u}}} \tag{E.59}$$

---

[318] In der dargestellten Formel wird der Mittelwert der angegebenen Personenanzahl berücksichtigt.

[319] Vgl. STRAKOSCH/CAPORALE (2010), S. 268.

[320] Vgl. STRAKOSCH/CAPORALE (2010), S. 288.

[321] Vgl. AMEV (2017), S. 71.

[322] Vgl. AMEV (2017), S. 8.

Nach AMEV (2017) nutzen rund 80 % der Gebäudenutzer oberhalb des zweiten Obergeschosses regelmäßig die Aufzugsanlage.[323] Die Gebäudenutzer im ersten Obergeschoss bleiben bei der Verkehrsberechnung nach AMEV (2017) demnach ebenso unberücksichtigt, wie die Gebäudenutzer im EG. Die Gesamt-Benutzeranzahl der Aufzugsanlage ergibt sich somit aus der Benutzeranzahl der Aufzugsanlage pro Geschoss und der Geschossanzahl über folgenden Zusammenhang:

$$n_B\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn\colon n_G[-] = 1 \\ 0{,}80 \cdot n_{B,0} \cdot (n_G\ - 2) & wenn\colon n_G[-] \geq 2 \end{cases} \tag{E.60}$$

Bei der Festlegung der Gebäudefüllzeit wird ein fester Arbeitsbeginn zugrunde gelegt, woraus im Vergleich zu flexiblen Arbeitszeiten eine höhere Anzahl von Aufzugsnutzern pro Zeiteinheit und damit eine höhere Aufzuganzahl resultiert. Für einen festen Arbeitsbeginn wird in AMEV (2017) eine Gebäudefüllzeit von 15 bis 20 min angegeben,[324] wobei der Berechnung der Mittelwert zugrunde gelegt wird:

$$Z_{F\ddot{u}}\,[min] = \frac{15 + 20}{2} = 17{,}5 \tag{E.61}$$

Vorhandene Förderleistung:

Die vorhandene Förderleistung wird anhand des Füllungsgrads des Fahrkorbs ($\eta_{F\ddot{u}}$), der Tragfähigkeit der Aufzüge und der Fahrkorbumlaufzeit (Z_{Uml}), d. h. der Zeitdauer je Förderspiel, bestimmt:

$$F_{vorh}\,\left[\frac{1}{min}\right] = \frac{\eta_{F\ddot{u}} \cdot P_0}{Z_{Uml}} \tag{E.62}$$

Da Fahrkörbe in der Realität nicht maximal befüllt werden, wird dies anhand des Füllungsgrads berücksichtigt.[325] Nach AMEV (2017) ist davon auszugehen, dass der Fahrkorb i. d. R. nur mit 75 % der maximal zulässigen Benutzeranzahl belegt ist,[326] weshalb gilt:

$$\eta_{F\ddot{u}}\,[-] = 0{,}75 \tag{E.63}$$

Die Fahrkorbumlaufzeit ergibt sich aus der Summe der Fahrzeit ohne Halte ($Z_{FZ,0}$) und des Gesamt-Fahrzeitzuschlag ($Z_{FZ,z}$) für das Beschleunigen und Verzögern des Fahrkorbs, das Öffnen und Schließen der Türen und das Ein- und Aussteigen der Personen:[327]

$$Z_{Uml}\,[min] = \frac{1}{60} \cdot (Z_{FZ,0} + Z_{FZ,z}) \tag{E.64}$$

[323] Vgl. AMEV (2017), S. 71.

[324] Vgl. AMEV (2017), S. 71.

[325] Vgl. AMEV (2017), S. 71, 72.

[326] Vgl. AMEV (2017), S. 71, 72.

[327] Vgl. AMEV (2017), S. 72.

Die Fahrzeit ohne Halte resultiert aus der mittleren Förderhöhe der Aufzugsanlage (h_{FH}) und der Fahrgeschwindigkeit (v_A):

$$Z_{FZ,0}\ [s] = \frac{2 \cdot h_{FH}}{v_A} \tag{E.65}$$

Bei der Bestimmung der mittleren Förderhöhe der Aufzugsanlage ist die mittlere Höhe zwischen dem zweiten und obersten Stockwerk maßgebend.[328] In Abb. 34 ist die Ermittlung der mittleren Förderhöhe am Beispiel eines sechsstöckigen Gebäudes schematisch dargestellt, woraus der allgemeine Berechnungsansatz zur Bestimmung der mittleren Förderhöhe der Aufzugsanlage wie folgt abgeleitet werden kann:

$$h_{FH}\ [m] = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G[-] \leq 2 \\ h_{EG} + \dfrac{h_{RG} \cdot (n_G - 1)}{2} & wenn: n_G[-] > 2 \end{cases} \tag{E.66}$$

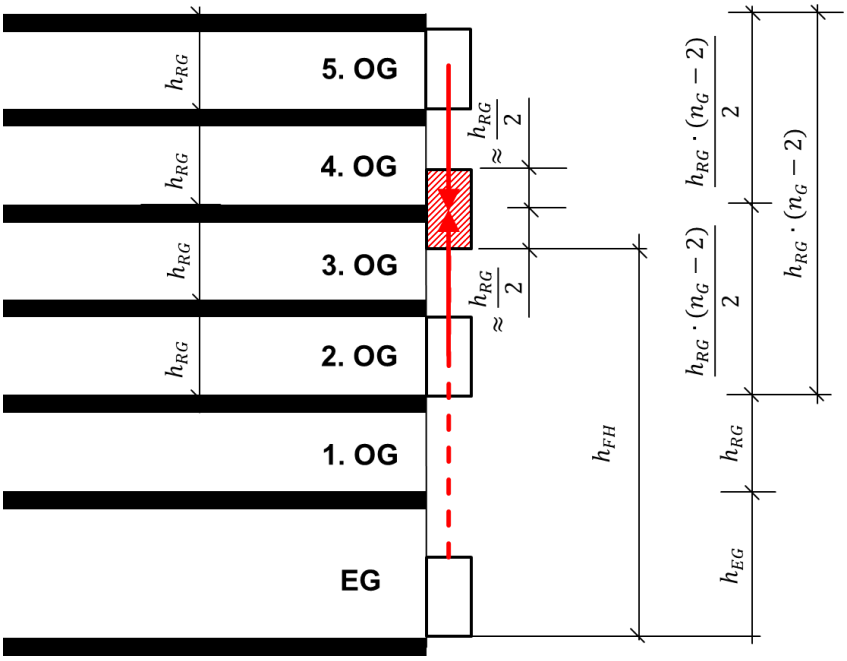


Abb. 34: Mittlere Förderhöhe von Aufzügen[329]

Die Fahrgeschwindigkeit ergibt sich nach AMEV (2017) in Abhängigkeit von der Anzahl der Haltestellen, wobei es die Bezugshaltestelle[330] zu vernachlässigen gilt.[331] Bei der Ermittlung der Aufzuganzahl wird in Ansatz gebracht, dass regelmäßig eine vollständige Erschließung aller Geschosse durch elektrische Aufzüge angestrebt wird. Für elektrische Aufzüge ergibt

[328] Vgl. AMEV (2017), S. 72.

[329] Eigene Darstellung (exemplarisch für ein sechsstöckiges Gebäude).

[330] Der Begriff „Bezugshaltestelle“ wird in AMEV (2017) nicht näher spezifiziert.

[331] Vgl. AMEV (2017), S. 79.

sich die Fahrgeschwindigkeit aus der Anzahl der Haltestellen bzw. der Geschossanzahl aus Tab. 8.

Tab. 8: Fahrgeschwindigkeiten von Standardaufzügen[332]

Anzahl der Haltestellen *(ohne Bezugshaltestelle)* **[–]**	**Fahrgeschwindigkeit v_A** *(elektrische Aufzüge)* **[m/s]**
$(n_G - 1) < 5$	1,0
$5 \leq (n_G - 1) \leq 9$	1,6
$10 \leq (n_G - 1) \leq 15$	2,0
$(n_G - 1) > 15$	2,5

Die in Tab. 8 angegebene Fahrgeschwindigkeit für Gebäude mit mehr als 15 Stockwerken von mindestens 2,5 m pro Sekunde deckt sich mit den Anforderungen gemäß DIN 15309 (2002).[333]

Die Fahrgeschwindigkeit kann aus Tab. 8 in Abhängigkeit der Geschossanzahl wie folgt formuliert werden:

$$v_A \left[\frac{m}{s}\right] = \begin{cases} \emptyset & wenn: \quad n_G[-] \leq 2 \\ 1{,}0 & wenn: \quad 3 < n_G[-] < 6 \\ 1{,}6 & wenn: \quad 6 \leq n_G[-] \leq 10 \\ 2{,}0 & wenn: 11 \leq n_G[-] \leq 16 \\ 2{,}5 & wenn: 16 < n_G[-] \end{cases} \tag{E.67}$$

Die Berechnung des Gesamt-Fahrzeitzuschlags kann bei der überschläglichen Verkehrsberechnung nach AMEV (2017) auf Grundlage der Anzahl der Haltestellen erfolgen.[334] Für den Fahrzeitzuschlag pro Haltestelle ($Z_{FZ,H}$) können 10 Sekunden pro Haltestelle in Ansatz gebracht werden.[335] Bei der Bestimmung der Anzahl der maßgebenden Haltestellen wird in AMEV (2017) weiterhin angegeben, dass bei einem Umlauf lediglich 50 % aller möglichen Haltestellen tatsächlich angefahren werden. Der Gesamt-Fahrzeitzuschlag ergibt sich somit zu:

$$Z_{FZ,z}\,[s] = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G[-] \leq 2 \\ \frac{n_G}{2} \cdot Z_{FZ,H} & wenn: n_G[-] > 2 \end{cases} \tag{E.68}$$

$$(mit: Z_{FZ,H}\,[s] = 10)$$

[332] Vgl. AMEV (2017), S. 79. Anm.: Die in der Tabelle nach AMEV (2017) angegebene Anzahl der Haltestellen entspricht bei vollständiger Erschließung aller Geschosse der hier angegebenen Geschossanzahl (vgl. a. a. O., S. 80). Die angegebenen Wertebereiche der Tabelle werden in AMEV (2017), S. 79 nicht eindeutig abgegrenzt. So kann beispielsweise aus fünf Haltestellen eine Fahrgeschwindigkeit von 1,0 oder 1,6 m/s abgeleitet werden (vgl. a. a. O., S. 79). Diese Überschneidungen wurden in Tab. 8 korrigiert.

[333] Vgl. DIN 15309 (2002), S. 6 i. V. m. AMEV (2017), S. 79.

[334] Vgl. AMEV (2017), S. 72.

[335] Vgl. AMEV (2017), S. 72.

E.2.14 Anteil der Fensterflächen

Der Ablauf der Ermittlung des Anteils der Fensterflächen der tragenden Außenwände ist in Abb. 122 (Anlage) zusammengefasst und ist ausschließlich auf tragende Außenwände beschränkt (vgl. Kap. E.1.1.5).

Da gemäß DIN 18331 (2019) Aussparungen bis einschließlich 2,50 m² bzw. einschließlich 0,50 m³ übermessen werden,[336] wird für den minimalen Anteil der Fensterflächen tragender Außenwände ($a_{F,AW,min}$) ein Grenzwert von 0 % in Ansatz gebracht. Als maximaler Anteil der Fensterflächen tragender Außenwände ($a_{F,AW,max}$) wird ein Grenzwert von 40 % angenommen. Als erwarteter Anteil der Fensterflächen tragender Außenwände ($a_{F,AW,erw}$) wird der Mittelwert des minimalen und maximalen Anteils der Fensterflächen tragender Außenwände in Ansatz gebracht:

$$a_{F,AW,min}\,[-] = \begin{cases} \emptyset & wenn: Außenwände = nicht\ tragend \\ 0{,}00 & wenn: Außenwände = tragend \end{cases} \quad \text{(E.69)}$$

$$a_{F,AW,max}\,[-] = \begin{cases} \emptyset & wenn: Außenwände = nicht\ tragend \\ 0{,}40 & wenn: Außenwände = tragend \end{cases} \quad \text{(E.70)}$$

$$a_{F,AW,erw}\,[-] = \begin{cases} \emptyset & wenn: Außenwände = nicht\ tragend \\ 0{,}20 & wenn: Außenwände = tragend \end{cases} \quad \text{(E.71)}$$

E.2.15 Bewehrungsanteil

Der Ablauf der Ermittlung der Bewehrungsanteile der Geschossdecken, Wände und Stützen ist in Abb. 123 (Anlage) zusammengefasst.

Die Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Bewehrungsanteile von Geschossdecken ($a_{Bew,GD,min}$, $a_{Bew,GD,erw}$ u. $a_{Bew,GD,max}$), Wänden ($a_{Bew,W,min}$, $a_{Bew,W,erw}$ u. $a_{Bew,W,max}$) und Stützen ($a_{Bew,St,min}$, $a_{Bew,St,erw}$ u. $a_{Bew,St,max}$) resultieren aus dem Balkenplan und der Kumulation in Abb. 147 (Anlage) und ist in Tab. 9 zusammengefasst.[337]

Tab. 9: Minimale, erwartete und maximale Bewehrungsanteile[338]

		$a_{Bew,i,j}\ \left[\frac{kg}{m^3 Beton}\right]$		
		j		
		min	**erw**	**max**
i	**Geschossdecken (GD)**	54	75	152
	Wände (W)	23	60	113
	Stützen (St)	105	115	289

[336] Vgl. a. a. O., S. 19 f.

[337] Der Ablauf der Ermittlung ist in Kapitel C.2.1 erläutert.

[338] Eigene Darstellung.

E.3 Bauelemente

Die Anzahl und Geometrie der zu platzierenden Bauelemente (vgl. Kap. E.3.2 bis Kap. E.3.6) resultiert aus der Anzahl und Geometrie der NE des Referenzgebäudes (vgl. Kap. E.3.1). Erst nach der Ermittlung der Anzahl des jeweiligen Bauelements werden dessen geometrische Parameter ermittelt, da die Anzahl eines Bauelements grundsätzlich auch bei „null“ liegen kann.[339] Dementsprechend gilt für einen geometrischen Parameter eines beliebigen Bauelements ($p_{B.El.}$) und die zugehörige Bauelementanzahl ($n_{B.El.}$), dass eine Ermittlung ausschließlich für eine Bauelementanzahl größer null durchgeführt wird:

$$p_{B.El.} = \begin{cases} \emptyset & n_{B.El.} = 0 \\ f(x) & n_{B.El.} > 0 \end{cases} \tag{E.72}$$

E.3.1 Nutzungseinheiten

Die Ermittlung der Anzahl und Geometrie der NE des Referenzgebäudes wird, wie in Kapitel C.2.5.1 erläutert, in NE 0 (vgl. Kap. E.3.1.2) sowie NE 1 und NE 2 (vgl. Kap. E.3.1.3) gegliedert.

E.3.1.1 Parameter

Die Definitionen der verwendeten Parameter ergeben sich aus Abb. 35.

E.3.1.2 Nutzungseinheiten des Typs 0

Der Ablauf der Ermittlung der Anzahl, Tiefe und Länge der NE 0 ist in Abb. 124 (Anlage) zusammengefasst. Für die Ermittlung der Anzahl, Tiefe und Länge der NE 1 und NE 2 ist in Kapitel L.2.1 ein separates Ablaufschema enthalten (vgl. Abb. 125, Anlage).

Tiefe der NE 0

Die Tiefe der NE 0 (t_{NE0}) ergibt sich in Abhängigkeit von der Gebäudeerschließungsart aus der Gebäudetiefe (vgl. Abb. 36 bis Abb. 39 sowie auch Abb. 24):

$$t_{NE0}\,[m] = \begin{cases} t_{Geb} & wenn: n_{Bd}[-] < 3 \\ \frac{t_{Geb}}{2} & wenn: n_{Bd}[-] = 3 \end{cases} \tag{E.73}$$

[339] Wie z. B. bei der Treppenhaus- oder Aufzuganzahl eingeschossiger Gebäude.

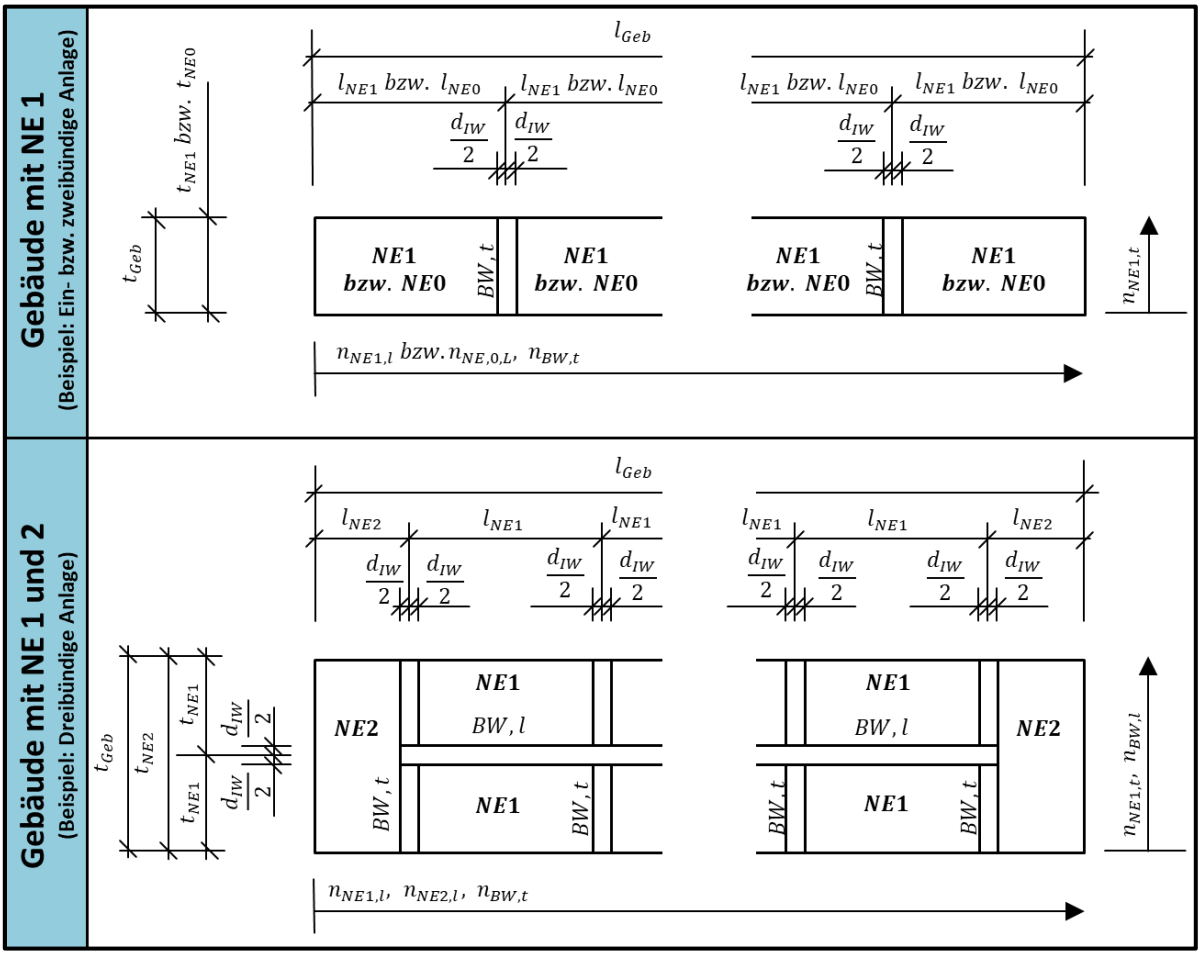
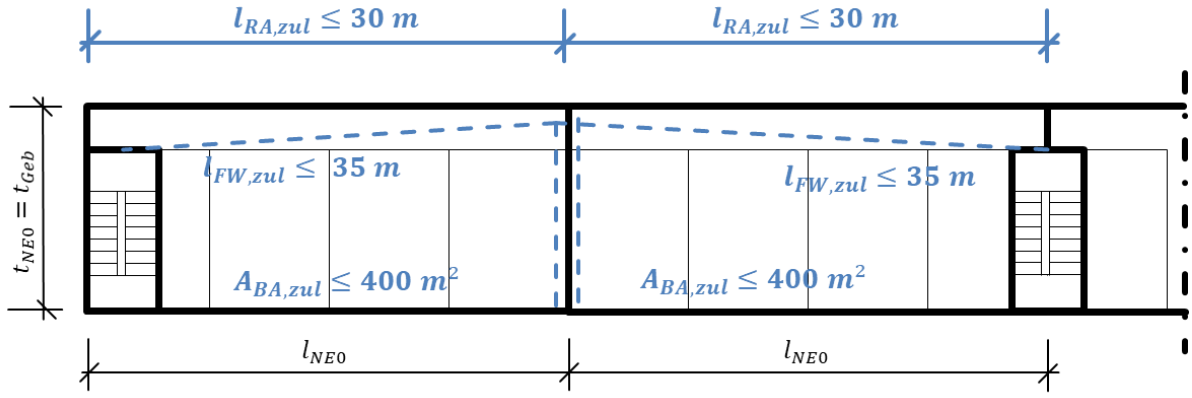


Abb. 35: Geometrische und quantitative Parameter der NE und des Bauelements „Brandschutzwände“ [340]



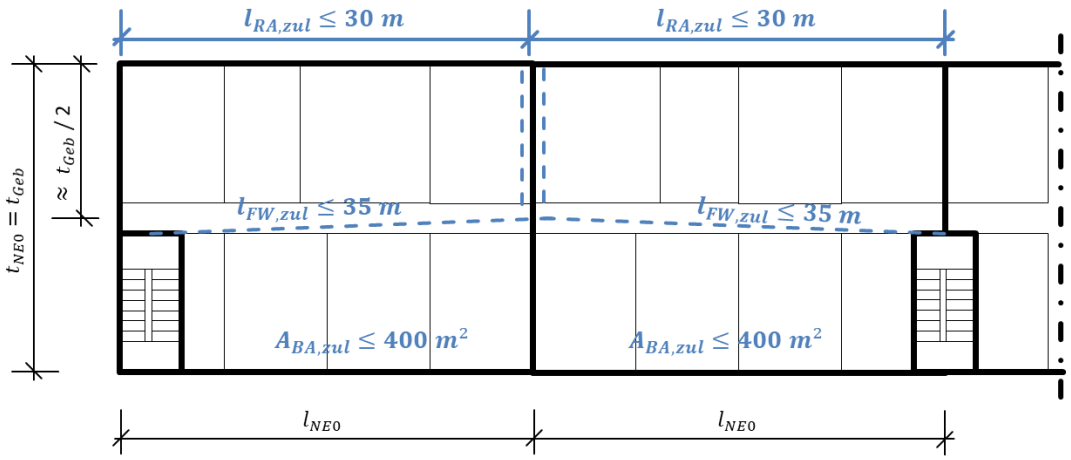
Erläuterungen:

$A_{BA,zul}$ – Zulässige Fläche eines Brandabschnitts gemäß MBO
$l_{FW,zul}$ – Zulässige Fluchtweglänge gemäß MBO
$l_{RA,zul}$ – Zulässige Länge eines Rauchabschnitts gemäß MBO

Abb. 36: Geometrie der NE und berücksichtigte Vorgaben gemäß MBO – Einbündige Gebäudeerschließung, ohne Stichflure[341]

[340] Eigene Darstellung (schematisch).

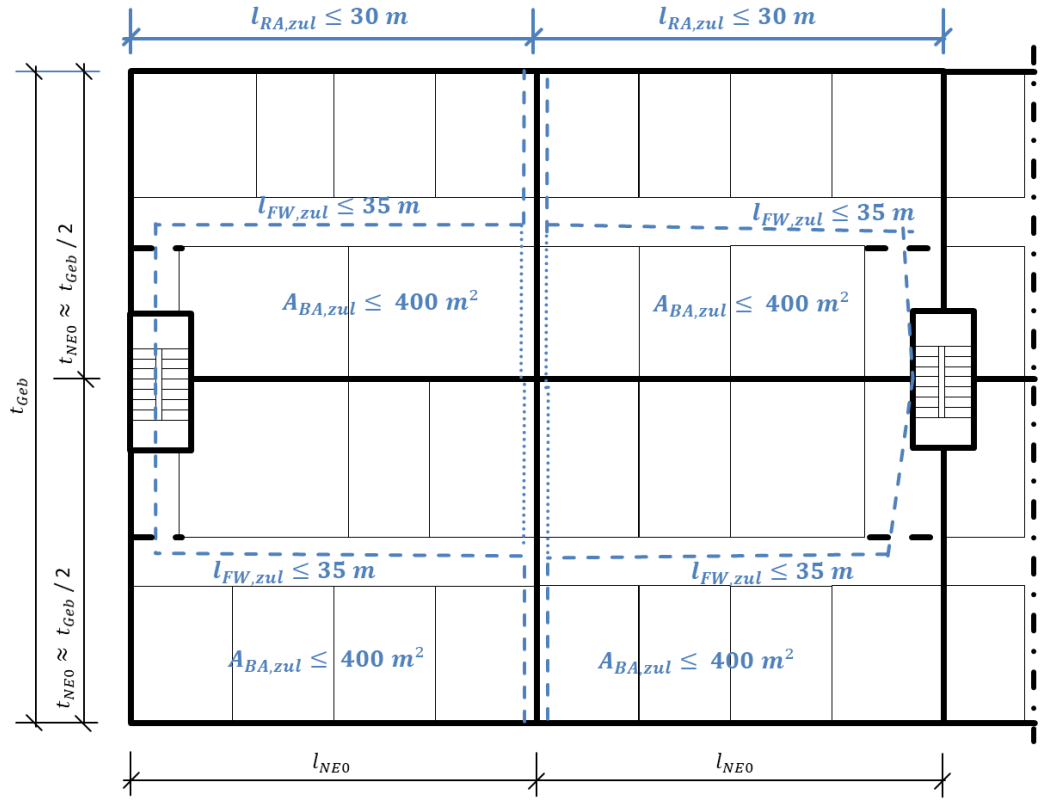
[341] Eigene Darstellung (schematisch).



Erläuterungen:

$A_{BA,zul}$ – *Zulässige Fläche eines Brandabschnitts gemäß MBO*
$l_{FW,zul}$ – *Zulässige Fluchtweglänge gemäß MBO*
$l_{RA,zul}$ – *Zulässige Länge eines Rauchabschnitts gemäß MBO*

Abb. 37: Geometrie der NE und berücksichtigte Vorgaben gemäß MBO – Zweibündige Gebäudeerschließung, ohne Stichflure[342]



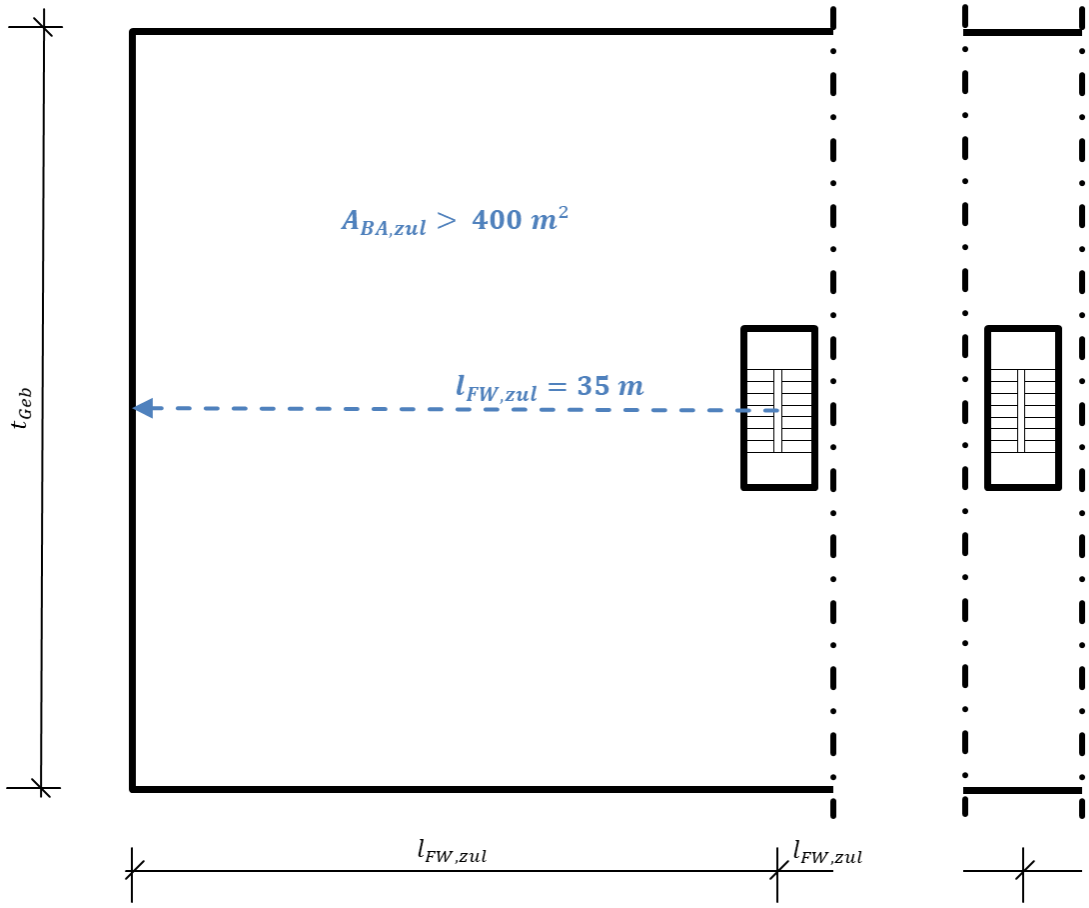
Erläuterungen:

$A_{BA,zul}$ – *Zulässige Fläche eines Brandabschnitts gemäß MBO*
$l_{FW,zul}$ – *Zulässige Fluchtweglänge gemäß MBO*
$l_{RA,zul}$ – *Zulässige Länge eines Rauchabschnitts gemäß MBO*

Abb. 38: Geometrie der NE und berücksichtigte Vorgaben gemäß MBO – Dreibündige Gebäudeerschließung, ohne Stichflure[343]

[342] Eigene Darstellung (schematisch).

[343] Eigene Darstellung (schematisch).



Erläuterungen:

$A_{BA,zul}$ – Zulässige Fläche eines Brandabschnitts gemäß MBO
$l_{FW,zul}$ – Zulässige Fluchtweglänge gemäß MBO
(mögliche längere Fluchtweglängen in den Eckbereichen des Grundrisses bleiben vernachlässigt)

Abb. 39: Geometrie der NE und berücksichtigte Vorgaben gemäß MBO – Flurlose Gebäudeerschließung[344]

Maximale Länge der NE 0

Die Berechnung der maximalen Länge der NE 0 ($l_{NE0,max}$) erfolgt auf Grundlage der Vorgaben zu Rauch- und Brandabschnitten sowie Fluchtweglängen gemäß MBO:

- Maximale Länge der NE 0 aus der zulässigen Gesamtfläche eines Brandabschnitts gemäß §§ 2 Abs. 4 Nr. 5 und 36 Abs. 1 Nr. 4 MBO ($l_{NE,max,1}$)
- Maximale Länge der NE 0 aus der zulässigen Fluchtweglänge gemäß § 35 Abs. 2 Satz 1 MBO sowie ASR A2.3 (2007)[345] ($l_{NE,max,2}$)
- Maximale Länge der NE 0 aus der zulässigen Länge eines Rauchabschnitts gemäß § 36 Abs. 3 MBO ($l_{NE,max,3}$)

[344] Eigene Darstellung (schematisch).

[345] Vgl. ASR A2.3 (2007), S. 5.

Die maximale Länge der NE 0 resultiert für ein- bis dreibündige Anlagen aus dem Minimum der maximalen Länge der NE 0 aus der zulässigen Gesamtfläche eines Brandabschnitts, zulässigen Fluchtweglänge und zulässigen Länge eines Rauchabschnitts. Da bei flurlosen Anlagen keine Gliederung in NE erfolgt, entspricht die maximale Länge der NE 0 bei flurlosen Anlagen der Gebäudelänge. Die maximale Länge der NE 0 ergibt sich somit zu:

$$l_{NE0,max}\,[m] = \begin{cases} min\left(l_{NE,max,1}\,, l_{NE,max,2}\,, l_{NE,max,3}\right) & wenn\colon n_{Bd}[-] > 0 \\ l_{Geb} & wenn\colon n_{Bd}[-] = 0 \end{cases} \tag{E.74}$$

Die Ermittlung der maximalen Länge der NE 0 ergibt sich in Abhängigkeit von der Bundanzahl aus Abb. 36 bis Abb. 39, in denen $l_{NE,max,1}$, $l_{NE,max,2}$ und $l_{NE,max,3}$ dargestellt sind.

Maximale Länge der NE 0 aus der zulässigen Gesamtfläche eines Brandabschnitts

Um die Zuordnung des Referenzgebäudes zu Sonderbauten zu vermeiden, wird die zulässigen Gesamtfläche eines Brandabschnitts gemäß §§ 2 Abs. 4 Nr. 5 und 36 Abs. 1 Nr. 4 MBO auf 400 m² beschränkt (vgl. Tab. 54, Anlage). Die maximale Länge der NE 0 aus der zulässigen Gesamtfläche eines Brandabschnitts resultiert daher auf Grundlage von Abb. 36 bis Abb. 39 aus der Tiefe der NE 0 zu:[346]

$$l_{NE,max,1}\,[m] = \begin{cases} \emptyset & wenn\colon n_{Bd}[-] = 0 \\ \dfrac{400\,[m^2]}{t_{NE0}} & wenn\colon n_{Bd}[-] > 0 \end{cases} \tag{E.75}$$

Dreibündigen Anlagen wird eine mittig im Gebäude angeordnete und parallel zur Gebäudelänge verlaufende Brandschutzwand zur Gliederung der NE zugrunde gelegt (vgl. Abb. 38), die allerdings nur bei mindestens zwei hintereinander angeordnet Räumen im mittleren Bund umsetzbar ist. Sind im mittleren Bund hingegen keine hintereinander angeordneten Räume vorgesehen, so wäre die Brandschutzwand entsprechend entlang einer der Flure anzuordnen. Aus dieser Verschiebung der Brandschutzwand kann für eine der beiden anliegenden NE eine Überschreitung der unterstellten zulässigen Gesamtfläche eines Brandabschnitts resultieren, was bei der Ermittlung von $l_{NE,max,1}$ jedoch vernachlässigt wird.

Maximale Länge der NE 0 aus der zulässigen Fluchtweglänge

Gemäß § 35 Abs. 2 Satz 1 MBO darf die zulässige Fluchtweglänge von jeder Stelle eines Aufenthaltsraums bis zum Ausgang in ein notwendiges Treppenhaus maximal 35 m betra-

[346] Die Grundfläche der Treppenhäuser wird vernachlässigt. Weiterhin bleibt unberücksichtigt, dass sich die ermittelte maximale Länge eines Brandabschnitts auf den Abstand zwischen den Mittelachsen der Brandschutzwände bzw. den Außenkanten der Außenwände bezieht. Nach MBO bezieht sich die angegebene zulässige Fläche der NE von 400 m² jedoch auf die BGF (vgl. §§ 2 Abs. 3 Satz 3 u. 36 Abs. 1 Nr. 4 MBO).

gen. Auch gemäß ASR A2.3 (2007) ist die Fluchtweglänge für Räume ohne oder mit normaler Brandgefährdung auf maximal 35 m zu begrenzen.[347] Die maximale Länge der NE 0 aus der zulässigen Fluchtweglänge resultiert daher auf Grundlage von Abb. 36 bis Abb. 38 aus der Tiefe der NE 0 zu:

$$l_{NE,max,2}\,[m] = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_{Bd}[-] = 0 \\ 35 - t_{NE0} & wenn: n_{Bd}[-] = 1 \\ 35 - \dfrac{t_{NE0}}{2} & wenn: n_{Bd}[-] > 1 \end{cases} \tag{E.76}$$

Bei der Ermittlung der maximalen Länge der NE 0 aus der zulässigen Fluchtweglänge dreibündiger Anlagen auf Grundlage von Eq. (E.76) werden die nachfolgend erläuterten Problematiken vernachlässigt, die sich aus Abb. 38 ergeben:

- Die Raumtiefe des mittleren Bunds dreibündiger Anlagen wird bei der Berechnung ebenso wie bei der Bestimmung der Gebäudetiefe vernachlässigt, weil diese grundsätzlich eine unbekannte Größe darstellt, da einzelne oder mehrere hintereinanderliegende Räume, wie z. B. Kopierräume, WC-Anlagen und Teeküchen aber auch Labore und Besprechungsräume, vorgesehen werden können, deren Tiefe dem nutzerspezifischen Zweck angepasst wird (vgl. Kap. E.2.5.1).
- Der gewählte Ansatz kann nur dann zu korrekten Ergebnissen führen, wenn die Raumtiefen der äußeren Bünde jeweils kleiner gleich der Raumtiefe des mittleren Bunds sind, da hieraus abweichende maßgebende Fluchtwegverläufe und damit größere Fluchtweglängen resultieren können.

Maximale Länge der NE 0 aus der zulässigen Länge eines Rauchabschnitts

Aus § 36 Abs. 3 Satz 2 MBO ergibt sich, dass Rauchabschnitte mit zwei Fluchtrichtungen eine Länge von 30 m nicht überschreiten sollen. Da bei der Ermittlung der maximalen Länge der NE 0 mögliche Stichflure zunächst unberücksichtigt bleiben, beträgt die maximale Länge eines Rauchabschnitts damit 30 m. Die maximale Länge der NE 0 aus der zulässigen Länge eines Rauchabschnitts resultiert daher auf Grundlage von Abb. 36 bis Abb. 38 zu:

$$l_{NE,max,3}\,[m] = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_{Bd}[-] = 0 \\ 30 & wenn: n_{Bd}[-] > 0 \end{cases} \tag{E.77}$$

Aus Abb. 38 ergibt sich für dreibündige Anlagen ein nicht geradläufiger Flur, dessen exakte Länge weder allgemeingültig noch mit hinreichend Genauigkeit über die Gebäudetiefe und -länge beschrieben werden kann, da diese von der Raumtiefe des mittleren Bunds abhängig

[347] Vgl. ASR A2.3 (2007), S. 5.

ist. Stattdessen wird für dreibündige Anlagen lediglich der Flurabschnitt in Richtung der Gebäudelänge als Grenzwert in Ansatz gebracht (vgl. Abb. 38).

Anzahl der Nutzungseinheiten des Typs 0

Die Anzahl der NE 0 in Richtung der Gebäudelänge pro Geschoss ($n_{NE0,l}$) ergibt sich aus der Gebäudelänge und der maximalen Länge der NE 0:

$$n_{NE0,l}\,[-] = \left\lceil \frac{l_{Geb}}{l_{NE0,max}} \right\rceil \tag{E.78}$$

Länge der Nutzungseinheiten des Typs 0

Die Länge einer NE 0 (l_{NE0}) ergibt sich anschließend aus der Gebäudelänge und der Anzahl der NE 0 in Richtung der Gebäudelänge pro Geschoss:

$$l_{NE0}\,[m] = \frac{l_{Geb}}{n_{NE0,l}} \tag{E.79}$$

E.3.1.3 Nutzungseinheiten des Typs 1 und 2

Der Ablauf der Ermittlung der Anzahl, Tiefe und Länge der NE 1 und NE 2 ist in Abb. 125 (Anlage) zusammengefasst.

Anzahl der NE 1 und NE 2 pro Geschoss

Anhand der Anzahl und Geometrie der NE 0 (vgl. Kap. E.3.1.2) wird ermittelt, ob eine Anordnung von NE mit Stichfluren zweckmäßig ist, um die Anzahl notwendiger Treppenhäuser zu reduzieren und dadurch gleichzeitig die NUF des Gebäudes steigern zu können, obwohl die Anzahl der NE und Brandschutzwände ansteigt.[348]

Der Zusammenhang der Anzahl der NE und notwendigen Treppenhäuser bei der Anordnung von NE mit und ohne Stichflure ist in Abb. 40 schematisch dargestellt und zeigt, dass es grundsätzlich zwei Fälle zu unterscheiden gilt:

- *Ungerade Anzahl von NE 0 in Richtung der Gebäudelänge:* Die Anordnung zweier Stichflure steigert zwar die Anzahl der NE,[349] führt jedoch zu einer Reduzierung der Anzahl notwendiger Treppenhäuser. Eine Anordnung von NE mit Stichfluren kann somit grundsätzlich als sinnvoll erachtet werden.
- *Gerade Anzahl von NE 0 in Richtung der Gebäudelänge:* Die Anordnung zweier Stichflure steigert zwar die Anzahl der NE, führt jedoch zu keiner Reduzierung der

[348] Sofern die zusätzliche Grundfläche der Brandschutzwände kleiner als die Grundfläche eines Treppenhauses ist.

[349] Ab einer Anzahl von drei NE 0.

Anzahl notwendiger Treppenhäuser. Eine Anordnung von NE mit Stichfluren kann somit grundsätzlich als nicht sinnvoll erachtet werden.

Die Anzahl der NE 1 in Richtung der Gebäudelänge pro Geschoss ($n_{NE1,l}$), d. h. ohne Stichflure, und die Anzahl der NE 2 in Richtung der Gebäudelänge pro Geschoss ($n_{NE2,l}$), d. h. mit zwei Stichfluren, kann in Abhängigkeit von der Bundanzahl (vgl. Kap. E.1.1.4) und der Anzahl der NE 0 pro Geschoss (vgl. Kap. E.3.1.2) aus Abb. 40 abgeleitet werden. Bei flurlosen Anlagen erfolgt keine Gliederung in NE, weshalb grundsätzlich nur eine NE angeordnet wird. Bei ein- bis dreibündigen Anlagen und einer ungeraden Anzahl von NE 0 in Richtung der Gebäudelänge werden zwei NE 2 angeordnet, weshalb sich die Anzahl der NE 1 entsprechend reduziert, wohingegen bei einer geraden Anzahl von NE 0 ausschließlich NE 1 vorgesehen werden und die Anzahl der NE 1 somit der Anzahl der NE 0 entspricht. Die Anzahl der NE 1 und NE 2 in Richtung der Gebäudelänge ergibt sich somit zu:

$$n_{NE1,l}\,[-] = \begin{cases} 1 & wenn\colon n_{Bd}[-] = 0 \\ n_{NE0,l} & wenn\colon n_{Bd}[-] > 0 \;\wedge\; \dfrac{n_{NE0,l}}{2}[-] \in \mathbb{N} \\ n_{NE0,l} - 1 & wenn\colon n_{Bd}[-] > 0 \wedge \dfrac{n_{NE0,l}}{2}[-] \notin \mathbb{N} \end{cases} \tag{E.80}$$

$$n_{NE2,l}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn\colon n_{Bd}[-] = 0 \\ 0 & wenn\colon n_{Bd}[-] > 0 \;\wedge\; \dfrac{n_{NE0,l}}{2}[-] \in \mathbb{N} \\ 2 & wenn\colon n_{Bd}[-] > 0 \wedge \dfrac{n_{NE0,l}}{2}[-] \notin \mathbb{N} \end{cases} \tag{E.81}$$

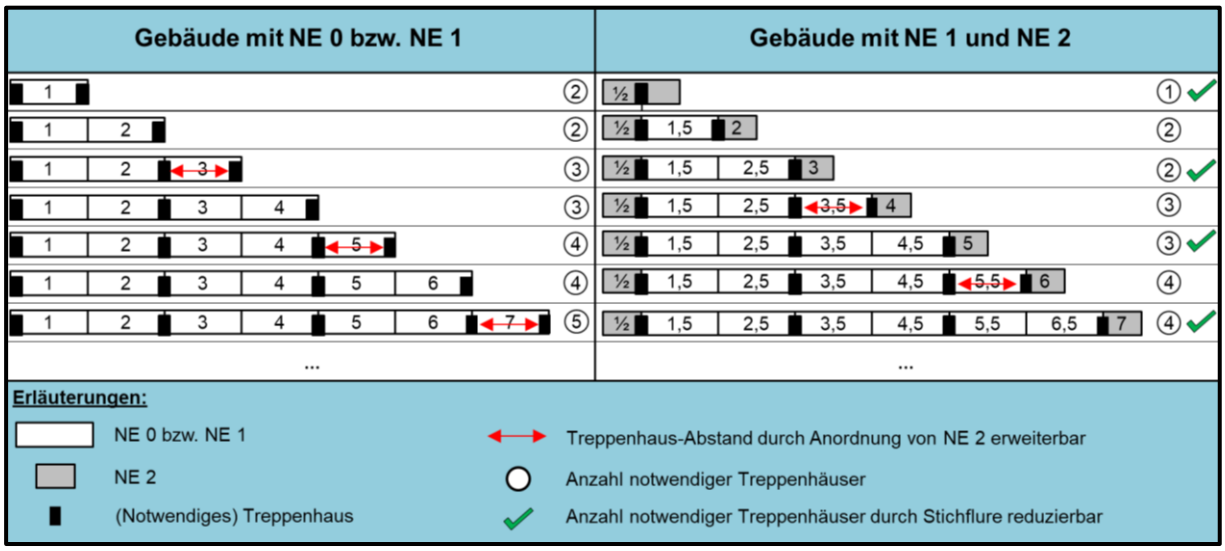


Abb. 40: Anzahl der NE 0 und notwendige Treppenhäuser bei NE mit und ohne Stichflur[350]

[350] Eigene Darstellung.

Die Anzahl der NE 1 in Richtung der Gebäudetiefe pro Geschoss ($n_{NE1,t}$) ergibt sich aus der vorgesehenen Anordnung der NE und der Bundanzahl (vgl. Abb. 24):

$$n_{NE1,t}\,[-] = \begin{cases} 1 & wenn: n_{Bd}[-] < 3 \\ 2 & wenn: n_{Bd}[-] = 3 \end{cases} \quad \text{(E.82)}$$

Die Gesamt-Anzahl der NE 1 und NE 2 pro Geschoss (n_{NE1} u. n_{NE2}) sowie die Gesamt-Anzahl der NE 1 und NE 2 aller Geschosse ($n_{NE,ges}$) ergibt sich anschließend zu:

$$n_{NE1}\,[-] = n_{NE1,l} \cdot n_{NE1,t} \quad \text{(E.83)}$$

$$n_{NE2}\,[-] = n_{NE2,l} \quad \text{(E.84)}$$

$$n_{NE,ges}\,[-] = (n_{NE1} + n_{NE2}) \cdot n_G \quad \text{(E.85)}$$

Tiefe und Länge der NE 1 und NE 2

Die Länge der NE 1 und NE 2 (l_{NE1} u. l_{NE2}) und Tiefe der NE 1 und NE 2 (t_{NE1} u. t_{NE2}) wird auf Grundlage der Anordnung und Geometrie der NE 1 und NE 2 aus Abb. 41 bis Abb. 43 ermittelt.

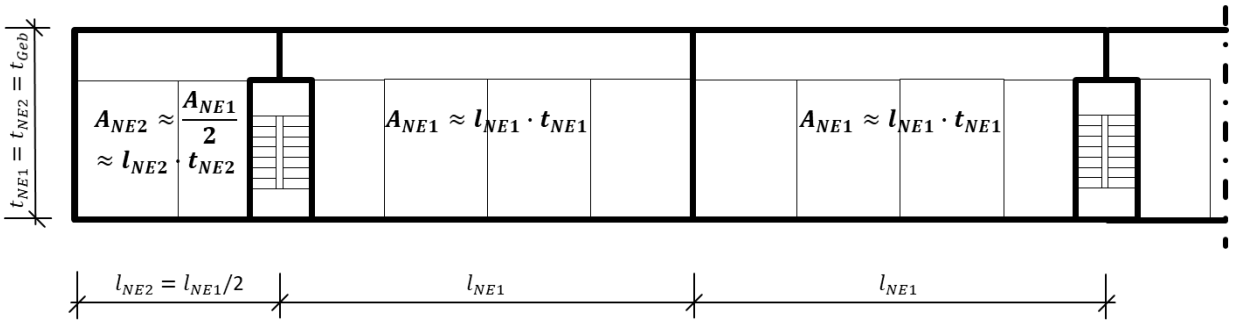


Abb. 41: Geometrie der NE – Einbündige Gebäudeerschließung, mit Stichfluren[351]

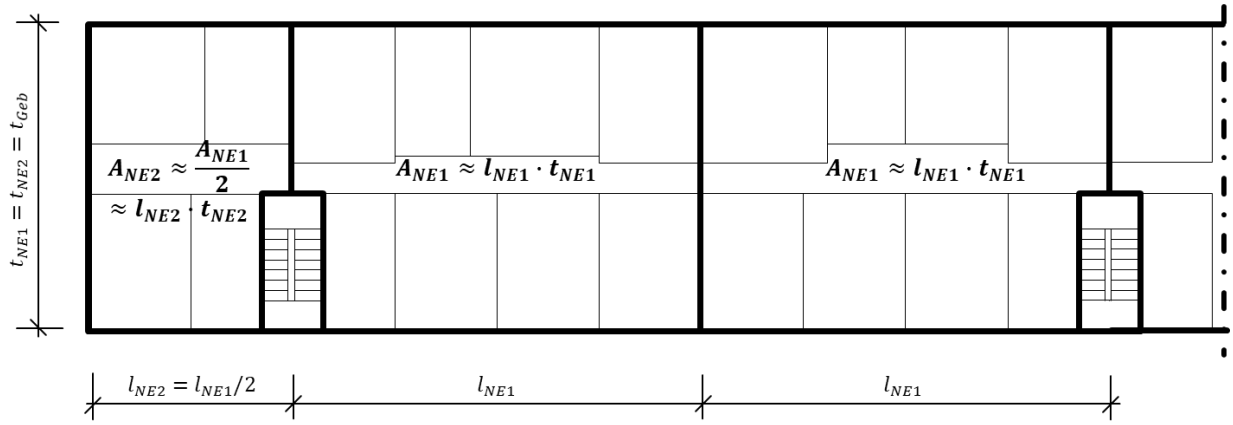


Abb. 42: Geometrie der NE – Zweibündige Gebäudeerschließung, mit Stichfluren[352]

[351] Eigene Darstellung (schematisch).

[352] Eigene Darstellung (schematisch).

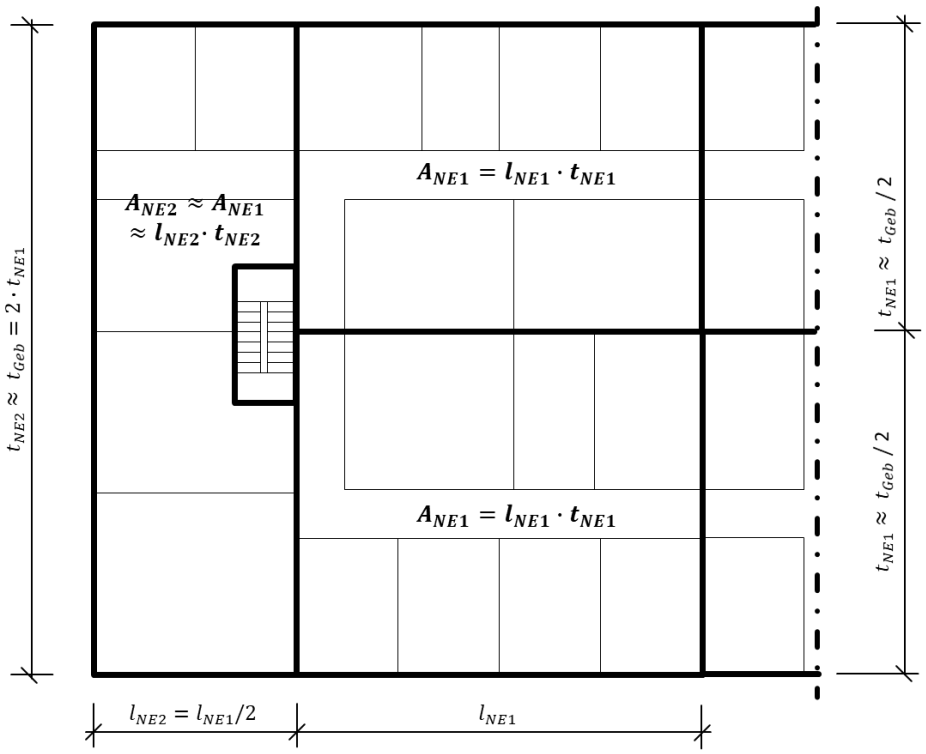


Abb. 43: Geometrie der NE – Dreibündige Gebäudeerschließung, mit Stichfluren[353]

Gemäß MBO ist die Länge von Rauchabschnitten bei zwei Fluchtrichtungen auf maximal 30 m und bei einer Fluchtrichtung auf maximal 15 m zu begrenzen.[354] Zur näherungsweisen Bestimmung der Länge der NE 2 kann dementsprechend generell die Hälfte der Länge der NE 0 in Ansatz gebracht werden, da hierdurch auch die zulässige Gesamtfläche eines Brandabschnitts und zulässige Fluchtweglänge gemäß MBO (vgl. Kap. E.3.1.2) reduziert wird.

Bei dreibündigen Anlagen werden die beiden hintereinander angeordneten NE 2 mit einem Verbindungsflur, der die beiden Hauptflure miteinander verbindet, zusammengefasst berücksichtigt (vgl. Abb. 43). Hieraus resultieren zwei mögliche Fluchtrichtungen, weshalb die zulässige Gesamtfläche eines Brandabschnitts und zulässige Fluchtweglänge gemäß MBO (vgl. Kap. E.3.1.2) dennoch eingehalten werden. Die Länge und Tiefe der NE 1 und NE 2 bestimmen sich somit zu:

$$l_{NE1}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{NE1}[-] = 0 \\ l_{NE0} & wenn: n_{NE1}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.86)}$$

$$t_{NE1}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{NE1}[-] = 0 \\ t_{NE0} & wenn: n_{NE1}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.87)}$$

[353] Eigene Darstellung (schematisch).

[354] Vgl. § 36 Abs. 3 Satz 2 u.4 MBO.

$$l_{NE2}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{NE2}[-] = 0 \\ \frac{l_{NE0}}{2} & wenn: n_{NE2}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.88)}$$

$$t_{NE2}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{NE2}[-] = 0 \\ t_{Geb} & wenn: n_{NE2}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.89)}$$

Fläche der NE 1 und NE 2

Die Fläche der NE 1 und NE 2 (A_{NE1} u. A_{NE2}) ergibt sich aus der Tiefe und Länge der jeweiligen NE, wobei die Grundflächen der Treppenhäuser jeweils übermessen werden:

$$A_{NE1}\,[m^2] = t_{NE1} \cdot l_{NE1} \quad \text{(E.90)}$$

$$A_{NE2}\,[m^2] = t_{NE2} \cdot l_{NE2} \quad \text{(E.91)}$$

E.3.2 Treppenhäuser

Da unterirdische Geschosse bei der Entwicklung des Referenzgebäudes unberücksichtigt bleiben (vgl. Kap. A.3), wird die Ermittlung der Treppenhausgeometrie lediglich für Gebäude mit mehr als einem oberirdischen Geschoss vorgenommen.

E.3.2.1 Parameter

Die Definitionen der verwendeten Parameter ergeben sich aus Abb. 44.

E.3.2.2 Treppenhausanzahl

Der Ablauf der Ermittlung der Treppenhausanzahl ist in Abb. 126 (Anlage) zusammengefasst. Für die Ermittlung der Treppenhausbreite und -länge ist in Kapitel L.2.1 ein separates Ablaufschema enthalten (vgl. Abb. 127, Anlage).

Die Ermittlung der Treppenhausanzahl (n_{TH}) wird hinsichtlich der Geschossanzahl, der Gebäudegruppe[355] (vgl. Tab. 54), der Bundanzahl und der Anzahl der NE 0 in Richtung der Gebäudelänge gegliedert.

[355] Die Definition des Begriffs „Gebäudegruppe“ ergibt sich aus dem Glossar.

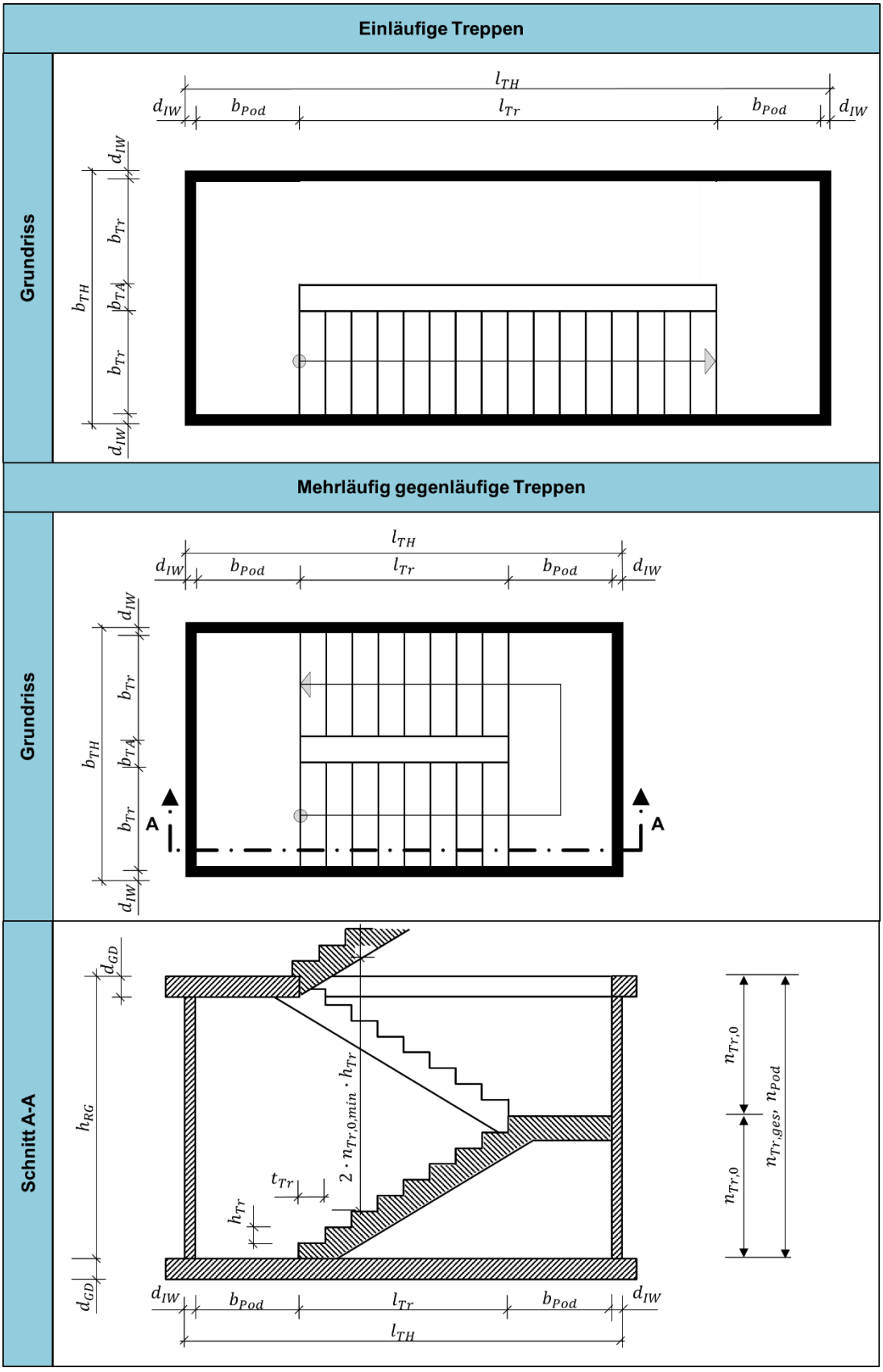


Abb. 44: Geometrische Parameter des Bauelements „Treppenhäuser“ [356]

[356] Eigene Darstellung (schematisch).

Zur Steigerung der Übersichtlichkeit bei der Bestimmung der Treppenhausanzahl, werden die beiden Hilfswerte $n_{TH,1}$ und $n_{TH,2}$ eingeführt:

- $n_{TH,1}$ repräsentiert die notwendige Treppenhausanzahl, die sich aufgrund der Gebäudegruppe ergibt
- $n_{TH,2}$ repräsentiert die notwendige Treppenhausanzahl, die sich aufgrund der Bundanzahl und Anzahl der NE 0 in Richtung der Gebäudelänge ergibt

Die Treppenhausanzahl resultiert anschließend aus dem Maximum von $n_{TH,1}$ und $n_{TH,2}$:

$$n_{TH}\,[-] = max\left(n_{TH,1};\, n_{TH,2}\right) \tag{E.92}$$

Notwendige Treppenhausanzahl aufgrund der Gebäudegruppe

Für mehrgeschossige Gebäude ist bei der Bestimmung der notwendigen Treppenhausanzahl $n_{TH,1}$ zunächst eine Differenzierung hinsichtlich der Gebäudegruppen „Sonderbauten“ und „sonstige Bauten“ vorzusehen (vgl. Tab. 54). Zur Beschreibung der Gebäudegruppe wird die boolesche Variable G_{Geb} eingeführt:

$$G_{Geb}[-] = \begin{cases} 0 & Sonderbauten \\ 1 & sonstige\ Bauten \end{cases} \tag{E.93}$$

Ob ein Sonderbau oder ein sonstiger Bau vorliegt, ergibt sich aus den Vorgaben zur Gebäudegrundfläche, Grundfläche der NE, Gebäudehöhe und Gebäudehöhe gemäß MBO (vgl. Tab. 54):[357]

$$G_{Geb} = \begin{cases} 0 & wenn: A_{Geb} > 1.600 \vee max(A_{NE1}, A_{NE2}) > 400 \\ & \quad \vee h_{Geb(MBO)} > 22 \vee h_{Geb} > 30 \\ 1 & wenn: A_{Geb} \leq 1.600 \wedge max(A_{NE1}, A_{NE2}) \leq 400 \\ & \quad \wedge h_{Geb(MBO)} \leq 22 \wedge h_{Geb} \leq 30 \end{cases} \tag{E.94}$$

$$\left(mit: A_{NEi}\,[m^2],\ h_{Geb}\,[m], A_{Geb}\,[m^2], h_{Geb(MBO)}\,[m]\right)$$

Für sonstige Bauten wird davon ausgegangen, dass der zweite Rettungsweg, wie in § 33 Abs. 2 MBO vorgesehen, i. d. R. nicht über Treppenhäuser, sondern über Rettungsgeräte der Feuerwehr, Sicherheitstreppenräume o. ä. führen kann, woraus eine vergleichsweise Reduzierung der Treppenhausanzahl resultiert. Für mehrgeschossige Sonderbauten wird hingegen von mindestens zwei Treppenhäusern ausgegangen.[358] Die notwendige Treppenhausanzahl, die sich aufgrund der Gebäudegruppe ergibt, resultiert somit aus folgendem Zusammenhang:

[357] Die Vorgabe zur Personenrettung nach § 33 Abs. 3 Satz 2 MBO werden beim Referenzgebäude als eingehalten angenommen.

[358] Vgl. § 33 Abs. 2 MBO.

$$n_{TH,1}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn\colon n_G[-] = 1 \\ 2 & wenn\colon n_G[-] > 1 \wedge G_{Geb}[-] = 0 \\ 1 & wenn\colon n_G[-] > 1 \wedge G_{Geb}[-] = 1 \end{cases} \tag{E.95}$$

Notwendige Treppenhausanzahl aufgrund der Bundanzahl und Anzahl der NE 0 in Richtung der Gebäudelänge

Bei der Bestimmung der notwendigen Treppenhausanzahl $n_{TH,2}$ ist für mehrgeschossige Gebäude eine Differenzierung hinsichtlich der Bundanzahl und Anzahl der NE 0 in Richtung der Gebäudelänge vorzunehmen. Für ein- bis dreibündige mehrgeschossige Anlagen kann die notwendige Treppenhausanzahl $n_{TH,2}$ aus der Anzahl der NE 0 in Richtung der Gebäudelänge abgeleitet werden (vgl. Abb. 40). Für flurlose Anlagen wird idealisiert angesetzt, dass der Treppenhausabstand der maximalen Fluchtweglänge gemäß § 35 Abs. 2 Satz 1 MBO von 35,00 m entspricht (vgl. Kap. E.3.1.2), wobei Fluchtweglängen in Richtung der Gebäudelänge oder -tiefe berücksichtigt werden (vgl. Abb. 39). Die notwendige Treppenhausanzahl, die sich aufgrund der Bundanzahl und Anzahl der NE 0 in Richtung der Gebäudelänge ergibt, resultiert somit aus folgendem Zusammenhang (vgl. Abb. 39 u. Abb. 40):

$$n_{TH,2}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn\colon n_G[-] = 1 \\ \frac{1}{2} \cdot n_{NE0,l} + 1 & wenn\colon n_G[-] > 1 \;\wedge\; n_{Bd}[-] > 0 \;\wedge\; \frac{n_{NE0,l}}{2}[-] \in \mathbb{N} \\ \frac{1}{2} \cdot n_{NE0,l} + \frac{1}{2} & wenn\colon n_G[-] > 1 \;\wedge\; n_{Bd}[-] > 0 \;\wedge\; \frac{n_{NE0,l}}{2}[-] \notin \mathbb{N} \\ \left\lceil \frac{max(l_{Geb};\, t_{Geb})}{35{,}00\;[m]} \right\rceil & wenn\colon n_G[-] > 1 \;\wedge\; n_{Bd}[-] = 0 \end{cases} \tag{E.96}$$

E.3.2.3 Treppenhausbreite und -länge

Der Ablauf der Ermittlung der Treppenhausbreite und -länge ist in Abb. 127 (Anlage) zusammengefasst. Für die Ermittlung der Treppenlänge, Treppenbreite, Podestbreite und Treppenaugenbreite sind in Kapitel L.2.1 separate Ablaufschemata enthalten (vgl. Abb. 128 bis Abb. 131, Anlage).

Die Treppenhausbreite (b_{TH}) ergibt sich aus der Treppenbreite (b_{Tr}) und Treppenaugenbreite (b_{TA}) (vgl. Kap. E.3.2.5 u. Kap. E.3.2.7) sowie der Wandstärke der Bauelemente. Die Treppenhauslänge (l_{TH}) wird anhand der Treppenlänge (l_{Tr}), der Podestbreite (b_{Pod}) (vgl. Kap. E.3.2.4 u. Kap. E.3.2.6) sowie der Wandstärke der Bauelemente bestimmt (vgl. Abb. 44):

$$b_{TH}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn\colon n_{TH}[-] = 0 \\ 2 \cdot (b_{Tr} + d_{IW}) + b_{TA} & wenn\colon n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \tag{E.97}$$

$$l_{TH}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn\colon n_{TH}[-] = 0 \\ 2 \cdot (b_{Pod} + d_{IW}) + l_{Tr} & wenn\colon n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \tag{E.98}$$

E.3.2.4 Treppenlänge

Der Ablauf der Ermittlung der Treppenlänge ist in Abb. 128 (Anlage) zusammengefasst. Die Ermittlung der einzelnen Parameter erfolgt auf Grundlage von Abb. 44.

Die Treppenlänge (l_{Tr}) kann auf Grundlage der Tiefe eines Treppenauftritts (t_{Tr}) und der Stufenanzahl eines Treppenlaufs ($n_{Tr,0}$) bestimmt werden, wobei Unterschneidungen der Treppenstufen unberücksichtigt bleiben.[359] Zur Berücksichtigung der Bekleidung der Antrittsstufe wird die Treppenlänge pauschal um 4 cm erhöht. Die Treppenlänge ergibt sich somit zu:

$$l_{Tr}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH}[-] = 0 \\ n_{Tr,0} \cdot t_{Tr} + 0{,}04 & wenn: n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \tag{E.99}$$

Die Stufenanzahl eines Treppenlaufs resultiert aus der Gesamt-Anzahl der Stufen eines RG ($n_{Tr,ges}$) und der zugehörigen Anzahl der Zwischenpodeste (n_{Pod}):[360]

$$n_{Tr,0}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH}[-] = 0 \\ \left\lceil \dfrac{n_{Tr,ges}}{n_{Pod}+1} \right\rceil & wenn: n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \tag{E.100}$$

Dabei ist die auf die nächste ganze Zahl abgerundete Stufenanzahl maßgebend, da aus Eq. (E.100) auch ungerade Ergebnisse bzw. ungleiche Stufenanzahlen der Treppenläufe resultieren können.

Die Gesamt-Anzahl der Stufen eines RG ergibt sich aus der RG-Höhe und dem zugrunde gelegten Mittelwert der minimalen und maximalen Treppensteigung ($h_{Tr,min}$ u. $h_{Tr,max}$) nach DIN 18065 (2020) gemäß Tab. 10 zu:

$$n_{Tr,ges}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH}[-] = 0 \\ \left\lceil \dfrac{h_{RG}}{\left(\dfrac{h_{Tr,min} + h_{Tr,max}}{2}\right)} \right\rceil & wenn: n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \tag{E.101}$$

Um in jedem Geschoss identische Grundrissgestaltungen zu ermöglichen, wird für RG eine ungerade Anzahl von Zwischenpodesten angestrebt bzw. gänzlich auf Zwischenpodeste verzichtet, um die Zugangstüren zum Treppenhaus jeweils an identischen Positionen im Grundriss anordnen zu können. Um die Treppenlänge zu minimieren, wird gleichzeitig eine möglichst große Anzahl von Zwischenpodesten angestrebt. Die Anzahl der Zwischenpodeste

[359] Bei ungleichen Stufenanzahlen der Treppenläufe ist bei der Ermittlung der Treppenlänge der jeweilige Maximalwert der Stufenanzahlen maßgebend.

[360] Die Treppenhaus-Geometrie wird ausschließlich auf Grundlage der Höhe der RG ermittelt (vgl. Kap. C.2.5.2).

ergibt sich somit aus der minimalen und maximalen Anzahl der Zwischenpodeste ($n_{Pod,min}$ u. $n_{Pod,max}$) zu:

$$n_{Pod}\,[-] = \begin{cases} n_{Pod,max} & wenn: n_{Pod,min}[-] = n_{Pod,max} \\ n_{Pod,max} - 1 & wenn: n_{Pod,min}[-] < n_{Pod,max} \;\wedge\; \frac{n_{Pod,max}}{2}[-] \in \mathbb{N} \\ n_{Pod,max} & wenn: n_{Pod,min}[-] < n_{Pod,max} \;\wedge\; \frac{n_{Pod,max}}{2}[-] \notin \mathbb{N} \end{cases} \quad \text{(E.102)}$$

Tab. 10: Grenzmaße für Treppenlaufbreite, Treppensteigung und Treppenauftritt[361]

nutzbare Laufbreite [m]	Treppensteigung h_{Tr} [m]		Treppenauftritt t_{Tr} [m]	
min	min	max	min	max
1,00	0,14	0,19	0,26	0,37

Die minimale und maximale Anzahl von Zwischenpodesten ergibt sich aus der Gesamt-Anzahl der Stufen eines RG sowie der möglichen minimalen bzw. maximalen Stufenanzahl eines Treppenlaufs ($n_{Tr,0,min}$ u. $n_{Tr,0,max}$):

$$n_{Pod,min}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH}[-] = 0 \\ \left\lceil \frac{n_{Tr,ges}}{n_{Tr,0,max}} \right\rceil - 1 & wenn: n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.103)}$$

$$n_{Pod,max}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH}[-] = 0 \\ \left\lfloor \frac{n_{Tr,ges}}{n_{Tr,0,min}} \right\rfloor - 1 & wenn: n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.104)}$$

Bei notwendigen Treppen muss gemäß DIN 18065 (2020) i. d. R. nach maximal 18 Steigungen ein Zwischenpodest angeordnet werden.[362] Die maximale Stufenanzahl eines Treppenlaufs beträgt somit:

$$n_{Tr,0,max}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH}[-] = 0 \\ 18 & wenn: n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.105)}$$

Abb. 44 zeigt, dass die minimale Stufenanzahl pro Treppenlauf aus der notwendigen lichten Treppendurchgangshöhe resultiert, die dem Abstand der Oberkante der Treppenstufen und der Unterseite der darüber liegenden Treppe entspricht. Bei einläufigen Treppen entspricht die lichte Durchgangshöhe der RG-Höhe abzüglich der Deckenstärke, weshalb diese i. d. R. eingehalten wird. Für gegenläufige Treppen wird für die lichte Treppendurchgangshöhe gemäß DIN 18065 (2020) ein Mindestwert von 2,00 m zzgl. eines pauschalen Zuschlags von

[361] Vgl. DIN 18065 (2020), S. 11. Anm.: Die verwendeten Formelzeichen aus DIN 18065 (2020) wurden in der vorliegenden Darstellung zur Vereinheitlichung der Formelzeichen umbenannt.

[362] Vgl. DIN 18065 (2020), S. 12.

20 cm für den Querschnitt der darüber liegenden Treppe sowie Fußboden- und Deckenbekleidungen in Ansatz gebracht.[363] Die minimale Stufenanzahl pro Treppenlauf ergibt sich somit zu (vgl. Abb. 44):

$$n_{Tr,0,min}\ [-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH}[-] = 0 \\ \left\lceil \frac{2{,}00 + 0{,}20}{2 \cdot h_{Tr}} \right\rceil = \left\lceil \frac{1{,}10}{h_{Tr}} \right\rceil & wenn: n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.106)}$$

Aus der RG-Höhe und der Gesamt-Anzahl der Stufen eines RG kann die (vorhandene) Treppensteigung (h_{Tr}) bestimmt werden:

$$h_{Tr}\ [m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH}[-] = 0 \\ \frac{h_{RG}}{n_{Tr,ges}} & wenn: n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.107)}$$

Die (vorhandene) Tiefe eines Treppenauftritts (t_{Tr}) ergibt sich anschließend aus der Treppensteigung und dem Mittelwert der Schrittmaßregel nach DIN 18065 (2020) zu:[364]

$$t_{Tr}\ [m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH}[-] = 0 \\ \frac{0{,}59 + 0{,}65}{2} - 2 \cdot h_{Tr} = 0{,}62 - 2 \cdot h_{Tr} & wenn: n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.108)}$$

E.3.2.5 Treppenbreite

Der Ablauf der Ermittlung der Treppenbreite ist in Abb. 129 (Anlage) zusammengefasst. Die Ermittlung der einzelnen Parameter erfolgt auf Grundlage von Abb. 44.

Für die nutzbare Treppenlaufbreite[365] ist in DIN 18065 (2020) ein Mindestmaß von 1,00 m angegeben,[366] welches für Wandbekleidungen und Handlauf um 8 cm erhöht wird, da die zugehörigen Rohbaumaße ermittelt werden sollen. Die Treppenbreite (b_{Tr}) beträgt somit:

$$b_{Tr}\ [m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH}[-] = 0 \\ 1{,}08 & wenn: n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.109)}$$

E.3.2.6 Podestbreite

Der Ablauf der Ermittlung der Podestbreite ist in Abb. 130 (Anlage) zusammengefasst.

---

[363] Vgl. DIN 18065 (2020), S. 13.

[364] Vgl. DIN 18065 (2020), S. 11.

[365] *„Die nutzbare Treppenlaufbreite als lichtes Fertigmaß [gemessen in gebrauchsfertigem Zustand] wird waagerecht gemessen zwischen begrenzenden Oberflächen, Bauteilen und/oder Handlaufinnenkanten bzw. deren Projektionen (DIN 18065 (2020), S. 9)“*.

[366] Vgl. DIN 18065 (2020), S. 11 und Tab. 10.

Die nutzbare Treppenpodestbreite[367] muss gemäß DIN 18065 (2020) mindestens der nutzbaren Treppenlaufbreite (vgl. Kap. E.3.2.5) entsprechen.[368] Die Podestbreite (b_{Pod}) ergibt sich, einschließlich eines Zuschlags zur Berücksichtigung des Wandbelags und Handlaufs von 8 cm, zu:

$$b_{Pod}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH}[-] = 0 \\ 1{,}08 & wenn: n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \tag{E.110}$$

E.3.2.7 Treppenaugenbreite

Der Ablauf der Ermittlung der Treppenaugenbreite ist in Abb. 131 (Anlage) zusammengefasst.

Für die Treppenaugenbreite (b_{TA}) wird pauschal von einem Rohbaumaß von 20 cm ausgegangen:

$$b_{TA}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH}[-] = 0 \\ 0{,}20 & wenn: n_{TH}[-] > 0 \end{cases} \tag{E.111}$$

E.3.3 Installationsschächte

Der Ablauf der Ermittlung der Anzahl und Geometrie der Installationsschächte ist in Abb. 132 (Anlage) zusammengefasst.

E.3.3.1 Parameter

Die Definitionen der verwendeten Parameter ergeben sich aus Abb. 45.

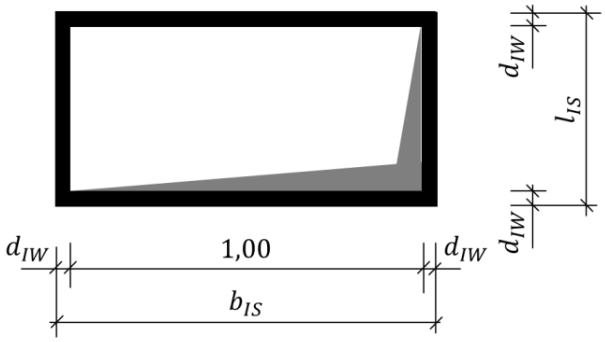


Abb. 45: Geometrische Parameter des Bauelements „Installationsschächte“ [369]

[367] *„Die nutzbare Podestbreite wird waagerecht gemessen als lichtes Fertigmaß [gemessen in gebrauchsfertigem Zustand] zwischen begrenzenden Bauteilen (z. B. Wänden oder Treppengeländern) und den Innenkanten von Handläufen bzw. den Stufenvorderkanten bzw. deren Projektionen (DIN 18065 (2020), S. 9)“.*

[368] Vgl. DIN 18065 (2020), S. 12.

[369] Eigene Darstellung (schematisch, Grundriss).

E.3.3.2 Schachtanzahl

Installationsschächte werden bei der Entwicklung des Referenzgebäudes unabhängig von der Geschossanzahl berücksichtigt. Für die Anzahl der Installationsschächte bzw. Schachtanzahl (n_{IS}) gilt somit:

$$n_{IS} > 0 \tag{E.112}$$

Bei der Ermittlung der Schachtanzahl wird davon ausgegangen, dass diese bei mehrgeschossigen Gebäuden an die Treppenhäuser angeschlossen werden und die Schachtanzahl in diesem Fall somit der Treppenhausanzahl entspricht. Bei eingeschossigen Gebäuden ohne Treppenhäuser erfolgt die Bestimmung der Schachtanzahl analog zur Bestimmung der Treppenhausanzahl $n_{TH,2}$ (vgl. Kap. E.3.2.2) anhand der Bundanzahl und Anzahl der NE 0 (vgl. Kap. E.3.2.2):

$$n_{IS}\,[-] = \begin{cases} n_{TH} & wenn: n_G[-] > 1 \\ \frac{1}{2} \cdot n_{NE0,l} + 1 & wenn: n_G[-] = 1 \;\wedge\; n_{Bd}[-] > 0 \;\wedge\; \frac{n_{NE0,l}}{2}[-] \in N \\ \frac{1}{2} \cdot n_{NE0,l} + \frac{1}{2} & wenn: n_G[-] = 1 \;\wedge\; n_{Bd}[-] > 0 \;\wedge\; \frac{n_{NE0,l}}{2}[-] \notin N \\ \left\lceil \frac{max(\mathrm{l_{Geb}};\, \mathrm{t_{Geb}})}{35{,}00\ [\mathrm{m}]} \right\rceil & wenn: n_G[-] = 1 \;\wedge\; n_{Bd}[-] = 0 \end{cases} \tag{E.113}$$

E.3.3.3 Brutto-Grundfläche pro Schacht

Die BGF pro Installationsschacht ($BGF_{IS,0}$) resultiert aus der Anzahl der Installationsschächte, der Gebäudegrundfläche und dem Flächenbedarf der Installationsschächte (vgl. Kap. E.2.12):[370]

$$BGF_{IS,0}\,[m^2] = \frac{A_{Geb} \cdot a_{IS}}{n_{IS}} \tag{E.114}$$

E.3.3.4 Schachtlänge und Schachtbreite

Bei der Ermittlung der Schachtbreite (b_{IS}) wird eine lichte Schachttiefe von 1,00 m angesetzt, woraus in Verbindung mit der BGF pro Installationsschacht die Schachtlänge (l_{IS}) resultiert:[371]

$$b_{IS}\,[m] = 2 \cdot d_{IW} + 1{,}00\ [m] \tag{E.115}$$

$$l_{IS}\,[m] = \frac{BGF_{IS,0}}{b_{IS}} \tag{E.116}$$

[370] Der Berechnung werden konstante Schachtquerschnitte unterstellt.

[371] Aus Eq. (E.115) können, insbesondere bei dreibündigen Anlagen und hohem Flächenbedarf der Installationsschächte, unrealistisch große Schachtlängen resultieren, die in der Baupraxis eine entsprechende Erhöhung der Schachtanzahl und/oder Veränderung der Schachtgeometrie notwendig macht. Dies wird bei der weiteren Berechnung allerdings vernachlässigt.

E.3.4 Aufzugsschächte

Der Ablauf der Ermittlung der Anzahl der Aufzugsschächte und Fahrschacht-Trennwände ist in Abb. 133 (Anlage) zusammengefasst. Für die Ermittlung der Geometrie von Aufzugsgruppe 1 und 2 ist in Kapitel L.2.1 ein separates Ablaufschema enthalten (vgl. Abb. 134, Anlage).

E.3.4.1 Parameter

Die Definitionen der verwendeten Parameter ergeben sich aus Abb. 46.

E.3.4.2 Anzahl der Aufzugsschächte mit unterschiedlicher Fahrschacht-Anzahl

Gemäß § 39 Abs. 1 MBO sind Aufzüge in eigenen Fahrschächten unterzubringen, wobei maximal drei Aufzüge innerhalb eines Fahrschachts zusammengefasst werden dürfen.[372] Anhand der ermittelten Aufzuganzahl (vgl. Kap. E.2.13) kann die Anzahl der Aufzugsschächte mit einem Fahrschacht (n_{FS1}), zwei Fahrschächten (n_{FS2}) und drei Fahrschächten (n_{FS3}) ermittelt werden.

Der Ermittlung wird unterstellt, dass im Sinne eines möglichst geringen Materialbedarfs, zunächst möglichst viele Aufzugsschächte mit drei Fahrschächten angeordnet werden (vgl. Abb. 47):

$$n_{FS3}\,[-] = \left\lfloor \frac{n_A}{3} \right\rfloor \tag{E.117}$$

Die Anzahl der Aufzugsschächte mit einem Fahrschacht und zwei Fahrschächten kann anschließend anhand der Aufzuganzahl und der Anzahl der Aufzugsschächte mit drei Fahrschächten ermittelt werden (vgl. Abb. 47).

Wird die ermittelte Aufzuganzahl bereits durch die ermittelte Anzahl der Aufzugsschächte mit drei Fahrschächten vollständig abgedeckt, so werden keine weiteren Fahrschächte angeordnet. Möglicherweise weitere Aufzüge werden in Aufzugsschächten mit einem Fahrschacht bzw. zwei Fahrschächten über folgenden Zusammenhang berücksichtigt (vgl. Abb. 47):

$$n_{FS1}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_A - 3 \cdot n_{FS3}[-] = 0 \\ 0 & wenn: \dfrac{n_A - 3 \cdot n_{FS3}}{2}[-] \in \mathbb{N} \\ 1 & wenn: \dfrac{n_A - 3 \cdot n_{FS3}}{2}[-] \notin \mathbb{N} \end{cases} \tag{E.118}$$

$$n_{FS2}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_A - 3 \cdot n_{FS3}[-] = 0 \\ 1 & wenn: \dfrac{n_A - 3 \cdot n_{FS3}}{2}\,[-] \in \mathbb{N} \\ 0 & wenn: \dfrac{n_A - 3 \cdot n_{FS3}}{2}\,[-] \notin \mathbb{N} \end{cases} \tag{E.119}$$

[372] Eine Ausnahme bilden z. B. Aufzüge in Gebäuden der GKL 1 und 2 (vgl. § 39 Abs. 1 Satz 3 MBO).

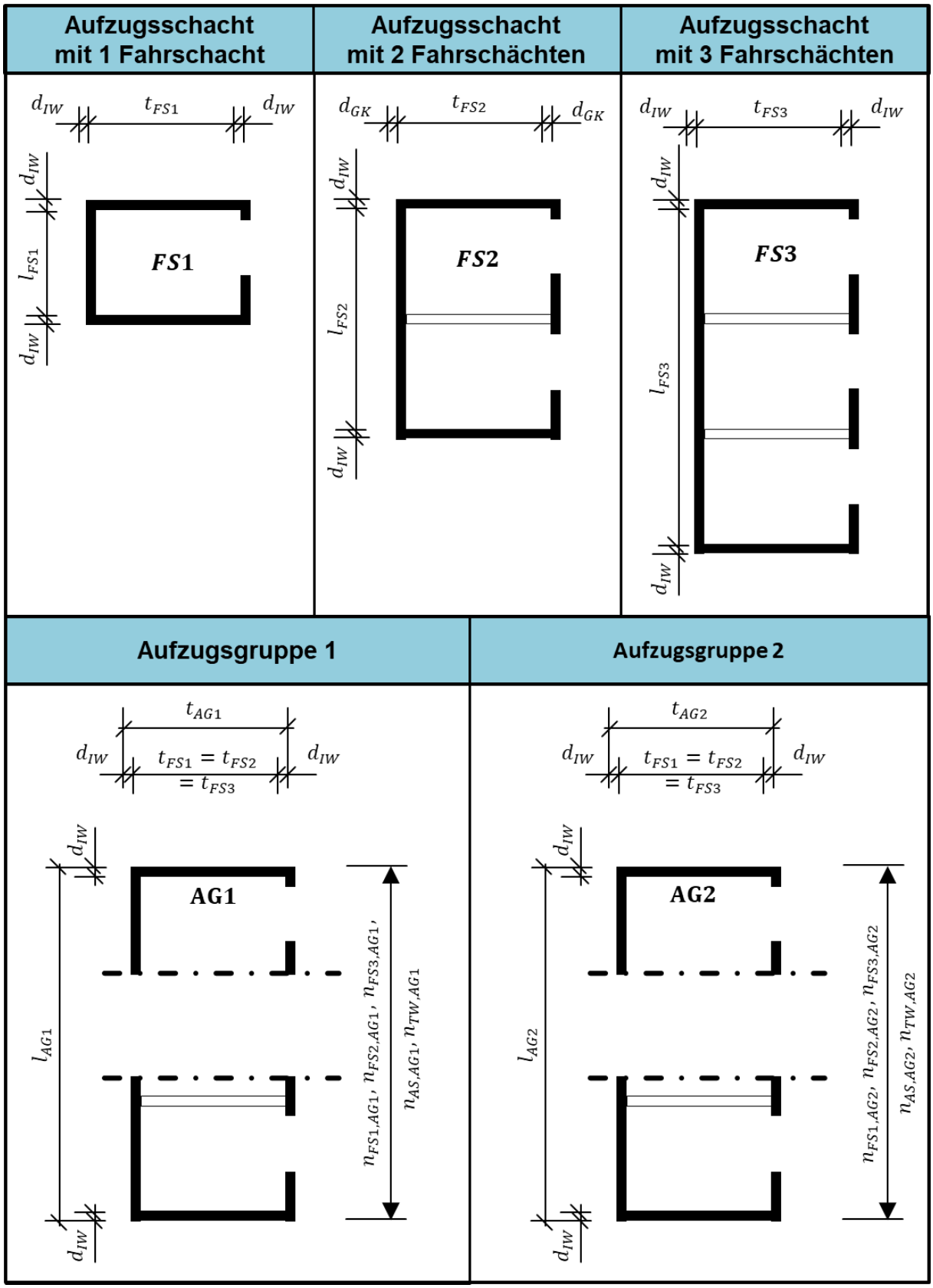


Abb. 46: Geometrische und quantitative Parameter des Bauelements „Aufzugsschächte“ [373]

[373] Eigene Darstellung (schematisch, Grundriss)

n_A	Kombination		n_{FS1}	n_{FS2}	n_{FS3}	$\sum_{i=1}^{3} n_{FSi}$	Anzahl der Aufzugsschächte					
							Aufzugsgruppe 1			Aufzugsgruppe 2		
	Aufzugsgruppe 1	Aufzugsgruppe 2					$n_{FS1,AG1}$	$n_{FS2,AG1}$	$n_{FS3,AG1}$	$n_{FS1,AG2}$	$n_{FS2,AG2}$	$n_{FS3,AG2}$
1	1		1	0	0	1	1	0	0	-	-	-
2	2		0	1	0	1	0	1	0	-	-	-
3	3		0	0	1	1	0	0	1	-	-	-
4	3 1		1	0	1	2	1	0	1	-	-	-
5	3	2	0	1	1	2	0	0	1	0	1	0
6	3	3	0	0	2	2	0	0	1	0	0	1
7	3	3 1	1	0	2	3	0	0	1	1	0	1
8	3	3 2	0	1	2	3	0	0	1	0	1	1
9	3 3	3	0	0	3	3	0	0	2	0	0	1
10	3 3	3 1	1	0	3	4	0	0	2	1	0	1
11	3 3	3 2	0	1	3	4	0	0	2	0	1	1
12	3 3	3 3	0	0	4	4	0	0	2	0	0	2
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…

Erläuterungen:
1 Aufzugsschacht mit einem Fahrschacht; 2 Aufzugsschacht mit zwei Fahrschächten; 3 Aufzugsschacht mit drei Fahrschächten

Abb. 47: Aufzuganzahl und resultierende Fahrschachtanzahl[374]

E.3.4.3 Anordnung und Aufteilung der Aufzüge in Aufzugsgruppe 1 und 2

Eine zentrale Anordnung aller Personenaufzüge im Verkehrsmittelpunkt eines Gebäudes ist einer Verteilung von Einzelaufzügen über die Gebäudegrundfläche i. d. R. vorzuziehen.[375]

Nach SCHEFFLER ET AL. (1998) sollten maximal vier Aufzüge nebeneinanderliegend angeordnet werden.[376] Sollten mehr Aufzüge notwendig sein, sind diese idealerweise in gegenüberliegenden Aufzugsgruppen anzuordnen.[377] Hiervon abweichend werden, unabhängig von der Aufzuganzahl, maximal zwei Aufzugsgruppen vorgesehen.

Die Anzahl der Aufzugsschächte in Aufzugsgruppe 1 und 2 mit einem Fahrschacht ($n_{FS1,AG1}$ u. $n_{FS1,AG2}$), zwei Fahrschächten ($n_{FS2,AG1}$ u. $n_{FS2,AG2}$) und drei Fahrschächten ($n_{FS32,AG1}$ u. $n_{FS3,AG2}$) wird auf Grundlage der Anzahl der Aufzugsschächte mit einem Fahrschacht sowie zwei und drei Fahrschächten bestimmt. Die Aufteilung der einzelnen Fahrschächte in die Aufzugsgruppen 1 und 2 resultiert aus Abb. 47, woraus sich auch die Berechnungsmethodik ableiten lässt:

$$n_{FS1,AG1}[-] = \begin{cases} n_{FS1} & wenn: n_A[-] \leq 4 \\ 0 & wenn: n_A[-] > 4 \end{cases} \quad \text{(E.120)}$$

$$n_{FS2,AG1}[-] = \begin{cases} n_{FS2} & wenn: n_A[-] \leq 4 \\ 0 & wenn: n_A[-] > 4 \end{cases} \quad \text{(E.121)}$$

[374] Eigene Darstellung.

[375] Vgl. z. B. PECH/KOLBITSCH (2005), S. 129; SCHEFFLER ET AL. (1998), S. 261 u. STRAKOSCH/CAPORALE (2010), S. 43 f.

[376] Vgl. SCHEFFLER ET AL. (1998), S. 261.

[377] Vgl. SCHEFFLER ET AL. (1998), S. 261.

$$n_{FS3,AG1}[-] = \begin{cases} n_{FS3} & wenn: n_A[-] \leq 4 \\ \left\lceil \frac{n_{FS3}}{2} \right\rceil & wenn: n_A[-] > 4 \end{cases} \quad \text{(E.122)}$$

$$n_{FS1,AG2}[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_A[-] \leq 4 \\ n_{FS1} & wenn: n_A[-] > 4 \end{cases} \quad \text{(E.123)}$$

$$n_{FS2,AG2}[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_A[-] \leq 4 \\ n_{FS2} & wenn: n_A[-] > 4 \end{cases} \quad \text{(E.124)}$$

$$n_{FS3,AG2}[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_A[-] \leq 4 \\ \left\lfloor \frac{n_{FS3}}{2} \right\rfloor & wenn: n_A[-] > 4 \end{cases} \quad \text{(E.125)}$$

Die Gesamt-Anzahl der Aufzugsschächte ($n_{AS,ges}$) resultiert aus der Anzahl der Aufzugsschächte in Aufzugsgruppe 1 ($n_{AS,AG1}$) und Aufzugsgruppe 2 ($n_{AS,AG1}$):

$$n_{AS,ges}\,[-] = n_{AS,AG1} + n_{AS,AG2} \quad \text{(E.126)}$$

mit:

$$n_{AS,AG1}\,[-] = \sum_{i=1}^{3} n_{FSi,AG1} \quad \text{(E.127)}$$

$$n_{AS,AG2}\,[-] = \sum_{i=1}^{3} n_{FSi,AG2} \quad \text{(E.128)}$$

E.3.4.4 Anzahl der Fahrschacht-Trennwände

Der Ablauf der Ermittlung der Anzahl der Fahrschacht-Trennwände resultiert aus Abb. 133 (Anlage).

Die Anzahl der Fahrschacht-Trennwände in Aufzugsgruppe 1 ($n_{TW,AG1}$) und Aufzugsgruppe 2 ($n_{TW,AG2}$) wird in Abhängigkeit der zugehörigen Anzahl der Aufzugschächte ermittelt (vgl. Abb. 47):

$$n_{TW,AG1}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{AS,AG1}[-] = 0 \\ n_{AS,AG1} - 1 & wenn: n_{AS,AG1}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.129)}$$

$$n_{TW,AG2}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{AS,AG2}[-] = 0 \\ n_{AS,AG2} - 1 & wenn: n_{AS,AG2}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.130)}$$

E.3.4.5 Länge und Tiefe der Aufzugsgruppen

Der Ablauf der Ermittlung der Länge und Tiefe von Aufzugsgruppe 1 und 2 ist in Abb. 134 (Anlage) zusammengefasst.

Für die Bemessung der Aufzugsanlage wurde eine Tragfähigkeit von jeweils 1.275 kg bzw. 17 Personen angesetzt (vgl. Kap. E.2.13.3). Die zugehörigen Maße der Aufzugsschächte können darauf aufbauend aus DIN 15309 (2002) abgeleitet werden (vgl. Abb. 48).

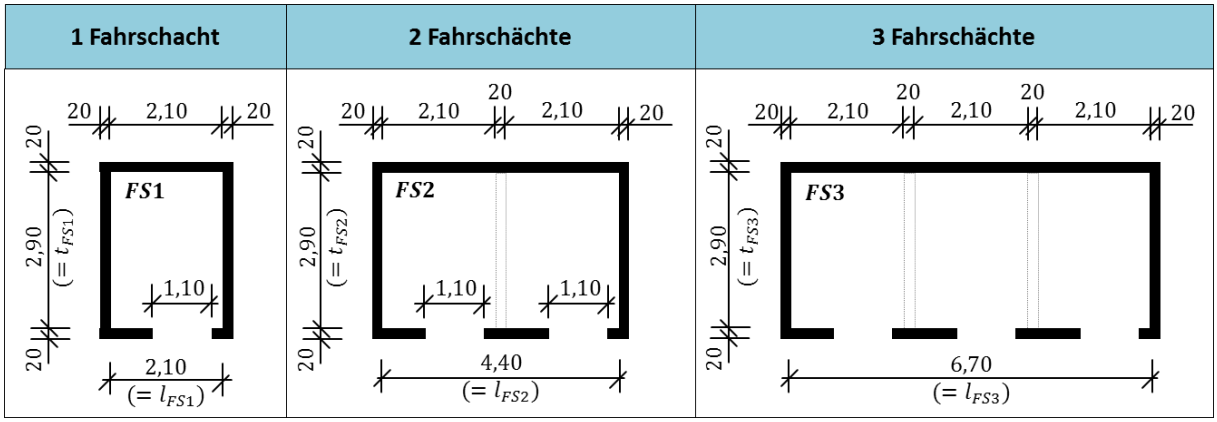


Abb. 48: Schachtmaße der berücksichtigten Aufzüge[378]

Aus Abb. 48 resultieren die lichten Fahrschachtlängen von Aufzugsschächten mit einem Fahrschacht (l_{FS1}), zwei Fahrschächten (l_{FS2}) und drei Fahrschächten (l_{FS3}) sowie die zugehörigen lichten Fahrschachttiefen (t_{FS1}, t_{FS2} u. t_{FS3}):

$$l_{FS1}\,[m] = 2{,}10 \tag{E.131}$$

$$l_{FS2}\,[m] = 4{,}40 \tag{E.132}$$

$$l_{FS3}\,[m] = 6{,}70 \tag{E.133}$$

$$t_{FS1}\,[m] = t_{FS2}\,[m] = t_{FS3}\,[m] = 2{,}90 \tag{E.134}$$

Die Tiefe von Aufzugsgruppe 1 (t_{AG1}) und Aufzugsgruppe 2 (t_{AGi}) ergibt sich aus Abb. 48 zu:

$$t_{AG1}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{AS,AG1}[-] = 0 \\ 2{,}90 + 2 \cdot d_{IW} & wenn: n_{AS,AG1}[-] > 0 \end{cases} \tag{E.135}$$

$$t_{AG2}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{AS,AG2}[-] = 0 \\ 2{,}90 + 2 \cdot d_{IW} & wenn: n_{AS,AG2}[-] > 0 \end{cases} \tag{E.136}$$

Die Länge von Aufzugsgruppe 1 (l_{AG1}) und Aufzugsgruppe 2 (l_{AG2}) ergibt sich aus der lichten Fahrschachtlänge der Aufzugsschächte mit einem Fahrschacht sowie zwei und drei Fahrschächten, der zugehörigen Anzahl der Aufzugsschächte und Fahrschacht-Trennwände in Aufzugsgruppe 1 und 2 und der Wandstärke der Bauelemente zu:

[378] Eigene Darstellung. Anm.: Die Schachtmaße bei Anordnung eines Aufzugs sind aus DIN 15309 (2002), S. 14 für die vorgesehene Tragfähigkeit von 1.275 kg (vgl. Kap. E.2.13.3) übernommen. Bei der Anordnung mehrerer Fahrschächte ist eine zusätzliche Breite von 20 cm für die Konstruktion zwischen den Teilschächten vorzusehen (vgl. a. a. O., S. 3).

$$l_{AG1}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{AS,AG1}[-] = 0 \\ \left(n_{TW,AG1} + 2\right) \cdot d_{IW} + \sum_{i=1}^{3} \left(l_{FSi} \cdot n_{FSi,AG1}\right) & wenn: n_{AS,AG1}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.137)}$$

$$l_{AG2}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{AS,AG2}[-] = 0 \\ \left(n_{TW,AG2} + 2\right) \cdot d_{IW} + \sum_{i=1}^{3} \left(l_{FSi} \cdot n_{FSi,AG2}\right) & wenn: n_{AS,AG2}[-] > 0 \end{cases} \quad \text{(E.138)}$$

E.3.5 Brandschutzwände

Der Ablauf der Ermittlung der Anzahl der Brandschutzwände ist in Abb. 135 (Anlage) zusammengefasst.

E.3.5.1 Parameter

Die Definitionen der verwendeten Parameter ergeben sich aus Abb. 35. Grundsätzlich werden Brandschutzwände in Richtung der Gebäudetiefe und in Richtung der Gebäudelänge unterschieden (vgl. Abb. 41 bis Abb. 43).

E.3.5.2 Anzahl der Brandschutzwände

Die Anordnung der Brandschutzwände im Grundriss ergibt sich aus Abb. 41 bis Abb. 43. Bei dreibündigen Anlagen durchqueren die Brandschutzwände mögliche NE 2 nicht (vgl. Abb. 43).

Während in ein- und zweibündigen Anlagen lediglich Brandschutzwände in Richtung der Gebäudetiefe berücksichtigt werden, wird bei dreibündigen Anlagen mit einer Gebäudegrundfläche über 400 m² eine Brandschutzwand in Richtung der Gebäudelänge angeordnet (vgl. Abb. 24). In Anlagen mit einer Gebäudegrundfläche kleiner gleich 400 m² bzw. lediglich einer NE 0 pro Geschoss werden keine Brandschutzwände in Richtung der Gebäudelänge angeordnet.

Die Anzahl der Brandschutzwände in Richtung der Gebäudelänge ($n_{BW,l}$) ergibt sich in Abhängigkeit von der Bundanzahl und Gebäudegrundfläche somit zu:

$$n_{BW,l}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{Bd}[-] < 3 \\ 0 & wenn: n_{Bd}[-] = 3 \wedge A_{Geb}[m^2] \leq 400 \\ 1 & wenn: n_{Bd}[-] = 3 \wedge A_{Geb}[m^2] > 400 \end{cases} \quad \text{(E.139)}$$

In flurlosen Anlagen und Gebäuden mit lediglich einer NE 0 pro Geschoss werden keine Brandschutzwände in Richtung der Gebäudetiefe angeordnet. Die Anzahl der Brandschutzwände in Richtung der Gebäudelänge ergibt sich in Abhängigkeit von der Bundanzahl und Anzahl der NE 0 in Richtung der Gebäudelänge aus Abb. 40 zu:

$$n_{BW,t}\,[-] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{Bd}[-] = 0 \\ 0 & wenn: n_{Bd}[-] > 0 \;\wedge\; n_{NE0,l}[-] = 1 \\ n_{NE0,l} - 1 & wenn: n_{Bd}[-] > 0 \;\wedge\; n_{NE0,l}[-] > 1 \;\wedge\; \frac{n_{NE0,l}}{2}[-] \in \mathbb{N} \\ n_{NE0,l} & wenn: n_{Bd}[-] > 0 \;\wedge\; n_{NE0,l}[-] > 1 \;\wedge\; \frac{n_{NE0,l}}{2}[-] \notin \mathbb{N} \end{cases} \quad \text{(E.140)}$$

E.3.6 Stützen

Der Ablauf der Ermittlung der Stützenanzahl ist in Abb. 136 (Anlage) zusammengefasst.

E.3.6.1 Parameter

Die Definitionen der verwendeten Parameter ergeben sich aus Abb. 49.

E.3.6.2 Stützenanzahl

Zur rechnerisch exakten Ermittlung der Gesamt-Stützenanzahl pro Geschoss ($n_{St,ges}$), wäre eine differenzierte Berechnung der Stützenanzahl in den NE 1 und NE 2 notwendig, einschließlich einer Fallunterscheidung, die die Kombination der Anzahl der NE 1 und NE 2 sowie der Bundanzahl berücksichtigt. Um die Nachvollziehbarkeit des entwickelten Verfahrens zu steigern, wird stattdessen eine näherungsweise Ermittlung der Stützenanzahl in Richtung der Gebäudetiefe ($n_{St,t}$) und Gebäudelänge ($n_{St,l}$) auf Grundlage der ermittelten maximalen Stützenabstände und Anzahl der Brandschutzwände sowie der Gebäudelänge und -tiefe durchgeführt.

Sind tragende Außenwände vorgesehen (vgl. Kap. E.1.1.5), so ist die Stützenanzahl im Bereich der Außenwände entsprechend zu reduzieren. Ebenso sind die Brandschutzwände in Richtung der Gebäudetiefe bzw. Gebäudelänge bei der Ermittlung der Stützenanzahl in Abzug zu bringen. Die übrigen Bauelemente, die die Stützenanzahl reduzieren können (d. h. Treppenhäuser sowie Aufzugs- und Installationsschächte), werden bei der Ermittlung der Stützenanzahl des Referenzgebäudes vernachlässigt (vgl. Kap. E.2.11).

Die Stützenanzahl in Richtung der Gebäudetiefe und Gebäudelänge ergibt sich zu:[379]

$$n_{St,t}\,[-] = \begin{cases} \left\lceil \frac{t_{Geb} - t_{St}}{s_{St,t,zul}} \right\rceil + 1 - n_{BW,l} & wenn:\; AW = nicht\; tragend \\ \left\lceil \frac{t_{Geb} - d_{AW}}{s_{St,t,zul}} \right\rceil + 1 - n_{BW,l} - 2 & wenn:\; AW = tragend \end{cases} \quad \text{(E.141)}$$

[379] Auf eine Vereinfachung der dargestellten Formeln wird zur Steigerung der Nachvollziehbarkeit verzichtet. Das dargestellte Näherungsverfahren führt rechnerisch nur zu korrekten Ergebnissen, sofern keine Brandschutzwände angeordnet werden oder die Mittelachsen der positionierten Stützen auf den Mittelachsen der Brandschutzwände liegen. Eine Reduzierung der Stützenanzahl kann sich insbesondere bei dreibündigen Anlagen innerhalb der NE 2 ergeben. Die angegebene Berechnungsmethodik wird für den vorgesehenen Zweck dennoch als hinreichend genau erachtet.

$$n_{St,l}\,[-] = \begin{cases} \left\lceil \frac{l_{Geb} - l_{St}}{s_{St,l,zul}} \right\rceil + 1 - n_{BW,t} & wenn: AW = nicht\ tragend \\ \left\lceil \frac{l_{Geb} - d_{AW}}{s_{St,l,zul}} \right\rceil + 1 - n_{BW,t} - 2 & wenn: AW = tragend \end{cases} \quad \text{(E.142)}$$

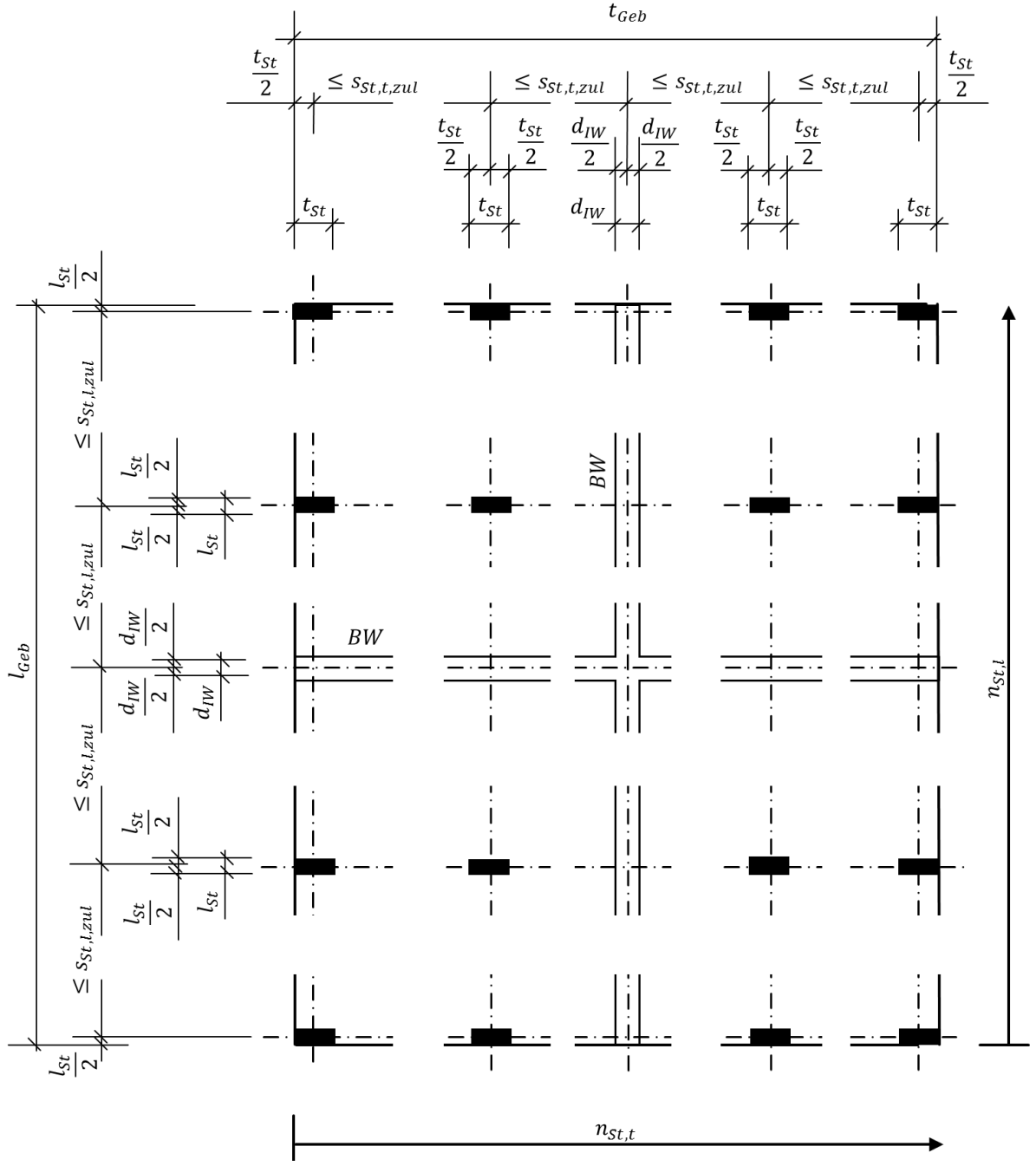


Abb. 49: Geometrische und quantitative Parameter des Bauelements „Stützen“ [380]

Die Gesamt-Stützenanzahl pro Geschoss ergibt sich anschließend zu:

$$n_{St,ges}\,[-] = n_{St,l} \cdot n_{St,t} \quad \text{(E.143)}$$

[380] Eigene Darstellung (schematisch, Grundriss).

F. Ermittlung der Fertigungsmengen

Die festgelegten Randbedingungen der Ermittlung der Fertigungsmengen ergeben sich aus Kapitel C.3. Aufgrund möglicher Unterschiede der EG- und RG-Höhe ist eine geschossweise Ermittlung der Fertigungsmengen notwendig.

F.1 Betonvolumina

Das Gesamt-Betonvolumen aller Bauteile und Geschosse ($V_{B,ges}$) ergibt sich aus der Summe des Gesamt-Betonvolumens aller Geschosse der horizontalen Bauteile ($V_{B,hor,ges}$) und vertikalen Bauteile ($V_{B,vert,ges}$), die in Kapitel F.1.1 und F.1.2 ermittelt werden:

$$V_{B,ges}\ [m^3] = V_{B,hor,ges} + V_{B,vert,ges} \tag{F.1}$$

F.1.1 Horizontale Bauteile

Das Gesamt-Betonvolumen der horizontalen Bauteile aller Geschosse resultiert aus der Differenz des Gesamt-Betonvolumens der horizontalen Bauteile aller Geschosse ohne Abzüge ($V_{B,hor,0}$) und des Gesamt-Volumens der Aussparungen der horizontalen Bauteile aller Geschosse ($\Delta V_{B,hor}$):

$$V_{B,hor,ges}\ [m^3] = V_{B,hor,0} - \Delta V_{B,hor} \tag{F.2}$$

Das Betonvolumen der horizontalen Bauteile des EG ($V_{B,hor,EG}$) und pro RG ($V_{B,hor,RG}$) ergibt sich näherungsweise aus dem Gesamt-Betonvolumen der horizontalen Bauteile aller Geschosse und der Geschossanzahl:[381]

$$V_{B,hor,EG}\ [m^3] = \frac{V_{B,hor,ges}}{n_G} \tag{F.3}$$

$$V_{B,hor,RG}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_G = 1 \\ \dfrac{V_{B,hor,ges}}{n_G} & wenn: n_G > 1 \end{cases} \tag{F.4}$$

Das Gesamt-Betonvolumen der horizontalen Bauteile aller Geschosse ohne Abzüge ergibt sich aus der Gebäudegrundfläche, Deckenstärke und Geschossanzahl zu:

$$V_{B,hor,0}\ [m^3] = A_{Geb} \cdot d_{GD} \cdot n_G \tag{F.5}$$

[381] Näherungsweise, da die angegebene Formel lediglich ein Mittelwert bestimmt und somit für mehrgeschossige Gebäude auch für das Flachdach Aussparungen berücksichtigt werden.

Das Gesamt-Volumen der Aussparungen der horizontalen Bauteile aller Geschosse ergibt sich aus der Summe der jeweiligen Volumen der Aussparungen pro Geschoss der Treppenhäuser ($\Delta V_{B,GD-TH}$), Installationsschächte ($\Delta V_{B,GD-IS}$) und Aufzugsschächte ($\Delta V_{B,GD-A}$) sowie Geschossanzahl. Für die Geschossdecke des obersten Geschosses (Flachdach) sind entsprechend keine Abzüge der vorgenannten Bauelemente zu berücksichtigen. Das Gesamt-Volumen der Aussparungen der horizontalen Bauteile aller Geschosse ergibt sich somit zu:

$$\Delta V_{B,hor}\,[m^3] = \left(\Delta V_{B,GD-TH} + \Delta V_{B,GD-IS} + \Delta V_{B,GD-A}\right) \cdot (n_G - 1) \tag{F.6}$$

Das Volumen der Aussparungen pro Geschoss der Treppenhäuser ergibt sich aus der Treppenhausanzahl und den zugehörigen geometrischen Parametern (vgl. Kap. E.3.2) sowie der Deckenstärke zu:

$$\Delta V_{B,GD-TH}\,[m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH} = 0 \\ (l_{TH} - 2 \cdot d_{IW}) \cdot (b_{TH} - 2 \cdot d_{IW}) \cdot d_{GD} \cdot n_{TH} & wenn: n_{TH} > 0 \end{cases} \tag{F.7}$$

Das Volumen der Aussparungen pro Geschoss der Installationsschächte ergibt sich aus der Anzahl der Installationsschächte und den zugehörigen geometrischen Parametern (vgl. Kap. E.3.3) sowie der Deckenstärke zu:

$$\Delta V_{B,GD-IS}\,[m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_G = 1 \\ (l_{IS} - 2 \cdot d_{IW}) \cdot (b_{IS} - 2 \cdot d_{IW}) \cdot d_{GD} \cdot n_{IS} & wenn: n_G > 1 \end{cases} \tag{F.8}$$

Das Volumen der Aussparungen pro Geschoss der Aufzugsschächte resultiert aus der Summe des Volumens der Aussparungen pro Geschoss der Aufzugsschächte von Aufzugsgruppe 1 ($\Delta V_{B,GD-AG1}$) und Aufzugsgruppe 2 ($\Delta V_{B,GD-AG2}$):

$$\Delta V_{B,GD-A}\,[m^3] = \Delta V_{B,GD-AG1} + \Delta V_{B,GD-AG2} \tag{F.9}$$

mit:

$$\Delta V_{B,GD-AG1}\,[m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{AS,AG1} = 0 \\ \left(l_{AG1} - d_{IW} \cdot \left(n_{TW,AG1} + 2\right)\right) \cdot (t_{AG1} - 2 \cdot d_{IW}) \cdot d_{GD} & wenn: n_{AS,AG1} > 0 \end{cases} \tag{F.10}$$

$$\Delta V_{B,GD-AG2}\,[m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{AS,AG2} = 0 \\ \left(l_{AG2} - d_{IW} \cdot \left(n_{TW,AG2} + 2\right)\right) \cdot (t_{AG2} - 2 \cdot d_{IW}) \cdot d_{GD} & wenn: n_{AS,AG2} > 0 \end{cases} \tag{F.11}$$

F.1.2 Vertikale Bauteile

Das Gesamt-Betonvolumen der vertikalen Bauteile aller Geschosse resultiert aus dem Gesamt-Betonvolumen der vertikalen Bauteile des EG ($V_{B,vert,EG}$), dem Gesamt-Betonvolumen der vertikalen Bauteile pro RG ($V_{B,vert,RG}$) und der Geschossanzahl:

$$V_{B,vert,ges}\,[m^3] = V_{B,vert,EG} + V_{B,vert,RG} \cdot (n_G - 1) \tag{F.12}$$

Das Gesamt-Betonvolumen der vertikalen Bauteile des EG und pro RG ergibt sich jeweils aus der Summe des Betonvolumens der Außenwände ($V_{B,AW,EG}$ u. $V_{B,AW,RG}$), der Innenwände ($V_{B,IW,EG}$ u. $V_{B,IW,RG}$) und der Stützen ($V_{B,St,EG}$ u. $V_{B,St,RG}$):

$$V_{B,vert,EG}\ [m^3] = V_{B,AW,EG} + V_{B,IW,EG} + V_{B,St,EG} \tag{F.13}$$

$$V_{B,vert,RG}\ [m^3] = V_{B,AW,RG} + V_{B,IW,RG} + V_{B,St,RG} \tag{F.14}$$

Die Berechnung wird dementsprechend in Außenwände, Innenwände und Stützen gegliedert.

Betonvolumen der Außenwände

Das Gesamt-Betonvolumen der Außenwände aller Geschosse ($V_{B,AW,ges}$) resultiert aus dem Gesamt-Betonvolumen der Außenwände des EG ($V_{B,AW,EG}$), dem Gesamt-Betonvolumen der Außenwände pro RG ($V_{B,AW,RG}$) und der Geschossanzahl:

$$V_{B,AW,ges}\ [m^3] = V_{B,AW,EG}\ + V_{B,AW,RG}\ \cdot (n_G\ - 1) \tag{F.15}$$

Das Betonvolumen der Außenwände des EG und pro RG resultiert aus dem Betonvolumen der Außenwände ohne Abzüge des EG ($V_{B,AW,EG,0}$) bzw. pro RG ($V_{B,AW,RG,0}$) und dem Anteil der Fensterflächen tragender Außenwände (vgl. Kap. E.2.14):

$$V_{B,AW,EG}\ [m^3] = V_{B,AW,EG,0} \cdot \left(1 - a_{F,AW}\right) \tag{F.16}$$

$$V_{B,AW,RG}\ [m^3] = V_{B,AW,RG,0} \cdot \left(1 - a_{F,AW}\right) \tag{F.17}$$

Das Betonvolumen der Außenwände ohne Abzüge des EG und pro RG ergibt sich näherungsweise aus dem Gebäudeumfang, der Wandstärke der Außenwände, der EG- bzw. RG-Höhe und der Deckenstärke zu:[382]

$$V_{B,AW,EG,0}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: Außenwände = nicht\ tragend \\ U_{Geb} \cdot d_{AW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) & wenn: Außenwände = tragend \end{cases} \tag{F.18}$$

$$V_{B,AW,RG,0}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: Außenwände = nicht\ tragend \\ U_{Geb} \cdot d_{AW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) & wenn: Außenwände = tragend \end{cases} \tag{F.19}$$

Betonvolumen der Innenwände

Das Gesamt-Betonvolumen der Innenwände aller Geschosse ($V_{B,IW,ges}$) resultiert aus dem Gesamt-Betonvolumen der Innenwände des EG ($V_{B,IW,EG}$), dem Gesamt-Betonvolumen der Innenwände pro RG ($V_{B,IW,RG}$) und der Geschossanzahl:

$$V_{B,IW,ges}\ [m^3] = V_{B,IW,EG} + V_{B,IW,RG} \cdot (n_G\ - 1) \tag{F.20}$$

[382] Näherungsweise, da Einbindungen der Außenwände im Bereich der Gebäudeecken nicht in Abzug gebracht werden.

Das Gesamt-Betonvolumen der Innenwände des EG und pro RG resultiert jeweils aus der Summe des zugehörigen Betonvolumens der Treppenhäuser ($V_{B,TH,EG}$ u. $V_{B,TH,RG}$), der Installationsschächte ($V_{B,IS,EG}$ u. $V_{B,IS,RG}$), der Aufzugsschächte ($V_{B,A,EG}$ u. $V_{B,A,RG}$) und der Brandschutzwände ($V_{B,BW,EG}$ u. $V_{B,BW,RG}$):

$$V_{B,IW,EG}\ [m^3] = V_{B,TH,EG}\ + V_{B,IS,EG} + V_{B,A,EG} + V_{B,BW,EG} \tag{F.21}$$

$$V_{B,IW,RG}\ [m^3] = V_{B,TH,RG}\ + V_{B,IS,RG} + V_{B,A,RG} + V_{B,BW,RG} \tag{F.22}$$

Die Berechnung wird dementsprechend in Treppenhäuser, Installationsschächte, Aufzugsschächte und Brandschutzwände differenziert.

Betonvolumen der Treppenhäuser

Das Gesamt-Betonvolumen der Treppenhäuser aller Geschosse ($V_{B,TH,ges}$) ergibt sich aus der Geschossanzahl sowie dem Gesamt-Betonvolumen der Treppenhäuser im EG ($V_{B,TH,EG}$) und pro RG ($V_{B,TH,RG}$) zu:

$$V_{B,TH,ges}\ [m^3] = V_{B,TH,EG}\ + V_{B,TH,RG}\ \cdot (n_G\ - 1) \tag{F.23}$$

Das Gesamt-Betonvolumen der Treppenhäuser im EG und pro RG resultiert aus der Treppenhausanzahl sowie der Differenz des Betonvolumens eines Treppenhauses ohne Abzüge im EG bzw. RG ($V_{B,TH,EG,0}$ u. $V_{B,TH,RG,0}$) und des Volumens der Aussparungen eines Treppenhauses im EG bzw. RG ($\Delta V_{B,TH,EG}$ u. $\Delta V_{B,TH,RG}$):

$$V_{B,TH,EG}\ [m^3] = \left(V_{B,TH,EG,0} - \Delta V_{B,TH,EG}\right) \cdot n_{TH} \tag{F.24}$$

$$V_{B,TH,RG}\ [m^3] = \left(V_{B,TH,RG,0} - \Delta V_{B,TH,RG}\right) \cdot n_{TH} \tag{F.25}$$

Das Betonvolumen eines Treppenhauses ohne Abzüge im EG und RG resultiert aus den geometrischen Parametern der Treppenhäuser (vgl. Kap. E.3.2), der EG- bzw. RG-Höhe und der Deckenstärke:

$$V_{B,TH,EG,0}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_G = 1 \\ 2 \cdot \left((b_{TH} - 2 \cdot d_{IW}) + l_{TH}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) & wenn: n_G > 1 \end{cases} \tag{F.26}$$

$$V_{B,TH,RG,0}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_G = 1 \\ 2 \cdot \left((b_{TH} - 2 \cdot d_{IW}) + l_{TH}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) & wenn: n_G > 1 \end{cases} \tag{F.27}$$

Für das Volumen der Aussparungen eines Treppenhauses wird pauschal eine Wand in Richtung der Treppenhauslänge in Abzug gebracht. Das Volumen der Aussparungen eines Treppenhauses im EG und RG ergibt sich somit zu:

$$\Delta V_{B,TH,EG}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_G = 1 \\ l_{TH} \cdot d_{IW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) & wenn: n_G > 1 \end{cases} \tag{F.28}$$

$$\Delta V_{B,TH,RG}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_G = 1 \\ l_{TH} \cdot d_{IW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) & wenn: n_G > 1 \end{cases} \tag{F.29}$$

Betonvolumen der Installationsschächte

Das Gesamt-Betonvolumen der Installationsschächte aller Geschosse ($V_{B,IS,ges}$) ergibt sich aus der Geschossanzahl sowie dem Gesamt-Betonvolumen der Installationsschächte im EG ($V_{B,IS,EG}$) und pro RG ($V_{B,IS,RG}$) zu:

$$V_{B,IS,ges}\,[m^3] = V_{B,IS,EG} + V_{B,IS,RG} \cdot (n_G - 1) \tag{F.30}$$

Das Gesamt-Betonvolumen der Installationsschächte im EG und pro RG resultiert aus der Anzahl der Installationsschächte sowie der Differenz des Betonvolumens eines Installationsschachts ohne Abzüge im EG bzw. RG ($V_{B,IS,EG,0}$ u. $V_{B,IS,RG,0}$) und des Volumens der Aussparungen eines Installationsschachts im EG bzw. RG ($\Delta V_{B,IS,EG}$ u. $\Delta V_{B,IS,RG}$):

$$V_{B,IS,EG}\,[m^3] = \left(V_{B,IS,EG,0} - \Delta V_{B,IS,EG,0}\right) \cdot n_{IS} \tag{F.31}$$

$$V_{B,IS,RG}\,[m^3] = \left(V_{B,IS,RG,0} - \Delta V_{B,IS,RG,0}\right) \cdot n_{IS} \tag{F.32}$$

Das Betonvolumen eines Installationsschachts ohne Abzüge im EG und RG resultiert aus den geometrischen Parametern der Installationsschächte (vgl. Kap. E.3.3), der EG- bzw. RG-Höhe und der Deckenstärke:

$$V_{B,IS,EG,0}\,[m^3] = 2 \cdot \left((b_{IS} - 2 \cdot d_{IW}) + l_{IS}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) \tag{F.33}$$

$$V_{B,IS,RG,0}\,[m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_G = 1 \\ 2 \cdot \left((b_{IS} - 2 \cdot d_{IW}) + l_{IS}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) & wenn: n_G > 1 \end{cases} \tag{F.34}$$

Für das Volumen der Aussparungen eines Installationsschachts wird pauschal eine Wand in Richtung der Schachtlänge in Abzug gebracht. Das Volumen der Aussparungen eines Installationsschachts im EG und RG ergibt sich somit zu:

$$\Delta V_{B,IS,EG,0}\,[m^3] = l_{IS} \cdot d_{IW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) \tag{F.35}$$

$$\Delta V_{B,IS,RG,0}\,[m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_G = 1 \\ l_{IS} \cdot d_{IW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) & wenn: n_G > 1 \end{cases} \tag{F.36}$$

Betonvolumen der Aufzugsschächte

Das Gesamt-Betonvolumen der Aufzugsschächte aller Geschosse ($V_{B,A,ges}$) ergibt sich aus der Geschossanzahl sowie dem Gesamt-Betonvolumen der Aufzugsschächte im EG ($V_{B,A,EG}$) und pro RG ($V_{B,A,RG}$) zu:

$$V_{B,A,ges}\,[m^3] = V_{B,A,EG} + V_{B,A,RG} \cdot (n_G - 1) \tag{F.37}$$

Das Gesamt-Betonvolumen der Aufzugsschächte im EG und pro RG resultiert jeweils aus der Summe des Betonvolumens von Aufzugsgruppe 1 ohne Abzüge im EG bzw. RG ($V_{B,AG1,EG,0}$ u. $V_{B,AG1,RG,0}$) und Aufzugsgruppe 2 ohne Abzüge im EG bzw. RG ($V_{B,AG2,EG,0}$

u. $V_{B,AG2,RG,0}$) abzgl. des Volumens der Aussparungen von Aufzugsgruppe 1 im EG bzw. RG ($\Delta V_{B,AG1,EG}$ u. $\Delta V_{B,AG1,RG}$) und Aufzugsgruppe 2 im EG bzw. RG ($\Delta V_{B,AG2,EG}$ u. $\Delta V_{B,AG2,RG}$):

$$V_{B,A,EG}\ [m^3] = V_{B,AG1,EG,0} + V_{B,AG2,EG,0} - \left(\Delta V_{B,AG1,EG} + \Delta V_{B,AG2,EG}\right) \quad \text{(F.38)}$$

$$V_{B,A,RG}\ [m^3] = V_{B,AG1,RG,0} + V_{B,AG2,RG,0} - \left(\Delta V_{B,AG1,RG} + \Delta V_{B,AG2,RG}\right) \quad \text{(F.39)}$$

Das Betonvolumen von Aufzugsgruppe 1 und 2 ohne Abzüge im EG und RG resultiert jeweils aus den geometrischen Parametern der Aufzugsschächte (vgl. Kap. E.3.4), der EG- bzw. RG-Höhe und der Deckenstärke:

$$V_{B,AG1,EG,0}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{AS,AG1} = 0 \\ \left(2 \cdot l_{AG1} + (n_{TW,AG1} + 2) \cdot t_{FS1}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) & wenn: n_{AS,AG1} > 0 \end{cases} \quad \text{(F.40)}$$

$$V_{B,AG2,EG,0}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{AS,AG2} = 0 \\ \left(2 \cdot l_{AG2} + (n_{TW,AG2} + 2) \cdot t_{FS1}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) & wenn: n_{AS,AG2} > 0 \end{cases} \quad \text{(F.41)}$$

$$V_{B,AG1,RG,0}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{AS,AG1} = 0 \\ \left(2 \cdot l_{AG1} + (n_{TW,AG1} + 2) \cdot t_{FS1}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) & wenn: n_{AS,AG1} > 0 \end{cases} \quad \text{(F.42)}$$

$$V_{B,AG2,RG,0}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{AS,AG2} = 0 \\ \left(2 \cdot l_{AG2} + (n_{TW,AG2} + 2) \cdot t_{FS1}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) & wenn: n_{AS,AG2} > 0 \end{cases} \quad \text{(F.43)}$$

Für das Volumen der Aussparungen einer Aufzugsgruppe wird pauschal eine Wand in Richtung der Länge der jeweiligen Aufzugsgruppe in Abzug gebracht. Das Volumen der Aussparungen von Aufzugsgruppe 1 und Aufzugsgruppe 2 im EG bzw. RG ergibt sich somit zu:

$$\Delta V_{B,AG1,EG}\ [m^3] = l_{AG1} \cdot d_{IW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) \quad \text{(F.44)}$$

$$\Delta V_{B,AG2,EG}\ [m^3] = l_{AG2} \cdot d_{IW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) \quad \text{(F.45)}$$

$$\Delta V_{B,AG1,RG}\ [m^3] = l_{AG1} \cdot d_{IW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) \quad \text{(F.46)}$$

$$\Delta V_{B,AG2,RG}\ [m^3] = l_{AG2} \cdot d_{IW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) \quad \text{(F.47)}$$

Betonvolumen der Brandschutzwände

Das Gesamt-Betonvolumen der Brandschutzwände aller Geschosse ($V_{B,BW,ges}$) ergibt sich aus der Geschossanzahl sowie dem Gesamt-Betonvolumen der Brandschutzwände im EG ($V_{B,BW,EG}$) und pro RG ($V_{B,BW,RG}$) zu:

$$V_{B,BW,ges}\ [m^3] = V_{B,BW,EG} + V_{B,BW,RG} \cdot (n_G - 1) \quad \text{(F.48)}$$

Das Gesamt-Betonvolumen der Brandschutzwände im EG und pro RG resultiert jeweils aus der Summe des Betonvolumens der Brandschutzwände in Richtung der Gebäudetiefe ohne Abzüge im EG bzw. RG ($V_{B,BW,EG,t,0}$ u. $V_{B,BW,RG,t,0}$) und Brandschutzwände in Richtung der Gebäudelänge ohne Abzüge im EG bzw. RG ($V_{B,BW,EG,l,0}$ u. $V_{B,BW,RG,l,0}$) abzgl. des Volumens

der Aussparungen der Brandschutzwände in Richtung der Gebäudetiefe im EG bzw. RG ($\Delta V_{B,BW,EG,t}$ u. $\Delta V_{B,BW,RG,t}$) und Brandschutzwände in Richtung der Gebäudelänge im EG bzw. RG ($\Delta V_{B,BW,EG,l}$ u. $\Delta V_{B,BW,RG,l}$):

$$V_{B,BW,EG}\,[m^3] = V_{B,BW,EG,t,0} + V_{B,BW,EG,l,0} - \left(\Delta V_{B,BW,EG,t} + \Delta V_{B,BW,EG,l}\right) \tag{F.49}$$

$$V_{B,BW,RG}\,[m^3] = V_{B,BW,RG,t,0} + V_{B,BW,RG,l,0} - \left(\Delta V_{B,BW,RG,t} + \Delta V_{B,BW,RG,l}\right) \tag{F.50}$$

Das Betonvolumen der Brandschutzwände in Richtung der Gebäudetiefe und -länge ohne Abzüge im EG und RG resultiert jeweils aus der zugehörigen Anzahl und geometrischen Parametern der Brandschutzwände (vgl. Kap. E.3.5), der EG- bzw. RG-Höhe und der Deckenstärke:

$$V_{B,BW,EG,t,0}\,[m^3] = t_{Geb} \cdot d_{IW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) \cdot n_{BW,t} \tag{F.51}$$

$$V_{B,BW,EG,l,0}\,[m^3] = max\left(l_{Geb} - l_{NE2} \cdot n_{NE2,l}, l_{Geb} - l_{NE1} \cdot n_{NE1,l}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) \cdot n_{BW,l} \tag{F.52}$$

$$V_{B,BW,RG,t,0}\,[m^3] = t_{Geb} \cdot d_{IW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) \cdot n_{BW,t} \tag{F.53}$$

$$V_{B,BW,RG,l,0}\,[m^3] = max\left(l_{Geb} - l_{NE2} \cdot n_{NE2,l}, l_{Geb} - l_{NE1} \cdot n_{NE1,l}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) \cdot n_{BW,l} \tag{F.54}$$

Unabhängig von der Verlaufsrichtung der Brandschutzwände wird für zwei aneinander angrenzende NE pauschal jeweils eine raumhohe Wandöffnung von 2,00 m in Abzug gebracht ($\Delta l_{B,BW,l}$ bzw. $\Delta l_{B,BW,t}$). Für Brandschutzwände in Richtung der Gebäudelänge wird eine Überschneidung mit den Treppenhäusern unterstellt und für jedes Treppenhaus entsprechend eine raumhohe Treppenhausbreite in Abzug gebracht ($\Delta l_{B,TH,l}$). Ebenso wird für Überschneidungen zwischen den Brandschutzwänden und Aufzugsgruppen verfahren, wobei für Brandschutzwände in Richtung der Gebäudelänge die Tiefen der Aufzugsgruppen angesetzt werden ($\Delta l_{B,AG,l}$).

Das Volumen der Aussparungen der Brandschutzwände in Richtung der Gebäudelänge im EG und pro RG ergibt sich somit zu:

$$\Delta V_{B,BW,EG,l}\,[m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: \\ & n_{BW,l} = 0 \\ \left(\Delta l_{B,BW,l} + \Delta l_{B,TH,l} + \Delta l_{B,AG,l}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) & wenn: \\ & n_{BW,l} > 0 \end{cases} \tag{F.55}$$

$$\Delta V_{B,BW,RG,l}\,[m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: \\ & n_{BW,l} = 0 \\ \left(\Delta l_{B,BW,l} + \Delta l_{B,TH,l} + \Delta l_{B,AG,l}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) & wenn: \\ & n_{BW,l} > 0 \end{cases} \tag{F.56}$$

$$\left(mit: \Delta l_{B,BW,l} = 2{,}00 \cdot n_{BW,l} \cdot n_{NE1,l},\ \Delta l_{B,TH,l} = b_{TH} \cdot n_{TH}\ \ u.\ \ \Delta l_{B,AG,l} = t_{AG1} + t_{AG2}\right)$$

Auch für Brandschutzwände in Richtung der Gebäudetiefe wird eine Überschneidung mit den Treppenhäusern unterstellt, wobei – im Gegensatz zu Brandschutzwänden in Richtung der Gebäudelänge – jeweils eine raumhohe Treppenhauslänge in Abzug gebracht wird ($\Delta l_{B,TH,t}$). Da mehrgeschossige Gebäude mit lediglich einer NE pro Geschoss keine Brandschutzwände aufweisen, resultiert die Anzahl der zu berücksichtigenden Überschneidungen aus dem Minimum der Treppenhausanzahl und der Anzahl der Brandschutzwände in Richtung der Gebäudetiefe. Auch für Überschneidungen zwischen den Brandschutzwänden in Richtung der Gebäudetiefe und Aufzugsgruppen werden Überschneidungen in Abzug gebracht, wobei – im Gegensatz zu Brandschutzwänden in Richtung der Gebäudelänge – raumhohe Wandöffnungen entlang der Länge der Aufzugsgruppen in Abzug gebracht werden ($\Delta l_{B,AG,t}$).

Das Volumen der Aussparungen der Brandschutzwände in Richtung der Gebäudetiefe im EG und pro RG ergibt sich somit zu:

$$\Delta V_{B,BW,EG,t}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: \\ & n_{BW,t} = 0 \\ \left(\Delta l_{B,BW,t} + \Delta l_{B,TH,t} + \Delta l_{B,AG,t}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) & wenn: \\ & n_{BW,t} > 0 \end{cases} \quad \text{(F.57)}$$

$$\Delta V_{B,BW,RG,t}\ [m^3] = \begin{cases} 0 & wenn: \\ & n_{BW,t} = 0 \\ \left(\Delta l_{B,BW,t} + \Delta l_{B,TH,t} + \Delta l_{B,AG,t}\right) \cdot d_{IW} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) & wenn: \\ & n_{BW,t} > 0 \end{cases} \quad \text{(F.58)}$$

$$\left(mit: \Delta l_{B,BW,t} = 2{,}00 \cdot n_{BW,t} \cdot n_{NE1,t},\ \Delta l_{B,TH,t} = l_{TH} \cdot min\left(n_{TH}, n_{BW,t}\right)\ u.\ \Delta l_{B,AG,t} = l_{AG1} + l_{AG2}\right)$$

Betonvolumen der Stützen

Das Gesamt-Betonvolumen der Stützen aller Geschosse ($V_{B,St,ges}$) ergibt sich aus der Geschossanzahl sowie dem Gesamt-Betonvolumen der Stützen im EG ($V_{B,St,EG}$) und pro RG ($V_{B,St,EG}$) zu:

$$V_{B,St,ges}\ [m^3] = V_{B,St,EG} + V_{B,St,RG}\ \cdot (n_G - 1) \quad \text{(F.59)}$$

Das Gesamt-Betonvolumen der Stützen im EG und pro RG resultiert aus dem Betonvolumen einer Stütze im EG und in den RG ($V_{B,St,EG,0}$ u. $V_{B,St,RG,0}$) und der Gesamt-Anzahl der Stützen pro Geschoss (vgl. Kap. E.3.6.2):

$$V_{B,St,EG}\ [m^3] = V_{B,St,EG,0} \cdot n_{St,ges} \quad \text{(F.60)}$$

$$V_{B,St,RG}\ [m^3] = V_{B,St,RG,0} \cdot n_{St,ges} \quad \text{(F.61)}$$

Das Betonvolumen einer Stütze im EG und in den RG resultiert aus den geometrischen Parametern der Stützen (vgl. Kap. E.2.11), der EG- bzw. RG-Höhe und der Deckenstärke:

$$V_{B,St,EG,0}\ [m^3] = t_{St} \cdot l_{St} \cdot (h_{EG} - d_{GD}) \tag{F.62}$$

$$V_{B,St,RG,0}\ [m^3] = t_{St} \cdot l_{St} \cdot (h_{RG} - d_{GD}) \tag{F.63}$$

F.1.3 Betonanteil

Der Gesamt-Betonanteil des Gebäudes ($a_{B,ges}$) kann aus dem Gesamt-Betonvolumen und dem BRI des Referenzgebäudes näherungsweise ermittelt werden:[383]

$$a_{B,ges}\left[\frac{m^3 Beton}{m^3 BRI}\right] = \frac{V_{B,ges}}{l_{Geb} \cdot t_{Geb} \cdot h_{Geb}} \tag{F.64}$$

F.2 Randschalungslängen

Die Gesamt-Randschalungslänge der Geschossdecken aller Geschosse ($l_{RS,hor,ges}$) ergibt sich aus der Summe der Gesamt-Randschalungslänge der Geschossdecken aller Geschosse ohne Aussparungen ($l_{RS,GD,0}$) und der Gesamt-Randschalungslänge der Aussparungen aller Bauelemente und Geschosse ($\Delta l_{RS,GD}$):

$$l_{RS,hor,ges}\ [m] = l_{RS,GD,0} + \Delta l_{RS,GD} \tag{F.65}$$

Zusätzliche Randschalungslängen, die aufgrund der Einteilung des Referenzgebäudes in Fertigungsabschnitte entstehen, werden vernachlässigt.

Die Randschalungslänge der Geschossdecken des EG ($l_{RS,hor,EG}$) und pro RG ($l_{RS,hor,RG}$) ergibt sich näherungsweise aus der Gesamt-Randschalungslänge der Geschossdecken aller Geschosse und der Geschossanzahl zu:[384]

$$l_{RS,hor,EG}\ [m] = \frac{l_{RS,hor,ges}}{n_G} \tag{F.66}$$

$$l_{RS,hor,RG}\ [m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_G = 1 \\ \dfrac{l_{RS,hor,ges}}{n_G} & wenn: n_G > 1 \end{cases} \tag{F.67}$$

[383] Näherungsweise, da sich der Berechnungsansatz zur Bestimmung des BRI auf die Rohbaumaße des Referenzgebäudes bezieht.

[384] Näherungsweise, da die angegebene Formel lediglich ein Mittelwert bestimmt und somit für mehrgeschossige Gebäude auch für das Flachdach Aussparungen berücksichtigt werden.

Die Gesamt-Randschalungslänge der Geschossdecken aller Geschosse ohne Aussparungen ergibt sich aus dem Gebäudeumfang und der Geschossanzahl zu:

$$l_{RS,GD,0}\,[m] = U_{Geb} \cdot n_G \tag{F.68}$$

Die Gesamt-Randschalungslänge der Aussparungen aller Bauelemente und Geschosse ergibt sich aus der Geschossanzahl und der Summe der Randschalungslängen der Aussparungen pro Geschoss der Treppenhäuser ($\Delta l_{RS,GD-TH}$), Installationsschächte ($\Delta l_{RS,GD-IS}$) und Aufzugsschächte ($\Delta l_{RS,GD-A}$). Für die Geschossdecken des obersten Geschosses (Flachdach) sind entsprechend keine Abzüge der vorgenannten Bauelemente zu berücksichtigen. Das Gesamt-Volumen der Aussparungen der horizontalen Bauteile aller Geschosse ergibt sich somit zu:

$$\Delta l_{RS,GD}\,[m] = \left(\Delta l_{RS,GD-TH} + \Delta l_{RS,GD-IS} + \Delta l_{RS,GD-A}\right) \cdot (n_G - 1) \tag{F.69}$$

Die Randschalungslänge der Aussparungen der Treppenhäuser pro Geschoss ergibt sich aus der Treppenhausanzahl und den zugehörigen geometrischen Parametern (vgl. Kap. E.3.2) zu:

$$\Delta l_{RS,GD-TH}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_{TH} = 0 \\ 2 \cdot (b_{TH} + l_{TH} - 4 \cdot d_{IW}) \cdot n_{TH} & wenn: n_{TH} > 0 \end{cases} \tag{F.70}$$

Die Randschalungslänge der Aussparungen der Installationsschächte pro Geschoss ergibt sich aus der Anzahl der Installationsschächte und den zugehörigen geometrischen Parametern (vgl. Kap. E.3.3) zu:

$$\Delta l_{RS,GD-IS}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: n_G = 1 \\ 2 \cdot (b_{IS} + l_{IS} - 4 \cdot d_{IW}) \cdot n_{IS} & wenn: n_G > 1 \end{cases} \tag{F.71}$$

Die Randschalungslänge der Aussparungen der Aufzugsschächte pro Geschoss resultiert aus der Anzahl der Aufzugsschächte mit einem Fahrschacht sowie zwei und drei Fahrschächten (vgl. Kap. E.3.4.2) und den zugehörigen geometrischen Parametern (vgl. Kap. E.3.4.5):

$$\Delta l_{RS,GD-A}\,[m] = 2 \cdot \left((l_{FS1} + t_{FS1}) \cdot n_{FS1} + (l_{FS2} + t_{FS2}) \cdot n_{FS2} + (l_{FS3} + t_{FS3}) \cdot n_{FS3}\right) \tag{F.72}$$

F.3 Schalungsflächen

Die Gesamt-Schalungsfläche aller Bauteile und Geschosse ($A_{S,ges}$) ergibt sich aus der Summe der Gesamt-Schalungsfläche aller Geschosse der horizontalen Bauteile ($A_{S,hor,ges}$) und vertikalen Bauteile ($A_{S,vert,ges}$), die in Kapitel F.3.1 und F.3.2 ermittelt werden:

$$A_{S,ges}\,[m^2] = A_{S,hor,ges} + A_{S,vert,ges} \tag{F.73}$$

Die Ermittlung der Schalungsflächen erfolgt idealisiert auf Grundlage der Betonvolumina (vgl. Kap. C.3).

F.3.1 Horizontale Bauteile

Die Berechnung der Schalungsflächen der horizontalen Bauteile ist geschossweise gegliedert in Tab. 11 zusammengefasst, wobei die vereinfachten Berechnungsansätze nach Kap. C.3.3 verwendet werden (vgl. Eq. (C.1)).

Tab. 11: Berechnung der Schalungsflächen der horizontalen Bauteile[385]

	Berechnung	
Schalungsfläche, hor. Bauteile (alle Geschosse)	$A_{S,hor,ges} = \frac{V_{B,hor,ges}}{d_{GD}}$	(F.74)
Schalungsfläche, hor. Bauteile, EG	$A_{S,hor,EG} = \frac{V_{B,hor,EG}}{d_{GD}}$	(F.75)
Schalungsfläche, hor. Bauteile, pro RG	$A_{S,hor,RG} = \frac{V_{B,hor,RG}}{d_{GD}}$	(F.76)
$A_{S,i}$ jeweils in m², $V_{B,i}$ in m³ und d_{GD} in m.		

F.3.2 Vertikale Bauteile

Die Berechnung der Schalungsflächen der vertikalen Bauteile ist geschossweise gegliedert in Tab. 12 zusammengefasst, wobei die vereinfachten Berechnungsansätze nach Kap. C.3.3 verwendet werden (vgl. Eq. (C.2) u. Eq. (C.3)). Eine weitere Differenzierung erfolgt hinsichtlich der Bauelemente sowie der Innen- und Außenwände.

F.3.3 Schalungsanteil

Der Gesamt-Schalungsanteil des Gebäudes ($a_{S,ges}$) sowie der Schalungsanteil der horizontalen Bauteile ($a_{S,hor}$) und vertikalen Bauteile ($a_{S,vert}$) resultieren aus der jeweiligen Schalungsfläche und dem zugehörigen Betonvolumen:

$$a_{S,ges}\left[\frac{m^2}{m^3 Beton}\right] = \frac{A_{S,ges}}{V_{B,ges}} \quad \text{(F.77)}$$

$$a_{S,hor}\left[\frac{m^2}{m^3 Beton}\right] = \frac{A_{S,hor,ges}}{V_{B,hor,ges}} \quad \text{(F.78)}$$

$$a_{S,vert}\left[\frac{m^2}{m^3 Beton}\right] = \frac{A_{S,vert,ges}}{V_{B,vert,ges}} \quad \text{(F.79)}$$

[385] Eigene Darstellung.

Tab. 12: Berechnung der Schalungsflächen der vertikalen Bauteile[386]

			Berechnung	
SCHALUNGSFLÄCHE, VERT. BAUTEILE (ALLE GESCHOSSE)			$A_{S,vert,ges} = A_{S,AW,ges} + A_{S,IW,ges} + A_{S,St,ges}$	(F.80)
Schalungsfläche, vert. Bauteile, EG			$A_{S,vert,EG} = A_{S,AW,EG} + A_{S,IW,EG} + A_{S,St,EG}$	(F.81)
Schalungsfläche, vert. Bauteile, pro RG			$A_{S,vert,RG} = A_{S,AW,RG} + A_{S,IW,RG} + A_{S,St,RG}$	(F.82)
Außenwände	Schalungsfläche, AW (alle Geschosse)		$A_{S,AW,ges} = \begin{cases} 0 & wenn: d_{AW} = 0 \\ 2 \cdot \frac{V_{B,AW,ges}}{d_{AW}} & wenn: d_{AW} > 0 \end{cases}$	(F.83)
	Schalungsfläche, AW, EG		$A_{S,AW,EG} = \begin{cases} 0 & wenn: d_{AW} = 0 \\ 2 \cdot \frac{V_{B,AW,EG}}{d_{AW}} & wenn: d_{AW} > 0 \end{cases}$	(F.84)
	Schalungsfläche, AW, pro RG		$A_{S,AW,RG} = \begin{cases} 0 & wenn: d_{AW} = 0 \\ 2 \cdot \frac{V_{B,AW,RG}}{d_{AW}} & wenn: d_{AW} > 0 \end{cases}$	(F.85)
Innenwände	Schalungsfläche, IW (alle Geschosse)		$A_{S,IW,ges} = A_{S,TH,ges} + A_{S,IS,ges} + A_{S,A,ges} + A_{S,BW,ges}$	(F.86)
	Schalungsfläche, Innenwände, EG		$A_{S,IW,EG} = A_{S,TH,EG} + A_{S,IS,EG} + A_{S,A,EG} + A_{S,BW,EG}$	(F.87)
	Schalungsfläche, Innenwände, pro RG		$A_{S,IW,RG} = A_{S,TH,RG} + A_{S,IS,RG} + A_{S,A,RG} + A_{S,BW,RG}$	(F.88)
	Treppenhäuser	*Schalungsfläche, TH (alle Geschosse)*	$A_{S,TH,ges} = 2 \cdot \frac{V_{B,TH,ges}}{d_{IW}}$	(F.89)
		Schalungsfläche, TH, EG	$A_{S,TH,EG} = 2 \cdot \frac{V_{B,TH,EG}}{d_{IW}}$	(F.90)
		Schalungsfläche, TH, pro RG	$A_{S,TH,RG} = 2 \cdot \frac{V_{B,TH,RG}}{d_{IW}}$	(F.91)
	Installationsschächte	*Schalungsfläche, IS (alle Geschosse)*	$A_{S,IS,ges} = 2 \cdot \frac{V_{B,IS,ges}}{d_{IW}}$	(F.92)
		Schalungsfläche, IS, EG	$A_{S,IS,EG} = 2 \cdot \frac{V_{B,IS,EG}}{d_{IW}}$	(F.93)
		Schalungsfläche, IS, pro RG	$A_{S,IS,RG} = 2 \cdot \frac{V_{B,IS,RG}}{d_{IW}}$	(F.94)
	Aufzüge	*Schalungsfläche, Aufzuge (alle Geschosse)*	$A_{S,A,ges} = 2 \cdot \frac{V_{B,A,ges}}{d_{IW}}$	(F.95)
		Schalungsfläche, Aufzüge, EG	$A_{S,A,EG} = 2 \cdot \frac{V_{B,A,EG}}{d_{IW}}$	(F.96)
		Schalungsfläche, Aufzüge, pro RG	$A_{S,A,RG} = 2 \cdot \frac{V_{B,A,RG}}{d_{IW}}$	(F.97)

Fortsetzung Tab. 12 auf Folgeseite

[386] Eigene Darstellung.

Fortsetzung Tab. 12				
Innenwände	Brandschutzwände	*Schalungsfläche, BW (alle Geschosse)*	$A_{S,BW,ges} = 2 \cdot \frac{V_{B,BW,ges}}{d_{IW}}$	(F.98)
		Schalungsfläche, BW, EG	$A_{S,BW,EG} = 2 \cdot \frac{V_{B,BW,EG}}{d_{IW}}$	(F.99)
		Schalungsfläche, BW, pro RG	$A_{S,BW,RG} = 2 \cdot \frac{V_{B,BW,RG}}{d_{IW}}$	(F.100)
Stützen	Schalungsfläche, Stützen (alle Geschosse)		$A_{S,St,ges} = 2 \cdot V_{B,St,ges} \cdot \left(\frac{1}{t_{St}} + \frac{1}{l_{St}}\right)$	(F.101)
	Schalungsfläche, Stützen, EG		$A_{S,St,EG} = 2 \cdot V_{B,St,EG} \cdot \left(\frac{1}{t_{St}} + \frac{1}{l_{St}}\right)$	(F.102)
	Schalungsfläche, Stützen, pro RG		$A_{S,St,RG} = 2 \cdot V_{B,St,RG} \cdot \left(\frac{1}{t_{St}} + \frac{1}{l_{St}}\right)$	(F.103)
$A_{S,i}$ jeweils in m², $V_{B,i}$ in m³ sowie d_i, t_{St} und l_{St} in m.				

F.4 Bewehrungsmengen

Die Gesamt-Bewehrungsmenge aller Bauteile und Geschosse ($M_{Bew,ges}$) ergibt sich aus der Summe der Gesamt-Bewehrungsmenge aller Geschosse der horizontalen Bauteile ($M_{Bew,hor,ges}$) und vertikalen Bauteile ($M_{Bew,vert,ges}$), die in Kapitel F.4.1 und F.4.2 ermittelt werden:

$$M_{Bew,ges}\ [t] = M_{Bew,hor,ges} + M_{Bew,vert,ges} \quad \text{(F.104)}$$

Die Ermittlung der Bewehrungsmengen erfolgt auf Grundlage der Betonvolumina und zugehörigen Bewehrungsanteile (vgl. Kap. C.3).

F.4.1 Horizontale Bauteile

Die Berechnung der Bewehrungsmengen der horizontalen Bauteile ist geschossweise gegliedert in Tab. 13 zusammengefasst.

F.4.2 Vertikale Bauteile

Die Berechnung der Bewehrungsmengen der vertikalen Bauteile ist geschossweise gegliedert in Tab. 14 zusammengefasst. Eine weitere Differenzierung erfolgt hinsichtlich der Bauelemente sowie der Innen- und Außenwände.

Tab. 13: Berechnung der Bewehrungsmengen der horizontalen Bauteile[387]

	Berechnung	
Bewehrungsmenge, hor. Bauteile (alle Geschosse)	$M_{Bew,hor,ges} = V_{B,hor,ges} \cdot a_{Bew,GD}$	(F.105)
Bewehrungsmenge, hor. Bauteile, EG	$M_{Bew,hor,EG} = V_{B,hor,EG} \cdot a_{Bew,GD}$	(F.106)
Bewehrungsmenge, hor. Bauteile, pro RG	$M_{Bew,hor,RG} = V_{B,hor,RG} \cdot a_{Bew,GD}$	(F.107)
$M_{Bew,i}$ jeweils in t, $V_{B,i}$ in m³ und $a_{Bew,GD}$ in t/m³.		

F.4.3 Bewehrungsanteil

Der Gesamt-Bewehrungsanteil des Gebäudes ($a_{Bew,ges}$) sowie der Bewehrungsanteil der horizontalen Bauteile ($a_{Bew,hor}$) und vertikalen Bauteile ($a_{Bew,vert}$) resultieren aus der jeweiligen Bewehrungsmenge und dem zugehörigen Betonvolumen:

$$a_{Bew,ges}\left[\frac{t}{m^3 Beton}\right] = \frac{M_{Bew,ges}}{V_{B,ges}} \quad \text{(F.108)}$$

$$a_{Bew,hor}\left[\frac{t}{m^3 Beton}\right] = \frac{M_{Bew,hor,ges}}{V_{B,hor,ges}} \quad \text{(F.109)}$$

$$a_{Bew,vert}\left[\frac{t}{m^3 Beton}\right] = \frac{M_{Bew,vert,ges}}{V_{B,vert,ges}} \quad \text{(F.110)}$$

Tab. 14: Berechnung der Bewehrungsmengen der vertikalen Bauteile [388]

		Berechnung	
BEWEHRUNGSMENGE, VERT. BAUTEILE (ALLE GESCHOSSE)		$M_{Bew,vert,ges} = M_{Bew,AW,ges} + M_{Bew,IW,ges} + M_{Bew,St,ges}$	(F.111)
Bewehrungsmenge, vert. Bauteile, EG		$M_{Bew,vert,EG} = M_{Bew,AW,EG} + M_{Bew,IW,EG} + M_{Bew,St,EG}$	(F.112)
Bewehrungsmenge, vert. Bauteile, pro RG		$M_{Bew,vert,RG} = M_{Bew,AW,RG} + M_{Bew,IW,RG} + M_{Bew,St,RG}$	(F.113)
Außenwände	Bewehrungsmenge, AW (alle Geschosse)	$M_{Bew,AW,ges} = V_{B,AW,ges} \cdot a_{Bew,W}$	(F.114)
	Bewehrungsmenge, AW, EG	$M_{Bew,AW,EG} = V_{B,AW,EG} \cdot a_{Bew,W}$	(F.115)
	Bewehrungsmenge, AW, pro RG	$M_{Bew,AW,RG} = V_{B,AW,RG} \cdot a_{Bew,W}$	(F.116)
Fortsetzung Tab. 14 auf Folgeseite			

[387] Eigene Darstellung.

[388] Eigene Darstellung.

Fortsetzung Tab. 14

Innenwände		Bewehrungsmenge, IW (alle Geschosse)	$M_{Bew,IW,ges} = M_{Bew,TH,ges} + M_{Bew,IS,ges} + M_{Bew,A,ges} + M_{Bew,BW,ges}$	(F.117)
		Bewehrungsmenge, Innenwände, EG	$M_{Bew,IW,EG} = M_{Bew,TH,EG} + M_{Bew,IS,EG} + M_{Bew,A,EG} + M_{Bew,BW,EG}$	(F.118)
		Bewehrungsmenge, Innenwände, pro RG	$M_{Bew,IW,RG} = M_{Bew,TH,RG} + M_{Bew,IS,RG} + M_{Bew,A,RG} + M_{Bew,BW,RG}$	(F.119)
	Treppenhäuser	*Bewehrungsmenge, TH (alle Geschosse)*	$M_{Bew,TH,ges} = V_{B,TH,ges} \cdot a_{Bew,W}$	(F.120)
		Bewehrungsmenge, TH, EG	$M_{Bew,TH,EG} = V_{B,TH,EG} \cdot a_{Bew,W}$	(F.121)
		Bewehrungsmenge, TH, pro RG	$M_{Bew,TH,RG} = V_{B,TH,RG} \cdot a_{Bew,W}$	(F.122)
	Installationsschächte	*Bewehrungsmenge, IS (alle Geschosse)*	$M_{Bew,IS,ges} = V_{B,IS,ges} \cdot a_{Bew,W}$	(F.123)
		Bewehrungsmenge, IS, EG	$M_{Bew,IS,EG} = V_{B,IS,EG} \cdot a_{Bew,W}$	(F.124)
		Bewehrungsmenge, IS, pro RG	$M_{Bew,IS,RG} = V_{B,IS,RG} \cdot a_{Bew,W}$	(F.125)
	Aufzüge	*Bewehrungsmenge, Aufzüge (alle Geschosse)*	$M_{Bew,A,ges} = V_{B,A,ges} \cdot a_{Bew,W}$	(F.126)
		Bewehrungsmenge, Aufzüge, EG	$M_{Bew,A,EG} = V_{B,A,EG} \cdot a_{Bew,W}$	(F.127)
		Bewehrungsmenge, Aufzüge, pro RG	$M_{Bew,A,RG} = V_{B,A,RG} \cdot a_{Bew,W}$	(F.128)
	Brandschutzwände	*Bewehrungsmenge, BW (alle Geschosse)*	$M_{Bew,BW,ges} = V_{B,BW,ges} \cdot a_{Bew,W}$	(F.129)
		Bewehrungsmenge, BW, EG	$M_{Bew,BW,EG} = V_{B,BW,EG} \cdot a_{Bew,W}$	(F.130)
		Bewehrungsmenge, BW, pro RG	$M_{Bew,BW,RG} = V_{B,BW,RG} \cdot a_{Bew,W}$	(F.131)
Stützen		Bewehrungsmenge, Stützen (alle Geschosse)	$M_{Bew,St,ges} = V_{B,St,ges} \cdot a_{Bew,St}$	(F.132)
		Bewehrungsmenge, Stützen, EG	$M_{Bew,St,EG} = V_{B,St,EG} \cdot a_{Bew,St}$	(F.133)
		Bewehrungsmenge, Stützen, pro RG	$M_{Bew,St,RG} = V_{B,St,RG} \cdot a_{Bew,St}$	(F.134)

$M_{Bew,i}$ jeweils in t, $V_{B,i}$ in m³ und $a_{Bew,i}$ in t/m³.

G. Bauzeitermittlung

G.1 Vorgangsdauern und Taktzeit

Generell resultiert die Dauer eines Vorgangs i (D_i) , wie auch die Taktzeit, aus dem zugehörigen Arbeitsaufwand[389] aller Prozesse eines Vorgangs ($\sum W_i$) und der Anzahl der dafür eingesetzten Ressourcen, wobei für die Ermittlung der Vorgangsdauern von Schalungs-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten die Anzahl der eingesetzten AK ($n_{AK,i}$) maßgebend ist. Zur Umrechnung der Vorgangsdauer des Prozesses von Arbeitsstunden (Ah) auf AT ist weiterhin die durchschnittliche tägliche Arbeitszeit ($D_{Ah/AT}$) zu berücksichtigen.

Die Vorgangsdauer eines Prozesses ergibt sich somit generell zu:

$$D_i\ [AT] = \frac{\sum W_i\ [Ah]}{D_{Ah/AT}\ \left[\frac{Ah}{AT}\right] \cdot n_{AK,i}\ [-]} \tag{G.1}$$

mit: [390]

$$D_{Ah/AT}\ \left[\frac{Ah}{AT}\right] = 8{,}0 \tag{G.2}$$

Die Ermittlung des Arbeitsaufwands der im BAM definierten Bauprozesse wird in Kapitel G.1.1 erläutert. In Kapitel G.1.2 erfolgt die Ermittlung wirtschaftlicher Kolonnenstärken. Die Bestimmung der Anzahl an AK erfolgt in Kapitel G.1.3.

Abhängig vom Bauprozess sind unterschiedliche optimale Anzahlen an AK zur Durchführung der Prozesse eines Taktes zweckmäßig. Da die Bauausführung in Kolonnen erfolgt, wird die Anzahl der eingesetzten AK eines Takts aus der jeweils wirtschaftlich einsetzbaren, maximalen Kolonnenanzahl pro Fertigungsabschnitt ($n_{(Kol,max/FA),i,j}$) und der jeweils zweckmäßigen Kolonnenstärke eines Bauprozesses i zur Herstellung eines Bauteils j ($n_{AK/Kol,i,j}$) bestimmt:

$$n_{AK,i}\ [-] = n_{(Kol,max/FA),i,j} \cdot n_{AK/Kol,i,j} \tag{G.3}$$

Da die wirtschaftlich einsetzbare, maximale Kolonnenanzahl pro Fertigungsabschnitt und die zweckmäßige Kolonnenstärke vom jeweiligen Takt bzw. vom jeweiligen Bauprozess und Bauteil abhängig ist, ergeben sich für die unterschiedlichen Takte i und Geschosse j auch

[389] Der Arbeitsaufwand wird gemäß DIN 69901-5 (2009) als *„prognostizierter oder realisierter Aufwand an Arbeitszeit (z. B. in Ah oder Personentagen) für Vorgänge, Arbeitspakete usw. (a. a. O., S. 6)“* definiert.

[390] Die angegebene tägliche Arbeitszeit resultiert aus der durchschnittlichen regelmäßigen Wochenarbeitszeit im Kalenderjahr von 40 Ah gemäß Bundesrahmentarifvertrag für das Baugewerbe (BRTV) und wird mit 8 Ah/AT in Ansatz gebracht (vgl. § 3 Nr. 1.1 BRTV).

jeweils variierende minimale Vorgangsdauern ($D_{i,j,min}$), deren Ermittlung in Tab. 15 zusammengefasst ist.

Tab. 15: Berechnung der minimalen Taktzeiten des EG und der RG[391]

	Takt-Nr.	Bauprozess	Berechnung
EG	1	Einschalen vert. Bauteile	$D_{T1,EG,min} = \frac{W_{ES,vert,EG}}{D_{Ah/AT} \cdot n_{(Kol,max/FA),S,vert} \cdot n_{AK/Kol,S,vert}}$ (G.4)
	2	Bewehrung vert. Bauteile	$D_{T2,EG,min} = \frac{W_{Bew,vert,EG}}{D_{Ah/AT} \cdot n_{(Kol,max/FA),Bew,vert} \cdot n_{AK/Kol,Bew,vert}}$ (G.5)
	3	Betonage vert. Bauteile	Bleibt bei Berechnung der minimalen Taktzeit berücksichtigt
	4	Einschalen hor. Bauteile Randschalung hor. Bauteile Ausschalen vert. Bauteile	$D_{T4,EG,min} = \frac{W_{S,hor,EG} + W_{RS,EG} + W_{AS,vert,EG}}{D_{Ah/AT} \cdot n_{(Kol,max/FA),S,hor} \cdot n_{AK/Kol,S,hor}}$ (G.6)
	5	Bewehrung hor. Bauteile	$D_{T5,EG,min} = \frac{W_{Bew,hor,EG}}{D_{Ah/AT} \cdot n_{(Kol,max/FA),Bew,hor} \cdot n_{AK/Kol,Bew,hor}}$ (G.7)
	6	Betonage hor. Bauteile	Bleibt bei Berechnung der minimalen Taktzeit berücksichtigt
RG	1	Einschalen vert. Bauteile	$D_{T1,RG,min} = \frac{W_{ES,vert,RG}}{D_{Ah/AT} \cdot n_{(Kol,max/FA),S,vert} \cdot n_{AK/Kol,S,vert}}$ (G.8)
	2	Bewehrung vert. Bauteile	$D_{T2,RG,min} = \frac{W_{Bew,vert,RG}}{D_{Ah/AT} \cdot n_{(Kol,max/FA),Bew,vert} \cdot n_{AK/Kol,Bew,vert}}$ (G.9)
	3	Betonage vert. Bauteile	Bleibt bei Berechnung der minimalen Taktzeit berücksichtigt
	4	Einschalen hor. Bauteile Randschalung hor. Bauteile Ausschalen vert. Bauteile	$D_{T4,RG,min} = \frac{W_{S,hor,RG} + W_{RS,RG} + W_{AS,vert,RG}}{D_{Ah/AT} \cdot n_{(Kol,max/FA),S,hor} \cdot n_{AK/Kol,S,hor}}$ (G.10)
	5	Bewehrung hor. Bauteile	$D_{T5,RG,min} = \frac{W_{Bew,hor,RG}}{D_{Ah/AT} \cdot n_{(Kol,max/FA),Bew,hor} \cdot n_{AK/Kol,Bew,hor}}$ (G.11)
	6	Betonage hor. Bauteile	Bleibt bei Berechnung der minimalen Taktzeit berücksichtigt

Erläuterungen:
$D_{T,i}$ jeweils in AT, W_i in Ah, $D_{Ah/AT}$ in Ah/AT, $n_{(Kol,max/FA),i}$ und $n_{AK/Kol,i}$ ohne Einheit.

Da eine Überschreitung der wirtschaftlich einsetzbaren, maximalen Kolonnenanzahl pro Fertigungsabschnitt vermieden werden soll, resultiert die maßgebende Taktzeit des EG ($D_{T,EG}$) und der RG ($D_{T,RG}$) aus dem Maximalwert der minimale Vorgangsdauern der einzelnen Takte nach Tab. 15. Da für die horizontalen und vertikalen Bauteile festgelegt wurde, dass die Betonage durch eine einzelne Kolonne innerhalb eines AT erfolgen können muss (vgl. Kap. D.3), bleiben die Betonagearbeiten bei der Berechnung der maßgebenden minimalen Vorgangsdauer der Takte unberücksichtigt. Die Taktzeiten werden auf ganze AT

[391] Eigene Darstellung.

größer null auf- bzw. abgerundet. Die maßgebende Taktzeit des EG und der RG ergibt sich somit zu:

$$D_{T,EG} = max\left(D_{T1,EG,min}, D_{T2,EG,min}, D_{T4,EG,min}, D_{T5,EG,min}\right) \in \mathbb{N} \quad \text{(G.12)}$$

$$D_{T,RG} = max\left(D_{T1,RG,min}, D_{T2,RG,min}, D_{T4,RG,min}, D_{T5,RG,min}\right) \in \mathbb{N} \quad \text{(G.13)}$$

Anhand der ermittelten maßgebenden Taktzeit und der zugehörigen Anzahl an AK kann eine Plausibilitätsprüfung anhand veröffentlichter Mindestarbeitsflächen und -längen, die zur Erreichung der „Normal-Produktivität“ einer AK notwendig sind, erfolgen (vgl. Kap. L.3, Anlage).

G.1.1 Arbeitsaufwand

Der Arbeitsaufwand eines Bauprozesses i zur Herstellung eines Bauteils j ($W_{i,j}$) wird auf Grundlage der ermittelten Fertigungsmengen (vgl. Kap. F) und der zugehörigen Aufwandswerte ($w_{i,j}$) bestimmt.

Die verwendeten Aufwandswerte (vgl. Kap. G.1.1.1 bis Kap. G.1.1.4) werden auf Grundlage der Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau (ARH) ermittelt und beziehen sich auf die in ARH jeweils angegeben Kolonnenstärken, da sich Änderungen der Kolonnenstärke und -zusammensetzung auf die Aufwandswerte auswirken können,[392] was es bei der anschließenden Festlegung der Kolonnenstärke (vgl. Kap. G.1.2) zu berücksichtigen gilt.[393]

Die Bestimmung des Arbeitsaufwands wird hinsichtlich der Bauprozesse, Bauteile und Geschosse gegliedert und ist in Tab. 16 zusammengefasst.

G.1.1.1 Aufwandswerte der Betonagearbeiten

Die Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Aufwandswerte der Betonagearbeiten der horizontalen Bauteile ($w_{B,hor,min}$, $w_{B,hor,erw}$ u. $w_{B,hor,max}$) und vertikalen Bauteile ($w_{B,vert,min}$, $w_{B,vert,erw}$ u. $w_{B,vert,max}$) erfolgt auf Grundlage der ermittelten mittleren Aufwandswerte in Tab. 17.

[392] Vgl. ARH (2006), S. 21; ARH (2009) u. ARH (2016), S 38 ff., 108 ff. Anm.: Eine Ausnahme stellen die Bewehrungsarbeiten dar, da für die angegebenen Aufwandswerte in ARH (2001) keine Angaben zur Kolonnenstärke enthalten sind.

[393] Einarbeitungseffekte bleiben im BAM unberücksichtigt (vgl. Kap. C.1).

Tab. 16: Berechnung des Arbeitsaufwands[394]

		Berechnung	
Gesamt-Arbeitsaufwand für alle Prozesse		$W_{ges} = W_{B,ges} + W_{RS,ges} + W_{S,ges} + W_{Bew,ges}$	(G.14)
Beton	hor. und vert. Bauteile (alle Geschosse)	$W_{B,ges} = W_{B,hor,ges} + W_{B,vert,ges}$	(G.15)
	hor. und vert. Bauteile, EG	$W_{B,EG} = W_{B,hor,EG} + W_{B,vert,EG}$	(G.16)
	hor. und vert. Bauteile, pro RG	$W_{B,RG} = W_{B,hor,RG} + W_{B,vert,RG}$	(G.17)
	horizontale Bauteile (alle Geschosse)	$W_{B,hor,ges} = V_{B,hor,ges} \cdot w_{B,hor}$	(G.18)
	horizontale Bauteile, EG	$W_{B,hor,EG} = V_{B,hor,EG} \cdot w_{B,hor}$	(G.19)
	horizontale Bauteile, pro RG	$W_{B,hor,RG} = V_{B,hor,RG} \cdot w_{B,hor}$	(G.20)
	vertikale Bauteile (alle Geschosse)	$W_{B,vert,ges} = V_{B,vert,ges} \cdot w_{B,vert}$	(G.21)
	vertikale Bauteile, EG	$W_{B,vert,EG} = V_{B,vert,EG} \cdot w_{B,vert}$	(G.22)
	vertikale Bauteile, pro RG	$W_{B,vert,RG} = V_{B,vert,RG} \cdot w_{B,vert}$	(G.23)
Rand-schalung	alle Geschosse	$W_{RS,ges} = l_{RS,hor,ges} \cdot w_{RS,hor}$	(G.24)
	EG	$W_{RS,EG} = l_{RS,hor,EG} \cdot w_{RS,hor}$	(G.25)
	pro RG	$W_{RS,RG} = l_{RS,hor,RG} \cdot w_{RS,hor}$	(G.26)
Schalung	hor. und vert. Bauteile (alle Geschosse)	$W_{S,ges} = W_{S,hor,ges} + W_{S,vert,ges}$	(G.27)
	hor. und vert. Bauteile, EG	$W_{S,EG} = W_{S,hor,EG} + W_{S,vert,EG}$	(G.28)
	hor. und vert. Bauteile, pro RG	$W_{S,RG} = W_{S,hor,RG} + W_{S,vert,RG}$	(G.29)
	horizontale Bauteile (alle Geschosse)	$W_{S,hor,ges} = A_{S,hor,ges} \cdot w_{S,hor}$	(G.30)
	horizontale Bauteile, EG	$W_{S,hor,EG} = A_{S,hor,EG} \cdot w_{S,hor}$	(G.31)
	horizontale Bauteile, pro RG	$W_{S,hor,RG} = A_{S,hor,RG} \cdot w_{S,hor}$	(G.32)
	vertikale Bauteile (alle Geschosse)	$W_{S,vert,ges} = A_{S,vert,ges} \cdot w_{S,vert}$	(G.33)
	vertikale Bauteile, EG	$W_{S,vert,EG} = A_{S,vert,EG} \cdot w_{S,vert}$	(G.34)
	vertikale Bauteile, pro RG	$W_{S,vert,RG} = A_{S,vert,RG} \cdot w_{S,vert}$	(G.35)
Bewehrung	hor. und vert. Bauteile (alle Geschosse)	$W_{Bew,ges} = W_{Bew,hor,ges} + W_{Bew,vert,ges}$	(G.36)
	hor. und vert. Bauteile, EG	$W_{Bew,EG} = W_{Bew,hor,EG} + W_{Bew,vert,EG}$	(G.37)
	hor. und vert. Bauteile, pro RG	$W_{Bew,RG} = W_{Bew,hor,RG} + W_{Bew,vert,RG}$	(G.38)

Fortsetzung Tab. 16 auf Folgeseite

[394] Eigene Darstellung.

Fortsetzung Tab. 16			
Bewehrung	hor. Bauteile (alle Geschosse)	$W_{Bew,hor,ges} = M_{Bew,hor,ges} \cdot w_{Bew,hor}$	(G.39)
	horizontale Bauteile, EG	$W_{Bew,hor,EG} = M_{Bew,hor,EG} \cdot w_{Bew,hor}$	(G.40)
	horizontale Bauteile, pro RG	$W_{Bew,hor,RG} = M_{Bew,hor,RG} \cdot w_{Bew,hor}$	(G.41)
	vertikale Bauteile (alle Geschosse)	$W_{Bew,vert,ges} = M_{Bew,vert,ges} \cdot w_{Bew,vert}$	(G.42)
	vertikale Bauteile, EG	$W_{Bew,vert,EG} = M_{Bew,vert,EG} \cdot w_{Bew,vert}$	(G.43)
	vertikale Bauteile, pro RG	$W_{Bew,vert,RG} = M_{Bew,vert,RG} \cdot w_{Bew,vert}$	(G.44)
Erläuterungen: W_i *jeweils in Ah,* $V_{B,i}$ *in m³,* $A_{RS,i}$ *und* $A_{S,i}$ *in m²,* $M_{Bew,i}$ *in t sowie* w_i *in Ah pro m³, m² bzw. t.*			

Tab. 17: Aufwandswerte für Betonagearbeiten[395]

		Beschreibung	**Aufwandswert [Ah/m³]**		
			Betonieren	**Verdichten**	**Summe**
horizontale Bauteile	**Decken**	Betonpumpe, d = über 20 cm Leistung bis 20 m³/h	0,19	0,06	0,25
		Betonpumpe, d = über 20 cm Leistung über 20 m³/h	0,09	0,03	0,12
mittlerer Aufwandswert, horizontale Bauteile			**0,14**	**0,05**	**0,19**
vertikale Bauteile	**Wände**	Betonpumpe, d = über 20 bis 30 cm Leistung bis 20 m³/h	0,43	0,13	0,56
		Betonpumpe, d = über 30 bis 50 cm Leistung bis 20 m³/h	0,32	0,10	0,42
		Betonpumpe, Leistung über 20 m³/h	k. A.	k. A.	k. A.
	mittlerer Aufwandswert, Wand-Betonage		**0,38**	**0,12**	**0,49**
	Stützen	Betonpumpe, Stützenquerschnitt = über 0,05 bis 0,12 m² Leistung bis 20 m³/h	0,88	0,28	1,16
		Betonpumpe, Stützenquerschnitt = über 0,12 m² Leistung bis 20 m³/h	0,81	0,26	1,07
		Betonpumpe, Leistung über 20 m³/h	k. A.	k. A.	k. A.
	mittlerer Aufwandswert, Stützen-Betonage		**0,85**	**0,27**	**1,12**
mittlerer Aufwandswert, vertikale Bauteile			**0,61**	**0,19**	**0,80**
** alle Angaben jeweils für Transportbeton (F1 bis F4) und bewehrte Bauteile*					

[395] Vgl. ARH (2006), S. 23, 27.

In Tab. 17 wird ausschließlich der Einbau mit Betonpumpen berücksichtigt. Der Betoneinbau mittels Krankübeln bleibt hingegen unberücksichtigt. Weiterhin werden Decken- und Wandstärken kleiner gleich 20 cm sowie Stützen mit einem Querschnitt kleiner gleich 0,05 m² nicht berücksichtigt. Des Weiteren werden bei der Ermittlung der Aufwandswerte ausschließlich die Zeitanteile für das Betonieren und Verdichten berücksichtigt. Zulagen für das Abgleichen, Abziehen und Abreiben bleiben hingegen unberücksichtigt.[396]

Horizontale Bauteile

Der minimale und maximale Aufwandswert der Betonagearbeiten der horizontalen Bauteile ergibt sich aus Tab. 17. Als erwarteter Aufwandswert wird der hieraus berechnete (gerundete) Mittelwert in Ansatz gebracht:

$$w_{B,hor,min}\ \left[\frac{Ah}{m^3}\right] = 0{,}12 \tag{G.45}$$

$$w_{B,hor,erw}\ \left[\frac{Ah}{m^3}\right] = \frac{0{,}25 + 0{,}12}{2} = 0{,}19 \tag{G.46}$$

$$w_{B,hor,max}\ \left[\frac{Ah}{m^3}\right] = 0{,}25 \tag{G.47}$$

Vertikale Bauteile

Die minimalen, erwarteten und maximalen Aufwandswerte der Betonagearbeiten der vertikalen Bauteile sind vom zugrunde gelegten Volumenanteil der Wände und Stützen abhängig. Der minimale Aufwandswert der Betonagearbeiten der vertikalen Bauteile resultiert, wenn ausschließlich Wände als tragende Bauteile berücksichtigt werden.[397] Der maximale Aufwandswert ergibt sich hingegen, wenn ausschließlich Stützen als tragende Bauteile berücksichtigt werden.[398] Der minimale und maximale Aufwandswert der Betonagearbeiten der vertikalen Bauteile ergibt sich aus Tab. 17 somit zu:

$$w_{B,vert,min}\ \left[\frac{Ah}{m^3}\right] = 0{,}42 \tag{G.48}$$

$$w_{B,vert,max}\ \left[\frac{Ah}{m^3}\right] = 1{,}16 \tag{G.49}$$

Als erwarteter Aufwandswert für Betonagearbeiten der vertikalen Bauteile wird der (gerundete) Mittelwert aller angegebenen Aufwandswerte in Tab. 17 in Ansatz gebracht. Folglich wird

[396] Vgl. ARH (2006), S. 23, 27.

[397] D. h. Gesamtanzahl der Stützen gleich null.

[398] Der angegebene vollständige Verzicht auf tragende Wände stellt, z. B. aufgrund der notwendigen Gebäudeaussteifung, keine baupraktische Lösung dar. Da lediglich ein maximaler Aufwandswert zur Plausibilitätskontrolle bestimmt werden soll, kann dies jedoch vernachlässigt werden.

dem erwarteten Aufwandswert für Betonagearbeiten der vertikalen Bauteile eine gleichmäßige Verteilung des Betonvolumens von Stützen und Wänden zugrunde gelegt. Der erwartete Aufwandswert für Betonagearbeiten der vertikalen Bauteile beträgt somit:

$$w_{B,vert,erw}\ \left[\frac{Ah}{m^3}\right] = \frac{0{,}56 + 0{,}42 + 1{,}16 + 1{,}07}{4} = 0{,}80 \tag{G.50}$$

Zusätzlich zu den angegebenen Aufwandswerten wird, unabhängig vom zu betonierenden Volumen, eine Rüstzeit[399] von 1,50 Ah pro Betonier- bzw. Fertigungsabschnitt berücksichtigt.[400]

G.1.1.2 Aufwandswerte der Randschalungsarbeiten

Die Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Aufwandswerte der Randschalungsarbeiten ($w_{RS,min}$, $w_{RS,erw}$ u. $w_{RS,max}$) erfolgt auf Grundlage von ARH (2009). Da hierin lediglich ein Einzelwert angegeben ist,[401] wird für den minimalen, erwarteten und maximalen Aufwandswert für Randschalungsarbeiten festgelegt:[402]

$$w_{RS,min}\ \left[\frac{Ah}{m}\right] = w_{RS,erw}\ \left[\frac{Ah}{m}\right] = w_{RS,max}\ \left[\frac{Ah}{m}\right] = 0{,}35 \tag{G.51}$$

G.1.1.3 Aufwandswerte der Schalarbeiten

Die Ermittlung der Aufwandswerte der Schalarbeiten wird in horizontale und vertikale Bauteile gegliedert.

Horizontale Bauteile

Die Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Aufwandswerte der Schalarbeiten der horizontalen Bauteile ($w_{S,hor,min}$, $w_{S,hor,erw}$ u. $w_{S,hor,max}$) erfolgt auf Grundlage der Aufwandswerte in Tab. 18. Hierbei werden ausschließlich Elementdecken berücksichtigt.

Der minimale und maximale Aufwandswert der Schalarbeiten der horizontalen Bauteile ergibt sich aus Tab. 18. Als erwarteter Aufwandswert wird der hieraus berechnete (gerundete) Mittelwert in Ansatz gebracht:

---

[399] Die Rüstzeit ist als Zeit zur Vorbereitung des Betonagevorgangs definiert und umfasst z. B. die Geräte- und Werkzeugbereitstellung sowie deren anschließende Reinigung (vgl. ARH (2006), S. 20).

[400] Vgl. ARH (2006), S. 23, 27.

[401] Alternativ ergeben sich auch aus ARH (1999), S. 41 Aufwandswerte für Deckenrandschalungen in Ah/m². Aufgrund des angegeben Gültigkeitsbereichs für Deckenstärken von 20 bis 50 cm wird deren Plausibilität allerdings angezweifelt.

[402] Vgl. ARH (2009), o. S.

$$w_{S,hor,min}\ \left[\frac{Ah}{m^2}\right] = 0{,}15 \tag{G.52}$$

$$w_{S,hor,erw}\ \left[\frac{Ah}{m^2}\right] = \frac{0{,}15 + 0{,}20}{2} = 0{,}18 \tag{G.53}$$

$$w_{S,hor,max}\ \left[\frac{Ah}{m^2}\right] = 0{,}20 \tag{G.54}$$

Tab. 18: Aufwandswerte für Schalarbeiten (horizontale Bauteile)[403]

	Beschreibung	Aufwandswert [Ah/m²]
Decken	Elementdecken, Spannweiten bis 3,75 m	0,20
	Elementdecken, Spannweiten über 3,75 bis 5,50 m	0,15
mittlerer Aufwandswert, Elementdecken-Verlegung		**0,18**
** alle Angaben jeweils einschl. Deckenunterstützung, Elementbreite = 2,20 m.*		

Vertikale Bauteile

Die Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Aufwandswerte der Schalarbeiten der vertikalen Bauteile ($w_{S,vert,min}$, $w_{S,vert,erw}$ u. $w_{S,vert,max}$) erfolgt auf Grundlage der Aufwandswerte in Tab. 19 und Tab. 20. Die hierin angegebenen mittleren Aufwandswerte sind auf Rahmenschalungen begrenzt, wobei Wandschalungen bis 4,80 m und Stützenschalungen bis 6,00 m berücksichtigt werden. Aufwandswerte, die sich nach ARH (2016) ausschließlich auf die Schalung gerader Wände ohne Ecken und Anschlüsse beziehen, bleiben bei der Betrachtung unberücksichtigt.

Bei der Bestimmung der Aufwandswerte der Schalarbeiten werden ausschließlich die Zeitanteile für das Ein- und Ausschalen berücksichtigt. Zeitanteile für das Transportieren und Reinigen der Schalung sowie das Auftragen von Schalöl wurden als Randzeiten und damit als nicht produktivitätsbestimmend eingestuft.[404] Weiterhin sind bei den Aufwandswerten der Wandschalungen keine Zeitanteile für Tür- und Fensteraussparungen berücksichtigt.

In Tab. 21 sind die mittleren Aufwandswerte für das Ein- und Ausschalen von Stützen und Wänden, die aus Tab. 19 und Tab. 20 resultieren und die Basis der Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Aufwandswerte der Schalarbeiten der vertikalen Bauteile bilden, zusammengefasst.

[403] Vgl. ARH (2009), o. S.

[404] Vgl. ARH (2016), S. 39 ff.

Tab. 19: Aufwandswerte für Schalarbeiten (Wandschalung)[405]

	Beschreibung	Aufwandswert [Ah/m²]		
		Einschalen	Ausschalen	Summe
h = 2,70 m	Doka Framax Xlife plus			
	ohne Aufstockung[a)]	0,09	0,06	0,15
	ohne Aufstockung[b)]	0,08	0,05	0,13
	ohne Aufstockung[c)]	0,07	0,03	0,10
	Peri Maximo			
	ohne Aufstockung[a)]	0,11	0,07	0,18
	ohne Aufstockung[b)]	0,09	0,05	0,14
	ohne Aufstockung[c)]	0,08	0,04	0,12
	i. M.	**0,09**	**0,05**	**0,14**
h = 3,00 m	Hünnebeck Platinum 100			
	ohne Aufstockung[a)]	0,10	0,06	0,16
	ohne Aufstockung[b)]	0,08	0,05	0,13
	ohne Aufstockung[c)]	0,07	0,04	0,11
	i. M.	**0,08**	**0,05**	**0,13**
h = 3,30 m	Doka Framax Xlife plus			
	ohne Aufstockung[a)]	0,09	0,06	0,15
	ohne Aufstockung[b)]	0,08	0,04	0,12
	ohne Aufstockung[c)]	0,06	0,03	0,09
	Peri Maximo			
	ohne Aufstockung[a)]	0,11	0,07	0,18
	ohne Aufstockung[b)]	0,09	0,05	0,14
	ohne Aufstockung[c)]	0,07	0,04	0,11
	i. M.	**0,08**	**0,05**	**0,13**
h = 3,60 m	Hünnebeck Platinum 100			
	ohne Aufstockung[a)]	0,09	0,06	0,15
	ohne Aufstockung[b)]	0,08	0,04	0,12
	ohne Aufstockung[c)]	0,06	0,03	0,09
	i. M.	**0,08**	**0,04**	**0,12**
h = 4,50 m	Peri Maximo			
	Aufstockung 270 + 120 + 60 cm[a)]	0,19	0,09	0,28
	Aufstockung 270 + 120 + 60 cm[b)]	0,16	0,08	0,24
	Aufstockung 270 + 120 + 60 cm[c)]	0,12	0,06	0,18
	Aufstockung 330 + 120 cm[a)]	0,16	0,08	0,24
	Aufstockung 330 + 120 cm[b)]	0,13	0,06	0,19
	Aufstockung 330 + 120 cm[c)]	0,11	0,05	0,16
	i. M.	**0,15**	**0,07**	**0,22**

Fortsetzung Tab. 19 auf Folgeseite

[405] Vgl. ARH (2016), S. 39 ff.

Fortsetzung Tab. 19				
h = 4,65 m	Doka Framax Xlife plus			
	Aufstockung 330 + 135 cm[a)]	0,14	0,07	0,21
	Aufstockung 330 + 135 cm[b)]	0,12	0,05	0,17
	Aufstockung 330 + 135 cm[c)]	0,10	0,04	0,14
	Aufstockung 270 + 135 + 60 cm[a)]	0,16	0,08	0,24
	Aufstockung 270 + 135 + 60 cm[b)]	0,13	0,07	0,20
	Aufstockung 270 + 135 + 60 cm[c)]	0,11	0,05	0,16
	i. M.	**0,13**	**0,06**	**0,19**
h = 4,80 m	Hünnebeck Platinum 100			
	Aufstockung 120 + 360 cm[a)]	0,14	0,08	0,22
	Aufstockung 120 + 360 cm[b)]	0,12	0,05	0,17
	Aufstockung 120 + 360 cm[c)]	0,10	0,04	0,14
	Aufstockung 120 + 300 + 60 cm[a)]	0,15	0,08	0,23
	Aufstockung 120 + 300 + 60 cm[b)]	0,13	0,07	0,20
	Aufstockung 120 + 300 + 60 cm[c)]	0,11	0,04	0,15
	i. M.	**0,13**	**0,06**	**0,19**
mittlerer Aufwandswert, Wandschalung		**0,10**	**0,05**	**0,15**

Erläuterungen:
** alle Angaben jeweils für Wände mit Ecken und Anschlüssen nach ARH (2016), S. 39 ff.*
a) Einmaliger Einsatz als Einzelelemente
b) Mehrmaliger Einsatz als Einzelelemente
c) Mehrmaliger Einsatz als Einzelelemente

Die minimalen, erwarteten und maximalen Aufwandswerte sind von den zugrunde gelegten Flächenanteilen der Wand- und Stützenschalung abhängig.

Der minimale Aufwandswert der Schalarbeiten der vertikalen Bauteile resultiert, wenn ausschließlich Wände als tragende Bauteile berücksichtigt werden.[406] Der maximale Aufwandswert ergibt sich hingegen, wenn ausschließlich Stützen als tragende Bauteile berücksichtigt werden:[407] Der minimale und maximale Aufwandswert der Schalarbeiten der vertikalen Bauteile ergibt sich aus Tab. 21 zu:

$$w_{S,vert,min}\ \left[\frac{Ah}{m^2}\right] = 0{,}09 \tag{G.55}$$

$$w_{S,vert,max}\ \left[\frac{Ah}{m^2}\right] = 0{,}28 \tag{G.56}$$

Als erwarteter Aufwandswert der Schalarbeiten der vertikalen Bauteile wird der (gerundete) Mittelwert aller angegebenen Aufwandswerte aus Tab. 21 in Ansatz gebracht. Folglich wird dem erwarteten Aufwandswert der Schalarbeiten der vertikalen Bauteile eine gleichmäßige

[406] D. h. Gesamtanzahl der Stützen gleich null.

[407] Der angegebene vollständige Verzicht auf tragende Wände stellt, z. B. aufgrund der notwendigen Gebäudeaussteifung, keine baupraktische Lösung dar. Da lediglich ein maximaler Aufwandswert zur Plausibilitätskontrolle bestimmt werden soll, kann dies jedoch vernachlässigt werden.

Verteilung der Schalflächen von Stützen und Wänden zugrunde gelegt. Der erwartete Aufwandswert der Schalarbeiten der vertikalen Bauteile beträgt somit:

$$w_{S,vert,erw}\ \left[\frac{Ah}{m^2}\right] = 0{,}50 \cdot 0{,}15\ + 0{,}50 \cdot 0{,}14\ = 0{,}15 \tag{G.57}$$

Mögliche Zuschläge für die Grundmontage der Schalung bleiben unberücksichtigt.

Tab. 20: Aufwandswerte für Schalarbeiten (Stützenschalung)[408]

	Beschreibung	Aufwandswert [Ah/m²]		
		Einschalen	Ausschalen	Summe
h = 2,75 m	Peri Quattro	0,12	0,06	0,19
	i. M.	**0,12**	**0,06**	**0,19**
h = 3,00 m	Paschal Grip	0,11	0,06	0,18
	i. M.	**0,11**	**0,06**	**0,18**
h = 3,25 m	Peri Quattro, Aufstockung 275 + 50 cm	0,11	0,06	0,17
	i. M.	**0,11**	**0,06**	**0,17**
h = 3,40 m	Paschal Grip	0,11	0,06	0,17
	i. M.	**0,11**	**0,06**	**0,17**
h = 3,90 m	Paschal Grip, Aufstockung 300 + 90 cm	0,10	0,05	0,15
	i. M.	**0,10**	**0,05**	**0,15**
h = 4,00 m	Peri Quattro, Aufstockung 275 + 125 cm	0,09	0,05	0,15
	i. M.	**0,09**	**0,05**	**0,15**
h = 4,50 m	Paschal Grip, Aufstockung 300 + 150 cm	0,09	0,05	0,13
	Peri Quattro, Aufstockung 275 + 125 + 50 cm	0,09	0,05	0,14
	i. M.	**0,09**	**0,05**	**0,14**
h = 5,40 m	Paschal Grip, Aufstockung 300 + 150 + 90 cm	0,07	0,04	0,11
	i. M.	**0,07**	**0,04**	**0,11**
h = 5,50 m	Peri Quattro, Aufstockung 275 + 275 cm	0,07	0,04	0,11
	i. M.	**0,07**	**0,04**	**0,11**
h = 6,00 m	Paschal Grip, Aufstockung 300 + 300 cm	0,07	0,04	0,10
	i. M.	**0,07**	**0,04**	**0,10**
mittlerer Aufwandswert, Stützenschalung		**0,09**	**0,05**	**0,14**

Zur Bestimmung der Aufwandswerte für das Einschalen der vertikalen Bauteile ($w_{ES,vert,erw}$) und Ausschalen der vertikalen Bauteile ($w_{AS,vert,erw}$) wird vereinfacht das Verhältnis der mittleren Aufwandswerte aus Tab. 21 in Ansatz gebracht:

$$w_{ES,vert}\ \left[\frac{Ah}{m^2}\right] = \frac{0{,}10}{0{,}15} \cdot w_{S,vert} = \frac{2}{3} \cdot w_{S,vert} \tag{G.58}$$

[408] Vgl. ARH (2016), S. 109 ff. Anm.: In ARH (2016) sind lediglich Aufwandswerte in Ah pro Stück für Stützenquerschnitte von 20/20 cm bis 60/60 cm angegeben (vgl. ebd.). Die Aufwandswerte in Tab. 20 wurden auf Grundlage eines unterstellten mittleren Stützenquerschnitts von 40/40 cm und der jeweils zugehörigen angegebenen Höhen auf Ah pro m² umgerechnet.

$$w_{AS,vert}\ \left[\frac{Ah}{m^2}\right] = \frac{0{,}05}{0{,}15} \cdot w_{S,vert} = \frac{1}{3} \cdot w_{S,vert} \tag{G.59}$$

Tab. 21: Aufwandswerte für Schalarbeiten (vertikale Bauteile)[409]

Beschreibung	Aufwandswert [Ah/m²]		
	Einschalen	Ausschalen	Summe
mittlerer Aufwandswert, Wandschalung	0,10	0,05	0,15
mittlerer Aufwandswert, Stützenschalung	0,09	0,05	0,14
mittlerer Aufwandswert, vertikale Bauteile	**0,10**	**0,05**	**0,15**
minimaler Aufwandswert, vertikale Bauteile	*0,06*	*0,03*	*0,09*
maximaler Aufwandswert, vertikale Bauteile	*0,19*	*0,09*	*0,28*

G.1.1.4 Aufwandswerte der Bewehrungsarbeiten

Die minimalen, erwarteten und maximalen Aufwandswerte der Bewehrungsarbeiten der horizontalen Bauteile ($w_{Bew,hor,min}$, $w_{Bew,hor,erw}$ u. $w_{Bew,hor,max}$) und der vertikalen Bauteile ($w_{Bew,vert,min}$, $w_{Bew,vert,erw}$ u. $w_{Bew,vert,max}$) resultieren aus den Aufwandswerten in Tab. 22 und Tab. 23.

Die angegebenen mittleren Aufwandswerte sind auf im Hochbau übliche Stabdurchmesser von 6 bis 16 mm und Mattengewichte von 2,00 bis 6,00 kg/m² begrenzt. Bei der Betrachtung werden ausschließlich die Zeitanteile für das Verteilen und Flechten der Bewehrung berücksichtigt. Zeitanteile für das Transportieren sowie das Schneiden und Biegen der Bewehrung auf der Baustelle wurden als Randzeiten und damit als nicht produktivitätsbestimmend eingestuft.

Die minimalen, erwarteten und maximalen Aufwandswerte sind von den zugrunde gelegten Mengenanteilen des Stab- und Mattenstahls abhängig und werden in horizontale und vertikale Bauteile gegliedert.

Horizontale Bauteile

Der minimale Aufwandswert der Bewehrungsarbeiten der horizontalen Bauteile ergibt sich, wenn ausschließlich Mattenstähle mit einem Gewicht von über 4,00 bis 6,00 kg pro m² berücksichtigt werden. Der maximale Aufwandswert ergibt sich hingegen, wenn ausschließlich Stabstähle mit einem Durchmesser von 6 mm berücksichtigt werden.[410] Der minimale und

[409] Eigene Darstellung. Anm.: Zahlenwerte gemäß Tab. 19 und Tab. 20.

[410] Der angegebene vollständige Verzicht auf Mattenstähle stellt i. d. R. keine baupraktische Lösung dar. Da lediglich ein maximaler Aufwandswert zur Plausibilitätskontrolle bestimmt werden soll, kann dies jedoch vernachlässigt werden.

maximale Aufwandswert der Bewehrungsarbeiten der horizontalen Bauteile ergibt sich aus Tab. 22 und Tab. 23 somit zu:

$$w_{Bew,hor,min}\left[\frac{Ah}{t}\right] = 10{,}30 \tag{G.60}$$

$$w_{Bew,hor,max}\left[\frac{Ah}{t}\right] = 28{,}50 \tag{G.61}$$

Tab. 22: Aufwandswerte für Bewehrungsarbeiten (Stabstahl)[411]

		Durchmesser [mm]	Gewicht [kg/m]	Aufwandswert [Ah/t]		
				verteilen	flechten	Summe
horizontale Bauteile	Decken[a)]	6	0,222	8,60	19,90	28,50
		8	0,395	7,45	17,20	24,65
		10	0,617	6,05	14,00	20,05
		12	0,888	5,35	12,40	17,75
		14	1,210	4,90	11,40	16,30
		16	1,580	4,45	10,35	14,80
mittlerer Aufwandswert, horizontale Bauteile (Stabstahl)				**6,13**	**14,21**	**20,34**
vertikale Bauteile	Wände[b)]	6	0,222	9,45	22,10	31,55
		8	0,395	8,30	19,40	27,70
		10	0,617	6,95	16,15	23,10
		12	0,888	6,25	14,55	20,80
		14	1,210	5,60	13,05	18,65
		16	1,580	5,15	11,95	17,10
	mittlerer Aufwandswert, Wandbewehrung (Stabstahl)			**6,95**	**16,20**	**23,15**
	Stützen[c)]	6	0,222	10,20	23,70	33,90
		8	0,395	9,00	21,00	30,00
		10	0,617	7,65	17,75	25,40
		12	0,888	6,95	16,15	23,10
		14	1,210	6,30	14,65	20,95
		16	1,580	5,60	13,05	18,65
	mittlerer Aufwandswert, Stützenbewehrung (Stabstahl)			**7,62**	**17,72**	**25,33**
mittlerer Aufwandswert, vertikale Bauteile (Stabstahl)				**7,28**	**16,96**	**24,24**

Erläuterungen:
a) „flächig waagerechte Bauteile (ARH (2001), S. 19)“.
b) „flächig senkrechte Bauteile (ARH (2001), S. 19)“.
c) „stabförmig senkrechte Bauteile (ARH (2001), S. 19)“.

Als erwarteter Aufwandswert der Bewehrungsarbeiten der horizontalen Bauteile wird der jeweilige (gerundete) Mittelwert der Stab- und Mattenstähle aus Tab. 22 und Tab. 23 in Ansatz gebracht, wobei gleichzeitig von einem Mattenstahl-Anteil von 90 % und einem Stabstahl-Anteil von 10 % ausgegangen wird.

411 Vgl. ARH (2001), S. 19.

Tab. 23: Aufwandswerte für Bewehrungsarbeiten (Mattenstahl)[412]

		Gewicht [kg/m²]	Aufwandswert [Ah/t]		
			verteilen	flechten	Summe
horizontale Bauteile	Decken[a)]	bis 2,00	7,65	17,75	25,40
		über 2,00 bis 3,00	5,10	11,85	16,95
		über 3,00 bis 4,00	3,95	9,15	13,10
		über 4,00 bis 6,00	3,05	7,25	10,30
mittlerer Aufwandswert, horizontale Bauteile (Mattenstahl)			**4,94**	**11,50**	**16,44**
vertikale Bauteile	Wände[b)]	bis 2,00	8,55	19,95	28,50
		über 2,00 bis 3,00	5,80	13,45	19,25
		über 3,00 bis 4,00	4,40	10,25	14,65
		über 4,00 bis 6,00	3,35	7,75	11,10
mittlerer Aufwandswert, vertikale Bauteile (Mattenstahl)			**5,53**	**12,85**	**18,38**

Erläuterungen:
a) „flächig waagerechte Bauteile (ARH (2001), S. 21)".
b) „flächig senkrechte Bauteile (ARH (2001), S. 21)".

Der erwartete Aufwandswert der Bewehrungsarbeiten der horizontalen Bauteile ergibt sich somit zu:

$$w_{Bew,hor,erw}\ \left[\frac{Ah}{t}\right] = 0{,}90 \cdot 16{,}44\ + 0{,}10 \cdot 20{,}34\ = 16{,}83 \tag{G.62}$$

Vertikale Bauteile

Der minimale Aufwandswert der Bewehrungsarbeiten der vertikalen Bauteile ergibt sich, wenn ausschließlich Mattenstähle mit einem Gewicht von 4,00 bis 6,00 kg pro m² berücksichtigt werden.[413] Der maximale Aufwandswert ergibt sich hingegen, wenn ausschließlich Stabstähle mit einem Durchmesser von 6 mm berücksichtigt werden:[414] Der minimale und maximale Aufwandswert der Bewehrungsarbeiten der vertikalen Bauteile ergibt sich aus Tab. 22 und Tab. 23 somit zu:

$$w_{Bew,vert,min}\ \left[\frac{Ah}{t}\right] = 11{,}10 \tag{G.63}$$

$$w_{Bew,vert,max}\ \left[\frac{Ah}{t}\right] = 33{,}90 \tag{G.64}$$

[412] Vgl. ARH (2001), S. 21.

[413] D. h. keine Stabbewehrung vorhanden und $n_{St,ges} = 0$.

[414] Der angegebene vollständige Verzicht auf Stabstähle stellt, z. B. aufgrund der notwendigen Gebäudeaussteifung durch Wände und deren regelmäßige Bewehrung durch Mattenstähle, i. d. R. keine baupraktische Lösung dar. Da lediglich ein maximaler Aufwandswert zur Plausibilitätskontrolle bestimmt werden soll, kann dies jedoch vernachlässigt werden.

Als erwarteter Aufwandswert der Bewehrungsarbeiten der vertikalen Bauteile wird der jeweilige (gerundete) Mittelwert der Stab- und Mattenstähle aus Tab. 22 und Tab. 23 in Ansatz gebracht, wobei gleichzeitig von einem Mattenstahl- und Stabstahl-Anteil von jeweils 50 % ausgegangen wird. Folglich wird dem erwarteten Aufwandswert für Bewehrungsarbeiten der vertikalen Bauteile eine gleichmäßige Verteilung der Bewehrungsmenge von Stützen und Wänden zugrunde gelegt.

Der erwartete Aufwandswert für Bewehrungsarbeiten der vertikalen Bauteile ergibt sich somit zu:

$$w_{Bew,vert,erw}\left[\frac{Ah}{t}\right] = 0{,}50 \cdot 18{,}38 + 0{,}50 \cdot 24{,}24 = 21{,}31 \tag{G.65}$$

G.1.2 Kolonnenstärken

Die festgelegten Aufwandswerte wurden auf Grundlage der Aufwandswerte gemäß ARH ermittelt (vgl. Kap. G.1.1.1 ff.). In ARH wird ausgeführt, dass die angegebenen Aufwandswerte ausschließlich in Verbindung mit den zugrunde liegenden Kolonnenstärken anzuwenden sind, da abweichende Kolonnenstärken die Aufwandswerte beeinflussen können.[415] Um die Plausibilität und Anwendbarkeit der angegebenen Kolonnenstärken zu prüfen, sind diese in Tab. 24 optimalen Kolonnenstärken für Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten weiterer Veröffentlichungen gegenübergestellt.

Die hierin angegebenen Kolonnenstärken lassen teilweise keine Rückschlüsse darauf zu, ob sich diese auf horizontale oder vertikale Bauteile beziehen. Ebenso finden sich teilweise keine eindeutigen Angaben zu den verwendeten Schalungs- oder Betonageverfahren.[416]

Da eine Erhöhung der Ressourcenanzahl um ein ganzzahliges Vielfaches i. d. R. nicht mit Produktivitätsverlusten einhergeht (vgl. Kap. C.4.1.2),[417] widersprechen deutliche Abweichungen der angegebenen Kolonnenstärken in Tab. 24 nicht zwangsläufig deren Plausibilität.

Aus Tab. 24 resultiert, dass die Kolonnenstärke der Bauprozesse „Schalung, Wände“ und „Schalung, Stützen“ nach ARH (2016) bzw. deren ganzzahliges Vielfaches den jeweiligen Kolonnenstärken der übrigen Literaturangaben entsprechen. Für die Kolonnenstärken der

[415] Vgl. ARH (1999), S. 39; ARH (2006), S. 21; ARH (2009), o.S. u. ARH (2016), S. 38, 42, 46.

[416] So werden im Rahmen seiner Expertenbefragung von HOFSTADLER (2014) zwar unterschiedliche Schalungssysteme untersucht, bei der Bestimmung der Kolonnenstärke allerdings nicht weiter berücksichtigt (vgl. a. a. O., S. 190, 193 ff.). Zu den Betonageverfahren vgl. a. a. O., S. 219 ff.

[417] Ähnlicher Ansicht ist auch HRUSCHKA (1968) nach dem die Anzahl der AK bei Bedarf um ein ganzzahliges Vielfaches der Kolonnenstärke zu erhöhen ist (vgl. a. a. O., S. 107).

übrigen Bauprozesse zeigt sich, dass die jeweilige Kolonnenstärke nach ARH bzw. deren ganzzahliges Vielfaches die jeweils zugehörige Kolonnenstärke der übrigen Literaturangaben um maximal eine AK unter- bzw. überschreitet.

Tab. 24: Optimale Kolonnenstärken verschiedener Bauprozesse des Stahlbetonbaus[418]

Prozess/Bauteil		Kolonnenstärke [AK]				
		ARH	HRUSCHKA (1968)[e)]	BDK (1998)[f)]	BIPPUS (2010)[g)]	HOFSTADLER (2014)[h)]
Horizontale Bauteile	Schalung, Elementdecken	3[a)]	k. A.	4	4	5
	Randschalung					
	Bewehrung	(5)[b)]	6	2		5
	Betonage	3[c)]	6	3 bis 4		4
Vertikale Bauteile	Schalung, Wände	2[d)]	k. A.	4		4
	Schalung, Stützen	2[d)]	k. A.			2
	Bewehrung, Wände	(5)[b)]	6	2		4
	Bewehrung, Stützen		6			2
	Betonage	3[c)]	6	3 bis 4		3

Erläuterungen:
[a)] Vgl. ARH (2009), o. S. Anm.: Kranführer bleiben unberücksichtigt.
[b)] Vgl. ARH (1981), S. 36. Anm.: Während in ARH (2001) keine Angaben zu üblichen Kolonnenstärken bei Bewehrungsarbeiten enthalten sind, ist in der alten Fassung eine Kolonnenstärke von 5 AK zzgl. eines Kranfahrers vorgesehen (vgl. ARH (1981), S. 36).
[c)] Vgl. ARH (2006), S. 21. Anm.: Betoneinbau mit Pumpe.
[d)] Vgl. ARH (2016), S. 38 ff., 108 ff. Anm.: Kranführer bleiben unberücksichtigt.
[e)] Vgl. HRUSCHKA (1968), S. 106 f. Anm.: Lediglich Differenzierung von Betonage- und Bewehrungsarbeiten. Keine Unterscheidung hinsichtlich horizontaler und vertikaler Bauteile.
[f)] Vgl. BDK (1998), S. 192. Anm.: Kolonnenstärke bei kranabhängiger Betonage = 4 und bei Betonage mit Pumpe = 3. Keine Unterscheidung hinsichtlich horizontaler und vertikaler Bauteile.
[g)] Vgl. BIPPUS (2010), S. 51. Anm.: Pauschaler Wert für Stahlbetonarbeiten; keine Differenzierung hinsichtlich Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten.
[h)] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 458. Anm.: Auf die Darstellung der berechneten Mittelwerte für horizontale und vertikale Bauteile (vgl. a. a. O., S. 459) wird verzichtet.

Die vorangegangenen Feststellungen aus der Gegenüberstellung der Kolonnenstärken in Tab. 24 bestätigen die grundsätzliche Plausibilität der Kolonnenstärken gemäß ARH, weshalb diese zur Ermittlung der zweckmäßigen Kolonnenstärke der einzelnen Bauprozesse der horizontalen und vertikalen Bauteile verwendet werden können. Die verwendeten zweckmäßigen Kolonnenstärken der horizontalen und vertikalen Bauteile sind in Tab. 25 zusammengefasst.

[418] Eigene Darstellung.

Die zweckmäßige Kolonnenstärke der Bewehrungsarbeiten der vertikalen Bauteile wird, anders als in ARH (1981) angegeben (vgl. Tab. 24),[419] auf zwei AK pro Kolonne festgelegt. Dies entspricht der angegebenen Kolonnenstärke für die Bewehrungsarbeiten von Stützen nach BDK (1998) und HOFSTADLER (2014).[420] Durch den Einsatz zusätzlicher Kolonnen, kann eine Abweichung von maximal einer AK von der angegebenen Kolonnenstärke der Bewehrungsarbeiten in ARH (1981),[421] erzielt werden.

Tab. 25: Kolonnenstärken[422]

		Formelzeichen	Kolonnenstärke [-]
Horizontale Bauteile	**Anzahl an AK pro Kolonne, Elementdecken**	$n_{AK/Kol,S,hor}$	3
	Anzahl an AK pro Kolonne, Randschalung	$n_{AK/Kol,RS,hor}$	
	Anzahl an AK pro Kolonne, Bewehrung	$n_{AK/Kol,Bew,hor}$	5
	Anzahl an AK pro Kolonne, Beton	$n_{AK/Kol,B,hor}$	3
Vertikale Bauteile	**Anzahl an AK pro Kolonne, Schalung**	$n_{AK/Kol,S,vert}$	2
	Anzahl an AK pro Kolonne, Bewehrung	$n_{AK/Kol,Bew,vert}$	2
	Anzahl an AK pro Kolonne, Beton	$n_{AK/Kol,B,vert}$	3
Erläuterungen: *Kolonnenstärken mit Ausnahme der Bewehrungsarbeiten nach ARH (2006), S. 21; ARH (2009), ARH (2016), S. 38 ff., 108 ff. u. ARH (2001), o. S.* *Kolonnenstärke der Bewehrungsarbeiten nach HOFSTADLER (2014), S. 458 (für die Kolonnenstärke der Bewehrungsarbeiten der vertikalen Bauteile wurde der Wert für die Bewehrung der Stützen gewählt, auch da die angegebene Kolonnenstärke für die Bewehrung der Wände ein ganzzahliges Vielfaches dieses Wertes darstellt (vgl. Tab. 24).*			

G.1.3 Ressourcenanzahl

G.1.3.1 Maximale Kolonnenanzahl pro Fertigungsabschnitt

Die Bestimmung der jeweiligen maximalen Kolonnenanzahl pro Fertigungsabschnitt der einzelnen Bauprozesse und Bauteile erfolgt auf Grundlage der zugehörigen Kolonnenstärke (vgl. Kap. G.1.2) und maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt (vgl. Kap. G.1.3.2). Die maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt resultiert aus der Krananzahl (Kap. G.1.3.3), der maximalen Anzahl an AK pro Kran (Kap. G.1.3.4) und der Anzahl der Fertigungsabschnitte (Kap. G.1.3.5).

[419] Vgl. ARH (1981), S. 36.

[420] Vgl. BDK (1998), S. 192 u. HOFSTADLER (2014), S. 458.

[421] Vgl. ARH (1981), S. 36.

[422] Eigene Darstellung.

Die Ermittlung der maximalen Kolonnenanzahl pro Fertigungsabschnitt ist demensprechend wie folgt gegliedert:

- Ermittlung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ($n_{(AK,max/FA)}$)
- Ermittlung der Krananzahl (n_{Kr})
- Ermittlung der maximalen Anzahl an AK pro Kran ($n_{(AK,max/Kr)}$)
- Ermittlung der Anzahl der Fertigungsabschnitte ($n_{FA,0}$)

Für die maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt erfolgt eine Ermittlung eines minimalen ($n_{(AK,max/FA),min}$), erwarteten ($n_{(AK,max/FA),erw}$) und maximalen ($n_{(AK,max/FA),max}$) Werts, deren jeweilige Berechnungen in Tab. 26 zusammengefasst sind, wobei generell gelten muss:

$$n_{(Kol,max/FA),i}\,[-] \geq 1 \tag{G.66}$$

G.1.3.2 Maximale Anzahl an Arbeitskräften pro Fertigungsabschnitt

Über das Verhältnis zwischen der Krananzahl (n_{Kr}) und der Anzahl der Fertigungsabschnitte ($n_{FA,0}$) kann die zur Verfügung stehende Krananzahl für die Bauprozesse jedes Takts bestimmt werden. In Kombination mit der maximalen Anzahl an AK pro Kran ($n_{(AK,max/Kr)}$) kann daraus die maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ermittelt werden.

Da für die Krananzahl und die maximale Anzahl an AK pro Kran jeweils minimale, erwartete und maximale Werte bestimmt werden (vgl. Kap. G.1.3.3 u. Kap. G.1.3.4), erfolgt diese Differenzierung auch bei der Ermittlung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt:

$$n_{(AK,max/FA),min}\,[-] = n_{(AK,max/Kr),min} \cdot \frac{n_{Kr,min}}{n_{FA,0}} \in \mathbb{N} \tag{G.67}$$

$$n_{(AK,max/FA),erw}\,[-] = n_{(AK,max/Kr)} \cdot \frac{n_{Kr}}{n_{FA,0}} \in \mathbb{N} \tag{G.68}$$

$$n_{(AK,max/FA),max}\,[-] = n_{(AK,max/Kr),max} \cdot \frac{n_{Kr,max}}{n_{FA,0}} \in \mathbb{N} \tag{G.69}$$

In Eq. (G.67) bis Eq. (G.69) repräsentieren $n_{Kr,min}$ und $n_{Kr,max}$ die minimale bzw. maximale Krananzahl sowie $n_{(AK,max/Kr),min}$ und $n_{(AK,max/Kr),max}$ den minimalen bzw. maximalen Wert der maximalen Anzahl an AK pro Kran.

Tab. 26: Berechnung der maximalen Kolonnenanzahl pro Fertigungsabschnitt[423]

			Berechnung	
Horizontale Bauteile	Schalung	Minimaler Wert (Schalung, hor. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),S,hor,min} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),min}}{n_{AK/Kol,S,hor}} \right\rfloor$	(G.70)
		Erwarteter Wert (Schalung, hor. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),S,hor,erw} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA)}}{n_{AK/Kol,S,hor}} \right\rfloor$	(G.71)
		Maximaler Wert (Schalung, hor. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),S,hor,max} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),max}}{n_{AK/Kol,S,hor}} \right\rfloor$	(G.72)
	Randschalung	Minimaler Wert (Randschalung, hor. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),RS,hor,min} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),min}}{n_{AK/Kol,RS,hor}} \right\rfloor$	(G.73)
		Erwarteter Wert (Randschalung, hor. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),RS,hor,erw} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA)}}{n_{AK/Kol,RS,hor}} \right\rfloor$	(G.74)
		Maximaler Wert (Randschalung, hor. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),RS,hor,max} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),max}}{n_{AK/Kol,RS,hor}} \right\rfloor$	(G.75)
	Bewehrung	Minimaler Wert (Bewehrung, hor. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),Bew,hor,min} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),min}}{n_{AK/Kol,Bew,hor}} \right\rfloor$	(G.76)
		Erwarteter Wert (Bewehrung, hor. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),Bew,hor,erw} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA)}}{n_{AK/Kol,Bew,hor}} \right\rfloor$	(G.77)
		Maximaler Wert (Bewehrung, hor. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),Bew,hor,max} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),max}}{n_{AK/Kol,Bew,hor}} \right\rfloor$	(G.78)
	Beton	Minimaler Wert (Betonage, hor. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),B,hor,min} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),min}}{n_{AK/Kol,B,hor}} \right\rfloor$	(G.79)
		Erwarteter Wert (Betonage, hor. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),B,hor,erw} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA)}}{n_{AK/Kol,B,hor}} \right\rfloor$	(G.80)
		Maximaler Wert (Betonage, hor. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),B,hor,max} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),max}}{n_{AK/Kol,B,hor}} \right\rfloor$	(G.81)
Vertikale Bauteile	Schalung	Minimaler Wert (Schalung, vert. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),S,vert,min} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),min}}{n_{AK/Kol,S,vert}} \right\rfloor$	(G.82)
		Erwarteter Wert (Schalung, vert. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),S,vert,erw} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA)}}{n_{AK/Kol,S,vert}} \right\rfloor$	(G.83)
		Maximaler Wert (Schalung, vert. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),S,vert,max} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),max}}{n_{AK/Kol,S,vert}} \right\rfloor$	(G.84)

Fortsetzung Tab. 26 auf Folgeseite

[423] Eigene Darstellung.

Fortsetzung Tab. 26

Vertikale Bauteile	Bewehrung	Minimaler Wert (Bewehrung, vert. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),Bew,vert,min} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),min}}{n_{AK/Kol,Bew,vert}} \right\rfloor$	(G.85)
		Erwarteter Wert (Bewehrung, vert. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),Bew,vert,erw} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA)}}{n_{AK/Kol,Bew,vert}} \right\rfloor$	(G.86)
		Maximaler Wert (Bewehrung, vert. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),Bew,vert,max} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),max}}{n_{AK/Kol,Bew,vert}} \right\rfloor$	(G.87)
	Betonage	Minimaler Wert (Betonage, vert. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),B,vert,min} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),min}}{n_{AK/Kol,B,vert}} \right\rfloor$	(G.88)
		Erwarteter Wert (Betonage, vert. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),B,vert,erw} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA)}}{n_{AK/Kol,B,vert}} \right\rfloor$	(G.89)
		Maximaler Wert (Betonage, vert. Bauteile)	$n_{(Kol,max/FA),B,vert,max} = \left\lfloor \frac{n_{(AK,max/FA),max}}{n_{AK/Kol,B,vert}} \right\rfloor$	(G.90)

$n_{(AK,max/FA)}$, $n_{(Kol,max/FA),i}$ und $n_{AK/Kol,i}$ jeweils ohne Einheit.

G.1.3.3 Krananzahl

Da die Krananzahl bei den vorgestellten Verfahren aus der Bauzeit resultiert, die eine noch unbekannte Größe darstellt, und das dargestellte Verfahren nach HOFSTADLER (2007) lediglich die Gebäudegrundfläche nicht aber den Gebäudegrundriss berücksichtigt, woraus unrealistisch geringe Krananzahlen resultieren können (vgl. Kap. C.4.1.3), wird ein alternatives Verfahren zur Bestimmung der Krananzahl entwickelt.

Unter der Prämisse, dass im Hochbau i. d. R. mindestens eine vollflächige Kranabdeckung des gesamten Gebäudegrundrisses angestrebt wird, kann die Krananzahl hinreichend genau anhand des Grundrisses des Referenzgebäudes und der zweckmäßigen Positionierung der Baukrane bestimmt werden.[424] Der Ermittlung werden einfach-rechteckige Grundrissformen zugrunde gelegt (vgl. Abb. 2).

Baustellenkrane werden i. d. R. an der Fassadenaußenseite angeordnet.[425] Ist zur vollflächigen Abdeckung des Gebäudegrundrisses die Anordnung mehrerer Krane notwendig, so wird i. d. R. eine gegenüberliegende Anordnung der Krane mit überschnittenen Schwenkbereichen vorgesehen.

Zunächst erfolgt die Festlegung des Kranradius, der unmittelbaren Einfluss auf die Krananzahl hat. Hierzu wird der minimale Kranradius ($r_{Kr,min}$) und maximale Kranradius ($r_{Kr,max}$) auf

[424] Bei der Entwicklung des Referenzgebäudes werden rechteckige Grundrissfomen zugrunde gelegt (vgl. Kap. A.3).

[425] Vgl. HOFSTADLER (2007), S. 45.

Grundlage der mittleren Ausladungslängen von unten- und obendrehenden Kranen nach SCHACH/OTTO (2011) festgelegt:[426]

$$r_{Kr,min}\ [m] = 25{,}00 \tag{G.91}$$

$$r_{Kr,max}\ [m] = 75{,}00 \tag{G.92}$$

Anhand des Kranradius kann die zweckmäßige Positionierung des ersten Krans erfolgen. Hierzu wird der Kranabstand zur Gebäudestirnseite (s_{Kr}) bestimmt, der eine noch vollflächige Kranabdeckung des Gebäudes im Bereich einer Gebäudestirnseite ermöglicht (vgl. Abb. 50).

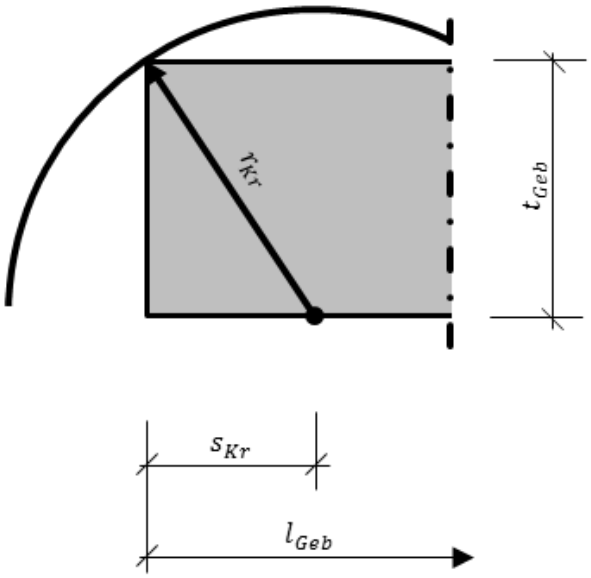


Abb. 50: Ermittlung des Kranabstands zur Gebäudestirnseite[427]

Unterschreitet der Kranradius die Gebäudetiefe, woraus wie in Abb. 50 eine nicht vollflächige Kranabdeckung des Gebäudes im Bereich einer Gebäudestirnseite resultiert, so wird unterstellt, dass eine Erhöhung der Krananzahl durch die (teilweise) Anordnung der Krane innerhalb des Grundrisses vermieden werden kann. Dementsprechend erfolgt in diesem Fall keine differenzierte Berechnung.

Der minimale Kranabstand von der Gebäudestirnseite ($s_{Kr,min}$) und maximale Kranabstand von der Gebäudestirnseite ($s_{Kr,max}$) resultiert aus der Gebäudetiefe und dem minimalen bzw. maximalen Kranradius. Überschreitet die Gebäudetiefe den Kranradius, so erfolgt eine Krananordnung in der Ecke des Gebäudegrundrisses und es wird kein Kranabstand zur Ge-

[426] Vgl. SCHACH/OTTO (2011), S. 29.

[427] Eigene Darstellung (qualitativ).

bäudestirnseite vorgesehen. Der minimale und maximale Kranabstand von der Gebäudestirnseite ergibt sich somit zu:

$$s_{Kr,min}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: r_{Kr,min} < t_{Geb} \\ \sqrt{{r_{Kr,min}}^2 - {t_{Geb}}^2} & wenn: r_{Kr,min} \geq t_{Geb} \end{cases} \quad \text{(G.93)}$$

$$s_{Kr,max}\,[m] = \begin{cases} 0 & wenn: r_{Kr,max} < t_{Geb} \\ \sqrt{{r_{Kr,max}}^2 - {t_{Geb}}^2} & wenn: r_{Kr,max} \geq t_{Geb} \end{cases} \quad \text{(G.94)}$$

Der notwendige Kranabstand zur Gebäudefassade, der sich z. B. aufgrund der Krangründung oder einer möglichen Baugrube ergibt, wird vernachlässigt.

Die Berechnung der minimalen und maximalen Krananzahl ergibt sich anschließend aus den Positionen der übrigen Krane. Die Kranpositionierung und Krananzahl, die eine vollflächige Abdeckung des Gebäudegrundrisses ermöglicht, ist in Abhängigkeit vom Kranabstand von der Gebäudestirnseite und Kranradius schematisch in Abb. 51 dargestellt.

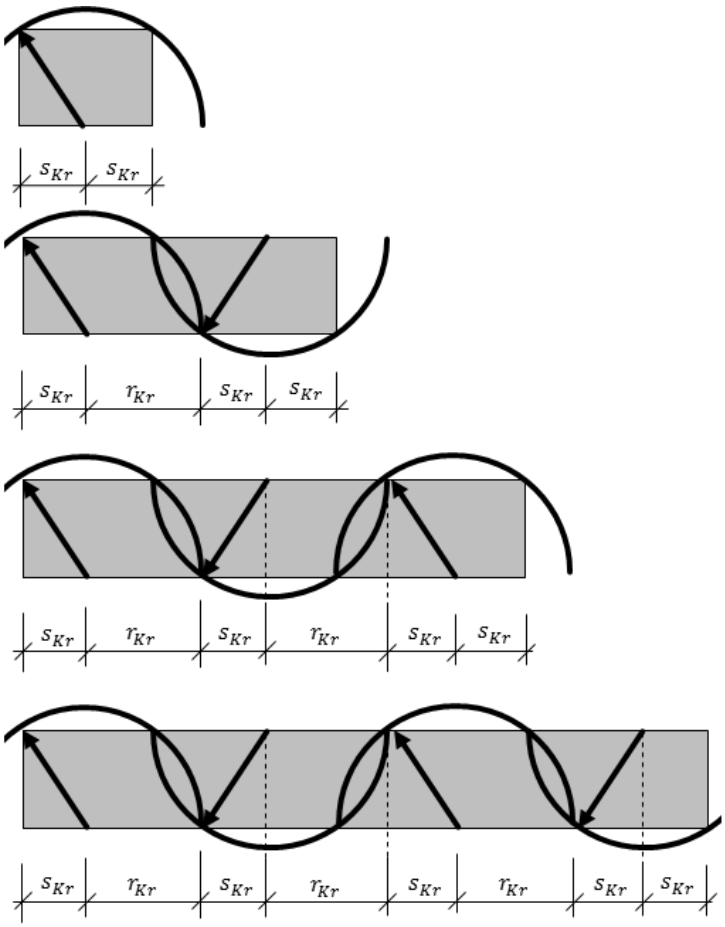


Abb. 51: Ermittlung der Krananzahl[428]

[428] Eigene Darstellung (qualitativ).

Aus Abb. 51 kann folgender Zusammenhang zur Berechnung der minimalen und maximalen Krananzahl abgeleitet werden.

$$n_{Kr,min}\,[-] = \left\lfloor \frac{l_{Geb} - 2 \cdot s_{Kr,max}}{r_{Kr,max} + s_{Kr,max}} \right\rfloor + 2 \tag{G.95}$$

$$n_{Kr,max}\,[-] = \left\lfloor \frac{l_{Geb} - 2 \cdot s_{Kr,min}}{r_{Kr,min} + s_{Kr,min}} \right\rfloor + 2 \tag{G.96}$$

Als erwartete Krananzahl ($n_{Kr,erw}$) wird der aufgerundete Mittelwert der minimalen und maximalen Krananzahl in Ansatz gebracht:

$$n_{Kr,erw}\,[-] = \left\lceil \frac{n_{Kr,min} + n_{Kr,max}}{2} \right\rceil \tag{G.97}$$

G.1.3.4 Maximale Anzahl an Arbeitskräften pro Kran

Da Stahlbetonarbeiten i. d. R. kranabhängig sind und Krane dementsprechend Leitgeräte darstellen,[429] resultiert die Anzahl der wirtschaftlich einsetzbaren AK unter anderem aus der Krananzahl.[430] Hierbei ist unter anderem zu berücksichtigen, ob die Betonagearbeiten kranabhängig oder -unabhängig erfolgen.

Eine Zusammenfassung von Literaturansätzen zur maximalen Anzahl an AK pro Kran ist in Tab. 27 dargestellt.

Die Festlegung der minimalen, erwarteten und maximalen Wert der maximalen Anzahl an AK pro Kran ($n_{(AK,max/Kr),min}$, $n_{(AK,max/Kr),erw}$ u. $n_{(AK,max/Kr),max}$) erfolgt anhand der Angaben in Tab. 27. Bei der Festlegung des Maximalwerts werden die Angaben zu Mauerwerksbaustellen bzw. Mischbauweisen übernommen:

$$n_{(AK,max/Kr),min}\,[-] = 10 \tag{G.98}$$

$$n_{(AK,max/Kr),erw}\,[-] = 20 \tag{G.99}$$

$$n_{(AK,max/Kr),max}\,[-] = 25 \tag{G.100}$$

[429] Ausnahmen stellen beispielsweise Betonagearbeiten mit Pumpen sowie kranunabhängige Systemschalungen dar.

[430] Vgl. z. B. HOFSTADLER (2014), S. 74 f., 227.

Tab. 27: Maximale Anzahl an Arbeitskräften pro Kran[431]

	Anzahl an AK pro Kran [-]						
	Hruschka (1968)[a]	Hager (1991)[b]	Hüster (1992)[c]	Bippus (2010)[d]	Schach/Otto (2011)[e]	Hofstadler (2014)[f]	Sundermeier (2020)[g]
Betonbaustellen	16*	20	k. A.	≤ 16	13 bis 25	15* (10 bis 20)	10 bis 15
- Betoneinbau mit Kran	k. A.	k. A.	k. A.		13	k. A.	k. A.
- Betoneinbau mit Pumpe	k. A.	k. A.	20		25	k. A.	15 bis 20[c]
Mauerwerksbaustellen u. Mischbauweise	k. A.	16	15		15 bis 25	k. A.	15

Erläuterungen:
** Mittelwert aus Schnelleinsatzkranen und Oberdrehern*
[a] Vgl. Hruschka (1968), S. 170.
[b] Vgl. Hager (1991), S. 96.
[c] Vgl. Hüster (1992), S. 157.
[d] Vgl. Bippus (2010), S. 49.
[e] Vgl. Schach/Otto (2011), S. 18.
[f] Vgl. Hofstadler (2014), S. 227 ff., 462.
[g] Vgl. Sundermeier (2020), S. 7.44.

G.1.3.5 Anzahl der Fertigungsabschnitte

Bei der Ermittlung der Anzahl der Fertigungsabschnitte ist unter anderem zu beachten, dass deren Betonage von einer Kolonne innerhalb einer Tages durchgeführt werden kann (vgl. Kap. D.3).[432] Da für die gewählte horizontale Taktfolge (vgl. Kap. C.1) in allen Geschossen Fertigungsabschnitte mit gleicher Grundfläche angestrebt werden, wird die Anzahl der Fertigungsabschnitte aus dem Betonvolumen der horizontalen oder vertikalen Bauteile pro Geschoss und der zugehörigen Tagesleistung einer Betonierkolonne ermittelt.

Da bei der Ermittlung der Anzahl der Fertigungsabschnitte generell die Betonagearbeiten an den horizontalen und vertikalen Bauteilen maßgebend sein können, wird die Anzahl der Fertigungsabschnitte die aus der Betonage der vertikale Bauteile ($n_{FA,0,vert}$) und horizontale Bauteile ($n_{FA,0,hor}$) resultiert, differenziert, wobei sich die Anzahl der Fertigungsabschnitte aus deren Maximum ergibt:

$$n_{FA,0}\,[-] = max\left(n_{FA,0,hor},\, n_{FA,0,vert}\right) \tag{G.101}$$

Die Anzahl der Fertigungsabschnitte bedingt durch die vertikalen Bauteile ergibt sich aus der täglichen Arbeitszeit (vgl. Eq. (G.2), der Kolonnenstärke für Betonagearbeiten (vgl.

[431] Eigene Darstellung. Anm.: Bei Angabe von Wertebereichen beziehen sich die unteren Grenzwerte auf den Betoneinbau mit Kran und die oberen Grenzwerte auf den Betoneinbau mit Pumpe.

[432] Vgl. z. B. Berner et al. (2013), S. 92.

Kap. G.1.3.4) sowie dem zugehörigen mittleren Aufwandswert und der Rüstzeit (vgl. Kap. G.1.1.1) zu:[433]

$$n_{FA,0,vert}\ [-] = \left\lceil \frac{max\left(V_{B,vert,EG},\ V_{B,vert,RG}\right)\ [m^3]}{\left(\frac{1\ [AT] \cdot D_{Ah/AT}\ \left[\frac{Ah}{AT}\right] \cdot n_{AK/Kol,B,vert}\ [-] - 1{,}50\ [Ah]}{w_{B,vert}\ \left[\frac{Ah}{m^3}\right]}\right)} \right\rceil \tag{G.102}$$

Die Anzahl der Fertigungsabschnitte bedingt durch die horizontalen Bauteile erfolgt analog zu Eq. (G.102), wobei zusätzlich auch die angegebene maximale Deckenfläche eines Fertigungsabschnitts von 473 m² nach HOFSTADLER (2014) berücksichtigt wird:[434]

$$n_{FA,0,hor} = \left\lceil max\left(\frac{V_{B,hor,EG}}{\left(\frac{D_{Ah/AT} \cdot n_{AK/Kol,B,hor} - 1{,}50}{w_{B,hor}}\right)},\ \frac{A_{Geb}}{473\ [m^2]}\right) \right\rceil \tag{G.103}$$

G.2 Netzplanberechnung

G.2.1 Allgemeines

Zur Ermittlung der minimalen, erwarteten wirtschaftlichen und maximalen Bauzeit (D_{min}, D_{erw} u. D_{max}) wird die ermittelte Taktung (vgl. Kap. D) in das jeweilige BAM in Form eines Netzplans überführt. Den Netzplänen liegen folgende Randbedingungen zugrunde (vgl. Abb. 52 bis Abb. 54):

- *Minimale Bauzeit:* Bei der Bestimmung der minimalen Bauzeit werden im zugehörigen Netzplan ausschließlich technologische AOB berücksichtigt.
- *Maximale Bauzeit:* Bei der Bestimmung der maximalen Bauzeit werden im zugehörigen Netzplan technologische und kapazitive AOB berücksichtigt.

  Bei der Festlegung der kapazitiven AOB werden ausschließlich die ermittelten Kolonnenanzahlen zur Ausführung der Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten der vertikalen und horizontalen Bauteile zugrunde gelegt. Auch bei mehr als sechs Fertigungsabschnitten findet keine parallele Fertigung gleicher Takte in unterschiedlichen Fertigungsabschnitten statt.

[433] Verminderte Betonagegeschwindigkeiten aufgrund notwendiger Reduzierungen der Beton-Steiggeschwindigkeit (insbesondere bei Stützen) bleiben unberücksichtigt.

[434] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 205.

- *Erwartete wirtschaftliche Bauzeit:* Bei der Bestimmung der erwarteten wirtschaftlichen Bauzeit werden im zugehörigen Netzplan technologische und kapazitive AOB berücksichtigt.

  Bei der Festlegung der kapazitiven AOB werden den ermittelten Kolonnenanzahlen zur Ausführung der Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten der vertikalen und horizontalen Bauteile jeweils maximal sechs Fertigungsabschnitte zugeordnet. Bei mehr als sechs Fertigungsabschnitten findet eine parallele Fertigung gleicher Takte in unterschiedlichen Fertigungsabschnitten statt, weshalb die erwartete wirtschaftliche Bauzeit die maximale Bauzeit bei mehr als sechs Fertigungsabschnitten unterschreitet.

Den Vorgangsknoten des BAM wird jeweils ein frühester Anfangszeitpunkt (FAZ) und frühester Endzeitpunkt (FEZ) zugewiesen. Abhängig vom entsprechenden Geschoss j und Fertigungsabschnitt i ergeben sich bei der Ermittlung der minimalen, erwarteten wirtschaftlichen und maximalen Bauzeit somit die zugehörigen frühesten Anfangszeitpunkte ($FAZ_{min}(j|i)$, $FAZ_{erw}(j|i)$ u. $FAZ_{max}(j|i)$) und frühesten Endzeitpunkte ($FEZ_{min}(j|i)$, $FEZ_{erw}(j|i)$ u. $FEZ_{max}(j|i)$).

Die Berechnungen der einzelnen FAZ und FEZ zur Bestimmung der minimalen, maximalen und erwarteten wirtschaftlichen Bauzeit ergeben sich in der genannten Reihenfolge aus Kapitel G.2.2, Kapitel G.2.3 und Kapitel G.2.4.

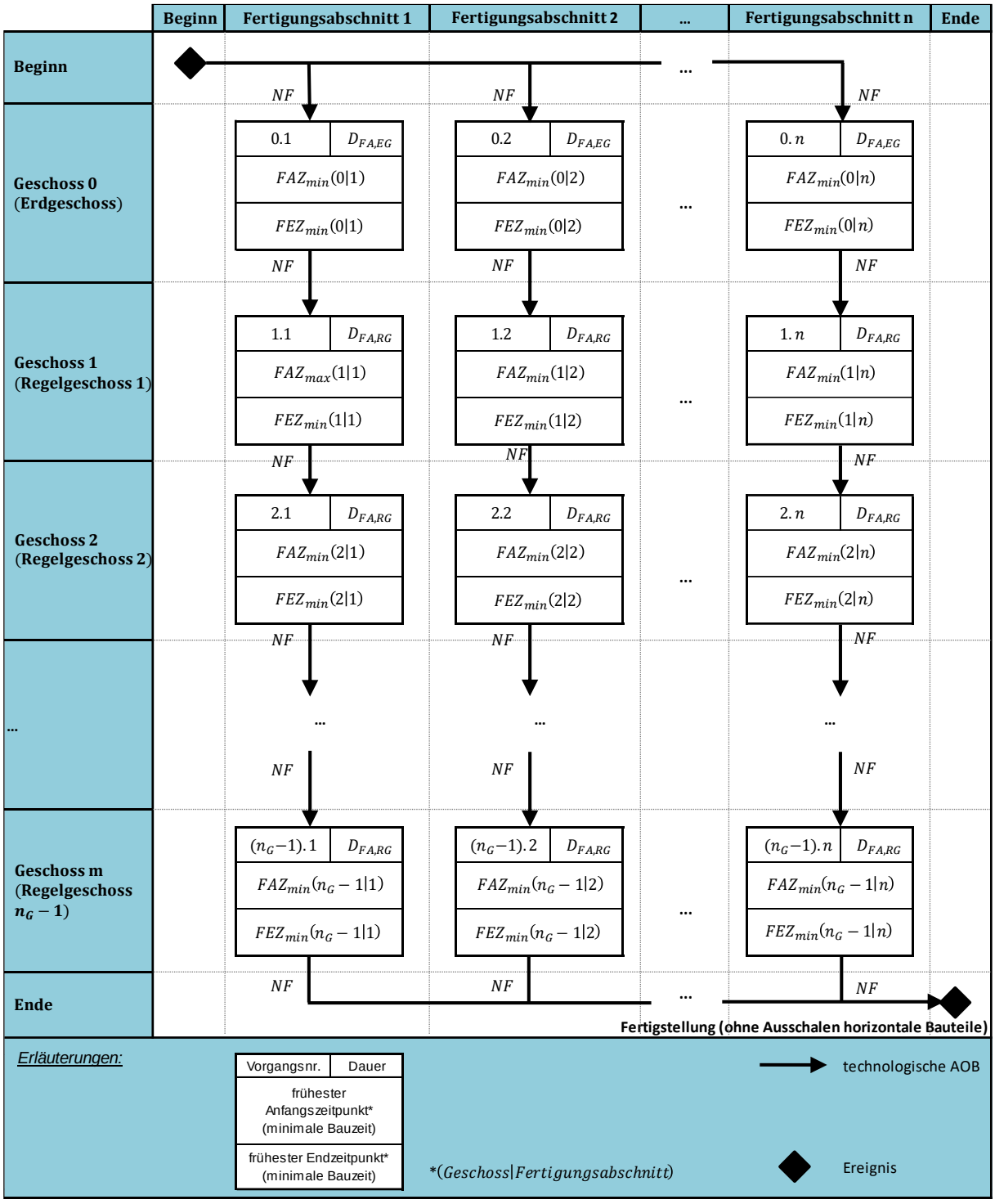


Abb. 52: BAM zur Bestimmung der minimalen Bauzeit[435]

[435] Eigene Darstellung.

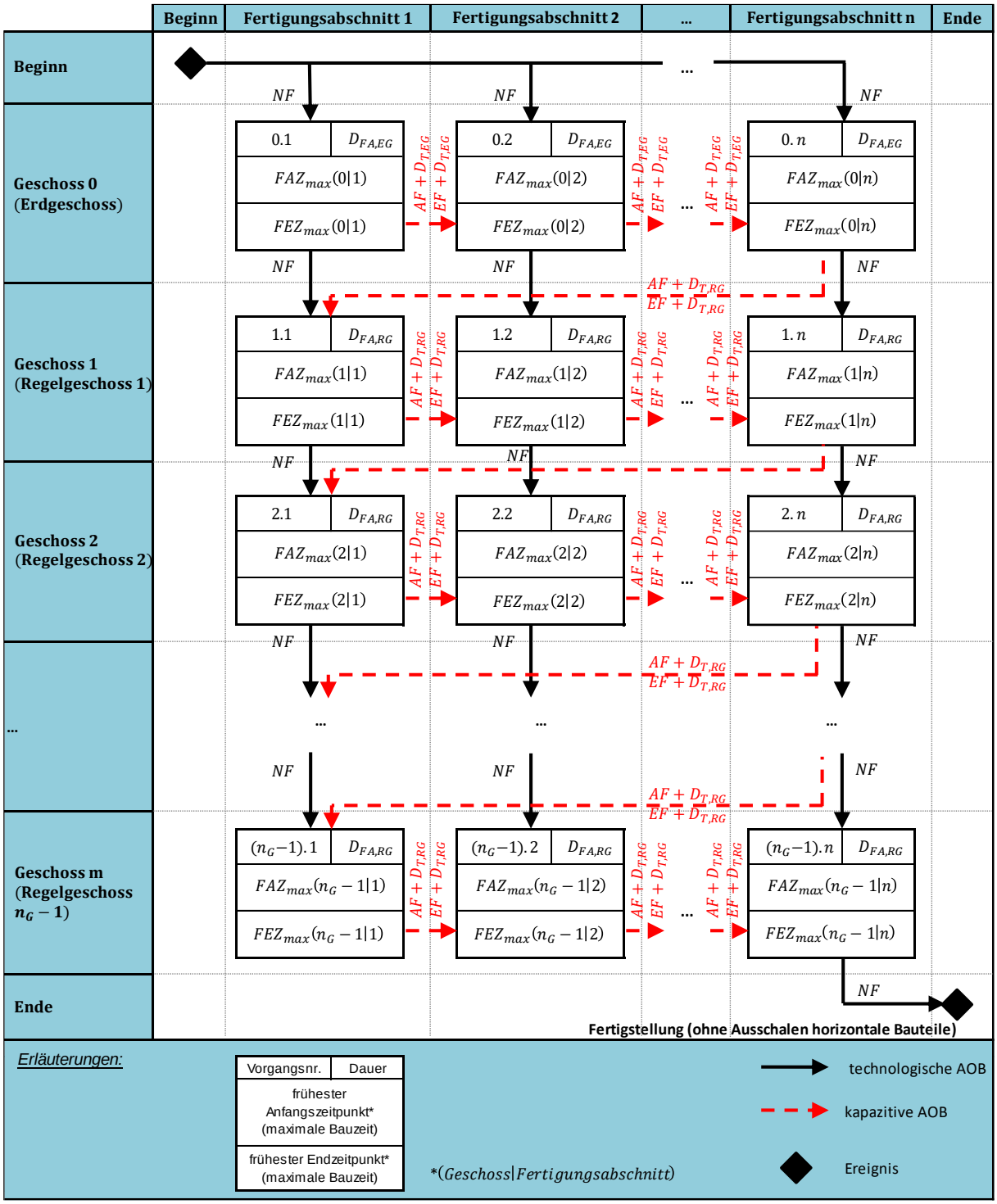


Abb. 53: BAM zur Bestimmung der maximalen Bauzeit[436]

[436] Eigene Darstellung.

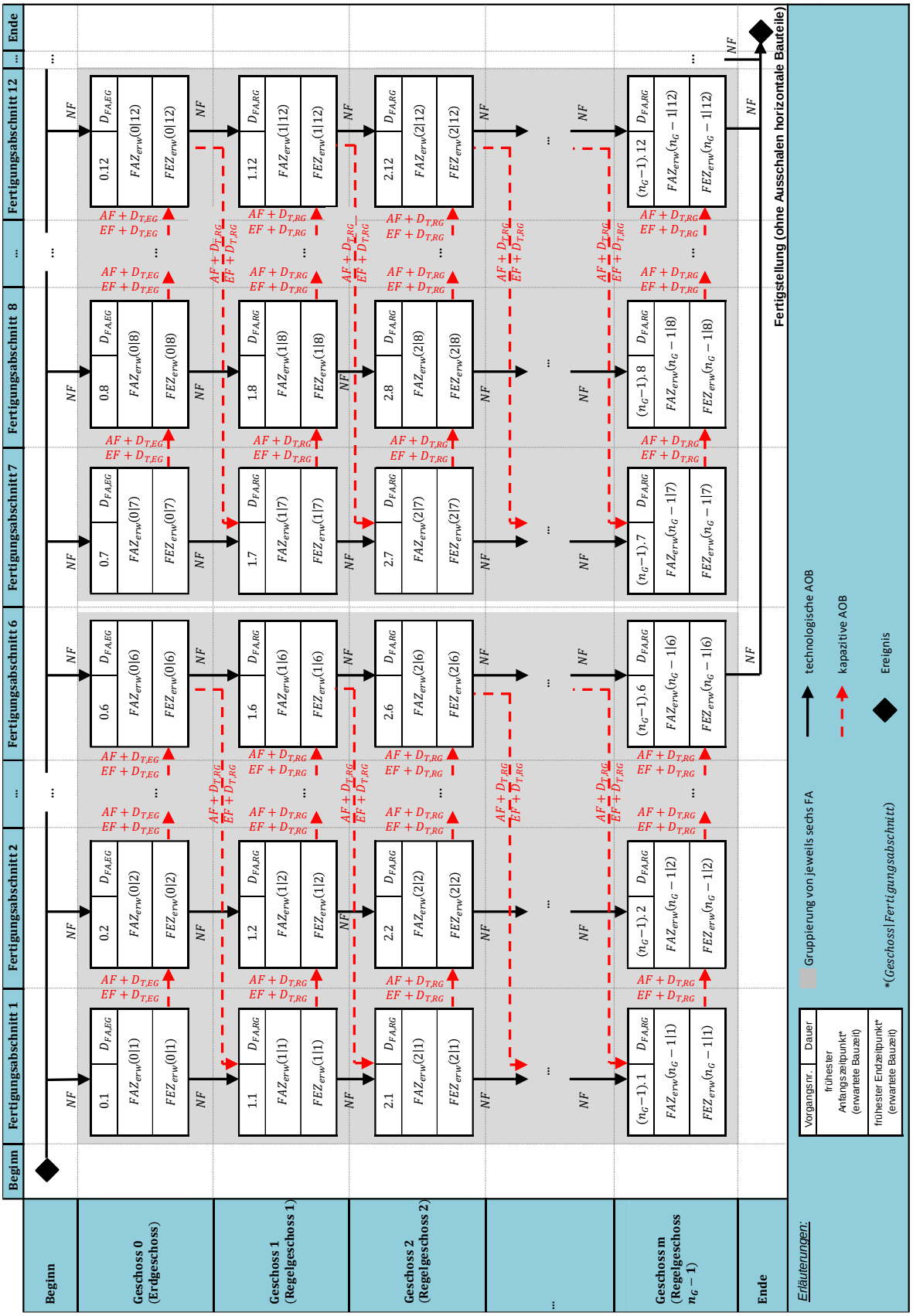


Abb. 54: BAM zur Bestimmung der erwarteten Bauzeit[437]

[437] Eigene Darstellung.

G.2.2 Minimale Bauzeit

Die minimale Bauzeit resultiert aus dem Netzplan in Abb. 52: [438]

$$D_{min} = FEZ_{min}\left(n_G - 1 \middle| n_{FA,0}\right) \tag{G.104}$$

Da die gesamten Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten der vertikalen und horizontalen Bauteile eines gesamten Geschosses – unabhängig von der ermittelten Anzahl der Fertigungsabschnitte – jeweils parallel erfolgen, ergeben sich für die Kolonnen nach der Fertigstellung des zugehörigen Taktes zwangsläufig Wartezeiten. Eine kontinuierliche Beschäftigung der Kolonnen kann dementsprechend nicht erzielt werden. Dementgegen werden durch die ausschließliche Berücksichtigung technologischer AOB Leerzeiten minimiert (vgl. Kap. D.5).

Weiterhin wird z. B. die vorzuhaltende Schalungsmenge deutlich erhöht, da die Schalarbeiten eines gesamten Geschosses parallel verlaufen. Durch die Gliederung des Referenzgebäudes in Fertigungsabschnitte und die Berücksichtigung kapazitiver AOB können diese reduziert werden (vgl. Kap. G.2.3 u. Kap G.2.4).

Die Ermittlung der FAZ und FEZ zur abschließenden Ermittlung der minimalen Bauzeit erfolgt auf Grundlage von Abb. 52 und wird hinsichtlich des EG und der RG gegliedert.

G.2.2.1 Erdgeschoss

Für den FAZ und FEZ eines Fertigungsabschnitts i im EG gilt aufgrund der ausschließlich vorgesehenen technologischen AOB und der daraus resultierenden parallelen Fertigung bei der Bestimmung der minimalen Bauzeit:

$$FAZ_{min}(0|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn:\ i > n_{FA,0} \\ 0 & wenn:\ i \leq n_{FA,0} \end{cases} \tag{G.105}$$

$$FEZ_{min}(0|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn:\ i > n_{FA,0} \\ FAZ_{min}(0|i) + D_{FA,EG} & wenn:\ i \leq n_{FA,0} \end{cases} \tag{G.106}$$

G.2.2.2 Regelgeschosse

Der FAZ und FEZ eines Fertigungsabschnitts i im Geschoss j ($FAZ_{min}(j|i)$ u. $FEZ_{min}(j|i)$) kann auf Grundlage von $FEZ_{min}(0|i)$ bestimmt werden:

$$FAZ_{min}(j|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: j \geq n_G \ \vee \ i > n_{FA,0} \\ FEZ_{min}(0|i) + D_{FA,RG} \cdot (j-1) & wenn: j < n_G \ \wedge \ i \leq n_{FA,0} \end{cases} \tag{G.107}$$

$$FEZ_{min}(j|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: j \geq n_G \ \vee \ i > n_{FA,0} \\ FAZ_{min}(j|i) + D_{FA,RG} & wenn: j < n_G \ \wedge \ i \leq n_{FA,0} \end{cases} \tag{G.108}$$

[438] Zusätzlich sind noch die Dauer der Ausschalarbeiten und die Schalfristen der horizontalen Bauteile (i. d. R. 28 Kalendertage (KT)) zu berücksichtigen.

G.2.3 Maximale Bauzeit

Die maximale Bauzeit resultiert aus dem Netzplan in Abb. 53:[439]

$$D_{max} = FEZ_{max}\left(n_G - 1 \middle| n_{FA,0}\right) \tag{G.109}$$

Durch die Berücksichtigung kapazitiver AOB können die Wartezeiten der einzelnen Kolonnen nach der Fertigstellung eines Taktes im Vergleich zur ausschließlichen Berücksichtigung technologischer AOB reduziert werden.[440] Eine kontinuierliche Beschäftigung der Kolonnen kann dementsprechend ab sechs Fertigungsabschnitten erzielt werden, woraus allerdings gleichzeitig Leerzeiten resultieren können (vgl. Kap. D.5).

Weiterhin kann die vorzuhaltende Schalungsmenge durch die Einhaltung der ermittelten Anzahl der Fertigungsabschnitte minimiert werden.

Unterschiedliche Taktzeiten im EG und in den RG führen bei der Berücksichtigung technologischer und kapazitiver AOB dazu, dass sich erst ab dem zweiten RG ein gleichmäßiger Bauablauf einstellt. Um dies zu veranschaulichen wird der Netzplan aus Abb. 53 exemplarisch in einen vernetzten Balkenplan überführt, der auch die zeitliche Verteilung des Ressourceneinsatzes darstellt (vgl. Abb. 55). Dem Balkenplan in Abb. 55 werden fünf Fertigungsabschnitte und eine Taktzeit der RG unterstellt, die der Hälfte der Taktzeit des EG entspricht. Abb. 55 veranschaulicht weiterhin die notwendige Berücksichtigung kapazitiver und technologischer AOB bei der Berechnung der FAZ und FEZ der maximalen Bauzeit.

Die Ermittlung der FAZ und FEZ der Vorgangsknoten zur abschließenden Ermittlung der maximalen Bauzeit erfolgt auf Grundlage von Abb. 53 und wird aufgrund der Schlussfolgerungen aus Abb. 55 hinsichtlich des EG, des ersten und zweiten RG sowie der übrigen RG gegliedert.

[439] Zusätzlich sind noch die Dauer der Ausschalarbeiten und die Schalfristen der horizontalen Bauteile (i. d. R. 28 KT) zu berücksichtigen.

[440] Das Minimum der Wartezeiten ergibt sich dabei für sechs Fertigungsabschnitte. Ist lediglich ein einzelner Fertigungsabschnitt vorgesehen, so erfolgt entsprechend keine Minimierung der Wartezeiten gegenüber der ausschließlichen Betrachtung technologischer AOB.

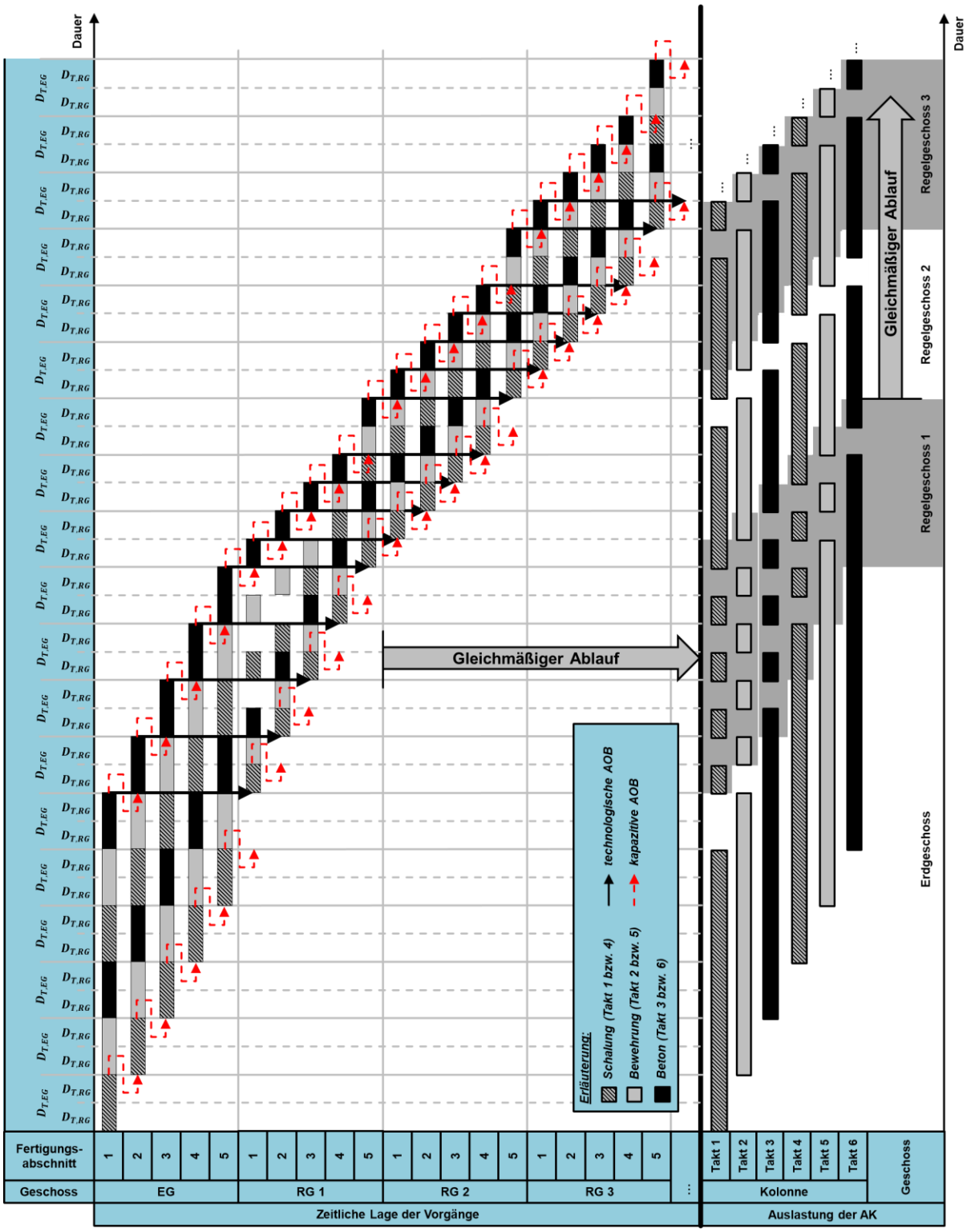


Abb. 55: Auswirkung unterschiedlicher Taktzeiten im EG und in den RG auf die zeitliche Lage von Vorgängen[441]

[441] Eigene Darstellung (exemplarisch). Anm.: Zur Steigerung der Nachvollziehbarkeit werden für alle Tätigkeiten eines jeweiligen Geschosses konstante Taktzeiten zugrunde gelegt, d. h. auch für die Betonagearbeiten. Die Darstellung der kapazitiven AOB ist zur Steigerung der Übersichtlichkeit auf Takt 1 und Takt 6 beschränkt ist. Auf die Darstellung der technologischen AOB zwischen den einzelnen Takten eines Fertigungsabschnitts wird verzichtet.

G.2.3.1 Erdgeschoss

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im EG ($FAZ_{max}(0|i)$) resultiert:

- Technologisch aus dem Bezugszeitpunkt „null“ und
- Kapazitiv aus dem FEZ des vorangegangenen Fertigungsabschnitts, der über die Anzahl der vorangegangenen Fertigungsabschnitte und die Taktzeit des EG beschrieben werden kann.

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im EG ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{max}(0|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: i > n_{FA,0} \\ D_{T,EG} \cdot (i-1) & wenn: i \leq n_{FA,0} \end{cases} \quad \text{(G.110)}$$

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im EG ($FEZ_{max}(0|i)$) resultiert aus dem FAZ des zugehörigen Fertigungsabschnitts und der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts im EG:

$$FEZ_{max}(0|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: i > n_{FA,0} \\ FAZ_{max}(0|i) + D_{FA,EG} & wenn: i \leq n_{FA,0} \end{cases} \quad \text{(G.111)}$$

G.2.3.2 Erstes Regelgeschoss

Erster Fertigungsabschnitt

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FAZ_{max}(1|1)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im EG ($FEZ_{max}(0|1)$) und
- Kapazitiv aus dem FAZ des letzten Fertigungsabschnitts im EG ($FAZ_{max}\left(0\middle|n_{FA,0}\right)$) und der Taktzeit des EG.

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{max}(1|1) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G = 1 \\ \max(AOB_t; AOB_k) & wenn: n_G > 1 \end{cases} \quad \text{(G.112)}$$

$$\left(mit: AOB_t = FEZ_{max}(0|1)\ u.\ AOB_k = FAZ_{max}\left(0\middle|n_{FA,0}\right) + D_{T,EG}\right)$$

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FEZ_{max}(1|1)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG und der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts in den RG sowie
- Kapazitiv aus dem FEZ des letzten Fertigungsabschnitts im EG ($FEZ_{max}\left(0\middle|n_{FA,0}\right)$) und der Taktzeit der RG (vgl. Abb. 55).

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{max}(1|1) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G = 1 \\ \max(AOB_t;\ AOB_k) & wenn: n_G > 1 \end{cases} \quad \text{(G.113)}$$

$$\left(mit: AOB_t = FAZ_{max}(1|1) + D_{FA,RG}\ u.\ AOB_k = FEZ_{max}\left(0\middle|n_{FA,0}\right) + D_{T,RG}\right)$$

Übrige Fertigungsabschnitte

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im ersten RG ($FAZ_{max}(1|i)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FEZ des darunterliegenden Fertigungsabschnitts im EG ($FEZ_{max}(0|i)$) und
- Kapazitiv aus dem FAZ des vorangegangenen Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FAZ_{max}(1|i-1)$) und der Taktzeit der RG.

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im ersten RG ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{max}(1|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G = 1 \vee\ i > n_{FA,0} \\ max(AOB_t;\ AOB_k) & wenn: n_G > 1\ \wedge\ 2 \leq i \leq n_{FA,0} \end{cases} \quad \text{(G.114)}$$

$$\left(mit: AOB_t = FEZ_{max}(0|i)\ u.\ AOB_k = FAZ_{max}(1|i-1) + D_{T,RG}\right)$$

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im ersten RG ($FEZ_{max}(1|i)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FAZ des zugehörigen Fertigungsabschnitts und der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts in den RG sowie
- Kapazitiv aus dem FEZ des vorangegangenen Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FEZ_{max}(1|i-1)$) und der Taktzeit der RG.

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im ersten RG ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{max}(1|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G = 1\ \vee\ i > n_{FA,0} \\ max(AOB_t;\ AOB_k) & wenn: n_G > 1\ \wedge\ 2 \leq i \leq n_{FA,0} \end{cases} \quad \text{(G.115)}$$

$$\left(mit: AOB_t = FAZ_{max}(1|i) + D_{FA,RG}\ u.\ AOB_k = FEZ_{max}(1|i-1) + D_{T,RG}\right)$$

G.2.3.3 Zweites Regelgeschoss

Erster Fertigungsabschnitt

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG ($FAZ_{max}(2|1)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FEZ_{max}(1|1)$) und
- Kapazitiv aus dem FAZ des letzten Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FAZ_{max}\left(1\middle|n_{FA,0}\right)$) und der Taktzeit der RG.

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{max}(2|1) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G \leq 2 \\ max(AOB_t;\ AOB_k) & wenn: n_G > 2 \end{cases} \tag{G.116}$$

$$\left(mit: AOB_t = FEZ_{max}(1|1)\ u.\ AOB_k = FAZ_{max}\left(1\middle|n_{FA,0}\right) + D_{T,RG}\right)$$

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG ($FEZ_{max}(2|1)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG und der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts in den RG sowie
- Kapazitiv aus dem FEZ des letzten Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FEZ_{max}\left(1\middle|n_{FA,0}\right)$) und der Taktzeit der RG.

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{max}(2|1) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G \leq 2 \\ max(AOB_t;\ AOB_k) & wenn: n_G > 2 \end{cases} \tag{G.117}$$

$$\left(mit: AOB_t = FAZ_{max}(2|1) + D_{FA,RG}\ u.\ AOB_k = FEZ_{max}\left(1\middle|n_{FA,0}\right) + D_{T,RG}\right)$$

Übrige Fertigungsabschnitte

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im zweiten RG ($FAZ_{max}(2|i)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FEZ des darunterliegenden Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FEZ_{max}(1|i)$) und
- Kapazitiv aus dem FAZ des vorangegangenen Fertigungsabschnitts im zweiten RG ($FAZ_{max}(2|i-1)$) und der Taktzeit der RG.

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im zweiten RG ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{max}(2,i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G \leq 2 \vee\ i > n_{FA,0} \\ max(AOB_t;\ AOB_k) & wenn: n_G > 2\ \wedge\ 2 \leq i \leq n_{FA,0} \end{cases} \tag{G.118}$$

$$\left(mit: AOB_t = FEZ_{max}(1|i)\ u.\ AOB_k = FAZ_{max}(2|i-1) + D_{T,RG}\right)$$

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im zweiten RG ($FEZ_{max}(2|i)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FAZ des zugehörigen Fertigungsabschnitts und der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts in den RG sowie
- Kapazitiv aus dem FEZ des vorangegangenen Fertigungsabschnitts im zweiten RG ($FEZ_{max}(2|i-1)$) und der Taktzeit der RG.

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im zweiten RG ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{max}(2,i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G \leq 2 \vee i > n_{FA,0} \\ max(AOB_t;\ AOB_k) & wenn: n_G > 2 \wedge 2 \leq i \leq n_{FA,0} \end{cases} \quad \text{(G.119)}$$

$$\left(mit: AOB_t = FAZ_{max}(2|i) + D_{FA,RG}\ u.\ AOB_k = FEZ_{max}(2|i-1) + D_{T,RG}\right)$$

G.2.3.4 Übrige Regelgeschosse

Wie in Abb. 55 dargestellt ergibt sich ab dem zweiten RG ein gleichmäßiger Bauablauf, weshalb die FAZ und FEZ der Vorgänge in den übrigen Geschossen und Fertigungsabschnitten auf Grundlage des FAZ und FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG bestimmt werden.

Erster Fertigungsabschnitt im dritten Regelgeschoss

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG ($FAZ_{max}(3|1)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG ($FEZ_{max}(2|1)$) und
- Kapazitiv aus dem FAZ des letzten Fertigungsabschnitts im zweiten RG ($FAZ_{max}\left(2\middle|n_{FA,0}\right)$) und der Taktzeit der RG.

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{max}(3|1) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G \leq 3 \\ \max(AOB_t;\ AOB_k) & wenn: n_G > 3 \end{cases} \quad \text{(G.120)}$$

$$\left(mit: AOB_t = FEZ_{max}(2|1)\ u.\ AOB_k = FAZ_{max}\left(2\middle|n_{FA,0}\right) + D_{T,RG}\right)$$

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG ($FEZ_{max}(3|1)$) resultiert aus dem FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG und der Dauer zur Erstellung des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG.

Die Dauer zur Erstellung des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG entspricht der Dauer zur Erstellung des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG jedoch inklusive möglicher Leer- und Wartezeiten. Die Dauer zur Erstellung des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG kann über die Differenz des zugehörigen FAZ und FEZ bestimmt werden.

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{max}(3|1) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G \leq 3 \\ FAZ_{max}(3|1) + FEZ_{max}(2|1) - FAZ_{max}(2|1) & wenn: n_G > 3 \end{cases} \quad \text{(G.121)}$$

Übrige Regelgeschosse und Fertigungsabschnitte

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im Geschoss j ($FAZ_{max}(j|i)$) resultiert, ausgehend vom FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG, aus (vgl. Abb. 53 und Abb. 55):

- Der Dauer zwischen den FAZ der ersten Fertigungsabschnitte im zweiten und dritten RG ($\Delta FAZ_{1,max}$) und dem betrachteten Geschoss j sowie
- der Dauer zwischen den FAZ des ersten und des betrachteten Fertigungsabschnitts i im zweiten RG ($\Delta FAZ_{2,max}$).

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im Geschoss j ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{max}(j|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: \\ & n_G \leq j \quad \vee \\ & i > n_{FA,0} \\ FAZ_{max}(2|1) + \Delta FAZ_{1,max} \cdot (j-2) + \Delta FAZ_{2,max} & wenn: \\ & 3 \leq j < n_G \ \wedge \\ & i \leq n_{FA,0} \end{cases} \tag{G.122}$$

$$\big(mit: \Delta FAZ_{1,max} = FAZ_{max}(3|1) - FAZ_{max}(2|1)\ u.$$

$$\Delta FAZ_{2,max} = FAZ_{max}(2|i) - FAZ_{max}(2|1)\big)$$

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im Geschoss j ($FEZ_{max}(j|i)$) resultiert, ausgehend vom FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG, aus (vgl. Abb. 53 und Abb. 55):

- Der Dauer zwischen den FEZ der ersten Fertigungsabschnitte im zweiten und dritten RG ($\Delta FEZ_{1,max}$) und dem betrachteten Geschoss j sowie
- der Dauer zwischen den FEZ des ersten und des betrachteten Fertigungsabschnitts i im zweiten RG ($\Delta FEZ_{2,max}$).

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im Geschoss j ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{max}(j|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: \\ & n_G \leq j \ \vee \\ & i > n_{FA,0} \\ FEZ_{max}(2|1) + \Delta FEZ_{1,max} \cdot (j-2) + \Delta FEZ_{2,max} & wenn: \\ & 3 \leq j < n_G \ \wedge \\ & i \leq n_{FA,0} \end{cases} \tag{G.123}$$

$$\big(mit: \Delta FEZ_{1,max} = FEZ_{max}(3|1) - FEZ_{max}(2|1)\ u.$$

$$\Delta FEZ_{2,max} = FEZ_{max}(2|i) - FEZ_{max}(2|1)\big)$$

G.2.4 Erwartete wirtschaftliche Bauzeit

Aufgrund der festgelegten kapazitiven AOB im Netzplan, woraus bei mehr als sechs Fertigungsabschnitten eine parallele Fertigung gleicher Takte in unterschiedlichen Fertigungsabschnitten erfolgt (vgl. Kap. G.2.1), ist bei der Ermittlung der erwarteten wirtschaftlichen Bauzeit – im Gegensatz zur Ermittlung der maximalen Bauzeit (vgl. Kap. G.2.3) – nicht zwingend der letzte Fertigungsabschnitt des obersten Geschosses maßgebend.

Sind mehr als sechs Fertigungsabschnitte vorgesehen, so resultiert die erwartete wirtschaftliche Bauzeit, aufgrund der vorgesehenen parallelen Fertigung gleicher Takte in unterschiedlichen Fertigungsabschnitten, aus dem sechsten Fertigungsabschnitt des obersten Geschosses. Liegen dem Netzplan hingegen weniger als sechs Fertigungsabschnitte zugrunde, so resultiert die erwartete wirtschaftliche Bauzeit aus dem letzten Fertigungsabschnitt des obersten Geschosses.

Die Ermittlung der erwarteten wirtschaftlichen Bauzeit ist dementsprechend in die ersten sechs und die übrigen Fertigungsabschnitte zu gliedern, weshalb zur Steigerung der Übersichtlichkeit der Berechnungen der bauzeitbestimmende Fertigungsabschnitt ($\tilde{n}_{FA,0}$) wie folgt definiert wird:

$$\tilde{n}_{FA,0} = min\left(6, n_{FA,0}\right) \tag{G.124}$$

Die erwartete wirtschaftliche Bauzeit resultiert unter Berücksichtigung des bauzeitbestimmenden Fertigungsabschnitts aus dem Netzplan in Abb. 54: [442]

$$D_{erw} = FEZ_{erw}\left(n_G - 1 \middle| \tilde{n}_{FA,0}\right) \tag{G.125}$$

Eine kontinuierliche Beschäftigung der Kolonnen bzw. das Minimum der Wartezeiten ergibt sich für exakt sechs Fertigungsabschnitte oder ein ganzzahliges Vielfaches von sechs Fertigungsabschnitten. In den übrigen Fällen kann keine oder eine nur teilweise kontinuierliche Beschäftigung der Kolonnen erzielt werden (vgl. Kap. D.5).

Bei mehr als sechs Fertigungsabschnitten steigt die vorzuhaltende Schalungsmenge im Vergleich zum Netzplan zur Ermittlung der maximalen Bauzeit entsprechend an (vgl. Abb. 53 u. Abb. 54).

Die Auswirkungen auf die zeitliche Lage der Vorgänge bei unterschiedlichen Taktzeiten im Erd- und in den RG bei der Berücksichtigung technologischer und kapazitiver AOB wurde bereits in Kapitel G.2.3 dargestellt.

[442] Zusätzlich sind noch die Dauer der Ausschalarbeiten und die Schalfristen der horizontalen Bauteile (i. d. R. 28 KT) zu berücksichtigen.

Die Ermittlung der FAZ und FEZ der Vorgangsknoten zur abschließenden Ermittlung der erwarteten wirtschaftlichen Bauzeit erfolgt auf Grundlage von Abb. 54 und wird hinsichtlich des EG, des ersten und zweiten RG sowie der übrigen RG gegliedert.

G.2.4.1 Erdgeschoss

Erster Fertigungsabschnitt

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im EG ($FAZ_{erw}(0|1)$) resultiert aus dem Projektbeginn und ergibt sich dementsprechend zu:

$$FAZ_{erw}(0|1) = 0 \tag{G.126}$$

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im EG ($FEZ_{erw}(0|1)$) resultiert aus dem FAZ des zugehörigen Fertigungsabschnitts und der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts im EG:

$$FEZ_{erw}(0|1) = FAZ_{erw}(0|1) + D_{FA,EG} = D_{FA,EG} \tag{G.127}$$

Übrige Fertigungsabschnitte

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im EG ($FAZ_{erw}(0|i)$) resultiert für bis zu sechs Fertigungsabschnitte aus der Taktzeit des EG. Da ab dem siebten Fertigungsabschnitt eine parallele Fertigung von Takten unterstellt wird, erfolgt die Ermittlung der zugehörigen FAZ auf Grundlage der FAZ der Fertigungsabschnitte 1 bis 6.

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im EG ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{erw}(0|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: i > n_{FA,0} \\ D_{T,EG} \cdot (i-1) & wenn: i \leq \tilde{n}_{FA,0} \\ FAZ_{erw}(0|i-6) & wenn: \tilde{n}_{FA,0} < i \leq n_{FA,0} \end{cases} \tag{G.128}$$

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im EG ($FEZ_{erw}(0|i)$) resultiert aus dem FAZ des zugehörigen Fertigungsabschnitts und der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts im EG.

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im EG ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{erw}(0|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: i > n_{FA,0} \\ FAZ_{erw}(0|i) + D_{FA,EG} & wenn: i \leq n_{FA,0} \end{cases} \tag{G.129}$$

G.2.4.2 Erstes Regelgeschoss

Erster Fertigungsabschnitt

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FAZ_{erw}(1|1)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im EG ($FEZ_{erw}(0|1)$) und

- Kapazitiv aus dem FAZ des bauzeitbestimmenden Fertigungsabschnitts im EG ($FAZ_{erw}\left(0\middle|\tilde{n}_{FA,0}\right)$) und der Taktzeit des EG.

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{erw}(1|1) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G = 1 \\ \max(AOB_t; AOB_k) & wenn: n_G > 1 \end{cases} \quad \text{(G.130)}$$

$$\left(mit: AOB_t = FEZ_{erw}(0|1)\ u.\ AOB_k = FAZ_{erw}\left(0\middle|\tilde{n}_{FA,0}\right) + D_{T,EG}\right)$$

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FEZ_{erw}(1|1)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG und der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts in den RG sowie
- Kapazitiv aus dem FEZ des bauzeitbestimmenden Fertigungsabschnitts im EG ($FAZ_{erw}\left(0\middle|\tilde{n}_{FA,0}\right)$) und der Taktzeit der RG.

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{erw}(1|1) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G = 1 \\ \max(AOB_t; AOB_k) & wenn: n_G > 1 \end{cases} \quad \text{(G.131)}$$

$$\left(mit: AOB_t = FAZ_{erw}(1|1) + D_{FA,RG}\ u.\ AOB_k = FEZ_{erw}\left(0\middle|\tilde{n}_{FA,0}\right) + D_{T,RG}\right)$$

Übrige Fertigungsabschnitte

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im ersten RG ($FAZ_{erw}(1|i)$) resultiert für bis zu sechs Fertigungsabschnitte:

- Technologisch aus dem FEZ des darunterliegenden Fertigungsabschnitts im EG ($FEZ_{max}(0|i)$) und
- Kapazitiv aus dem FAZ des vorangegangenen Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FAZ_{max}(1|i-1)$) und der Taktzeit der RG.

Da ab dem siebten Fertigungsabschnitt eine parallele Fertigung von Takten unterstellt wird, erfolgt die Ermittlung der zugehörigen FAZ auf Grundlage der FAZ der Fertigungsabschnitte 1 bis 6.

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im ersten RG ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{erw}(1|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G = 1 \ \vee \quad i > n_{FA,0} \\ max(AOB_t; AOB_k) & wenn: n_G > 1 \ \wedge \quad 2 \le i \le \tilde{n}_{FA,0} \\ FAZ_{erw}(1|i-6) & wenn: n_G > 1 \ \wedge \ \tilde{n}_{FA,0} < i \le n_{FA,0} \end{cases} \quad \text{(G.132)}$$

$$\left(mit: AOB_t = FEZ_{erw}(0|i)\ u.\ AOB_k = FAZ_{erw}(1|i-1) + D_{T,RG}\right)$$

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im ersten RG ($FEZ_{erw}(1|i)$) resultiert für bis zu sechs Fertigungsabschnitte:

- Technologisch aus dem FAZ des zugehörigen Fertigungsabschnitts und der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts in den RG sowie
- Kapazitiv aus dem FEZ des vorangegangenen Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FEZ_{max}(1|i-1)$) und der Taktzeit der RG.

Da ab dem siebten Fertigungsabschnitt eine parallele Fertigung von Takten unterstellt wird, erfolgt die Ermittlung der zugehörigen FEZ auf Grundlage der FEZ der Fertigungsabschnitte 1 bis 6.

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im ersten RG ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{erw}(1|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G = 1 \vee \quad i > n_{FA,0} \\ max(AOB_t; AOB_k) & wenn: n_G > 1 \wedge \quad 2 \leq i \leq \tilde{n}_{FA,0} \\ FEZ_{erw}(1|i-6) + D_{FA,EG} & wenn: n_G > 1 \wedge \tilde{n}_{FA,0} < i \leq n_{FA,0} \end{cases} \tag{G.133}$$

$$\left(mit: AOB_t = FAZ_{erw}(1|i) + D_{FA,RG}\ u.\ AOB_k = FEZ_{erw}(1|i-1) + D_{T,RG}\right)$$

G.2.4.3 Zweites Regelgeschoss

Erster Fertigungsabschnitt

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG ($FAZ_{erw}(2|1)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FEZ_{erw}(1|1)$) und
- Kapazitiv aus dem FAZ des bauzeitbestimmenden Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FAZ_{erw}\left(1\middle|\tilde{n}_{FA,0}\right)$) und der Taktzeit der RG.

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im ersten RG ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{erw}(2|1) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G \leq 2 \\ \max(AOB_t; AOB_k) & wenn: n_G > 2 \end{cases} \tag{G.134}$$

$$\left(mit: AOB_t = FEZ_{erw}(1|1)\ u.\ AOB_k = FAZ_{erw}\left(1\middle|\tilde{n}_{FA,0}\right) + D_{T,RG}\right)$$

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG ($FEZ_{erw}(2|1)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG und der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts in den RG sowie
- Kapazitiv aus dem FEZ des bauzeitbestimmenden Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FAZ_{erw}\left(1\middle|\tilde{n}_{FA,0}\right)$) und der Taktzeit der RG.

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{erw}(2|1) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G \leq 2 \\ \max(AOB_t; AOB_k) & wenn: n_G > 2 \end{cases} \quad \text{(G.135)}$$

$$\left(mit: AOB_t = FAZ_{erw}(2|1) + D_{FA,RG}\ u.\ AOB_k = FEZ_{erw}\left(1\middle|\tilde{n}_{FA,0}\right) + D_{T,RG}\right)$$

Übrige Fertigungsabschnitte

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im zweiten RG ($FAZ_{erw}(2|i)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FEZ des darunterliegenden Fertigungsabschnitts im ersten RG ($FEZ_{erw}(1|i)$) und
- Kapazitiv aus dem FAZ des vorangegangenen Fertigungsabschnitts im zweiten RG ($FAZ_{erw}(2|i-1)$) und der Taktzeit der RG.

Da ab dem siebten Fertigungsabschnitt eine parallele Fertigung von Takten unterstellt wird, erfolgt die Ermittlung der zugehörigen FAZ auf Grundlage der FAZ der Fertigungsabschnitte 1 bis 6.

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im zweiten RG ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{erw}(2|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G \leq 2 \ \vee \quad i > n_{FA,0} \\ max(AOB_t; AOB_k) & wenn: n_G > 2 \ \wedge \quad 2 \leq i \leq \tilde{n}_{FA,0} \\ FAZ_{erw}(2|i-6) & wenn: n_G > 2 \ \wedge \ \tilde{n}_{FA,0} < i \leq n_{FA,0} \end{cases} \quad \text{(G.136)}$$

$$\left(mit: AOB_t = FEZ_{erw}(1|i)\ u.\ AOB_k = FAZ_{erw}(2|i-1) + D_{T,RG}\right)$$

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im zweiten RG ($FEZ_{erw}(2|i)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FAZ des zugehörigen Fertigungsabschnitts und der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts in den RG sowie
- Kapazitiv aus dem FEZ des vorangegangenen Fertigungsabschnitts im zweiten RG ($FEZ_{erw}(2|i-1)$) und der Taktzeit der RG.

Da ab dem siebten Fertigungsabschnitt eine parallele Fertigung von Takten unterstellt wird, erfolgt die Ermittlung der zugehörigen FEZ auf Grundlage der FEZ der Fertigungsabschnitte 1 bis 6.

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im zweiten RG ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{erw}(2|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G \leq 2 \ \vee \quad i > n_{FA,0} \\ max(AOB_t; AOB_k) & wenn: n_G > 2 \ \wedge \quad 2 \leq i \leq \tilde{n}_{FA,0} \\ FEZ_{erw}(2|i-6) + D_{FA,EG} & wenn: n_G > 2 \ \wedge \ \tilde{n}_{FA,0} < i \leq n_{FA,0} \end{cases} \quad \text{(G.137)}$$

$$\left(mit: AOB_t = FAZ_{erw}(2|i) + D_{FA,RG}\ u.\ AOB_k = FEZ_{erw}(2|i-1) + D_{T,RG}\right)$$

G.2.4.4 Übrige Regelgeschosse

Wie in Abb. 55 dargestellt ergibt sich ab dem zweiten RG ein gleichmäßiger Bauablauf, weshalb die FAZ und FEZ der Vorgänge in den übrigen Geschossen und Fertigungsabschnitten auf Grundlage des FAZ und FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG bestimmt werden.

Erster Fertigungsabschnitt im dritten Regelgeschoss

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG ($FAZ_{erw}(3|1)$) resultiert:

- Technologisch aus dem FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG ($FEZ_{erw}(2|1)$) und
- Kapazitiv aus dem FAZ des bauzeitbestimmenden Fertigungsabschnitts im zweiten RG ($FAZ_{erw}\left(2\middle|\tilde{n}_{FA,0}\right)$) und der Taktzeit der RG.

Der FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{erw}(3|1) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G \leq 3 \\ \max(AOB_t; AOB_k) & wenn: n_G > 3 \end{cases} \tag{G.138}$$

$$\left(mit: AOB_t = FEZ_{erw}(2|1)\ u.\ AOB_k = FAZ_{erw}\left(2\middle|\tilde{n}_{FA,0}\right) + D_{T,RG}\right)$$

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG ($FEZ_{erw}(3|1)$) resultiert aus dem FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG und der Dauer zur Erstellung des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG.

Die Dauer zur Erstellung des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG entspricht der Dauer zur Erstellung des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG jedoch inklusive möglicher Leer- und Wartezeiten. Die Dauer zur Erstellung des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG kann über die Differenz des zugehörigen FAZ und FEZ bestimmt werden.

Der FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im dritten RG ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{erw}(3|1) = \begin{cases} \emptyset & wenn: n_G \leq 3 \\ FAZ_{erw}(3|1) + FEZ_{erw}(2|1) - FAZ_{erw}(2|1) & wenn: n_G > 3 \end{cases} \tag{G.139}$$

Übrige Regelgeschosse und Fertigungsabschnitte

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im Geschoss j ($FAZ_{erw}(j|i)$) resultiert, ausgehend vom FAZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG, aus (vgl. Abb. 54 und Abb. 55):

- Der Dauer zwischen den FAZ der ersten Fertigungsabschnitte im zweiten und dritten RG ($\Delta FAZ_{1,erw}$) und dem betrachteten Geschoss j sowie
- der Dauer zwischen den FAZ des ersten und des betrachteten Fertigungsabschnitts i im zweiten RG ($\Delta FAZ_{2,erw}$).

Der FAZ eines Fertigungsabschnitts i im Geschoss j ergibt sich somit zu:

$$FAZ_{erw}(j|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: \\ & i > n_{FA,0} \vee \\ & n_G \leq j \\ FAZ_{erw}(2|1) + \Delta FAZ_{1,erw} \cdot (j-2) + \Delta FAZ_{2,erw} & sonst \end{cases} \quad \text{(G.140)}$$

$$\left(mit: \Delta FAZ_{1,erw} = FAZ_{erw}(3|1) - FAZ_{erw}(2|1)\ u.\right.$$

$$\left.\Delta FAZ_{2,erw} = FAZ_{erw}(2|i) - FAZ_{erw}(2|1)\right)$$

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im Geschoss j ($FEZ_{erw}(j|i)$) resultiert, ausgehend vom FEZ des ersten Fertigungsabschnitts im zweiten RG, aus (vgl. Abb. 53 und Abb. 55):

- Der Dauer zwischen den FEZ der ersten Fertigungsabschnitte im zweiten und dritten RG ($\Delta FEZ_{1,erw}$) und dem betrachteten Geschoss j sowie
- der Dauer zwischen den FEZ des ersten und des betrachteten Fertigungsabschnitts i im zweiten RG ($\Delta FEZ_{2,erw}$).

Der FEZ eines Fertigungsabschnitts i im Geschoss j ergibt sich somit zu:

$$FEZ_{erw}(j|i) = \begin{cases} \emptyset & wenn: \\ & i > n_{FA,0} \vee \\ & n_G \leq j \\ FEZ_{erw}(2|1) + \Delta FEZ_{1,erw} \cdot (j-2) + \Delta FEZ_{2,erw} & sonst \end{cases} \quad \text{(G.141)}$$

$$\left(mit: \Delta FEZ_{1,erw} = FEZ_{erw}(3|1) - FEZ_{erw}(2|1)\ u.\right.$$

$$\left.\Delta FEZ_{2,erw} = FEZ_{erw}(2|i) - FEZ_{erw}(2|1)\right)$$

H. Grundlagen der Validierung und Sensitivitätsanalyse

H.1 Allgemeines

Im Rahmen der Validierung erfolgt eine Analyse der Genauigkeit der Gebäudeparameter (vgl. Kap. E.2), Fertigungsmengen (vgl. Kap. F), Gesamtaufwände (vgl. Kap. G.1.1) und Bauzeiten (vgl. Kap. G.2). Insbesondere um die Genauigkeitsanforderungen an einzelne Gebäudeparameter bewerten zu können, werden jeweils die Auswirkungen von Abweichungen einzelner Parameter auf die aus dem entwickelten Verfahren resultierenden Bauzeiten bewertet.

Die Sensitivitätsanalyse umfasst eine Bandbreitenanalyse und eine Analyse kritischer Werte der Gebäudeparameter. Im Rahmen der Bandbreitenanalyse werden Abweichungen unterschiedlicher Gebäudeparameter kombiniert betrachtet und Abweichungen der resultierenden Bauzeiten sowie deren Wahrscheinlichkeiten bewertet. Aus der durchgeführten Analyse kritischer Werte resultieren für die einzelnen Gebäudeparameter jeweils Schwellenwerte, ab denen sich Änderungen der berechneten Bauzeiten einstellen.

H.2 Terminologie

Im Rahmen der Validierung und Sensitivitätsanalyse werden differenziert:

- *Soll-Werte*: Werte, die aus der Anwendung des entwickelten Verfahrens resultieren
- *Ist-Werte*: Werte, die aus den Objektunterlagen der analysierten Bauobjekte resultieren

Im Rahmen der Validierung und Sensitivitätsanalyse werden die Soll-Werte wie in Abb. 56 zusätzlich unterschieden in:

- *Soll-0-Werte*: Soll-Werte, die auf Grundlage der Eingangsparameter (vgl. Kap. E.1) ermittelt werden (entspricht der Verfahrensanwendung in LPH 0 bis LPH 1)
- *Soll-1-Werte*: Soll-Werte, die auf Grundlage der Gebäudeparameter (vgl. Kap. E.2) ermittelt werden, die an die Ist-Gebäudeparameter angepasst sind (entspricht der Verfahrensanwendung in LPH 2 bis LPH 3)
- *Soll-2-Werte*: Soll-Werte, die auf Grundlage der Fertigungsmengen (vgl. Kap. F) ermittelt werden, die an die Ist-Fertigungsmengen angepasst sind (entspricht der Verfahrensanwendung in LPH 4 bis LPH 5)

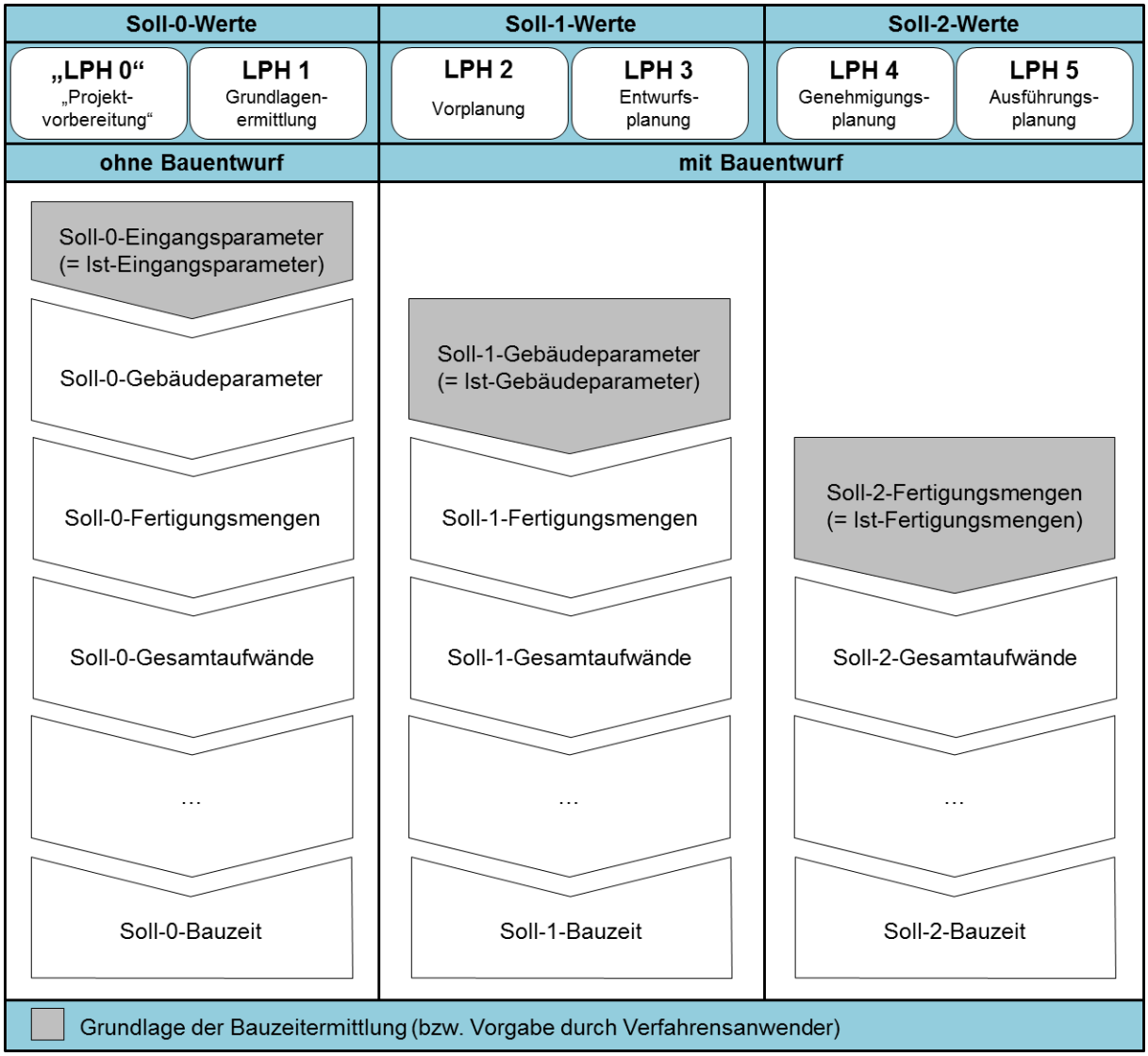


Abb. 56: Grundlagen der Ermittlung von Soll-0-, Soll-1- und Soll-2-Werten[443]

Wie bereits im Verfahrenskonzept erläutert (vgl. Kap. A.5), bilden die Gebäudeparameter, die auf Grundlage der Eingangsparameter „Gebäudeprofil“ (vgl. Kap. C.2.2) und „Maß der baulichen Nutzung“ (vgl. Kap. C.2.3) ermittelt werden, die Grundlage der Bauzeitermittlung in LPH 0 und LPH 1 (vgl. Abb. 56).[444]

Auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter werden anschließend die Soll-0-Fertigungsmengen und daraus die Soll-0-Gesamtaufwände unter Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Anschließend erfolgt daraus in Kombination mit der Krananzahl, Anzahl an AK, Anzahl der Fertigungsabschnitte usw. – ebenfalls auf Grundlage der Arbeitshilfe – die Ermittlung der Soll-0-Bauzeiten.

[443] Eigene Darstellung.

[444] Die verwendeten Eingangsparameter der vier ausgewerteten Bauobjekte zur Ermittlung der Soll-0-Gebäudeparameter sind in Tab. 63 bis Tab. 66 (Anlage) zusammengefasst.

Analog erfolgt auch die Ermittlung der Soll-1- und Soll-2-Werte der Fertigungsmengen, Gesamtaufwände und Bauzeiten, wobei die Soll-1-Werte auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und die Soll-2-Werte auf Grundlage der Soll-2-Fertigungsmengen jeweils anhand der Objektunterlagen ermittelt werden. Die Ermittlung der Soll-1-Werte entspricht der Verfahrensanwendung in LPH 2 bzw. LPH 3 und die Ermittlung der Soll-2-Werte der Verfahrensanwendung in LPH 4 bzw. LPH 5 (vgl. Abb. 56).

Aufgrund der definierten Grundannahmen bei der Entwicklung des Referenzgebäudes in Kapitel A.3 (z. B. rechteckige Grundrissformen, gleichbleibende Gebäudetiefen etc.), die den komplexen Grundrissgestaltungen der ausgewerteten Bauobjekte nicht vollständig entsprechen, bestehen zwischen den Soll-1- und Ist-Gebäudeparametern generell Unterschiede. Da diese jedoch als marginal eingestuft werden können, werden die beiden Begriffe „Ist-Gebäudeparameter“ und „Soll-1-Gebäudeparameter“ im Rahmen dieser Arbeit synonym verwendet.

Weiterhin weisen die ausgewerteten Bauobjekte, im Gegensatz zum Referenzgebäude, z. T. Staffelgeschosse und damit geschossweise variierende Fertigungsmengen auf. Die Fertigungsmengen pro Geschoss werden auf Grundlage der jeweiligen Gesamt-Ist-Fertigungsmengen und Geschossanzahl als Mittelwerte bestimmt. Trotz dieser idealisierten Ermittlung der Fertigungsmengen werden die beiden Begriffe „Ist-Fertigungsmengen“ und „Soll-2-Fertigungsmengen“ im Rahmen dieser Arbeit synonym verwendet.

H.3 Ablauf der Validierung und Sensitivitätsanalyse

Die Validierung und Sensitivitätsanalyse des entwickelten Verfahrens wird in sieben Stufen gegliedert (vgl. Abb. 57):

1.) *Analyse der Soll-0-Gebäudeparameter (Stufe 1)*: Gegenüberstellung der Soll-0- und Soll-1- bzw. Ist-Gebäudeparameter (vgl. Kap. I.1)

2.) *Analyse der Soll-0-Fertigungsmengen (Stufe 2):* Gegenüberstellung der Soll-0- und Soll-2- bzw. Ist-Fertigungsmengen (vgl. Kap. I.2)

3.) *Analyse der Soll-1-Fertigungsmengen (Stufe 3):* Gegenüberstellung der Soll-1- und Soll-2- bzw. Ist-Fertigungsmengen sowie deren Vergleich mit den Ergebnissen aus Stufe 2, um zu analysieren, ob und inwieweit exaktere Soll-Gebäudeparameter zu genaueren Fertigungsmengen führen (vgl. Kap. I.3)

4.) *Analyse der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände (Stufe 4):* Gegenüberstellung der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände mit Gesamtaufwänden, die aus den dargestell-

ten Indirekten Methoden zur Bauzeitermittlung verschiedener Autoren (vgl. Kap. L.1.2, Anlage) resultieren (vgl. Kap. I.4)[445]

5.) *Analyse der Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten (Stufe 5):* Generelle Plausibilitätskontrolle der ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten auf Ebene der zugrunde liegenden Vorgangsdauern bzw. Taktzeiten, Fertigungsmengen und Anzahlen der eingesetzten AK zur Bewertung der geforderten Ergebnissicherheit im Rahmen der Definition der Zielstellungen (vgl. Kap. A.2).[446]

   Dies umfasst auch die Analyse der Auswirkungen von Anpassungen der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt (vgl. Kap. G.1.3.2) und Krananzahl (vgl. Kap. G.1.3.3) innerhalb der zugehörigen Soll-Bandbreiten (vgl. Kap. I.5).

6.) *Bandbreitenanalyse (Stufe 6):* Analyse der Auswirkungen von Kombinationen abweichender Gebäudeparameter innerhalb der jeweiligen Soll-Bandbreiten auf die resultierenden Bauzeiten.

   Dies umfasst auch die Ermittlung und Bewertung der Wahrscheinlichkeiten der ermittelten Bauzeiten (vgl. Kap. I.6).

7.) *Analyse kritischer Werte der Gebäudeparameter (Stufe 7):* Ermittlung der kritischen Werte für die einzelnen Gebäudeparameter, die jeweils die Schwellenwerte darstellen, ab denen eine Änderung der resultierenden Bauzeiten eintritt (vgl. Kap. I.7)

Dass aus hinreichend exakten Fertigungsmengen und Aufwandswerten – unter üblichen Risiken – prozessorientiert grundsätzlich zutreffende Bauzeiten ermittelt werden können, kann als unstrittig betrachtet werden. Dies ergibt sich aus der regelmäßigen Anwendung der prozessorientierten Ablauf- und Terminplanung sowie der Netzplantechnik als Werkzeug der Projektüberwachung und -steuerung.

Da zur sinnvollen Gegenüberstellung der Soll- und Ist-Bauzeiten eine baubegleitende Dokumentation des Bauablaufs notwendig ist, um Störungen und Beschleunigungsmaßnahmen während der Bauphase auszufiltern und den Ressourceneinsatz wirtschaftlich bewerten zu können, und diese Daten zu den ausgewerteten Bauobjekten nicht vorliegen, ist der Vergleich von Soll- und Ist-Werten auf Gebäudeparameter und Fertigungsmengen beschränkt.

Der Validierung und Sensitivitätsanalyse werden vier abgeschlossene Bauobjekte zugrunde gelegt, die in Kapitel H.4.1 dargestellt sind.

---

[445] Da zwischen den ermittelten Soll-1- und Soll-2-Bauzeiten keine Abweichungen vorliegen (vgl. Kap. I.3.4), wird auf die detaillierte Analyse der Soll-2-Gesamtaufwände verzichtet.

[446] Da zwischen den ermittelten Soll-1- und Soll-2-Bauzeiten keine Abweichungen vorliegen (vgl. Kap. I.3.4), wird auf die detaillierte Analyse der Soll-2-Bauzeiten verzichtet.

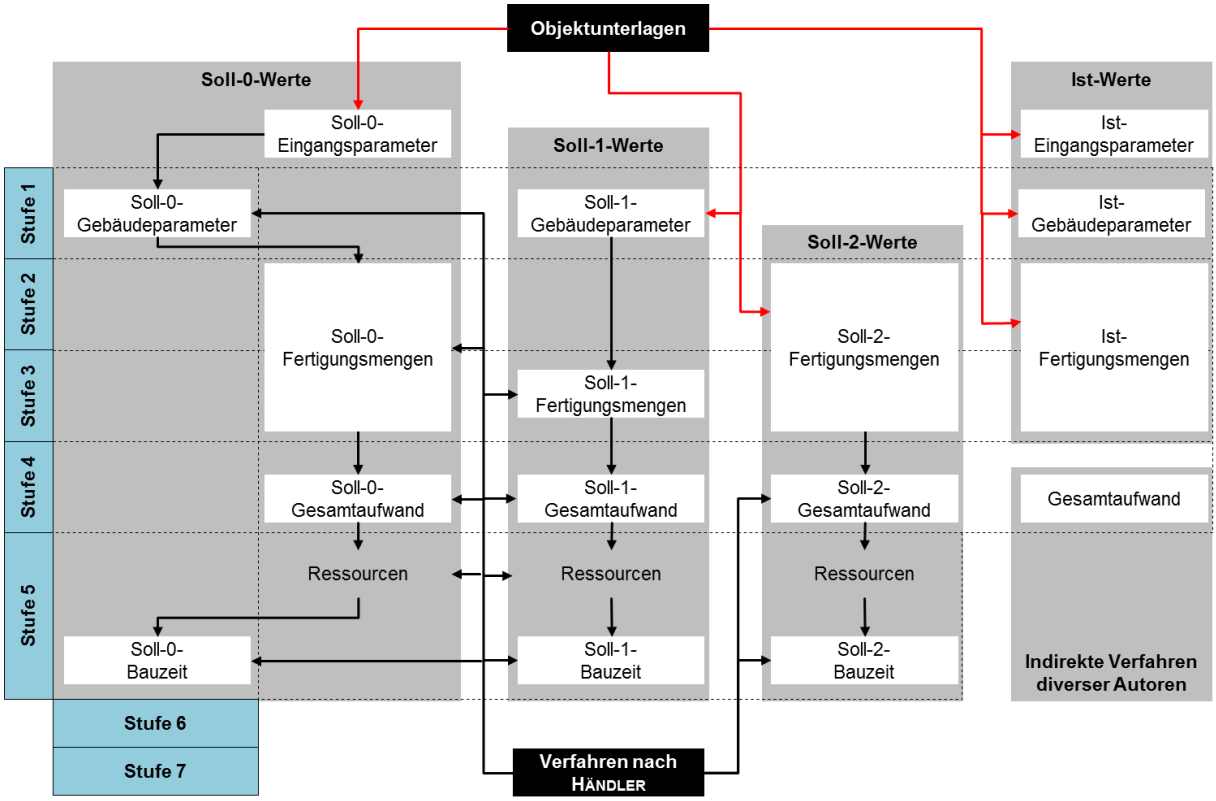


Abb. 57: Systematik der Validierung und Sensitivitätsanalyse[447]

Im Rahmen der Validierung und Sensitivitätsanalyse werden drei wesentliche Anforderungen an die Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens untersucht:

- *Genauigkeit der Soll-Werte*: Die Analyse der Genauigkeit erfolgt durch den Vergleich von erwarteten sowie minimalen und maximalen Soll-Werten, die aus der Anwendung des entwickelten Verfahrens resultieren, mit Ist-Werten, die aus den Objektunterlagen der untersuchten Bauobjekte resultieren.
- *Adaptivität der Soll-Werte*: Die Adaptivität beschreibt im Kontext der Informatik *„die Anpassung eines Systems oder einer Applikation an einen Benutzer und/oder eine Aufgabe.“*[448] Daraus abgeleitet bezeichnet die Adaptivität in der vorliegenden Arbeit die Fähigkeit der Anpassung des entwickelten Verfahrens (Applikation) an unterschiedliche Bauobjekte (Aufgaben).

[447] Eigene Darstellung. Anm.: Für die im Rahmen des Verfahrens verwendeten und analysierten Gebäudeparameter entsprechen die Soll-1-Gebäudeparameter im Wesentlichen den Ist-Gebäudeparametern, die Soll-2-Fertigungsmengen den Ist-Fertigungsmengen (vgl. Kap. H.2). Gleiches gilt für die Soll-0- und Ist-Eingangsparameter.

[448] HAMMER (1997), S. 6.

Die Analyse der Adaptivität erfolgt durch den Vergleich von Soll- und Ist-Intervallen.[449] Aufgrund der unterschiedlichen Bezugsgrößen der Soll-Intervalle (= erwarteter Soll-Wert) und Ist-Intervalle (= minimaler Ist-Wert), stellt das Ergebnis der Gegenüberstellung lediglich einen Indikator dar, aus dem sich Verbesserungspotenziale des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der Ermittlung der Soll-Werte näherungsweise ableiten lassen.

- *Sensitivität der Soll-Werte (Gebäudeparameter)*: Die Analyse der Sensitivität der Gebäudeparameter erfolgt durch eine Bandbreitenanalyse und die Analyse kritischer Werte, um die Auswirkungen auf die resultierenden Bauzeiten durch Abweichungen der Gebäudeparameter und deren Wahrscheinlichkeiten zu untersuchen.

H.4 Datengrundlage

H.4.1 Soll-1- und Ist-Wert-Ermittlung

Die Ermittlung der Soll-1- bzw. Ist-Gebäudeparameter und Soll-2- bzw. Ist-Fertigungsmengen erfolgt auf Grundlage von Objektunterlagen, die HACHERER (2019) zur Validierung des entwickelten Verfahrens auf dem Entwicklungsstand 10.10.2018 von der *Bayerischen Hausbau GmbH* zur Verfügung gestellt wurden.[450] Da sich die Analyse der Gebäudedaten von HACHERER (2019) ausschließlich auf innenliegende Bauelemente beschränkt,[451] wurden die Ist-Gebäudeparameter „Anteil der Fensterflächen“ und „Wandstärke der Außenwände“ sowie die Ist-Fertigungsmengen der Außenwände durch den Verfasser ermittelt.

Die Grundrisse der ausgewerteten Bauobjekte sind – unmaßstäblich – in Abb. 58 dargestellt und veranschaulichen, dass die Grundrisse der analysierten Bauobjekte, insbesondere im Vergleich zum zugrunde gelegten rechteckigen Grundriss des Referenzgebäudes (vgl. Kap. A.3), stark variieren und z. T. eine hohe Komplexität aufweisen. Dementsprechend kann grundsätzlich auch analysiert werden, ob sich komplexe Grundrissgestaltungen auf Soll-Ist-Abweichungen auswirken. Gleiches gilt für Soll-Ist-Abweichungen aufgrund von

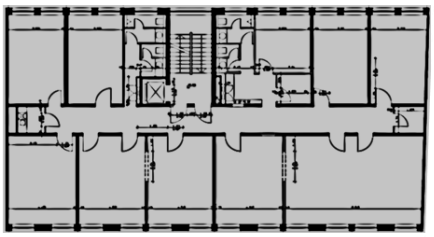
[449] Die ausführlichen Definitionen der Begriffe „Ist-Intervall“ und „Soll-Intervall“ ergeben sich aus dem Glossar.

[450] Vgl. BHI (2009A) bis BHI (2009D) u. . HACHERER (2019), S. 44. Anm.: Auf eine ausführliche Beschreibung der Bauobjekte wird an dieser Stelle verzichtet. Stattdessen wird auf HACHERER (2019) verwiesen. Da es sich bei BHI (2009A) bis BHI (2009D) um vertrauliche, unveröffentlichte Objektunterlagen handelt, findet weder an dieser Stelle noch in HACHERER (2019) eine standortbezogene Objektbeschreibung statt.

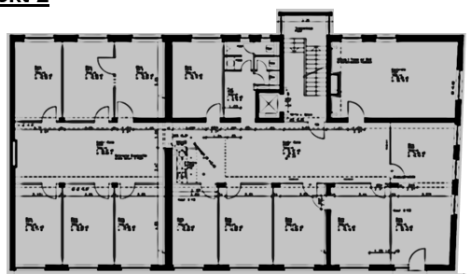
[451] Vgl. HACHERER (2019), S. 11.

Staffelgeschossen, da die untersuchten Bauobjekte, im Gegensatz zu den jeweils zugehörigen Referenzgebäuden, teilweise über Staffelgeschosse verfügen.

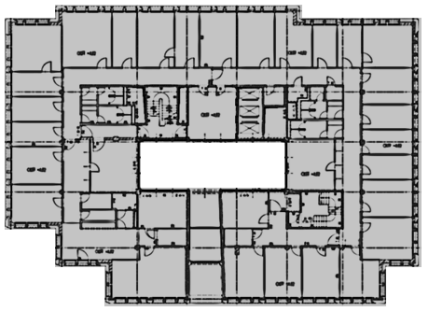
Objekt 1



Objekt 2



Objekt 3



Objekt 4

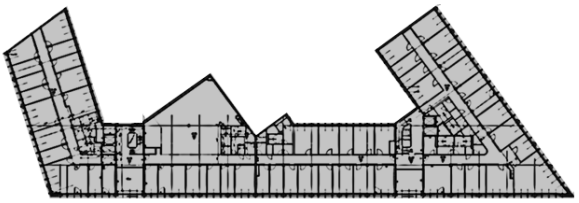


Abb. 58: Regelgeschoss-Grundrisse der untersuchten Bauobjekte[452]

H.4.2 Soll-Wert-Ermittlung

Mit Ausnahme der Soll-0-Eingangsparameter, Soll-1-Gebäudeparameter und Soll-2-Fertigungsmengen, werden die Soll-0-, Soll-1- und Soll-2-Werte auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt (vgl. Abb. 57).

Die zugrunde gelegten Eingangsparameter „Gebäudeprofil“ und „Maß der baulichen Nutzung“ (vgl. Kap. E.1) zur Bestimmung der Soll-0-Gebäudeparameter ergeben sich aus HACHERER (2019) und sind in Tab. 63 bis Tab. 66 (vgl. Kap. L.4.1.1, Anlage) zusammengefasst.[453] Da zu den analysierten Bauobjekten keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen, wird für den Eingangsparameter „Flächenbedarf des Nutzers“ (vgl. Kap. E.1.1.1) die jeweilige Ist-BGF laut Mietflächenübersicht und für den Eingangsparameter „Zulässige Anzahl von Vollgeschossen“ (vgl. Kap. E.1.2) die jeweilige Ist-Geschossanzahl in Ansatz gebracht.[454]

---

[452] Vgl. BHI (2009A) bis BHI (2009D) (nicht maßstäblich). Anm.: Im Vergleich zu HACHERER (2019), S. 47 ff erfolgte eine Änderung der Objektnummerierung (vgl. a. a. O., S. 51 ff).

[453] Auf den in HACHERER (2019) berücksichtigten Eingangsparameter „Anzahl der Innenhöfe“ (vgl. a. a. O., S. 46) wird in der vorliegenden Ausarbeitung verzichtet (vgl. Kap. E.2.7).

[454] Vgl. HACHERER (2019), S. 7.

H.4.3 Nicht bzw. nur teilweise berücksichtigte Objektdaten

Die detaillierte Analyse der Soll-0-Gebäudeparameter ist auf die im Rahmen der Bandbreitenanalyse ermittelten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter (vgl. Kap. H.5.5.1) der vier ausgewerteten Bauobjekte beschränkt, die bei Anpassungen der Soll-Werte auf den minimalen oder maximalen Soll-Wert zu einer Bauzeitänderung führen. Eine Zusammenfassung der ermittelten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter der vier ausgewerteten Bauobjekte ergibt sich aus Tab. 52 (vgl. Kap. I.6.5).

Gebäudeparameter

„Geschossanzahl“ und „Gebäudegrundfläche“

Zwischen der Gebäudegrundfläche und Geschossanzahl des Referenzgebäudes besteht aufgrund des angewendeten Ermittlungsverfahrens ein unmittelbarer Zusammenhang (vgl. Kap. E.2.2).

Da für den Eingangsparameter „Flächenbedarf des Nutzers“ jeweils die Ist-BGF laut Mietflächenübersicht in Ansatz gebracht wird (vgl. Kap. H.4.2),[455] bleibt die Gebäudegrundfläche – insbesondere bei der Ermittlung der Genauigkeit der erwarteten Soll-Werte – im Rahmen der Validierung weitestgehend unberücksichtigt.

Da bei der Festlegung des Maßes der baulichen Nutzung für den Eingangsparameter „Zulässige Anzahl von Vollgeschossen“ der jeweilige Ist-Wert der ausgewerteten Bauobjekte in Ansatz gebracht wird, besteht auch zwischen dem Ist- und erwarteten Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ ein direkter Zusammenhang, der eine sinnvolle Untersuchung der Abweichungen zwischen den Ist- und erwarteten Soll-Werten ausschließt.

Dementsprechend erfolgt für die einzelnen ausgewerteten Bauobjekte deshalb auch keine Ermittlung minimaler und maximaler Soll-Werte des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“. Da das entwickelte Verfahren lediglich eine mögliche anwenderspezifische Anpassung des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ – nicht aber der Gebäudegrundfläche – vorsieht, werden die Auswirkungen abweichender Geschossanzahlen auf die resultierenden Bauzeiten nicht anhand der Ist- sowie minimalen und maximalen Soll-Werte des Gebäudeparameters, sondern durch eine pauschale Reduzierung bzw. Erhöhung um jeweils ein Geschoss untersucht (vgl. Kap. I.1.8).

[455] Vgl. HACHERER (2019), S. 7.

EG-Höhen

Da in der Arbeitshilfe, mit Ausnahme des Eingangsparameters „Zulässige Anzahl von Vollgeschossen“, keine Vorgaben zum Maß der baulichen Nutzung getroffen wurden, resultieren aus der Anwendung des entwickelten Verfahrens für den Gebäudeparameter „Geschosshöhe des Erdgeschosses“ lediglich minimale und erwartete Soll-Werte, allerdings keine maximalen Soll-Werte (vgl. Kap. E.2.3).

„Wandstärke der Außenwände“ und „Anteil der Fensterflächen“

Den Gebäudeparametern „Wandstärke der Außenwände“ und „Anteil der Fensterflächen“ (vgl. Kap. E.2.9 u. Kap. E.2.14) werden jeweils lediglich zwei Bauobjekte zugrunde gelegt, da Bauobjekt 3 und 4 als Gebäude ohne tragende Außenwände eingestuft werden (vgl. Tab. 63 bis Tab. 66, Anlage).

„Bewehrungsanteil“

Da für die ausgewerteten Bauobjekte keine Ist-Werte der Bewehrungsmengen und damit auch keine Ist-Werte der Gebäudeparameter „Bewehrungsanteil Geschossdecken“, „Bewehrungsanteil Wände“ und „Bewehrungsanteil Stützen“ (vgl. Kap. E.2.15) vorliegen, ist die Betrachtung der Bewehrungsanteile auf die Analyse kritischer Werte (vgl. Kap. I.7) beschränkt.

Fertigungsmengen

Da bei der angewendeten prozessorientierten Bauzeitermittlung lediglich zwischen horizontalen und vertikalen Bauteilen differenziert wird (vgl. Kap. D.3), ist auch die detaillierte Analyse der Abweichungen zwischen den Soll- und Ist-Werten auf diese Fertigungsmengen beschränkt.[456]

„Bewehrungsmengen“

Für die ausgewerteten Bauobjekte liegen keine Ist-Bewehrungsmengen vor. Zur Ermittlung der Gesamtaufwände und Bauzeiten, die aus den Ist-Fertigungsmengen resultieren, werden die notwendigen Bewehrungsmengen daher stattdessen idealisiert bestimmt. Dies erfolgt auf Grundlage der erwarteten Soll-Werte der Bewehrungsanteile horizontaler und vertikaler Bauteile (vgl. Kap. E.2.15) und Ist-Betonvolumina (vgl. z. B. Tab. 100 u. Tab. 103, Anlage).

Bauzeit

Zur Steigerung der Nachvollziehbarkeit wird die Validierung und Sensitivitätsanalyse jeweils auf die erwarteten Bauzeiten (vgl. Kap. G.2.4) beschränkt, da für die ausgewerteten Bauobjekte zwischen den minimalen und erwarteten Bauzeiten lediglich marginale und zwischen

[456] Eine detaillierte Analyse der Fertigungsmengen auf Ebene einzelner Bauteile (Wände und Stützen) und/oder Bauelemente (Treppenhäuser, Aufzugsschächte etc.) wird nicht durchgeführt.

den maximalen und erwarteten Bauzeiten keine Bauzeitänderungen feststellbar sind (vgl. Kap. G.2.1).

H.5 Datenermittlung

Bei den durchgeführten Berechnungen werden die beiden Indizes j und k verwendet, die wie folgt differenziert werden (vgl. Abb. 59):

- *Index j*: Berechnungswert eines einzelnen Soll- oder Ist-Werts (z. B. „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ von Bauobjekt 1).[457]
- *Index k*: Berechnungswert aller zugehörigen Soll- oder Ist-Werte einer Parametergruppe (z. B. „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ aller Bauobjekte).

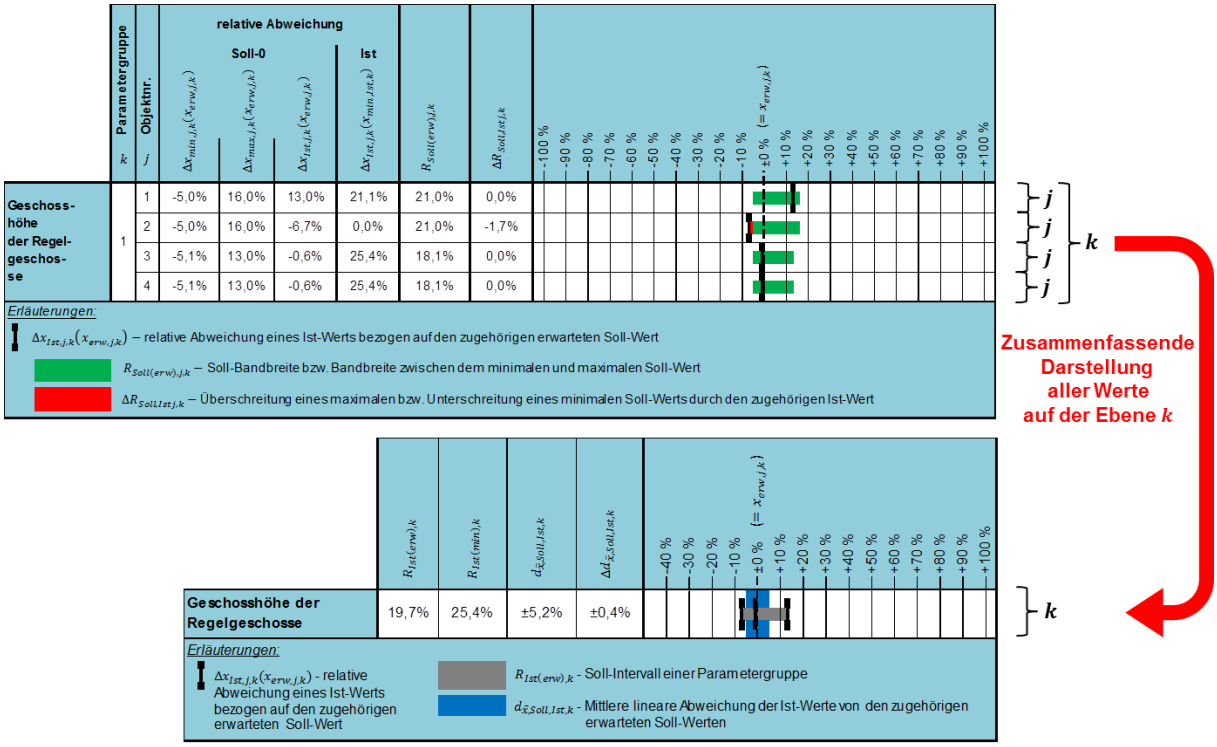


Abb. 59: Differenzierung der verwendeten Indizes j und k[458]

H.5.1 Absolute und relative Abweichungen

Aufgrund der jeweils unterschiedlichen Mengeneinheiten der Gebäudeparameter bzw. Fertigungsmengen, werden diese im Rahmen der Validierung und Sensitivitätsanalyse einheitlich skaliert, d. h. von absoluten auf relative Abweichungen umgerechnet.

---

[457] Da die Validierung auf vier Bauobjekte beschränkt ist, muss gelten: $j \leq 4$.

[458] Eigene Darstellung. Anm.: Die Darstellung zeigt Auszüge aus Abb. 148 und Abb. 149 (Anlage).

H.5.1.1 Absolute Abweichungen

Die Ermittlung der absoluten Abweichung eines minimalen Soll-Werts ($\Delta x_{min,j,k}$), eines maximalen Soll-Werts ($\Delta x_{max,j,k}$) und eines Ist-Werts ($\Delta x_{Ist,j,k}$) vom zugehörigen erwarteten Soll-Wert ($x_{erw,j,k}$) erfolgt über folgenden Zusammenhang:

$$\Delta x_{min,j,k}\ [m, m^2, \dots] = x_{min,j,k} - x_{erw,j,k} \tag{H.1}$$

$$\Delta x_{max,j,k}\ [m, m^2, \dots] = x_{max,j,k} - x_{erw,j,k} \tag{H.2}$$

$$\Delta x_{Ist,j,k}\ [m, m^2, \dots] = x_{Ist,j,k} - x_{erw,j,k} \tag{H.3}$$

Hierin repräsentieren $x_{min,j,k}$ den minimalen Soll-Absolutwert, $x_{erw,j,k}$ den erwarteten Soll-Absolutwert und $x_{max,j,k}$ den maximalen Soll-Absolutwert sowie $x_{Ist,j,k}$ den Ist-Absolutwert eines Parameters.

H.5.1.2 Relative Abweichungen bezogen auf den erwarteten Soll-Wert

Ausgehend von den absoluten Abweichungen (vgl. Kap. H.5.1.1) erfolgt die Ermittlung der relativen Abweichungen eines minimalen und maximalen Soll-Werts ($\Delta x_{min,j,k}(x_{erw,j,k})$ u. $\Delta x_{max,j,k(x_{erw,j,k})}$) sowie eines Ist-Werts ($\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$) jeweils bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-Wert.

Die relativen Abweichungen bezogen auf den erwarteten Soll-Wert werden unter anderem zur Berechnung der Soll-Intervalle (vgl. Kap. H.5.3.2) verwendet.

H.5.1.3 Relative Abweichungen bezogen auf den minimalen Ist-Wert

Die Ermittlung der relativen Abweichungen eines Ist-Werts bezogen auf den jeweils zugehörigen minimalen Ist-Wert ($\Delta x_{Ist,j}(x_{min,Ist})$) erfolgt über folgenden Zusammenhang:

$$\Delta x_{Ist,j,k}\ (x_{min,Ist,k})\ [-] = \frac{x_{Ist,j,k} - min(x_{Ist,1,k}, \dots, x_{Ist,n,k})}{min(x_{Ist,1,k}, \dots, x_{Ist,n,k})} \tag{H.4}$$

Die relativen Abweichungen bezogen auf den minimalen Ist-Wert werden zur Berechnung der Ist-Intervalle (vgl. Kap. H.5.3.1) verwendet.

H.5.2 Mittlere lineare Abweichung zwischen Ist- und erwarteten Soll-Werten

Da die ermittelten relativen Abweichungen zwischen Ist- und erwarteten Soll-Werten sowohl positive als auch negative Werte annehmen können, erfolgt bei der Analyse der Ergebnisse, statt der Berechnung des arithmetischen Mittelwerts, die Ermittlung der mittleren linearen

Abweichung ($d_{\bar{x}}$). Die mittlere lineare Abweichung aller Ist-Werte von den jeweils zugehörigen erwarteten Soll-Werten einer Parametergruppe ($d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$) berechnet sich aus der Summe der Beträge der relativen Abweichungen der Ist-Werte bezogen auf die jeweiligen erwarteten Soll-Werte ($\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$) und deren Anzahl über folgenden Zusammenhang:

$$d_{\bar{x},Soll,Ist,k} = \frac{\sum_{j=1}^{n} \left|\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})\right|}{n_j} \tag{H.5}$$

Hierbei repräsentiert n_j die Anzahl aller Parameter der Parametergruppe.

H.5.3 Bandbreiten und Intervalle

Im Rahmen der Bewertung werden Soll-Bandbreiten sowie Ist- und Soll-Intervalle differenziert.[459]

H.5.3.1 Ist-Intervalle

Das Ist-Intervall aller Parameter einer Parametergruppe ($R_{Ist(min),k}$) resultiert aus dem Minimal- und Maximalwert der relativen Abweichung der Ist-Werte bezogen auf den minimalen Ist-Wert:[460]

$$\begin{aligned} R_{Ist(min),k}\ [-] &= max\left(\Delta x_{Ist,j,k}\left(x_{min,Ist,k}\right)\right) - min\left(\Delta x_{Ist,j,k}\left(x_{min,Ist,k}\right)\right) \\ \leftrightarrow R_{Ist(min),k}\ [-] &= max\left(\Delta x_{Ist,j,k}\left(x_{min,Ist,k}\right)\right) \end{aligned} \tag{H.6}$$

H.5.3.2 Soll-Intervalle

Das Soll-Intervall aller Parameter einer Parametergruppe ($R_{Ist(erw),k}$) resultiert aus dem Minimal- und Maximalwert der relativen Abweichung der Ist-Werte bezogen auf den erwarteten Soll-Wert:

$$R_{Ist(erw),k}\ [-] = max\left(\Delta x_{Ist,j,k}\left(x_{erw,j,k}\right)\right) - min\left(\Delta x_{Ist,j,k}\left(x_{erw,j,k}\right)\right) \tag{H.7}$$

H.5.3.3 Soll-Bandbreiten

Die Soll-Bandbreite eines einzelnen Gebäudeparameters ($R_{Soll(erw),j,k}$) resultiert aus dem Minimal- und Maximalwert der relativen Abweichungen bezogen auf den erwarteten Soll-Wert:

$$R_{Soll(erw),j,k}\ [-] = \Delta x_{max,j,k}(x_{erw,j}) - \Delta x_{min,j,k}(x_{erw,j}) \tag{H.8}$$

---

[459] Die Definitionen der Begriffe „Soll-Bandbreite“, „Ist-Intervall“ und „Soll-Intervall“ ergeben sich aus dem Glossar.

[460] Wobei gilt: $min\left(\Delta x_{Ist,j,k}\left(x_{min,Ist,k}\right)\right) = 0$ (vgl. Eq. (H.4)).

Da lediglich für Gebäudeparameter minimale und maximale Soll-Werte vorliegen, ist auch die Analyse der Soll-Bandbreiten auf Gebäudeparameter beschränkt.

H.5.4 Unter- und Überschreitungen der Soll-Bandbreiten durch Ist-Werte

Im Rahmen der Untersuchung wird auch analysiert, inwieweit Ist-Werte innerhalb der jeweils zugehörigen Soll-Bandbreite liegen, um die Genauigkeit der minimalen und maximalen Soll-Werte sowie ggf. vorhandene Unter- und Überschreitungen der Soll-Bandbreiten zu bewerten. Die ermittelte Anzahl der Unter- und Überschreitungen wird darüber hinaus zur Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-Werte verwendet (vgl. Kap. H.5.5.3).

Da lediglich für Gebäudeparameter minimale und maximale Soll-Werte vorliegen, ist auch die Analyse der Unter- und Überschreitungen der Soll-Bandbreiten durch Ist-Werte auf Gebäudeparameter beschränkt.

Die Überschreitung eines maximalen Soll-Werts bzw. die Unterschreitung eines minimalen Soll-Werts durch den zugehörigen Ist-Wert eines einzelnen Gebäudeparameters ($\Delta R_{Soll,Ist,j}$) ermittelt sich zu:

$$\Delta R_{Soll,Ist,j,k} = \begin{cases} \Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k}) - \Delta x_{max,j,k}(x_{erw,j,k}) & wenn\colon\ \Delta x_{Ist,j,k} \geq \Delta x_{max,j,k} \\ \Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k}) - \Delta x_{min,j,k}(x_{erw,j,k}) & wenn\colon\ \Delta x_{Ist,j,k} \leq \Delta x_{min,j,k} \\ 0 & sonst \end{cases} \quad \text{(H.9)}$$

Da $\Delta R_{Soll,Ist,j,k}$ sowohl positive als auch negative Werte annehmen kann, erfolgt bei der Analyse der Ergebnisse, statt der Berechnung des arithmetischen Mittelwerts, die Ermittlung der mittleren linearen Abweichung ($d_{\bar{x}}$). Die mittlere lineare Abweichung der Unter- und Überschreitungen der Soll-Bandbreiten durch die jeweiligen Ist-Werte einer Parametergruppe ($\Delta d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$) berechnet sich aus der Summe der Beträge aller Unter- und Überschreitungen der Soll-Bandbreiten und deren Anzahl über folgenden Zusammenhang, wobei auch Nullwerte berücksichtigt werden:

$$\Delta d_{\bar{x},Soll,Ist,k} = \frac{\sum_{j=1}^{n_j} \left|\Delta R_{Soll,Ist,j,k}\right|}{n_j} \quad \text{(H.10)}$$

H.5.5 Bandbreitenanalyse

Bei der Bandbreitenanalyse wird der Einfluss der Variation der Gebäudeparameter auf die resultierenden Bauzeiten analysiert. Die Bandbreitenanalyse wird für jedes ausgewertete Bauobjekt jeweils in drei Schritte gegliedert, die nachfolgend erläutert werden:

- *Schritt 1:* Ermittlung bauzeitbeeinflussender Gebäudeparameter
- *Schritt 2:* Festlegung maßgebender Gebäudeparameter
- *Schritt 3:* Analyse der Wahrscheinlichkeiten der resultierenden Bauzeiten durch die Variation maßgebender Gebäudeparameter (Parameterkombinationen)

H.5.5.1 Schritt 1: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter

Zunächst werden für die vier ausgewerteten Bauobjekte jeweils die Bauzeiten ermittelt, die sich ergeben, wenn für alle Gebäudeparameter jeweils der erwartete Soll-0-Wert zugrunde gelegt wird (= Soll-0-Bauzeit bzw. „Bezugsbauzeit“).

Anschließend wird für jeweils einen Gebäudeparameter der minimale Soll-0-Wert und für die übrigen Gebäudeparameter der erwartete Soll-0-Wert in Ansatz gebracht und die daraus resultierende Bauzeit aus der Arbeitshilfe der Bezugsbauzeit gegenübergestellt.

In gleicher Weise wird mit den maximalen Gebäudeparametern verfahren.

Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter führen bei der Anpassung des Soll-Werts auf den minimalen oder maximalen Soll-Wert zu einer Bauzeitänderung.

Da keine Vorgaben zum Maß der baulichen Nutzung angegeben sind (vgl. Kap. H.4.3), sind für den maximalen Soll-Wert der EG-Höhen keine Angaben vorhanden. Als maximale EG-Höhe wird stattdessen der jeweilige maximale Soll-Wert der RG-Höhe in Ansatz gebracht.

Wie gezeigt wird, haben nicht alle Gebäudeparameter Auswirkungen auf die Bauzeit. Für die Anzahl der bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter ergibt sich für die vier ausgewerteten Bauobjekte (vgl. Kap. I.6.1 bis Kap. I.6.4):[461]

- *Bauobjekt 1*: Insgesamt 6 bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter
- *Bauobjekt 2*: Insgesamt 6 bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter
- *Bauobjekt 3*: Insgesamt 4 bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter
- *Bauobjekt 4*: Insgesamt 2 bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter

H.5.5.2 Schritt 2: Maßgebende Gebäudeparameter

Um den notwendigen Berechnungsaufwand zu reduzieren, werden aus den bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparametern der vier ausgewerteten Bauobjekte jeweils maximal die vier

[461] Die bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter der einzelnen ausgewerteten Bauobjekte sind in Tab. 52 zusammengefasst.

Gebäudeparameter ermittelt, deren Einfluss auf die Bauzeit am größten ist, und als maßgebende Gebäudeparameter festgelegt.[462]

Für die vier ausgewerteten Bauobjekte ergibt sich (vgl. Kap. I.6.1 bis Kap. I.6.4):[463]

- *Bauobjekt 1*: 4 maßgebende Gebäudeparameter
- *Bauobjekt 2*: 4 maßgebende Gebäudeparameter
- *Bauobjekt 3*: 4 maßgebende Gebäudeparameter
- *Bauobjekt 4*: 2 maßgebende Gebäudeparameter

H.5.5.3 Schritt 3: Wahrscheinlichkeiten der resultierenden Bauzeiten durch die Variation maßgebender Gebäudeparameter (Parameterkombinationen)

Für die maßgebenden Gebäudeparameter und deren jeweils mögliche Parameterkombinationen aus minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Werten werden die jeweils resultierenden Bauzeiten und deren jeweilige Wahrscheinlichkeit ermittelt. Aufgrund der Anzahl der festgelegten maßgebenden Gebäudeparameter (vgl. Kap. H.5.5.2) ergeben sich für die vier ausgewerteten Bauobjekte:

- *Bauobjekt 1*: 81 mögliche Parameterkombinationen
- *Bauobjekt 2*: 81 mögliche Parameterkombinationen
- *Bauobjekt 3*: 81 mögliche Parameterkombinationen
- *Bauobjekt 4*: 9 mögliche Parameterkombinationen

Der Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten der resultierenden Bauzeiten durch die Parameterkombinationen der maßgebenden Gebäudeparameter werden zwei unterschiedliche Eintrittswahrscheinlichkeiten der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-Werte zugrunde gelegt, die nachfolgend erläutert werden (vgl. Abb. 60):

- *Angenommene Wahrscheinlichkeit*: Wahrscheinlichkeit, die aus der ermittelten Anzahl der Unter- und Überschreitungen der minimalen bzw. maximalen Soll-0-Gebäudeparameter durch Ist-Werte abgeleitet wird (vgl. Kap. I.1) und
- *Exemplarische Wahrscheinlichkeit bzw. 20/60/20-Wahrscheinlichkeit:* Wahrscheinlichkeit, um die Auswirkungen möglicher Abweichungen der Eintrittswahrscheinlichkeiten der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-Werte zu analysieren.

---

[462] Bei der Festlegung der maßgebenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 1 und 2 werden weiterhin die Auswirkungen auf die Fertigungsmengen zugrunde gelegt, da die bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter teilweise zu identischen Bauzeitänderungen führen (vgl. Kap. L.4.6.1 u. Kap. L.4.6.2, Anlage).

[463] Die maßgebenden Gebäudeparameter der einzelnen ausgewerteten Bauobjekte sind in Tab. 52 zusammengefasst.

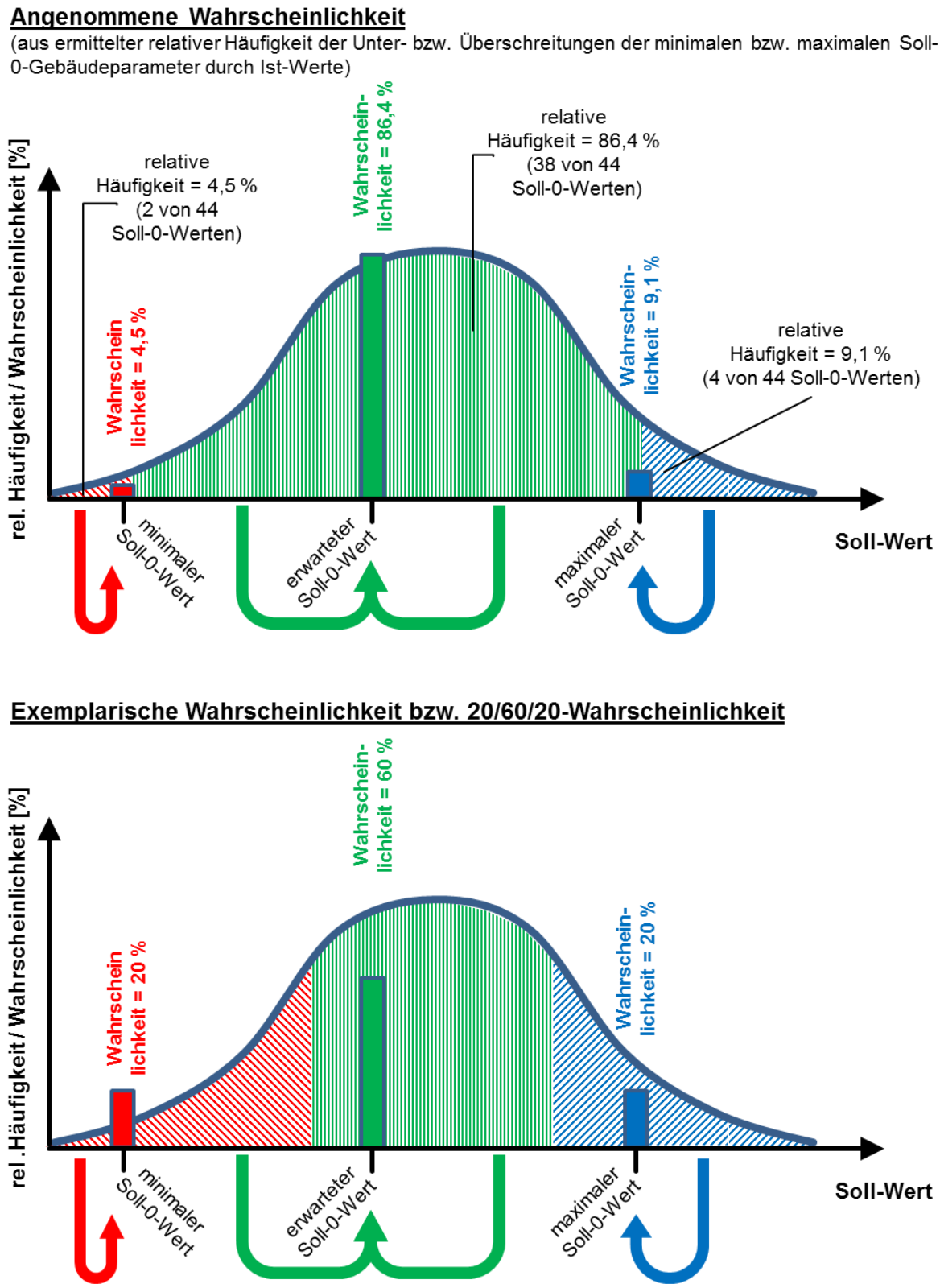


Abb. 60: Herleitung der angenommenen und exemplarischen Eintrittswahrscheinlichkeiten der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-Werte[464]

[464] Eigene Darstellung (qualitativ).

Die Ermittlung der jeweiligen Wahrscheinlichkeit einer einzelnen Parameterkombination bzw. Bauzeit erfolgt als Produkt der Wahrscheinlichkeiten der einzelnen maßgebenden Gebäudeparameter in tabellarischer Form (vgl. z. B. Tab. 134, Anlage). Die Gesamt-Wahrscheinlichkeit einer Bauzeit ergibt sich anschließend jeweils aus der Summe der Wahrscheinlichkeiten aller Parameterkombinationen, die zu exakt gleichen Bauzeiten führen.

Angenommene Wahrscheinlichkeit

Wie Stufe 1 der Validierung zeigt, liegen 38 der insgesamt 44 Ist-Gebäudeparameter (= 86,4 %) der vier ausgewerteten Bauobjekten innerhalb der jeweils zugehörigen Soll-Bandbreiten (vgl. Kap. I.1). Zwei Ist-Gebäudeparameter (= 4,5 %) unterschreiten ihren jeweiligen minimalen Soll-Wert und vier Ist-Gebäudeparameter (= 9,1 %) überschreiten ihren jeweiligen maximalen Soll-Wert (vgl. Abb. 148, Anlage). Für die Eintrittswahrscheinlichkeiten der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-Gebäudeparameter zur Ermittlung der angenommenen Wahrscheinlichkeiten der resultierenden Bauzeiten aus den Parameterkombinationen wird daher in Ansatz gebracht (vgl. Abb. 60):

- *Minimaler Soll-Wert eines Gebäudeparameters*:
  Eintrittswahrscheinlichkeit = 4,5 % (= relative Häufigkeit der Unterschreitung der Soll-Bandbreiten)
- *Erwarteter Soll-Wert eines Gebäudeparameters*:
  Eintrittswahrscheinlichkeit = 86,4 % (= relative Häufigkeit der Einhaltung der Soll-Bandbreiten)
- *Maximaler Soll-Wert eines Gebäudeparameters*:
  Eintrittswahrscheinlichkeit = 9,1 % (= relative Häufigkeit der Überschreitung der Soll-Bandbreiten)

Exemplarische Wahrscheinlichkeit bzw. 20/60/20-Wahrscheinlichkeit

Da die Sensitivitätsanalyse anhand diskreter Werte durchgeführt wird, deren kontinuierliche Verteilungsfunktionen unbekannt sind, und die zuvor angegebenen Eintrittswahrscheinlichkeiten lediglich anhand von 44 Gebäudeparametern ermittelt wurden, wird den Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter zusätzlich eine „pessimistische“ exemplarische Wahrscheinlichkeit zugrunde gelegt, um die Auswirkungen möglicher Abweichungen der Eintrittswahrscheinlichkeiten der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-Werte zu analysieren.

Hierbei wird dem minimalen und maximalen Soll-Wert jeweils eine Eintrittswahrscheinlichkeit von jeweils 20 % sowie dem erwarteten Soll-Wert eine Eintrittswahrscheinlichkeit von 60 % unterstellt (vgl. Abb. 60).

H.5.6 Kritische Werte der Gebäudeparameter

Bei der Analyse kritischer Werte werden für die einzelnen Gebäudeparameter die Schwellenwerte ermittelt, ab denen eine Änderung der resultierenden Bauzeiten eintritt.

Die Ermittlung der kritischen Absolutwerte unterhalb ($x_{krit,min,j,k}$) und oberhalb ($x_{krit,max,j,k}$) eines jeweiligen erwarteten Soll-Gebäudeparameters, erfolgt iterativ auf Grundlage der Arbeitshilfe.

Die absolute Abweichung eines kritischen Absolutwerts unterhalb ($\Delta x_{krit,min,j,k}$) und oberhalb ($\Delta x_{krit,max,j,k}$) eines erwarteten Soll-Gebäudeparameters ergibt sich zu:

$$\Delta x_{krit,min,j,k}\ [m, m^2, \dots] = x_{krit,min,j,k} - x_{erw,j,k} \tag{H.11}$$

$$\Delta x_{krit,max,j,k}\ [m, m^2, \dots] = x_{krit,max,j,k} - x_{erw,j,k} \tag{H.12}$$

Die zugehörigen relativen Abweichungen bezogen auf den erwarteten Soll-Wert berechnen anschließend sich zu:

$$\Delta x_{krit,min,j,k}(x_{erw,j,k})\ [-] = \frac{\Delta x_{krit,min,j,k}}{x_{erw,j,k}} \tag{H.13}$$

$$\Delta x_{krit,max,j,k}(x_{erw,j,k})\ [-] = \frac{\Delta x_{krit,max,j,k}}{x_{erw,j,k}} \tag{H.14}$$

I. Validierung und Sensitivitätsanalyse

Die Grundlagen der Validierung und Sensitivitätsanalyse ergeben sich aus Kapitel H.

I.1 Stufe 1: Analyse der Soll-0-Gebäudeparameter

Eine Darstellung aller ermittelten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter ergibt sich aus Abb. 148 und Abb. 149 (Anlage). In Abb. 150 (Anlage) werden die Soll- und Ist-Intervalle aller Gebäudeparameter weiterhin graphisch gegenübergestellt.

Die detaillierte Auswertung der Soll-0-Gebäudeparameter ist auf die im Rahmen der Bandbreitenanalyse ermittelten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter (vgl. Kap. H.5.5.1) der vier ausgewerteten Bauobjekte beschränkt (vgl. Kap. H.4.3), weshalb nachfolgend lediglich Auszüge der Analyse aller Gebäudeparameter aus Abb. 148 und Abb. 149 (Anlage) dargestellt werden. Eine Zusammenfassung der ermittelten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter der vier ausgewerteten Bauobjekte ergibt sich aus Tab. 52 (vgl. Kap. I.6.5).

Werden durch den Ansatz von Ist-Werten, minimalen oder maximalen Soll-Werten Bauzeitabweichungen im Vergleich zum Ansatz des jeweiligen erwarteten Soll-Werts festgestellt, so werden Detailbetrachtungen durchgeführt, die einen Vergleich der Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Ressourcen umfassen, um die Ursache dieser Bauzeitabweichungen zu ermitteln. Die jeweiligen Ergebnisse werden nachfolgend zusammengefasst – die Detailbetrachtungen ergeben sich aus Kapitel L.4.1 (Anlage).

Die nachfolgende Analyse ist auf die Abweichung der Soll- und Ist-Werte einzelner Gebäudeparameter beschränkt. Auswirkungen auf die Bauzeit, die aus der kombinierten Anpassung mehrerer Gebäudeparameter resultieren, werden im Rahmen der Bandbreitenanalyse (Stufe 6) in Kapitel I.6 bewertet.

I.1.1 Geschosshöhe der Regelgeschosse

Die berechneten Kennwerte zur Validierung des Soll-0-Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ sind in Abb. 61 und Abb. 62 zusammengefasst.

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Abb. 61 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte bezogen auf den jeweiligen erwarteten Soll-0-Wert von Bauobjekt 2 bis Bauobjekt 4 bei -0,6 % und -6,7 % liegen. Da hieraus keine Bauzeitänderungen resultieren (vgl. Tab. 28) können diese als geringfügig betrachtet werden. Für Bauobjekt 1 liegt hingegen eine relative Abweichung der Geschoss-

höhe der Regelgeschosse von +13,0 % vor, die zu einer geringfügigen Bauzeitänderung von +2,9 % führt (vgl. Tab. 28) und auf abweichende Anzahlen der Fertigungsabschnitte zurückzuführen ist.[465]

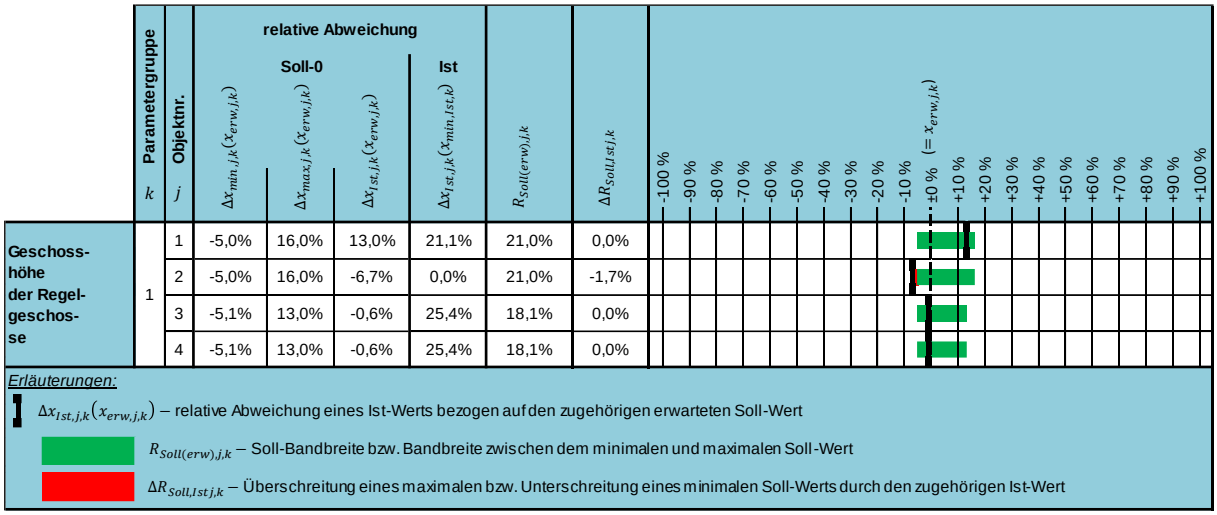


Abb. 61: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – RG-Höhe (Einzelwerte)[466]

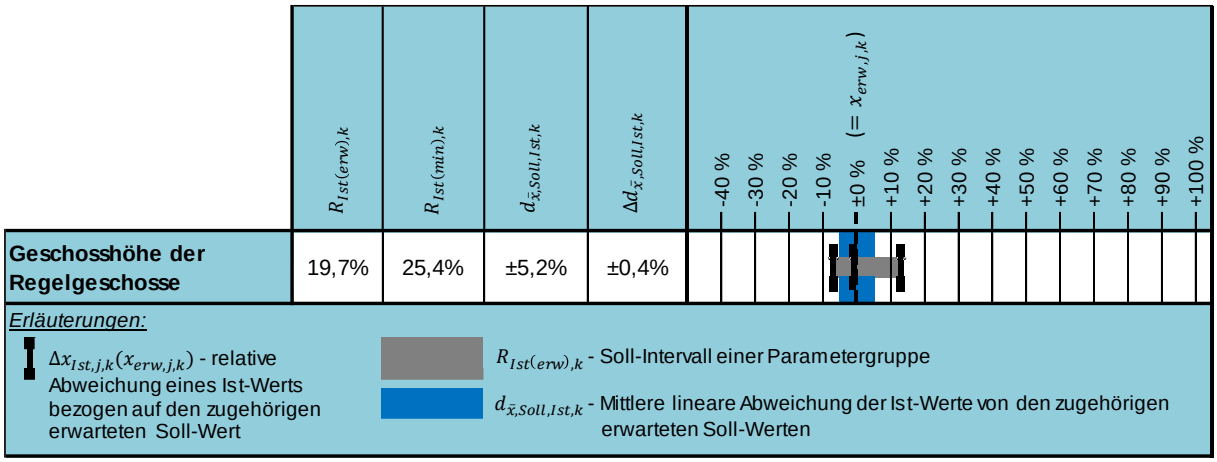


Abb. 62: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – RG-Höhe (Zusammenfassung)[467]

Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ ergibt sich zu ±5,2 % (vgl. Abb. 62).

Soll-Bandbreiten:

Die Soll-Bandbreiten liegen zwischen -5,0 % und +16,0 % (Betrag = 21,0 %; Bauobjekt 1 und 2) bzw. -5,1 % und +13,0 % (Betrag = 18,1 %; Bauobjekt 3 und 4) und werden lediglich

[465] Dies ergibt sich aus der zugehörigen Detailbetrachtung (vgl. Kap. L.4.1.3, Anlage).

[466] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 148 (Anlage).

[467] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 149 (Anlage).

durch den Ist-Wert von Bauobjekt 2 um 1,7 % unterschritten (vgl. Abb. 61). Werden statt der erwarteten Soll-Werte die minimalen und maximalen Soll-Werte in Ansatz gebracht, so resultieren daraus lediglich für Bauobjekt 1 und 2 marginale Bauzeitänderungen von +2,9 % bzw. +2,5 % (vgl. Tab. 29), die jeweils auf abweichende Anzahlen der Fertigungsabschnitte zurückzuführen sind.[468]

Tab. 28: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – RG-Höhe[469]

	Êrwarteter Soll-0-Wert	Erwartete Bauzeit	Ist-Wert	Erwartete Bauzeit	Bauzeitänderung (bezogen auf Soll-0)	
	[m]	[AT]	[m]	[AT]	[AT]	[%]
Bauobjekt 1	3,00	70	3,39	72	+2	+2,9%
Bauobjekt 2	3,00	81	2,80	81	±0	±0%
Bauobjekt 3	3,53	176	3,51	176	±0	±0%
Bauobjekt 4	3,53	244	3,51	244	±0	±0%

Tab. 29: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – RG-Höhe[470]

	Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert	Resultierende Bauzeit (Bauzeitänderung bezogen auf erwarteten Soll-0-Wert)		
				Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert
	[m]			[AT]		
Bauobjekt 1	2,85	3,00	3,48	70 (±0%)	70	72 (+2,9%)
Bauobjekt 2	2,85	3,00	3,48	81 (±0%)	81	83 (+2,5%)
Bauobjekt 3	3,35	3,53	3,99	176 (±0%)	176	176 (±0%)
Bauobjekt 4	3,35	3,53	3,99	244 (±0%)	244	244 (±0%)

Soll- und Ist-Intervall:

Das Soll-0-Intervall von 19,7 % unterschreitet das ermittelte Ist-Intervall von 25,4 % (vgl. Abb. 62) und bestätigt die Adaptivität des entwickelten Verfahrens hinsichtlich des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse“.[471]

[468] Dies ergibt sich aus der zugehörigen Detailbetrachtung (vgl. Kap. L.4.1.3, Anlage).

[469] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll- und Ist-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

[470] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

[471] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Gebäudeparameter ist in Abb. 150 (Anlage) dargestellt.

I.1.2 Geschosshöhe des Erdgeschosses

Die berechneten Kennwerte zur Validierung des Soll-0-Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses“ sind in Abb. 63 und Abb. 64 zusammengefasst.

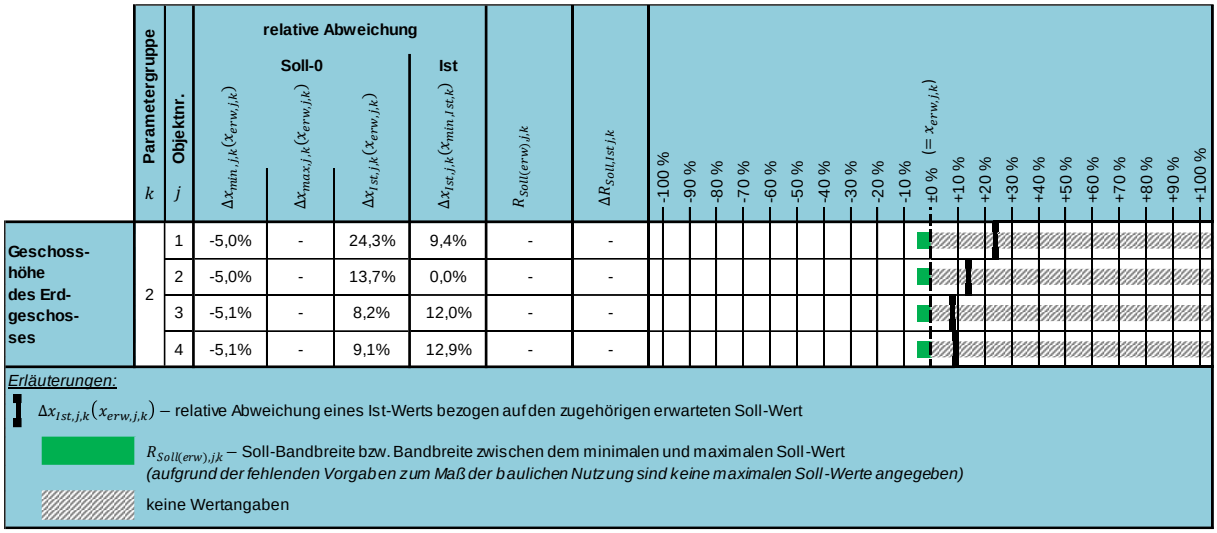


Abb. 63: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – EG-Höhe (Einzelwerte)[472]

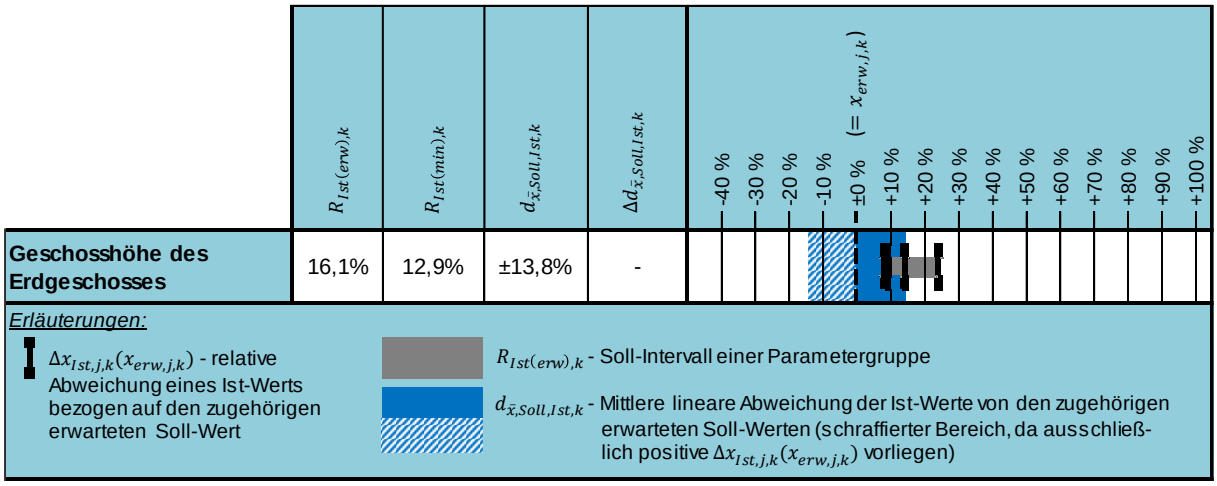


Abb. 64: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – EG-Höhe (Zusammenfassung)[473]

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Abb. 63 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte bezogen auf den jeweiligen erwarteten Soll-0-Wert von Bauobjekt 3 und Bauobjekt 4 bei +8,2 % und +9,1 % liegen. Da hieraus keine Bauzeitänderungen resultieren (vgl. Tab. 30) können diese als geringfügig betrachtet werden. Für Bauobjekt 1 und Bauobjekt 2 liegen hingegen relative Abweichungen der Geschosshöhen der Erdgeschosse von +24,3 % und +13,7 % vor, die zu geringfügigen

[472] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 148 (Anlage).

[473] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 149 (Anlage).

Bauzeitänderungen von +2,9 % bzw. +2,5 % führen (vgl. Tab. 30) und jeweils auf abweichende Anzahlen der Fertigungsabschnitte zurückzuführen sind.[474]

Tab. 30: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – EG-Höhe[475]

	Êrwarte-ter Soll-0-Wert	Erwartete Bauzeit	Ist-Wert	Erwartete Bauzeit	Bauzeitänderung (bezogen auf Soll-0)	
	[m]	[AT]	[m]	[AT]	[AT]	[%]
Bauobjekt 1	3,00	70	3,73	72	+2	+2,9%
Bauobjekt 2	3,00	81	3,41	83	+2	+2,5%
Bauobjekt 3	3,53	176	3,82	176	±0	±0%
Bauobjekt 4	3,53	244	3,85	244	±0	±0%

Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte des Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses“ ergibt sich zu ±13,8 % (vgl. Abb. 64).

Soll-Bandbreiten:

Aufgrund fehlender Vorgaben zum Maß der baulichen Nutzung der ausgewerteten Bauobjekte (im Speziellen zur zulässigen Höhe der baulichen Anlage) wurden für den Gebäudeparameter „Geschosshöhe des Erdgeschosses“ keine maximalen Soll-Werte ermittelt (vgl. Kap. E.2.3). Abb. 63 zeigt, dass die minimalen Soll-0-Werte die erwarteten Soll-0-Werte um -5,0 % (Bauobjekt 1 und 2) bzw. -5,1 % (Bauobjekt 3 und 4) unterschreiten. Werden statt der erwarteten Soll-Werte die minimalen Soll-Werte in Ansatz gebracht, so resultieren daraus keine Bauzeitänderungen (vgl. Tab. 31).

Soll- und Ist-Intervall:

Das Soll-0-Intervall von 16,1 % überschreitet das ermittelte Ist-Intervall von 12,9 % (vgl. Abb. 64) und offenbart Verbesserungspotenziale des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der erwarteten Soll-0-Werte des Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses“.[476]

[474] Dies ergibt sich aus der zugehörigen Detailbetrachtung (vgl. Kap. L.4.1.4, Anlage).

[475] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll- und Ist-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

[476] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Gebäudeparameter ist in Abb. 150 (Anlage) dargestellt.

Tab. 31: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – EG-Höhe[477]

	Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert	Resultierende Bauzeit (Bauzeitänderung bezogen auf erwarteten Soll-0-Wert)		
				Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert
	[m]			[AT]		
Bauobjekt 1	2,85	3,00	k. A.	70 (±0%)	70	k. A.
Bauobjekt 2	2,85	3,00	k. A.	81 (±0%)	81	k. A.
Bauobjekt 3	3,35	3,53	k. A.	176 (±0%)	176	k. A.
Bauobjekt 4	3,35	3,53	k. A.	244 (±0%)	244	k. A.

I.1.3 Gebäudetiefe

Die berechneten Kennwerte zur Validierung des Soll-0-Gebäudeparameters „Gebäudetiefe“ sind in Abb. 65 und Abb. 66 zusammengefasst.

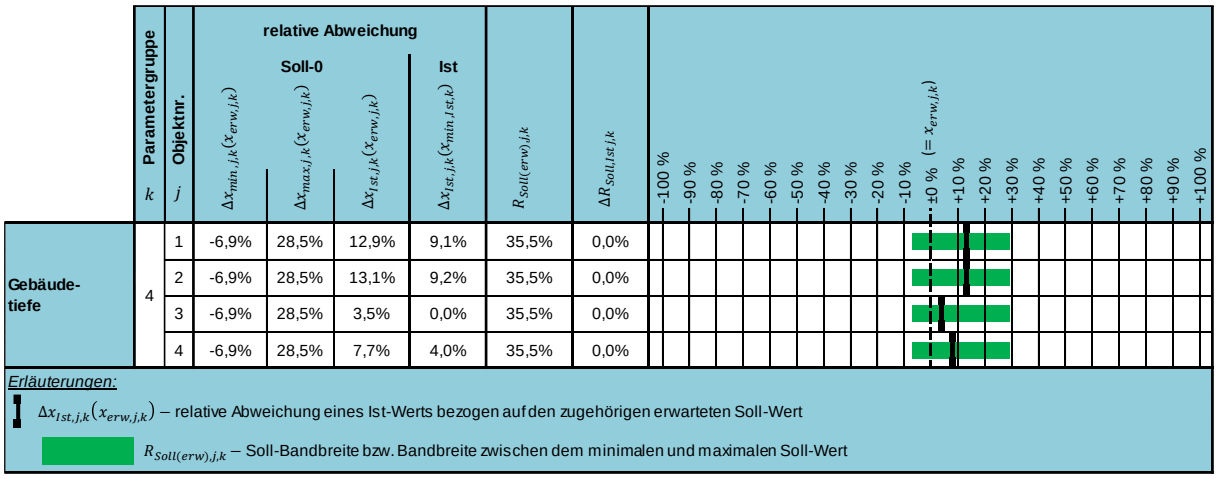


Abb. 65: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Gebäudetiefe (Einzelwerte)[478]

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Abb. 65 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte bezogen auf den jeweiligen erwarteten Soll-0-Wert zwischen +3,5 % und +13,1 % liegen. Da hieraus keine Bauzeitänderungen resultieren (vgl. Tab. 32) können diese als geringfügig betrachtet werden.

[477] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

[478] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 148 (Anlage).

Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte des Gebäudeparameters „Gebäudetiefe“ ergibt sich zu ±9,3 % (vgl. Abb. 66).[479]

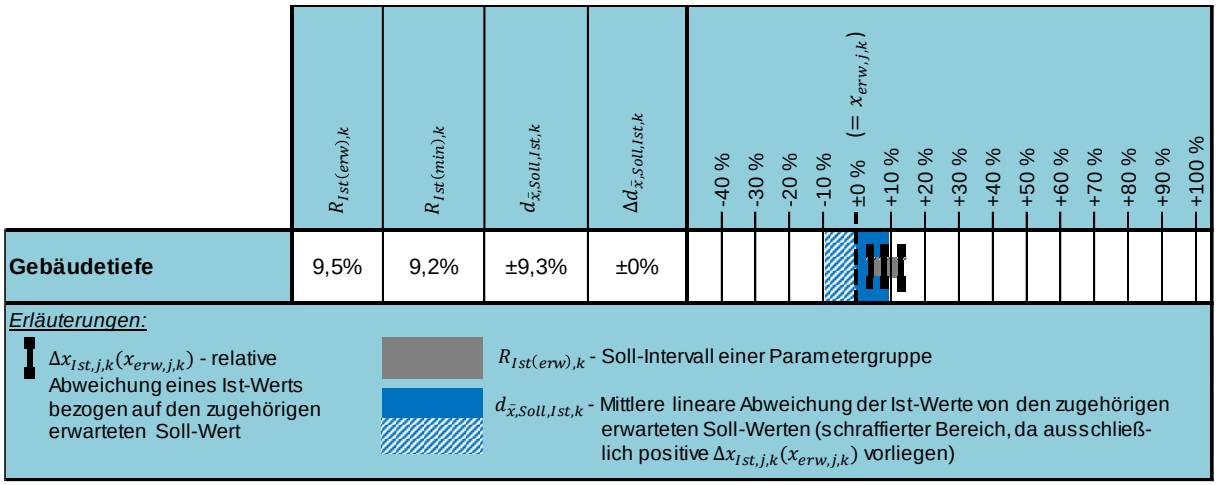


Abb. 66: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Gebäudetiefe (Zusammenfassung)[480]

Tab. 32: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Gebäudetiefe[481]

	Êrwarteter Soll-0-Wert	Erwartete Bauzeit	Ist-Wert	Erwartete Bauzeit	Bauzeitänderung (bezogen auf Soll-0)	
	[m]	[AT]	[m]	[AT]	[AT]	[%]
Bauobjekt 1	13,00	70	14,68	70	±0	±0%
Bauobjekt 2	13,00	81	14,70	81	±0	±0%
Bauobjekt 3	13,00	176	13,46	176	±0	±0%
Bauobjekt 4	13,00	244	14,00	244	±0	±0%

Soll-Bandbreiten:

Die Soll-Bandbreite liegt jeweils zwischen -6,9 % und +28,5 % (Betrag = 35,5 %) und wird durch keinen der Ist-Werte unter- bzw. überschritten (vgl. Abb. 65). Werden statt der erwarteten Soll-Werte die minimalen und maximalen Soll-Werte in Ansatz gebracht, so resultieren daraus für Bauobjekt 2 und Bauobjekt 4 keine Bauzeitänderungen (vgl. Tab. 33). Für Bauobjekt 1 und Bauobjekt 4 sind hingegen deutliche Bauzeitänderungen von -45,7 % bzw. -47,7 % feststellbar (vgl. Tab. 33), die jeweils auf die deutlich abweichenden Fertigungsmen-

[479] Die ermittelte mittlere lineare Abweichung entspricht zugleich dem arithmetischen Mittelwert, da die Ist-Werte die erwarteten Soll-Werte ausnahmlos überschreiten.

[480] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 149 (Anlage).

[481] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll- und Ist-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

gen zurückzuführen sind, aus denen unterschiedliche Taktzeiten und Dauern zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts resultieren.[482]

Tab. 33: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Gebäudetiefe[483]

	Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert	Resultierende Bauzeit (Bauzeitänderung bezogen auf erwarteten Soll-0-Wert)		
				Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert
	[m]			[AT]		
Bauobjekt 1	12,10	13,00	16,71	70 (±0%)	70	38 (-45,7%)
Bauobjekt 2	12,10	13,00	16,71	81 (±0%)	81	81 (±0%)
Bauobjekt 3	12,10	13,00	16,71	92 (-47,7%)	176	176 (±0%)
Bauobjekt 4	12,10	13,00	16,71	244 (±0%)	244	244 (±0%)

Soll- und Ist-Intervall:

Das Soll-0-Intervall von 9,5 % überschreitet das ermittelte Ist-Intervall von 9,2 % geringfügig (vgl. Abb. 66) und offenbart Verbesserungspotenziale des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der erwarteten Soll-0-Werte des Gebäudeparameters „Gebäudetiefe“.[484]

I.1.4 Deckenstärke

Die berechneten Kennwerte zur Validierung des Soll-0-Gebäudeparameters „Deckenstärke“ sind in Abb. 67 und Abb. 68 zusammengefasst.

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Abb. 67 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte bezogen auf den jeweiligen erwarteten Soll-0-Wert von Bauobjekt 1 und Bauobjekt 2 bei +12,0 % und -2,0 % liegen. Da hieraus keine Bauzeitänderungen resultieren (vgl. Tab. 34) können diese als geringfügig betrachtet werden. Für Bauobjekt 3 und Bauobjekt 4 liegen hingegen relative Abweichungen der Deckenstärke von jeweils +20,0 % vor, die zu Bauzeitänderungen von +23,9 % bzw. +27,9 % führen (vgl. Tab. 34) und jeweils auf die deutlich abweichenden Fertigungsmengen

[482] Dies ergibt sich aus der zugehörigen Detailbetrachtung (vgl. Kap. L.4.1.5 , Anlage).

[483] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

[484] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Gebäudeparameter ist in Abb. 150 (Anlage) dargestellt.

zurückzuführen sind, aus denen unterschiedliche Taktzeiten und Dauern zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts resultieren.[485]

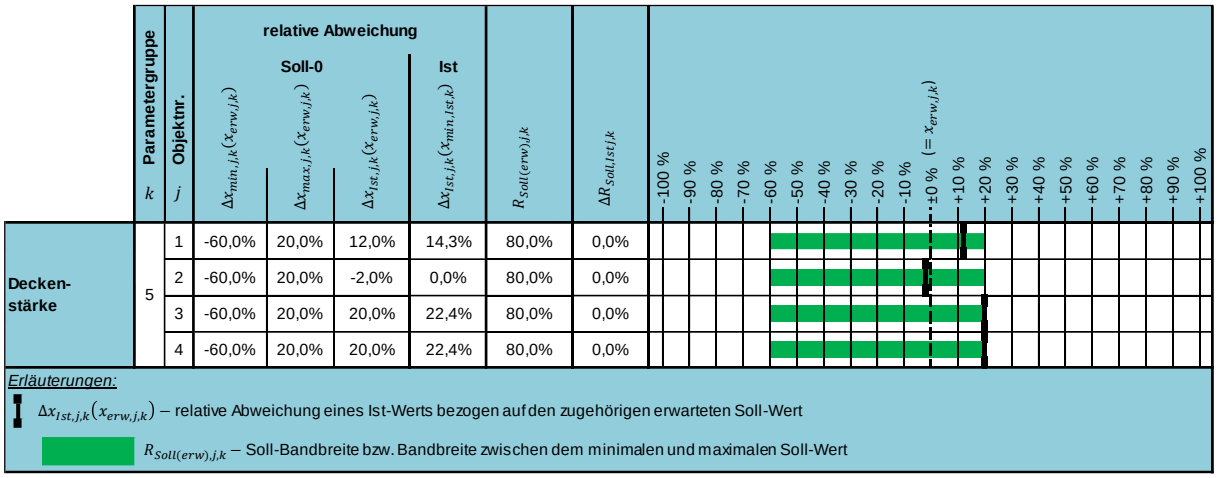


Abb. 67: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Deckenstärke (Einzelwerte)[486]

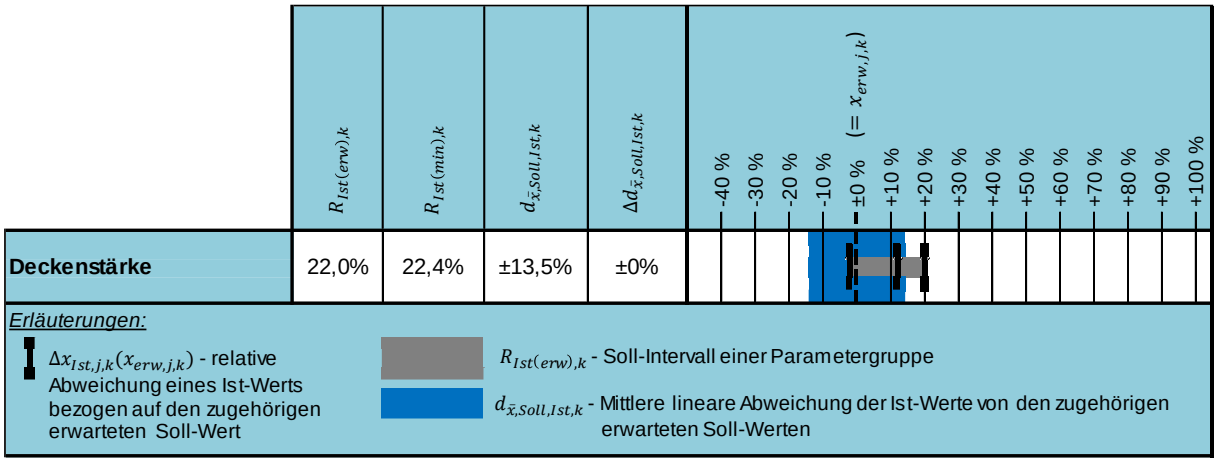


Abb. 68: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Deckenstärke (Zusammenfassung)[487]

Tab. 34: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Deckenstärke[488]

	Êrwarte-ter Soll-0-Wert	Erwartete Bauzeit	Ist-Wert	Erwartete Bauzeit	Bauzeitänderung (bezogen auf Soll-0)	
	[m]	[AT]	[m]	[AT]	[AT]	[%]
Bauobjekt 1	0,25	70	0,28	70	±0	±0%
Bauobjekt 2	0,25	81	0,25	81	±0	±0%
Bauobjekt 3	0,25	176	0,30	218	+42	+23,9%
Bauobjekt 4	0,25	244	0,30	312	+68	+27,9%

[485] Dies ergibt sich aus der zugehörigen Detailbetrachtung (vgl. Kap. L.4.1.6, Anlage).

[486] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 148 (Anlage).

[487] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 149 (Anlage).

[488] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll- und Ist-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ ergibt sich zu ±13,5 % (vgl. Abb. 68).

Soll-Bandbreiten:

Die Soll-Bandbreite liegt jeweils zwischen -60,0 % und +20,0 % (Betrag = 80,0 %) und wird durch keinen der Ist-Werte unter- bzw. überschritten (vgl. Abb. 67). Werden statt der erwarteten Soll-Werte die minimalen und maximalen Soll-Werte in Ansatz gebracht, so resultieren daraus lediglich für Bauobjekt 3 und 4 Bauzeitänderungen von ±23,9 % bzw. -13,9 % und +27,9 % (vgl. Tab. 35), die jeweils auf die deutlich abweichenden Fertigungsmengen zurückzuführen sind, aus denen unterschiedliche Taktzeiten und Dauern zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts resultieren.[489]

Tab. 35: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Deckenstärke[490]

	Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert	Resultierende Bauzeit (Bauzeitänderung bezogen auf erwarteten Soll-0-Wert)		
				Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert
	[m]			[AT]		
Bauobjekt 1	0,10	0,25	0,30	70 (±0%)	70	70 (±0%)
Bauobjekt 2	0,10	0,25	0,30	81 (±0%)	81	81 (±0%)
Bauobjekt 3	0,10	0,25	0,30	134 (-23,9%)	176	218 (+23,9%)
Bauobjekt 4	0,10	0,25	0,30	210 (-13,9%)	244	312 (+27,9%)

Soll- und Ist-Intervall:

Das Soll-0-Intervall des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ von 22,0 % unterschreitet das ermittelte Ist-Intervall von 22,4 % (vgl. Abb. 68).[491] Da die Festlegung des Soll-0-Werts des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ jeweils unabhängig von den Eingangsparametern erfolgt (vgl. Kap. E.2.8), kann die Adaptivität dieses Gebäudeparameters durch den Vergleich des Soll- und Ist-Intervalls nicht eindeutig bewertet werden.

[489] Dies ergibt sich aus der zugehörigen Detailbetrachtung (vgl. Kap. L.4.1.6, Anlage).

[490] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

[491] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Gebäudeparameter ist in Abb. 150 (Anlage) dargestellt.

I.1.5 Wandstärke der Außenwände

Der Gebäudeparameter „Wandstärke der Außenwände“ beeinflusst die Bauzeitermittlung ausschließlich, wenn der Eingangsparameter „Außenwände“ für das betrachtete Bauobjekt (hier: Bauobjekt 1 und 2, vgl. Abb. 69) als „tragend“ definiert wird (vgl. Kap. E.1.1.5).

Die berechneten Kennwerte zur Validierung des Soll-0-Gebäudeparameters „Wandstärke der Außenwände“ sind in Abb. 69 und Abb. 70 zusammengefasst.

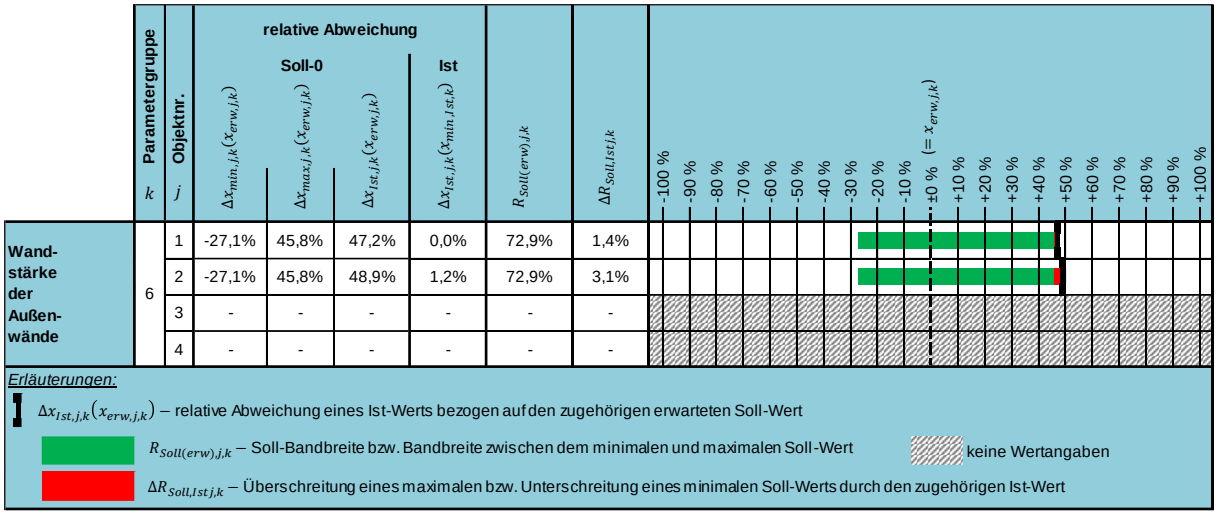


Abb. 69: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände (Einzelwerte)[492]

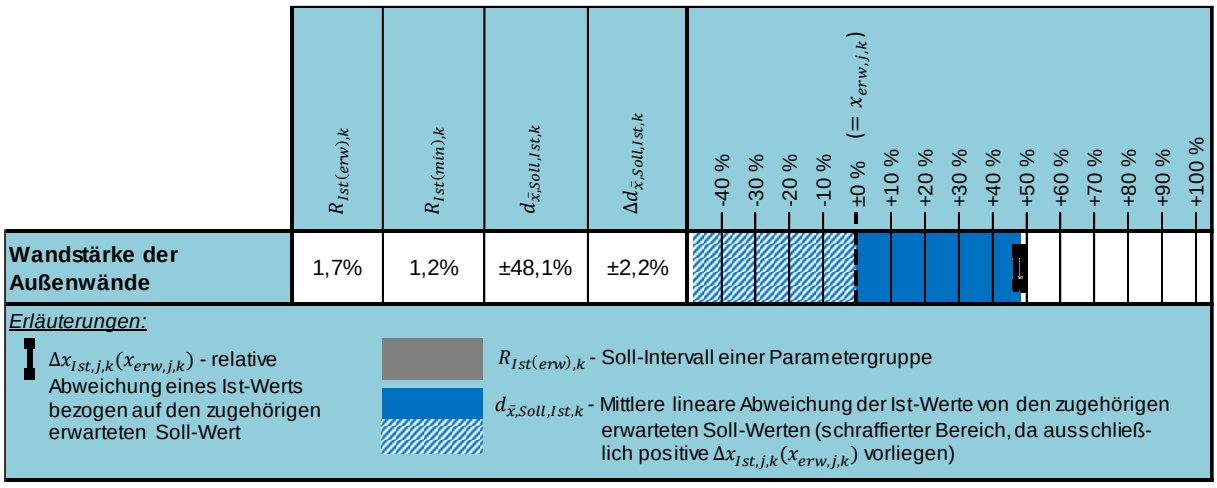


Abb. 70: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände (Zusammenfassung)[493]

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Abb. 69 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte bezogen auf den jeweiligen erwarteten Soll-0-Wert von Bauobjekt 1 und Bauobjekt 2 bei +47,2 % und +48,9 % liegen.

[492] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 148 (Anlage).

[493] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 149 (Anlage).

Die hieraus resultierenden Bauzeitänderungen betragen +2,9 % und +2,5 % (vgl. Tab. 36) und sind jeweils auf abweichende Anzahlen der Fertigungsabschnitte zurückzuführen.[494]

Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte des Gebäudeparameters „Wandstärke der Außenwände“ ergibt sich zu ±48,1 % (vgl. Abb. 70).

Tab. 36: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände[495]

	Êrwarteter Soll-0-Wert	Erwartete Bauzeit	Ist-Wert	Erwartete Bauzeit	Bauzeitänderung (bezogen auf Soll-0)	
	[m]	[AT]	[m]	[AT]	[AT]	[%]
Bauobjekt 1	0,24	70	0,35	72	+2	+2,9%
Bauobjekt 2	0,24	81	0,36	83	+2	+2,5%
Bauobjekt 3	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-	-
Bauobjekt 4	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-	-

Soll-Bandbreiten:

Die Soll-Bandbreite liegt jeweils zwischen -27,1 % und +45,8 % (Betrag = 72,9 %) und wird durch die beiden Ist-Werte um 1,4 % bzw. 3,1 % überschritten (vgl. Abb. 69). Werden statt der erwarteten Soll-Werte die minimalen Soll-Werte des Gebäudeparameters „Wandstärke der Außenwände“ in Ansatz gebracht, so resultieren daraus keine Bauzeitänderungen (vgl. Tab. 37). Die Bauzeiten bei Ansatz der maximalen Soll-Werte des Gebäudeparameters entsprechen den Bauzeiten, die auf Grundlage der Ist-Werte resultieren (vgl. Tab. 36 u. Tab. 37). Die Bauzeitänderungen bei Ansatz des maximalen Soll-Werts sind jeweils auf abweichende Anzahlen der Fertigungsabschnitte zurückzuführen.[496]

Soll- und Ist-Intervall:

Das Soll-0-Intervall des Gebäudeparameters „Wandstärke der Außenwände“ von 1,7 % überschreitet das zugehörige Ist-Intervall von 1,2 % (vgl. Abb. 70).[497] Da die Festlegung des Soll-0-Werts des Gebäudeparameters „Wandstärke der Außenwände“ für Gebäude mit tragenden Außenwänden jeweils unabhängig von den Eingangsparametern erfolgt (vgl. Kap. E.2.9), kann die Adaptivität dieses Gebäudeparameters durch den Vergleich des Soll- und Ist-Intervalls nicht eindeutig bewertet werden.

---

[494] Dies ergibt sich aus der zugehörigen Detailbetrachtung (vgl. Kap. L.4.1.7, Anlage).

[495] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll- und Ist-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

[496] Dies ergibt sich aus der zugehörigen Detailbetrachtung (vgl. Kap. L.4.1.7, Anlage).

[497] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Gebäudeparameter ist in Abb. 150 (Anlage) dargestellt.

Tab. 37: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände[498]

	Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert	Resultierende Bauzeit (Bauzeitänderung bezogen auf erwarteten Soll-0-Wert)		
				Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert
	[m]			[AT]		
Bauobjekt 1	0,18	0,24	0,35	70 (±0%)	70	72 (+2,9%)
Bauobjekt 2	0,18	0,24	0,35	81 (±0%)	81	83 (+2,5%)
Bauobjekt 3	k. A.	k. A.	k. A.	-	-	-
Bauobjekt 4	k. A.	k. A.	k. A.	-	-	-

I.1.6 Wandstärke der Bauelemente

Die berechneten Kennwerte zur Validierung des Soll-0-Gebäudeparameters „Wandstärke der Bauelemente“ sind in Abb. 71 und Abb. 72 zusammengefasst.

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Abb. 71 dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte bezogen auf den jeweiligen erwarteten Soll-0-Wert zwischen -8,3 % und +16,7 % liegen. Da hieraus keine Bauzeitänderungen resultieren (vgl. Tab. 38) können diese als geringfügig betrachtet werden.

Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte des Gebäudeparameters „Wandstärke der Bauelemente“ ergibt sich zu ±7,8 % (vgl. Abb. 72).[499]

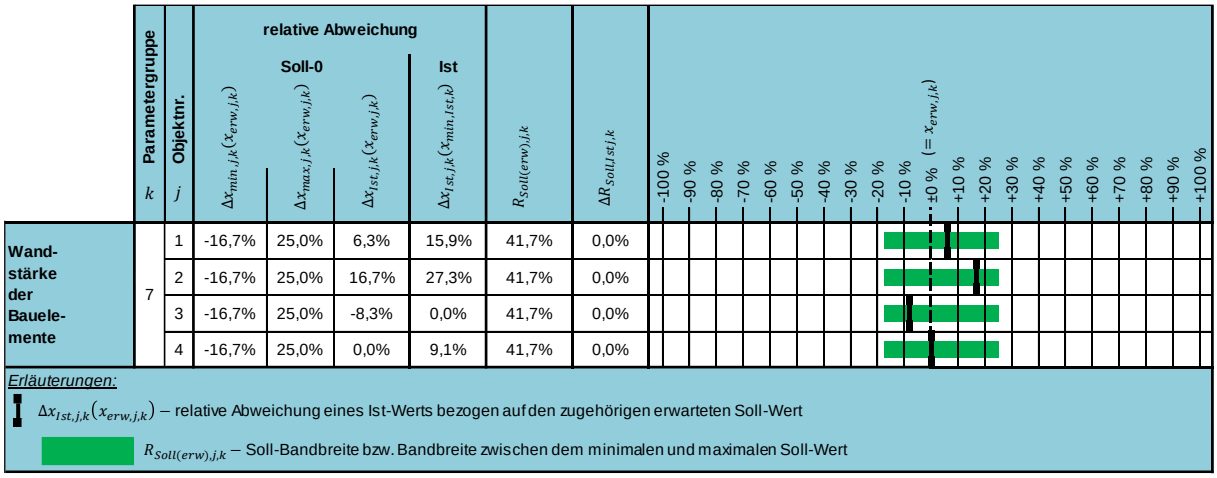


Abb. 71: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Bauelemente (Einzelwerte)[500]

[498] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

[499] Die ermittelte mittlere lineare Abweichung entspricht zugleich dem arithmetischen Mittelwert, da die Ist-Werte die erwarteten Soll-Werte ausnahmlos überschreiten.

[500] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 148 (Anlage).

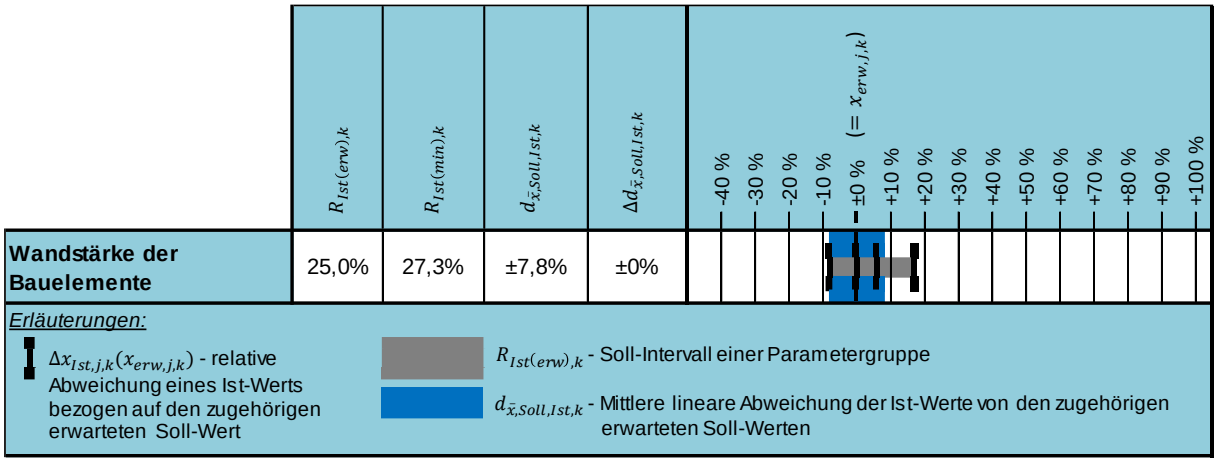


Abb. 72: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Bauelemente (Zusammenfassung)[501]

Tab. 38: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Bauelemente[502]

	Êrwarteter Soll-0-Wert	Erwartete Bauzeit	Ist-Wert	Erwartete Bauzeit	Bauzeitänderung (bezogen auf Soll-0)	
	[m]	[AT]	[m]	[AT]	[AT]	[%]
Bauobjekt 1	0,24	70	0,26	70	±0	±0%
Bauobjekt 2	0,24	81	0,28	81	±0	±0%
Bauobjekt 3	0,24	176	0,22	176	±0	±0%
Bauobjekt 4	0,24	244	0,24	244	±0	±0%

Soll-Bandbreiten:

Die Soll-Bandbreite liegt jeweils zwischen -16,7 % und +25,0 % (Betrag = 41,7 %) und wird durch die keinen der Ist-Werte unter- bzw. überschritten (vgl. Abb. 71). Werden statt der erwarteten Soll-Werte die minimalen Soll-Werte des Gebäudeparameters „Wandstärke der Bauelemente“ in Ansatz gebracht, so resultieren daraus keine Bauzeitänderungen (vgl. Tab. 39). Werden hingegen die maximalen Soll-Werte des Gebäudeparameters in Ansatz gebracht, so resultieren daraus für Bauobjekt 2 und Bauobjekt 3 Bauzeitänderungen von +2,5 % und +26,7 % (vgl. Tab. 39), die auf abweichende Anzahlen der Fertigungsabschnitte (Bauobjekt 2) bzw. auf eine Kombination abweichender Anzahlen der Fertigungsabschnitte und unterschiedlicher Taktzeiten (Bauobjekt 3) zurückzuführen sind.[503]

[501] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 149 (Anlage).

[502] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll- und Ist-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

[503] Dies ergibt sich aus der zugehörigen Detailbetrachtung (vgl. Kap. L.4.1.8, Anlage).

Tab. 39: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Wandstärke der Bauelemente[504]

	Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert	Resultierende Bauzeit (Bauzeitänderung bezogen auf erwarteten Soll-0-Wert)		
				Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert
	[m]			[AT]		
Bauobjekt 1	0,20	0,24	0,30	70 (±0%)	70	70 (±0%)
Bauobjekt 2	0,20	0,24	0,30	81 (±0%)	81	83 (+2,5%)
Bauobjekt 3	0,20	0,24	0,30	176 (±0%)	176	223 (+26,7%)
Bauobjekt 4	0,20	0,24	0,30	244 (±0%)	244	244 (±0%)

Soll- und Ist-Intervall:

Das Soll-0-Intervall des Gebäudeparameters „Wandstärke der Bauelemente“ von 25,0 % unterschreitet das zugehörige Ist-Intervall von 27,3 % (vgl. Abb. 72).[505] Da die Festlegung des Soll-0-Werts des Gebäudeparameters „Wandstärke der Bauelemente“ jeweils unabhängig von den Eingangsparametern erfolgt (vgl. Kap. E.2.10), kann die Adaptivität dieses Gebäudeparameters durch den Vergleich des Soll- und Ist-Intervalls nicht eindeutig bewertet werden.

I.1.7 Anteil der Fensterflächen

Der Gebäudeparameter „Anteil der Fensterflächen“ beeinflusst die Bauzeitermittlung ausschließlich, wenn der Eingangsparameter „Außenwände“ für das betrachtete Bauobjekt (hier: Bauobjekt 1 und 2, vgl. Abb. 73) als „tragend“ definiert wird (vgl. Kap. E.1.1.5).

Die berechneten Kennwerte zur Validierung des Soll-0-Gebäudeparameters „Anteil der Fensterflächen“ sind in Abb. 73 und Abb. 74 zusammengefasst.

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Abb. 73 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte bezogen auf den jeweiligen erwarteten Soll-0-Wert von Bauobjekt 1 und Bauobjekt 2 bei +33,1 % und -0,9 % liegen. Da hieraus keine Bauzeitänderungen resultieren (vgl. Tab. 40), können diese als geringfügig betrachtet werden.

[504] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

[505] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Gebäudeparameter ist in Abb. 150 (Anlage) dargestellt.

Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte des Gebäudeparameters „Anteil der Fensterflächen“ ergibt sich zu ±17,0 % (vgl. Abb. 74).

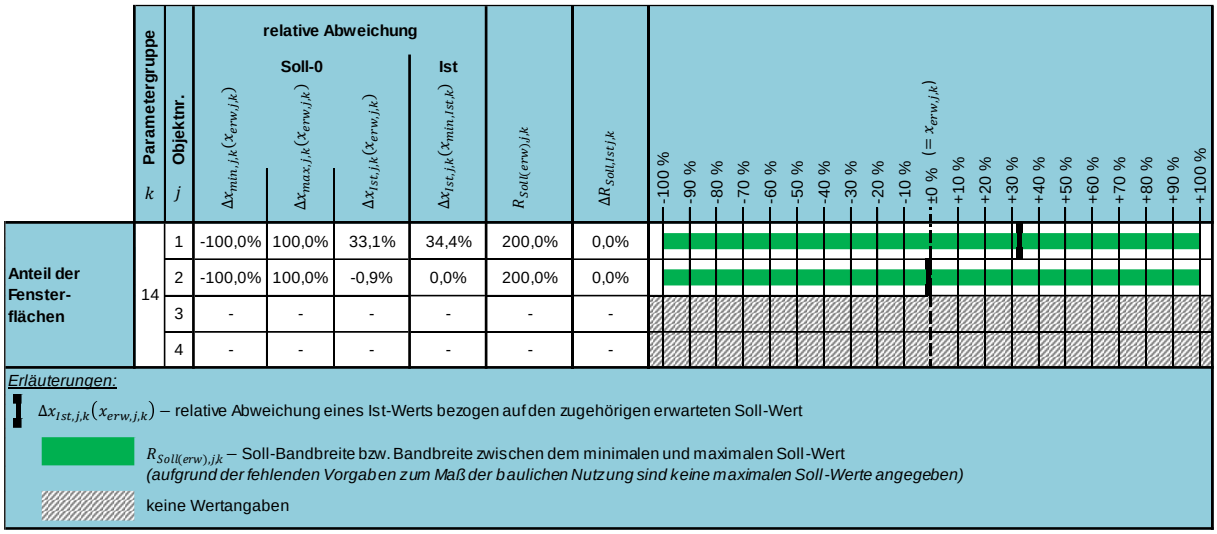


Abb. 73: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen (Einzelwerte)[506]

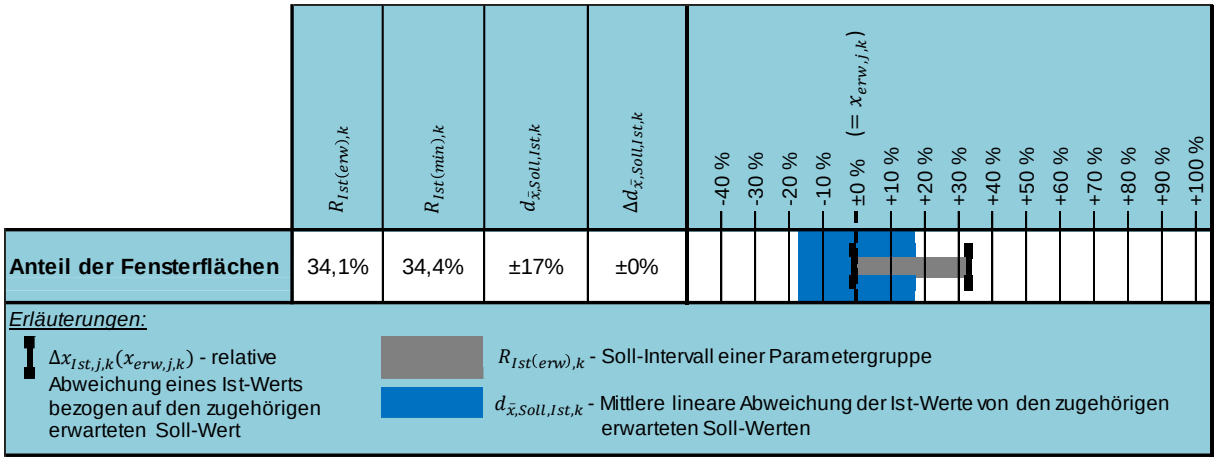


Abb. 74: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen (Zusammenfassung)[507]

Tab. 40: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen[508]

	Êrwarteter Soll-0-Wert	Erwartete Bauzeit	Ist-Wert	Erwartete Bauzeit	Bauzeitänderung (bezogen auf Soll-0)	
	[-]	[AT]	[-]	[AT]	[AT]	[%]
Bauobjekt 1	0,20	70	0,27	70	±0	±0%
Bauobjekt 2	0,20	81	0,20	81	±0	±0%
Bauobjekt 3	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-	-
Bauobjekt 4	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-	-

[506] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 148 (Anlage).

[507] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 149 (Anlage).

[508] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll- und Ist-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

Soll-Bandbreiten:

Die Soll-Bandbreite liegt jeweils zwischen -100,0 % und +100,0 % (Betrag = 200,0 %) und wird durch keinen der beiden Ist-Werte unter- bzw. überschritten (vgl. Abb. 73). Werden statt der erwarteten Soll-Werte die minimalen und maximalen Soll-Werte in Ansatz gebracht, so resultieren daraus Bauzeitänderungen von +2,9 % und -45,7 % bzw. +2,5 % und ±0 % (vgl. Tab. 41), die auf abweichende Anzahlen der Fertigungsabschnitte (minimaler Soll-Wert von Bauobjekt 1 und 2) oder unterschiedliche Taktzeiten (maximaler Soll-Wert von Bauobjekt 1) zurückzuführen sind.[509]

Soll- und Ist-Intervall:

Das Soll-0-Intervall des Gebäudeparameters „Anteil der Fensterflächen“ von 34,1 % unterschreitet das zugehörige Ist-Intervall von 34,4 % (vgl. Abb. 74).[510] Da die Festlegung des Soll-0-Werts des Gebäudeparameters „Anteil der Fensterflächen“ für Gebäude mit tragenden Außenwänden jeweils unabhängig von den Eingangsparametern erfolgt (vgl. Kap. E.2.14), kann die Adaptivität dieses Gebäudeparameters durch den Vergleich des Soll- und Ist-Intervalls nicht eindeutig bewertet werden.

Tab. 41: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen[511]

	Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert	Resultierende Bauzeit (Bauzeitänderung bezogen auf erwarteten Soll-0-Wert)		
				Minimaler Soll-0-Wert	Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-0-Wert
	[-]			[AT]		
Bauobjekt 1	0,00	0,20	0,40	72 (+2,9%)	70	38 (-45,7%)
Bauobjekt 2	0,00	0,20	0,40	83 (+2,5%)	81	81 (±0%)
Bauobjekt 3	k. A.	k. A.	k. A.	-	-	-
Bauobjekt 4	k. A.	k. A.	k. A.	-	-	-

I.1.8 Geschossanzahl

Da bei der Festlegung des Maßes der baulichen Nutzung für die zulässige Anzahl von Vollgeschossen der jeweilige Ist-Wert der ausgewerteten Bauobjekte in Ansatz gebracht wird,

[509] Dies ergibt sich aus der zugehörigen Detailbetrachtung (vgl. Kap. L.4.1.9, Anlage).

[510] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Gebäudeparameter ist in Abb. 150 (Anlage) dargestellt.

[511] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Soll-Werte des Gebäudeparameters ergeben sich aus Abb. 148 (Anlage).

besteht zwischen dem Ist- und erwarteten Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ ein direkter Zusammenhang, der eine sinnvolle Untersuchung der Abweichungen zwischen den Ist- und erwarteten Soll-Werten ausschließt. Weiterhin erfolgt für die einzelnen Bauobjekte deshalb keine Ermittlung minimaler und maximaler Soll-Werte (vgl. Kap. H.4.3).

Um die Auswirkungen von Anpassungen des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ auf die resultierenden Bauzeiten zu bewerten, werden die angegebenen erwarteten Soll-0-Werte des Gebäudeparameters daher pauschal um ein Geschoss reduziert bzw. erhöht (vgl. Tab. 42).

Tab. 42: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten und davon abweichenden Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl[512]

	$x_{erw}-1$	Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}	$x_{erw}+1$	Resultierende Bauzeit (Bauzeitänderung bezogen auf erwarteten Soll-0-Wert)		
				$x_{erw}-1$	Erwarteter Soll-0-Wert	$x_{erw}+1$
	Geschossanzahl [-] (zugehörige Gebäudegrundfläche)			[AT]		
Bauobjekt 1	5 (488 m²)	6 (407 m²)	7 (349 m²)	59 (-15,7%)	70	44 (-37,1%)
Bauobjekt 2	6 (515 m²)	7 (441 m²)	8 (386 m²)	72 (-11,1%)	81	50 (-38,3%)
Bauobjekt 3	7 (1.310 m²)	8 (1.146 m²)	9 (1.019 m²)	118 (-33,0%)	176	197 (+11,9%)
Bauobjekt 4	5 (2.293 m²)	6 (1.911 m²)	7 (1.638 m²)	266 (+9,0%)	244	159 (-34,8%)

Wie Tab. 42 zeigt, können geringere und höhere Geschossanzahlen im Vergleich zum erwarteten Soll-Wert des Gebäudeparameters jeweils sowohl zu kürzeren als auch zu längeren Bauzeiten führen.

Die durchgeführte Detailbetrachtung der Auswirkungen von Anpassungen des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ auf die resultierenden Bauzeiten (vgl. Kap. L.4.1.10, Anlage) zeigt, dass veränderte Geschossanzahlen eine Vielzahl der Parameter zur Bauzeitermittlung beeinflussen und dementsprechend immer zu abweichenden Bauzeiten führen. Neben den generellen Auswirkungen auf die Gebäudegrundfläche und Fertigungsmengen, sind insbesondere Veränderungen bezüglich der Krananzahl, Anzahl der Fertigungsabschnitte, maximalen Anzahlen an AK pro Fertigungsabschnitt, Taktzeit sowie der daraus resultierenden Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts feststellbar.

[512] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Bauzeiten wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Die angegebenen Gebäudegrundflächen sind z. T. gerundet.

I.1.9 Zwischenfazit (Stufe 1)

Die Analyse der Soll-0-Gebäudeparameter zeigt, dass die festgestellten Abweichungen zwischen den bauzeitbeeinflussenden Soll-0-Gebäudeparametern (vgl. Kap. H.5.5.1) und Ist-Gebäudeparametern von durchschnittlich ±16,4 % (vgl. Abb. 149, Anlage) eine Vielzahl der Parameter der Bauzeitermittlung beeinflussen. Im Rahmen der der Detailauswertungen (vgl. Kap. L.4.1.3 bis Kap. L.4.1.10, Anlage) wird dies insbesondere für die Fertigungsmengen und die daraus resultierenden Arbeitsaufwände, Krananzahlen, Anzahlen der Fertigungsabschnitte, Taktzeiten und die daraus resultierenden Dauern zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts nachgewiesen.

Zusammenfassend zeigt sich außerdem, dass an die einzelnen bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter unterschiedliche Genauigkeitsansprüche zu stellen sind.

Insbesondere der Gebäudeparameter „Geschossanzahl“ beeinflusst eine Vielzahl der Parameter der Bauzeitermittlung (z. B. Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Ressourcen), woraus sich deutliche Bauzeitänderungen ergeben (vgl. Kap. I.1.8).

Aus einer Reduzierung der Geschossanzahl, die bei identischer BGF jeweils zu einer vergleichsweise höheren Gebäudegrundfläche führt und höheren Anzahl der wirtschaftlich einsetzbaren Ressourcenanzahl führen kann, resultiert nicht für alle ausgewerteten Bauobjekte gleichzeitig auch eine reduzierte Bauzeit, sondern teilweise auch eine längere Bauzeit (vgl. Tab. 42, hier: „Bauobjekt 4“). In gleicher Weise resultiert auch aus einer Erhöhung der Geschossanzahl, die bei identischer BGF jeweils zu einer vergleichsweise geringeren Gebäudegrundfläche führt und geringeren Anzahl der wirtschaftlich einsetzbaren Ressourcenanzahl führen kann, nicht in jedem Fall eine verlängerte Bauzeit (vgl. Tab. 42).

Dies ist darauf zurückzuführen, dass durch die Anpassung des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ eine Vielzahl der Parameter der Bauzeitermittlung – und damit die resultierenden Bauzeiten selbst – beeinflusst werden (vgl. Kap. I.1.8). Hierzu zählen insbesondere die Fertigungsmengen, die Arbeitsaufwände, die Krananzahlen und die Anzahl der Fertigungsabschnitte. Für die vier ausgewerteten Bauobjekte ergeben sich durch die Erhöhung oder Reduzierung der Geschossanzahl um jeweils ein Geschoss, im Vergleich zum erwarteten Soll-0-Wert, Bauzeitabweichungen von -38,3 % bis +11,9 %.

Zur sicheren Anwendung des Bauzeitermittlungsverfahrens sollte daher insbesondere die Geschossanzahl frühzeitig festgelegt werden. Stellt die Geschossanzahl allerdings einen noch variablen Gebäudeparameter dar, so ist alternativ auch die Betrachtung unterschiedlicher Geschossanzahlen bzw. Varianten des Referenzgebäudes unter Verwendung der Ar-

beitshilfe zweckmäßig, um die hieraus entstehenden Auswirkungen frühzeitig bewerten zu können.

Aus den Detailbetrachtungen zur Ermittlung der Ursache der festgestellten Bauzeitabweichungen (vgl. Kap. L.4.1, Anlage) resultiert, dass insbesondere folgende Parameter der Bauzeitermittlung durch den Verfahrensanwender geprüft werden sollten:[513]

- Krananzahl
- Anzahl der Fertigungsabschnitte
- Maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt
- Taktzeit und zugehörige maßgebende Vorgangsdauer zu deren Ermittlung

Generell gilt es zu prüfen, ob aus einer geringfügigen Anpassung der angegebenen Parameter eine deutliche Bauzeitänderung resultiert.

Darüber hinaus ist auch eine generelle Überprüfung der Entwicklung der Fertigungsmengen bei abweichenden Gebäudeparametern zweckmäßig.

Insbesondere die maßgebende Vorgangsdauer zur Ermittlung der Taktzeit (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) ist vom Verfahrensanwender zu überprüfen. Da die Taktzeit in der Arbeitshilfe auf ganze AT gerundet wird, können auch geringfügige Anpassungen der Gebäudeparameter, aus denen lediglich geringfügige Änderungen der Fertigungsmengen resultieren, zu deutlichen Bauzeitänderungen führen.

Exemplarisch wird an dieser Stelle auf die Detailbetrachtung des Gebäudeparameters „Gebäudetiefe“ (Bauobjekt 1, maximaler Soll-Wert; vgl. Kap. L.4.1.5, Anlage) verwiesen. Diese zeigt, dass die Anpassung der Gebäudetiefe zwar lediglich zu einer Reduzierung der Fertigungsmengen von maximal -4,9 % führt, jedoch die maßgebende Vorgangsdauer (hier: „Takt 4“) von 1,52 AT bzw. gerundet 2 AT auf 1,49 AT bzw. gerundet 1 AT reduziert wird (vgl. Tab. 72, Anlage). Daraus resultiert eine Reduzierung der Taktzeit von 2 AT auf 1 AT, eine Reduzierung der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts von 11 AT auf 6 AT und schlussendlich einer Bauzeitreduzierung von 70 AT auf 38 AT (= -45,7 %).

Die Anpassungen der Gebäudeparameter „Gebäudetiefe“, „Deckenstärke“, „Wandstärke der Bauelemente“ und „Anteil der Fensterflächen“ haben für die ausgewerteten Bauobjekte z. T. ebenfalls zu deutlichen Bauzeitänderungen geführt, die auf Differenzen der zuvor angegebenen, zu prüfenden Parameter zurückzuführen sind.

[513] Die Parameter sind projektspezifisch z. B. mittels überschläglicher Kostenvergleiche zu ermitteln ggf. anzupassen.

Anpassungen der Gebäudeparameter „Geschosshöhe der Regelgeschosse“, „Geschosshöhe der Erdgeschosses“ und „Wandstärke der Außenwände“ führen hingegen lediglich zu Bauzeitänderungen von maximal +2,9 % (vgl. Kap. I.1.1, Kap. I.1.2 u. Kap. I.1.5), weshalb die Anforderungen an die Genauigkeit dieser Gebäudeparameter – zumindest für die ausgewerteten Bauobjekte – als sekundär eingestuft werden können.

Die Soll-0-Intervalle der Gebäudeparameter „Geschosshöhe der Regelgeschosse“, „Deckenstärke“, „Wandstärke der Bauelemente“ und „Anteil der Fensterflächen“ unterschreiten die zugehörigen Ist-Intervalle. Da die Abweichungen zwischen den Soll-0-Intervallen und Ist-Intervallen der bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter innerhalb einer Bandbreite von ca. ±5 % liegen (vgl. Abb. 150, Anlage), kann die Adaptivität des entwickelten Verfahrens bestätigt werden.

I.2 Stufe 2: Analyse der Soll-0-Fertigungsmengen

Da bei der angewendeten prozessorientierten Bauzeitermittlung im BAM lediglich horizontale und vertikale Bauteile differenziert werden (vgl. Kap. D.3), ist auch die nachfolgende Analyse der Abweichungen zwischen den Soll-0- und Ist-Werten auf diese Fertigungsmengen beschränkt (vgl. Kap. H.4.3), wobei die Betonvolumina, Randschalungslängen und Schalungsflächen der vier ausgewerteten Bauobjekte einzeln betrachtet werden (vgl. Kap. I.2.1, Kap. I.2.2 u. Kap. I.2.3).[514]

Die Bewertung der Auswirkungen dieser Abweichungen auf die resultierenden Bauzeiten erfolgt hingegen anschließend kombiniert für die Abweichungen aller Fertigungsmengen in Kapitel I.2.4.

I.2.1 Betonvolumina

Die ermittelten Soll-0- und Ist-Werte der Betonvolumina sind in Abb. 151 und Abb. 152 (Anlage) gegenübergestellt. In Abb. 153 (Anlage) werden die Soll-0- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen weiterhin graphisch gegenübergestellt.

I.2.1.1 Horizontale Bauteile

Die berechneten Kennwerte zur Validierung der Soll-0-Fertigungsmengen „Gesamt-Betonvolumen Geschossdecken (horizontale Bauteile)“ ergeben sich aus Abb. 75 und Abb. 76.

[514] Auf eine Analyse der Bewehrungsmengen wird verzichtet, da hierzu keine Ist-Werte vorliegen (vgl. Kap. H.4.3).

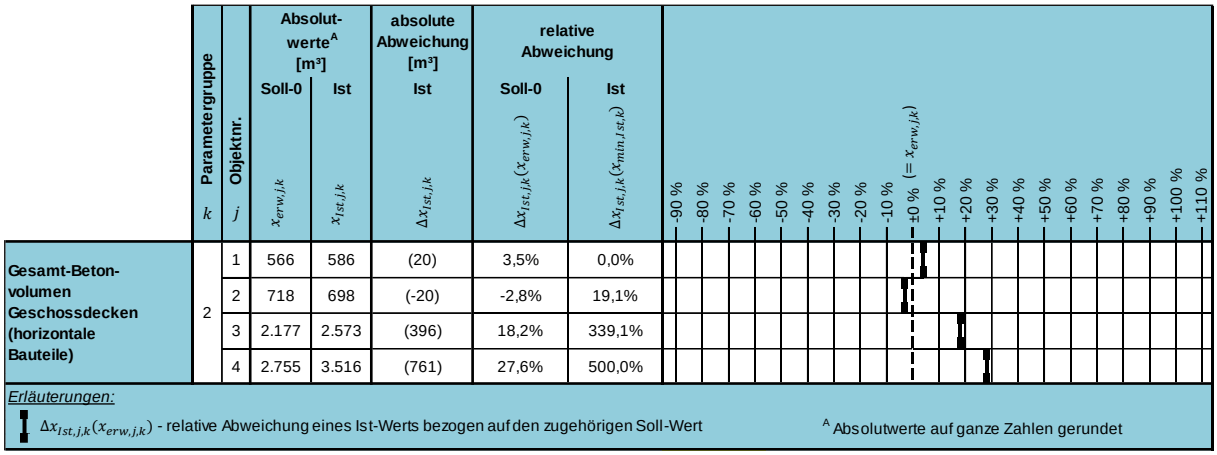


Abb. 75: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, horizontale Bauteile (Einzelwerte)[515]

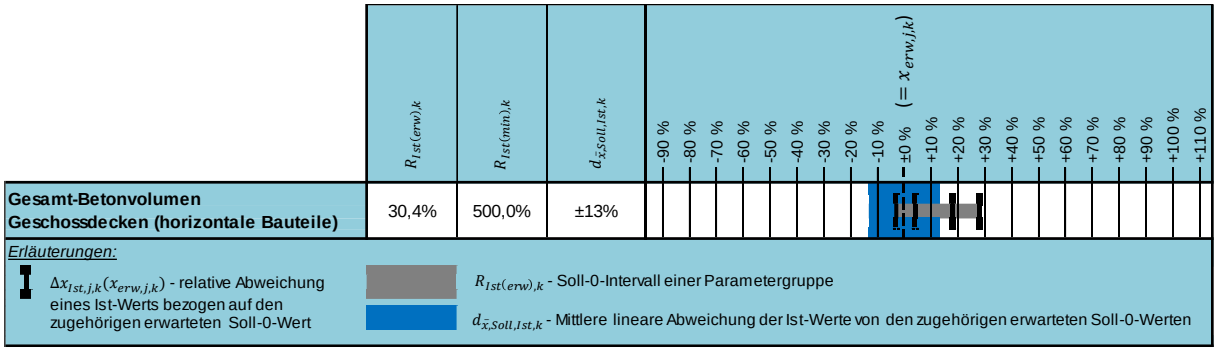


Abb. 76: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, horizontale Bauteile (Zusammenfassung)[516]

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Abb. 75 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte der Betonvolumina horizontaler Bauteile bezogen auf den jeweiligen Soll-0-Wert zwischen -2,8 % und +27,6 % liegen. Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte ergibt sich zu ±13,0 % (vgl. Abb. 76).

Soll-0- und Ist-Intervall:

Das Soll-0-Intervall von 30,4 % unterschreitet das ermittelte Ist-Intervall von 500,0 % deutlich (vgl. Abb. 76) und bestätigt die Adaptivität des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der Ermittlung der Fertigungsmengen „Gesamt-Betonvolumen Geschossdecken (horizontale Bauteile)“.[517]

---

[515] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 151 (Anlage).

[516] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 152 (Anlage).

[517] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen ist in Abb. 153 (Anlage) dargestellt.

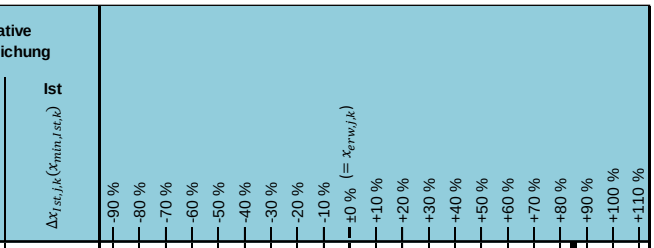
I.2.1.2 Vertikale Bauteile

Die berechneten Kennwerte zur Validierung der Soll-0-Fertigungsmengen „Gesamt-Betonvolumen Wände und Stützen (vertikale Bauteile)“ ergeben sich aus Abb. 77 und Abb. 78.

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Abb. 77 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte der Betonvolumina vertikaler Bauteile bezogen auf den jeweiligen Soll-0-Wert zwischen +2,5 % und +84,5 % liegen. Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte ergibt sich zu ±42,3 % (vgl. Abb. 78).

	Parametergruppe k	Objektnr. j	Absolutwerte[A] [m³] Soll-0 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte[A] [m³] Ist $x_{Ist,j,k}$	absolute Abweichung [m³] Ist $\Delta x_{Ist,j,k}$	relative Abweichung Soll-0 $\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{Ist,j,k}(x_{min,Ist,k})$
Gesamt-Betonvolumen Wände und Stützen (vertikale Bauteile)	3	1	451	832	(381)	84,5%	20,6%
		2	550	819	(269)	48,9%	18,7%
		3	585	775	(190)	32,5%	12,3%
		4	673	690	(17)	2,5%	0,0%



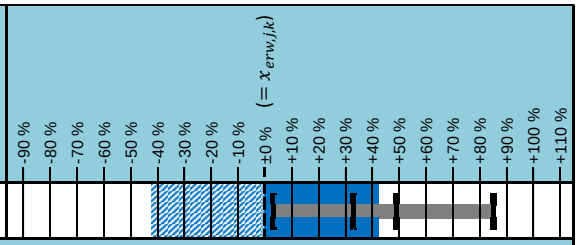
Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-Wert

[A] Absolutwerte auf ganze Zahlen gerundet

Abb. 77: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, vertikale Bauteile (Einzelwerte)[518]

	$R_{Ist(erw),k}$	$R_{Ist(min),k}$	$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$
Gesamt-Betonvolumen Wände und Stützen (vertikale Bauteile)	82,4%	20,6%	±42,3%



Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-0-Wert

$R_{Ist(erw),k}$ - Soll-0-Intervall einer Parametergruppe

$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$ - Mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte von den zugehörigen erwarteten Soll-0-Werten (schraffierter Bereich, da ausschließlich positive $\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ vorliegen)

Abb. 78: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, vertikale Bauteile (Zusammenfassung)[519]

Soll-0- und Ist-Intervall:

Das Soll-0-Intervall von 82,4 % überschreitet das ermittelte Ist-Intervall von 20,6 % deutlich (vgl. Abb. 78) und offenbart Verbesserungspotenziale des entwickelten Verfahrens hinsicht-

[518] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 151 (Anlage).

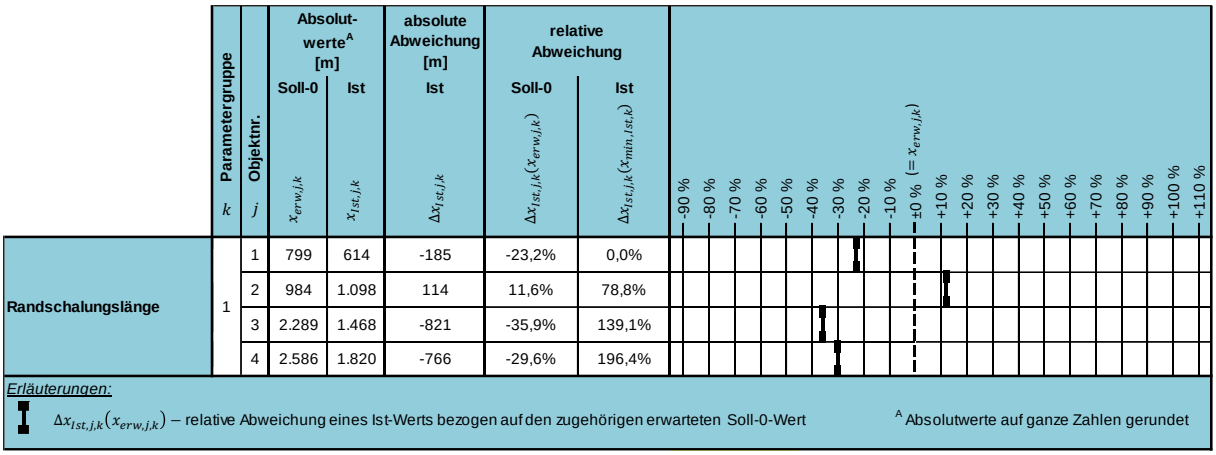
[519] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 152 (Anlage).

lich der Ermittlung Fertigungsmengen „Gesamt-Betonvolumen Wände und Stützen (vertikale Bauteile)“.[520]

I.2.2 Randschalungslängen

Die ermittelten Soll-0- und Ist-Werte der Randschalungslängen sind in Abb. 79 und Abb. 80 gegenübergestellt. In Abb. 153 (Anlage) werden die Soll-0- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen weiterhin graphisch gegenübergestellt.

	Parametergruppe k	Objektnr. j	Absolutwerte[A] [m] Soll-0 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte[A] [m] Ist $x_{ist,j,k}$	absolute Abweichung [m] Ist $\Delta x_{ist,j,k}$	relative Abweichung Soll-0 $\Delta x_{ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{ist,j,k}(x_{min,ist,k})$
Randschalungslänge	1	1	799	614	-185	-23,2%	0,0%
		2	984	1.098	114	11,6%	78,8%
		3	2.289	1.468	-821	-35,9%	139,1%
		4	2.586	1.820	-766	-29,6%	196,4%



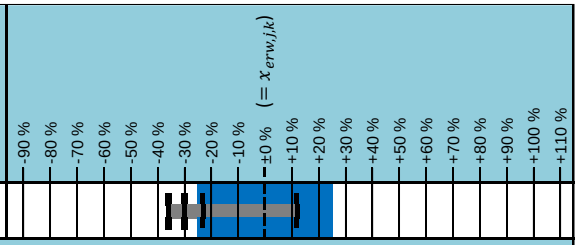
Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ – relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-0-Wert

[A] Absolutwerte auf ganze Zahlen gerundet

Abb. 79: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Randschalungslängen (Einzelwerte)[521]

	$R_{Ist(erw),k}$	$R_{Ist(min),k}$	$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$
Randschalungslänge	47,5%	196,4%	±25,1%



Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-0-Wert

$R_{Ist(erw),k}$ - Soll-0-Intervall einer Parametergruppe

$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$ - Mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte von den zugehörigen erwarteten Soll-0-Werten

Abb. 80: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Randschalungslängen (Zusammenfassung)[522]

[520] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen ist in Abb. 153 (Anlage) dargestellt.

[521] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5. Die angegebenen Ist-Werte, die aus Hacherer (2019) resultieren (vgl. Kap. H.4.1), sind hierin als Randschalungsfläche in m² angegeben (vgl. a. a. O., S. 18, 41, 47 ff). Die Umrechnung auf laufende Meter Randschalungslänge erfolgt auf Grundlage dieser Randschalungsfläche und der ermittelten mittleren Ist-Deckenstärke (vgl. a. a. O. , S. 47 ff).

[522] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5. Die im Rahmen der Berechnung verwendeten Parameter resultieren aus Abb. 79.

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Abb. 79 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte der Randschalungslängen bezogen auf den jeweiligen Soll-0-Wert zwischen -35,9 % und +11,6 % liegen. Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte ergibt sich zu ±25,1 % (vgl. Abb. 80).

Soll-0- und Ist-Intervall:

Das Soll-0-Intervall von 47,5 % unterschreitet das ermittelte Ist-Intervall von 196,4 % deutlich (vgl. Abb. 80) und bestätigt die Adaptivität des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der Ermittlung der Fertigungsmengen „Randschalungslängen“.[523]

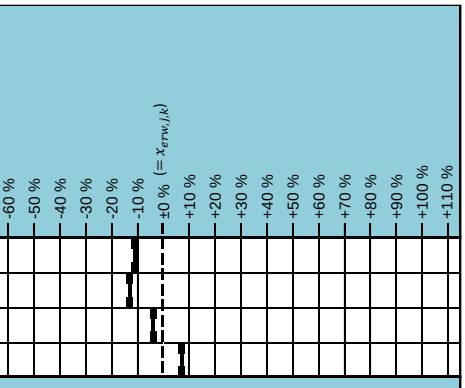
I.2.3 Schalungsflächen

Die ermittelten Soll-0- und Ist-Werte der Schalungsflächen sind in Abb. 154 und Abb. 155 (Anlage) gegenübergestellt. In Abb. 153 (Anlage) werden die Soll-0- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen weiterhin graphisch gegenübergestellt.

I.2.3.1 Horizontale Bauteile

Die berechneten Kennwerte zur Validierung der Soll-0-Fertigungsmengen „Gesamt-Schalungsfläche Geschossdecken (horizontale Bauteile)“ ergeben sich aus Abb. 81 und Abb. 82.

	Parametergruppe k	Objektnr. j	Absolutwerte[A] [m²] Soll-0 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte[A] [m²] Ist $x_{ist,j,k}$	absolute Abweichung [m²] Ist $\Delta x_{ist,j,k}$	relative Abweichung Soll-0 $\Delta x_{ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{ist,j,k}(x_{min,ist,k})$
Gesamt-Schalungsfläche Geschossdecken (horizontale Bauteile)	2	1	2.265	2.007	-258	-11,4%	0,0%
		2	2.873	2.514	-358	-12,5%	25,3%
		3	8.709	8.371	-338	-3,9%	317,1%
		4	11.021	11.734	714	6,5%	484,7%



Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-0-Wert

[A] Absolutwerte auf ganze Zahlen gerundet

Abb. 81: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, horizontale Bauteile (Einzelwerte)[524]

[523] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen ist in Abb. 153 (Anlage) dargestellt.

[524] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 154 (Anlage).

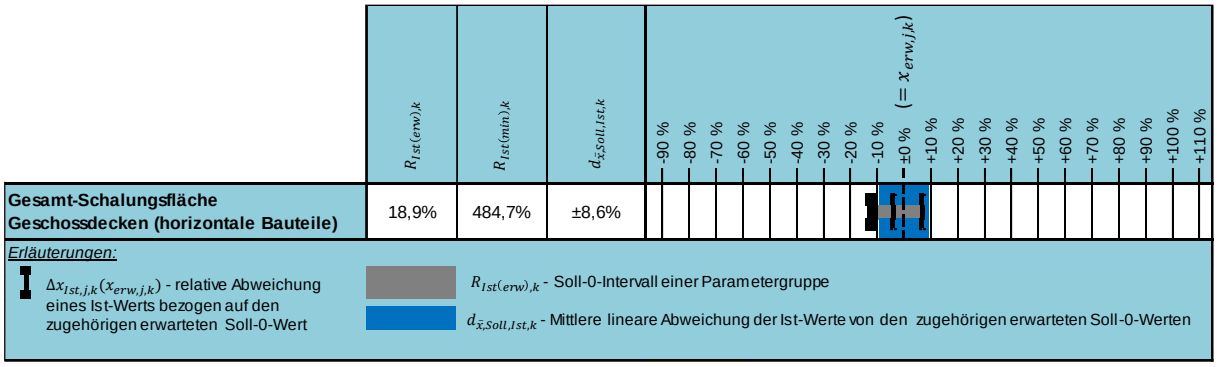


Abb. 82: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, horizontale Bauteile (Zusammenfassung)[525]

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Abb. 81 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte der Schalungsflächen horizontaler Bauteile bezogen auf den jeweiligen Soll-0-Wert zwischen -12,5 % und +6,5 % liegen. Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte ergibt sich zu ±8,6 % (vgl. Abb. 82).

Soll-0- und Ist-Intervall:

Das Soll-0-Intervall von 18,9 % unterschreitet das ermittelte Ist-Intervall von 484,7 % deutlich (vgl. Abb. 82) und bestätigt die Adaptivität des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der Ermittlung der Fertigungsmengen „Gesamt-Schalungsflächen Geschossdecken (horizontale Bauteile)“.[526]

I.2.3.2 Vertikale Bauteile

Die berechneten Kennwerte zur Validierung der Soll-0-Fertigungsmengen „Gesamt-Schalungsfläche Wände und Stützen (vertikale Bauteile)“ ergeben sich aus Abb. 83 und Abb. 84.

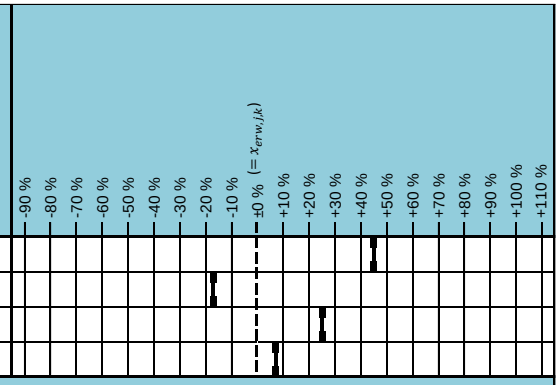
Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Abb. 83 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte der Schalungsflächen vertikaler Bauteile bezogen auf den jeweiligen Soll-0-Wert zwischen -16,6 % und +44,5 % liegen. Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte ergibt sich zu ±23,4 % (vgl. Abb. 84).

[525] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 155 (Anlage).

[526] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen ist in Abb. 153 (Anlage) dargestellt.

	Parametergruppe k	Objektnr. j	Absolutwerte[A] [m²] Soll-0 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte[A] [m²] Ist $x_{ist,j,k}$	absolute Abweichung [m²] Ist $\Delta x_{ist,j,k}$	relative Abweichung Soll-0 $\Delta x_{ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{ist,j,k}(x_{min,ist,k})$
Gesamt-Schalungsfläche Wände und Stützen (vertikale Bauteile)	3	1	3.777	5.459	1.683	44,5%	41,9%
		2	4.613	3.848	-764	-16,6%	0,0%
		3	5.230	6.534	1.305	24,9%	69,8%
		4	6.038	6.487	450	7,4%	68,6%



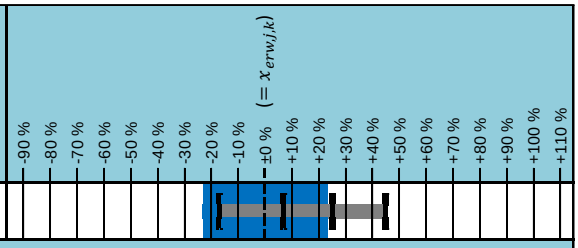
Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-0-Wert

[A] Absolutwerte auf ganze Zahlen gerundet

Abb. 83: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, vertikale Bauteile (Einzelwerte)[527]

	$R_{Ist(erw),k}$	$R_{Ist(min),k}$	$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$
Gesamt-Schalungsfläche Wände und Stützen (vertikale Bauteile)	61,1%	69,8%	±23,4%



Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-0-Wert

$R_{Ist(erw),k}$ - Soll-0-Intervall einer Parametergruppe

$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$ - Mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte von den zugehörigen erwarteten Soll-0-Werten

Abb. 84: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, vertikale Bauteile (Zusammenfassung)[528]

Soll-0- und Ist-Intervall:

Das Soll-0-Intervall von 61,1 % unterschreitet das ermittelte Ist-Intervall von 69,8 % (vgl. Abb. 84) und bestätigt die Adaptivität des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der Ermittlung der Fertigungsmengen „Gesamt-Schalungsflächen Wände und Stützen (vertikale Bauteile)“.[529]

I.2.4 Zwischenfazit (Stufe 2)

Aus den festgestellten Abweichungen zwischen den Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen der ausgewerteten Bauobjekte (vgl. Kap. I.2.1 bis Kap. I.2.3) resultieren deutliche Bauzeitabweichungen im Vergleich zu den jeweiligen Soll-2-Bauzeiten, wie die Detailbetrachtungen in Kapitel L.4.2 (Anlage) zeigen. Die Ist-Fertigungsmengen und zugehörigen Arbeitsaufwände führen zu Soll-2-Bauzeiten, die die Soll-0-Bauzeiten um +26,7 % bis +54,3 % überschreiten.

[527] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 154 (Anlage).

[528] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 155 (Anlage).

[529] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen ist in Abb. 153 (Anlage) dargestellt.

Wie in Kapitel I.5 gezeigt, stellen die ermittelten Soll-0-Bauzeiten der vier ausgewerteten Bauobjekte, ebenso wie die Soll-1- und Soll-2-Bauzeiten, trotz der festgestellten Abweichungen, jeweils wirtschaftliche und somit realistische, d. h. durch Terminsteuerungsmaßnahmen beherrschbare Bauzeiten dar, die mit hoher Wahrscheinlichkeit unterschritten werden können.

Obwohl die Anwendbarkeit des Verfahrens auf Grundlage der Soll-0-Werte – d. h. vor Anfertigung des ersten Bauentwurfs in LPH 0 bzw. LPH 1 – bestätigt werden kann, kann das dabei zugrunde gelegte Referenzgebäude den Bauentwurf nicht ersetzen.

Zur Ermittlung wirtschaftlicher und somit realistischer Bauzeiten bereits in LPH 0 bzw. LPH 1 bietet sich insbesondere die Gegenüberstellung unterschiedlicher Varianten des Referenzgebäudes und des Bauablaufs, durch die Anpassung unterschiedlicher Gebäudeparameter unter Verwendung der entwickelten Arbeitshilfe, an, sofern die entsprechenden Informationen noch nicht vorliegen. Der Fokus sollte hierbei auf den identifizierten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparametern liegen (vgl. Kap. I.1 u. Kap. I.6.5).

Zusammenfassend ist für die vier ausgewerteten Bauobjekte erkennbar, dass die festgestellten Bauzeiterhöhungen auf die Abweichungen zwischen den Soll- und Ist-Werten folgender Fertigungsmengen zurückzuführen sind:

- Bewehrungsmengen vertikaler Bauteile
- Bewehrungsmengen horizontaler Bauteile
- Betonvolumina vertikaler Bauteile

Da die ermittelten Bewehrungsmengen auf Grundlage der Betonvolumina und Bewehrungsanteile berechnet werden (vgl. Kap. E.2.15), können die ermittelten Bauzeitabweichungen ursächlich auf die Abweichungen der Betonvolumina zurückgeführt werden.

Die Detailbetrachtung von Bauobjekt 1 (vgl. Kap. L.4.2.1, Anlage) zeigt, dass aus den Ist-Fertigungsmengen und den daraus resultierenden Arbeitsaufwänden eine Bauzeit von 108 AT bzw. eine Bauzeitverlängerung von +54,3 % bezogen auf die Soll-0-Bauzeit von 70 AT resultiert. Diese kann, neben den Abweichungen zwischen den Soll- und Ist-Bewehrungsmengen vertikaler und horizontaler Bauteile sowie den zusätzlich auszuschalenden Flächen vertikaler Bauteile, woraus eine erhöhte Taktzeit resultiert, insbesondere auf die Abweichung zwischen dem Soll- und Ist-Betonvolumen vertikaler Bauteile, aus der eine erhöhte Anzahl der Fertigungsabschnitte resultiert, zurückgeführt werden (vgl. Kap. L.4.2.1, Anlage).

Die Detailbetrachtung von Bauobjekt 2 (vgl. Kap. L.4.2.3, Anlage) zeigt, dass aus den Ist-Fertigungsmengen und den daraus resultierenden Arbeitsaufwänden eine Bauzeit von

124 AT bzw. eine Bauzeitverlängerung von +53,1 % bezogen auf die Soll-0-Bauzeit von 81 AT resultiert. Diese kann, neben den Abweichungen zwischen den Soll- und Ist-Bewehrungsmengen vertikaler Bauteile, woraus eine erhöhte Taktzeit resultiert, insbesondere auf die Abweichung zwischen dem Soll- und Ist-Betonvolumen vertikaler Bauteile, aus der eine erhöhte Anzahl der Fertigungsabschnitte resultiert, zurückgeführt werden (vgl. Kap. L.4.2.3, Anlage).

Die Detailbetrachtung von Bauobjekt 3 (vgl. Kap. L.4.2.4, Anlage) zeigt, dass aus den Ist-Fertigungsmengen und den daraus resultierenden Arbeitsaufwänden eine Bauzeit von 223 AT bzw. eine Bauzeitverlängerung von +26,7 % bezogen auf die Soll-0-Bauzeit von 176 AT resultiert. Diese kann, neben den Abweichungen zwischen den Soll- und Ist-Bewehrungsmengen horizontaler Bauteile, woraus eine erhöhte Taktzeit resultiert, insbesondere auf die Abweichung zwischen dem Soll- und Ist-Betonvolumen vertikaler Bauteile, aus der eine erhöhte Anzahl der Fertigungsabschnitte resultiert, zurückgeführt werden (vgl. Kap. L.4.2.4, Anlage).

Die Detailbetrachtung von Bauobjekt 4 (vgl. Kap. L.4.2.5, Anlage) zeigt, dass aus den Ist-Fertigungsmengen und den daraus resultierenden Arbeitsaufwänden eine Bauzeit von 312 AT bzw. eine Bauzeitverlängerung von +27,9 % bezogen auf die Soll-0-Bauzeit von 244 AT resultiert. Diese kann insbesondere auf die erhöhte Taktzeit zurückgeführt werden, die sich aus der höheren Ist-Bewehrungsmenge horizontaler Bauteile ergibt (vgl. Kap. L.4.2.5, Anlage).

Die mittleren linearen Abweichungen der Ist-Fertigungsmengen bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte liegen zwischen ±8,6 % (Schalungsflächen horizontaler Bauteile) und ±42,3 % (Betonvolumina vertikaler Bauteile).

Mit Ausnahme des Betonvolumens vertikaler Bauteile unterschreiten die ermittelten Soll-0-Intervalle die zugehörigen Ist-Intervalle z. T. deutlich.[530] Dies bestätigt die Adaptivität des entwickelten Verfahrens.

In Stufe 3 der Validierung (Kap. I.3) wird anschließend untersucht, ob und inwieweit eine gesteigerte Genauigkeit der Gebäudeparameter, durch die projektspezifische Anpassung durch den Verfahrensanwender, zu einer Steigerung der Genauigkeit der Fertigungsmengen und verringerten Abweichungen zwischen den Soll-1- und Soll-2-Bauzeiten führt. Gleichzeitig können Rückschlüsse auf den generellen Zusammenhang zwischen der Genauigkeit der Gebäudeparameter und Fertigungsmengen gezogen werden.

[530] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-0- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen ist in Abb. 153 (Anlage) dargestellt.

I.3 Stufe 3: Analyse der Soll-1-Fertigungsmengen

Da bei der angewendeten prozessorientierten Bauzeitermittlung im BAM lediglich horizontale und vertikale Bauteile differenziert werden (vgl. Kap. D.3), ist auch die nachfolgende Analyse der Abweichungen zwischen den Soll-1- und Ist-Werten auf diese Fertigungsmengen beschränkt (vgl. Kap. H.4.3), wobei die Betonvolumina, Randschalungslängen und Schalungsflächen der vier ausgewerteten Bauobjekte einzeln betrachtet werden (vgl. Kap. I.3.1, Kap. I.3.2 u. Kap. I.3.3).[531]

Die Bewertung der Auswirkungen dieser Abweichungen auf die resultierenden Bauzeiten erfolgt hingegen anschließend kombiniert für die Abweichungen aller Fertigungsmengen in Kapitel I.3.4.

I.3.1 Betonvolumina

Die ermittelten Soll-1- und Ist-Werte der Betonvolumina sind in Abb. 156 und Abb. 157 (Anlage) gegenübergestellt. In Abb. 158 (Anlage) werden die Soll-1- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen weiterhin graphisch gegenübergestellt.

I.3.1.1 Horizontale Bauteile

Die berechneten Kennwerte zur Validierung der Soll-1-Fertigungsmengen „Gesamt-Betonvolumen Geschossdecken (horizontale Bauteile)“ ergeben sich aus Abb. 85 und Abb. 86.

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-1- und Ist-Werten:

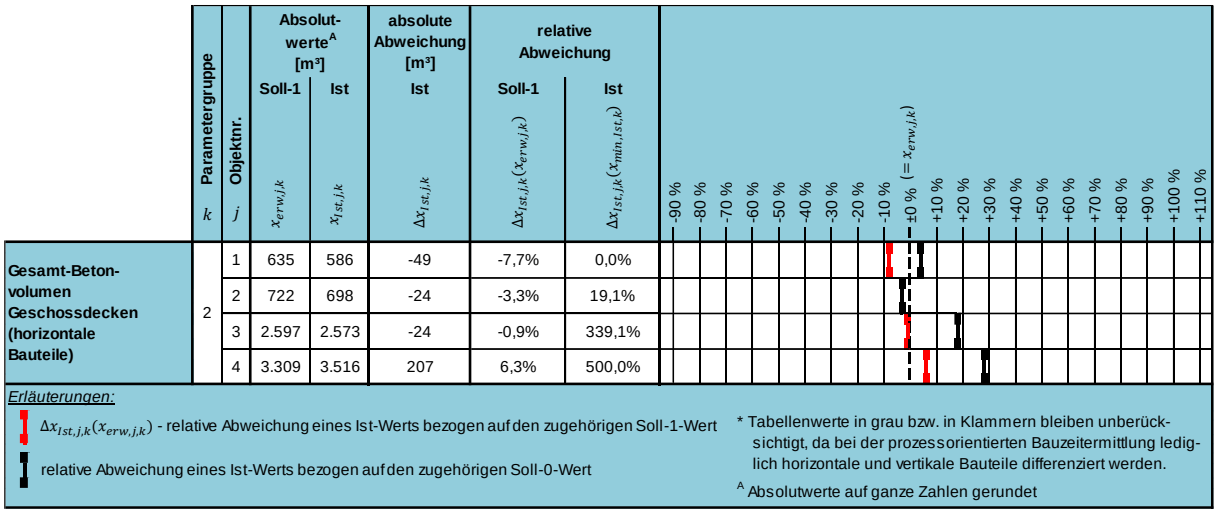
Abb. 85 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte der Betonvolumina horizontaler Bauteile bezogen auf den jeweiligen Soll-1-Wert zwischen -7,7 % und +6,3 % liegen. Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-1-Werte ergibt sich zu ±4,6 % (vgl. Abb. 86), was zeigt, dass die mittlere lineare Abweichung im Vergleich zu den Soll-0-Werten (= ±13,0 %; vgl. Abb. 76) deutlich reduziert wird.

Soll-1- und Ist-Intervall:

Das Soll-1-Intervall von 14,0 % unterschreitet das ermittelte Soll-0-Intervall von 30,4 % und Ist-Intervall von 500,0 % deutlich (vgl. Abb. 86 u. Abb. 76) und bestätigt die Adaptivität des

[531] Auf eine Analyse der Bewehrungsmengen wird verzichtet, da hierzu keine Ist-Werte vorliegen (vgl. Kap. H.4.3).

entwickelten Verfahrens hinsichtlich der Ermittlung der Fertigungsmengen „Gesamt-Betonvolumen Geschossdecken (horizontale Bauteile)“.[532]



	Parametergruppe k	Objektnr. j	Absolutwerte[A] [m³] Soll-1 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte[A] [m³] Ist $x_{Ist,j,k}$	absolute Abweichung [m³] Ist $\Delta x_{Ist,j,k}$	relative Abweichung Soll-1 $\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{Ist,j,k}(x_{min,Ist,k})$
Gesamt-Betonvolumen Geschossdecken (horizontale Bauteile)	2	1	635	586	-49	-7,7%	0,0%
		2	722	698	-24	-3,3%	19,1%
		3	2.597	2.573	-24	-0,9%	339,1%
		4	3.309	3.516	207	6,3%	500,0%

Erläuterungen:

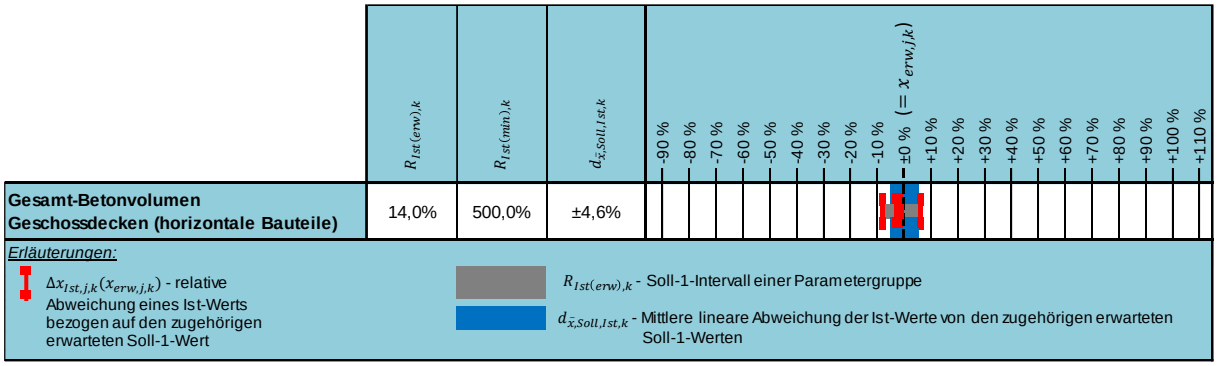
$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-1-Wert

relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-0-Wert

* Tabellenwerte in grau bzw. in Klammern bleiben unberücksichtigt, da bei der prozessorientierten Bauzeitermittlung lediglich horizontale und vertikale Bauteile differenziert werden.

[A] Absolutwerte auf ganze Zahlen gerundet

Abb. 85: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, horizontale Bauteile (Einzelwerte)[533]



	$R_{Ist(erw),k}$	$R_{Ist(min),k}$	$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$
Gesamt-Betonvolumen Geschossdecken (horizontale Bauteile)	14,0%	500,0%	±4,6%

Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-1-Wert

$R_{Ist(erw),k}$ - Soll-1-Intervall einer Parametergruppe

$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$ - Mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte von den zugehörigen erwarteten Soll-1-Werten

Abb. 86: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, horizontale Bauteile (Zusammenfassung)[534]

I.3.1.2 Vertikale Bauteile

Die berechneten Kennwerte zur Validierung der Soll-1-Fertigungsmengen „Gesamt-Betonvolumen Wände und Stützen (vertikale Bauteile)“ ergeben sich aus Abb. 87 und Abb. 88.

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-1- und Ist-Werten:

Abb. 87 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte der Betonvolumina vertikaler Bauteile bezogen auf den jeweiligen Soll-1-Wert zwischen -7,6 % und +27,6 % liegen. Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-1-Werte ergibt

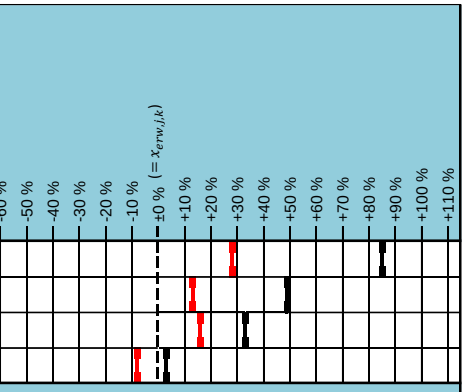
[532] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-1- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen ist in Abb. 158 (Anlage) dargestellt.

[533] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 156 (Anlage).

[534] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 157 (Anlage).

sich zu ±16,1 % (vgl. Abb. 88), was zeigt, dass die mittlere lineare Abweichung im Vergleich zu den Soll-0-Werten (= ±42,3 %; vgl. Abb. 78) deutlich reduziert wird.

	Parametergruppe k	Objektnr. j	Absolutwerte[A] [m³] Soll-1 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte[A] [m³] Ist $x_{ist,j,k}$	absolute Abweichung [m³] Ist $\Delta x_{ist,j,k}$	relative Abweichung Soll-1 $\Delta x_{ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{ist,j,k}(x_{min,ist,k})$
Gesamt-Betonvolumen Wände und Stützen (vertikale Bauteile)	3	1	652	832	180	27,6%	20,6%
		2	724	819	95	13,1%	18,7%
		3	669	775	106	15,8%	12,3%
		4	747	690	-57	-7,6%	0,0%



Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-1-Wert

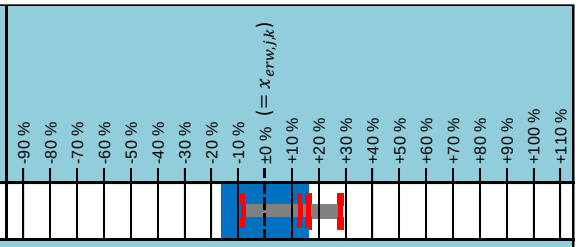
relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-0-Wert

* Tabellenwerte in grau bzw. in Klammern bleiben unberücksichtigt, da bei der prozessorientierten Bauzeitermittlung lediglich horizontale und vertikale Bauteile differenziert werden.

[A] Absolutwerte auf ganze Zahlen gerundet

Abb. 87: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, vertikale Bauteile (Einzelwerte)[535]

	$R_{Ist(erw),k}$	$R_{Ist(min),k}$	$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$
Gesamt-Betonvolumen Wände und Stützen (vertikale Bauteile)	35,2%	20,6%	±16,1%



Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-1-Wert

$R_{Ist(erw),k}$ - Soll-1-Intervall einer Parametergruppe

$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$ - Mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte von den zugehörigen erwarteten Soll-1-Werten

Abb. 88: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, vertikale Bauteile (Zusammenfassung)[536]

Soll-1- und Ist-Intervall:

Das Soll-1-Intervall von 35,2 % unterschreitet das ermittelte Soll-0-Intervall von 82,4 %, wohingegen das Ist-Intervall von 20,6 % deutlich überschritten wird (vgl. Abb. 88 u. Abb. 78). Auch das ermittelte Soll-1-Intervall offenbart Verbesserungspotenziale des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der Ermittlung der Fertigungsmengen „Gesamt-Betonvolumen Wände und Stützen (vertikale Bauteile)“.[537]

[535] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 156 (Anlage).

[536] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 157 (Anlage).

[537] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-1- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen ist in Abb. 158 (Anlage) dargestellt.

I.3.2 Randschalungslängen

Die ermittelten Soll-1- und Ist-Werte der Randschalungslängen sind in Abb. 89 und Abb. 90 gegenübergestellt. In Abb. 158 (Anlage) werden die Soll-1- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen weiterhin graphisch gegenübergestellt.

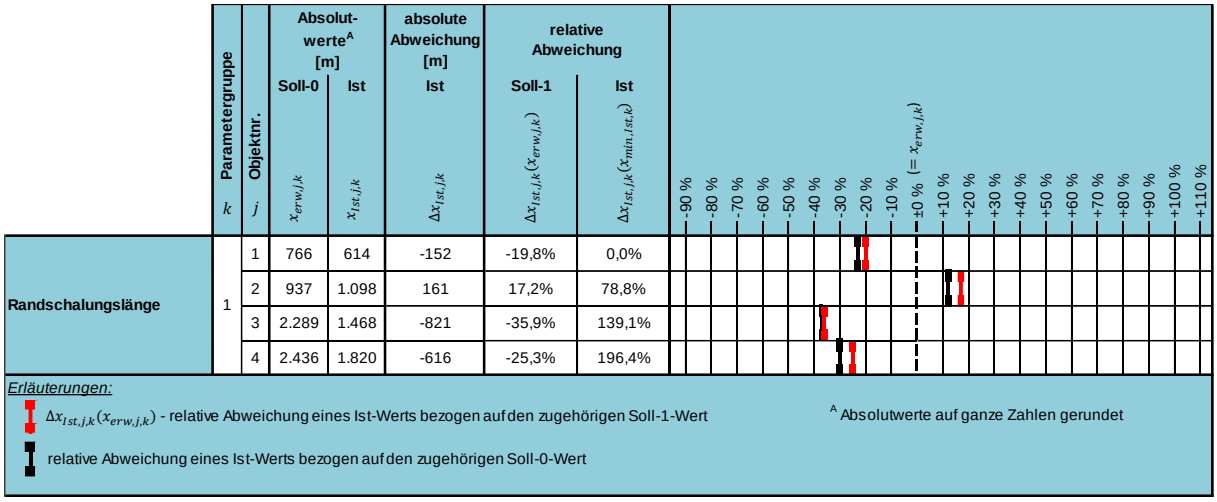


Abb. 89: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Randschalungslängen (Einzelwerte)[538]

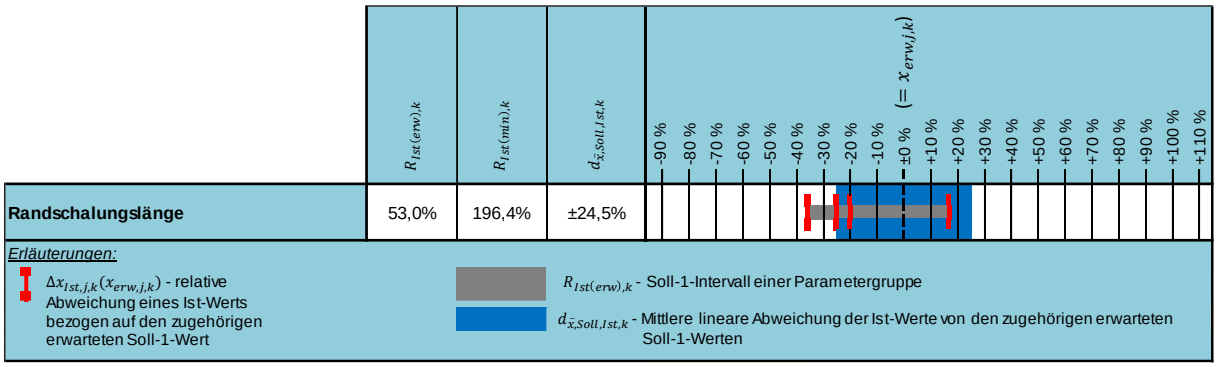


Abb. 90: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Randschalungslängen (Zusammenfassung)[539]

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-1- und Ist-Werten:

Abb. 89 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte der Randschalungslängen bezogen auf den jeweiligen Soll-1-Wert zwischen -35,9 % und +17,2 % liegen. Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-1-Werte ergibt sich zu ±24,5 % (vgl. Abb. 90), was zeigt, dass die mittlere lineare Abweichung im Vergleich zu den Soll-0-Werten (= ±25,1 %; vgl. Abb. 80) geringfügig reduziert wird.

---

[538] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5. Die angegebenen Ist-Werte, die aus Hacherer (2019) resultieren (vgl. Kap. H.4.1), sind hierin als Randschalungsfläche in m² angegeben (vgl. a. a. O., S. 18, 41, 47 ff). Die Umrechnung auf laufende Meter Randschalungslänge erfolgt auf Grundlage dieser Randschalungsfläche und der ermittelten mittleren Ist-Deckenstärke (vgl. a. a. O. , S. 47 ff).

[539] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5. Die im Rahmen der Berechnung verwendeten Parameter resultieren aus Abb. 79.

Soll-1- und Ist-Intervall:

Das Soll-1-Intervall von 53,0 % überschreitet das ermittelte Soll-0-Intervall von 47,5 % geringfügig, wohingegen das Ist-Intervall von 196,4 % deutlich unterschritten wird (vgl. Abb. 90 u. Abb. 80). Das ermittelte Soll-1-Intervall offenbart Verbesserungspotenziale des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der Ermittlung der Fertigungsmengen „Randschalungslängen“.[540]

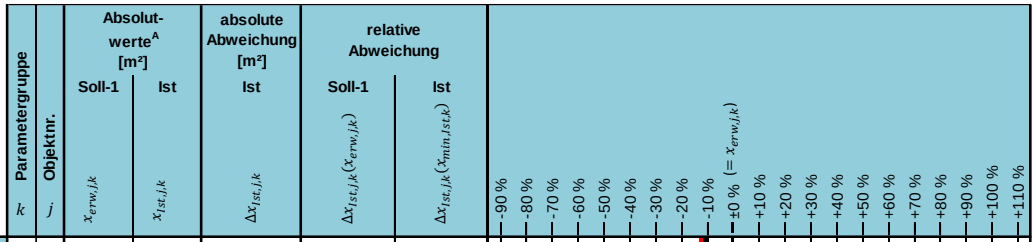
I.3.3 Schalungsflächen

Die ermittelten Soll-1- und Ist-Werte der Schalungsflächen sind in Abb. 159 und Abb. 160 (Anlage) gegenübergestellt. In Abb. 158 (Anlage) werden die Soll-1- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen weiterhin graphisch gegenübergestellt.

I.3.3.1 Horizontale Bauteile

Die berechneten Kennwerte zur Validierung der Soll-1-Fertigungsmengen „Gesamt-Schalungsfläche Geschossdecken (horizontale Bauteile)“ ergeben sich aus Abb. 91 und Abb. 92.

	Parametergruppe k	Objektnr. j	Absolutwerte[A] [m²] Soll-1 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte[A] [m²] Ist $x_{ist,j,k}$	absolute Abweichung [m²] Ist $\Delta x_{ist,j,k}$	relative Abweichung Soll-1 $\Delta x_{ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{ist,j,k}(x_{min,ist,k})$
Gesamt-Schalungsfläche Geschossdecken (horizontale Bauteile)	2	1	2.267	2.007	-260	-11,5%	0,0%
		2	2.888	2.514	-374	-13,0%	25,3%
		3	8.658	8.371	-287	-3,3%	317,1%
		4	11.032	11.734	702	6,4%	484,7%



Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-1-Wert

relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-0-Wert

* Tabellenwerte in grau bzw. in Klammern bleiben unberücksichtigt, da bei der prozessorientierten Bauzeitermittlung lediglich horizontale und vertikale Bauteile differenziert werden.

[A] Absolutwerte auf ganze Zahlen gerundet

Abb. 91: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, horizontale Bauteile (Einzelwerte)[541]

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-1- und Ist-Werten:

Abb. 91 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte der Schalungsflächen horizontaler Bauteile bezogen auf den jeweiligen Soll-1-Wert zwischen -13,0 % und +6,4 % liegen. Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-1-Werte ergibt

[540] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-1- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen ist in Abb. 158 (Anlage) dargestellt.

[541] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 159 (Anlage).

sich zu ±8,5 % (vgl. Abb. 92), was zeigt, dass die mittlere lineare Abweichung im Vergleich zu den Soll-0-Werten (= ±8,6 %; vgl. Abb. 82) geringfügig reduziert wird.

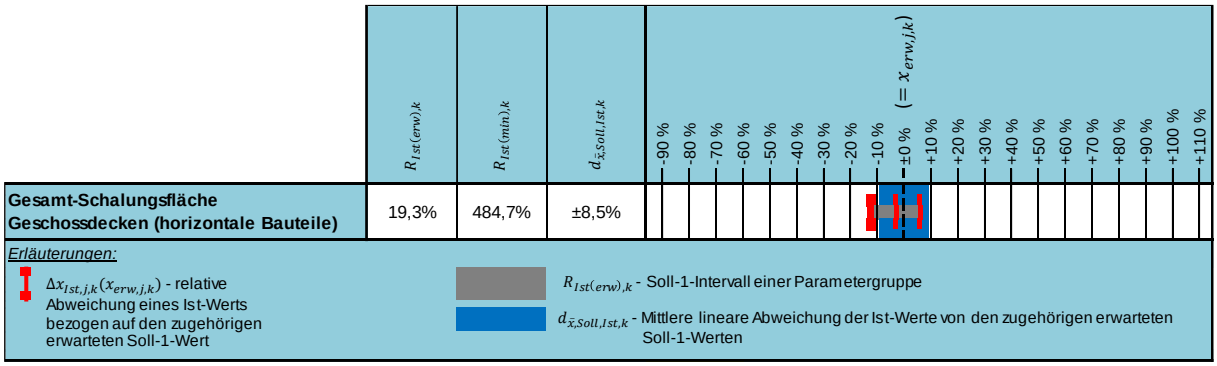


Abb. 92: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, horizontale Bauteile (Zusammenfassung)[542]

Soll-1- und Ist-Intervall:

Das Soll-1-Intervall von 19,3 % überschreitet das ermittelte Soll-0-Intervall von 18,9 % geringfügig, wohingegen das Ist-Intervall von 484,7 % deutlich unterschritten wird (vgl. Abb. 92 u. Abb. 82). Das ermittelte Soll-1-Intervall offenbart Verbesserungspotenziale des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der Ermittlung der Fertigungsmengen „Gesamt-Schalungsfläche Geschossdecken (horizontale Bauteile)“.[543]

I.3.3.2 Vertikale Bauteile

Die berechneten Kennwerte zur Validierung der Soll-1-Fertigungsmengen „Gesamt-Schalungsfläche Wände und Stützen (vertikale Bauteile)“ ergeben sich aus Abb. 93 und Abb. 94.

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-1- und Ist-Werten:

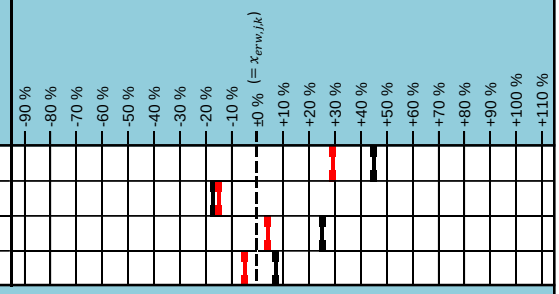
Abb. 93 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Ist-Werte der Schalungsflächen vertikaler Bauteile bezogen auf den jeweiligen Soll-1-Wert zwischen -15,3 % und +28,5 % liegen. Die mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-1-Werte ergibt sich zu ±13,1 % (vgl. Abb. 94), was zeigt, dass die mittlere lineare Abweichung im Vergleich zu den Soll-0-Werten (= ±23,4 %; vgl. Abb. 84) deutlich reduziert wird.

---

[542] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 160 (Anlage).

[543] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-1- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen ist in Abb. 158 (Anlage) dargestellt.

	Parametergruppe k	Objektnr. j	Absolutwerte[A] [m²] Soll-1 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte[A] [m²] Ist $x_{ist,j,k}$	absolute Abweichung [m²] Ist $\Delta x_{ist,j,k}$	relative Abweichung Soll-1 $\Delta x_{ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{ist,j,k}(x_{min,ist,k})$
Gesamt-Schalungsfläche Wände und Stützen (vertikale Bauteile)	3	1	4.247	5.459	1.212	28,5%	41,9%
		2	4.542	3.848	-694	-15,3%	0,0%
		3	6.293	6.534	241	3,8%	69,8%
		4	6.798	6.487	-311	-4,6%	68,6%



Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-1-Wert

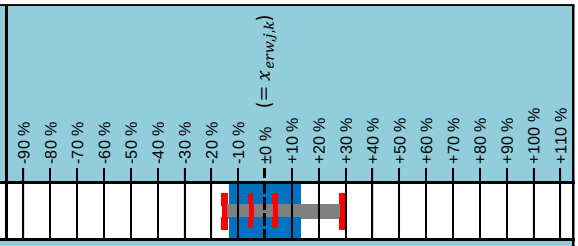
relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-0-Wert

* Tabellenwerte in grau bzw. in Klammern bleiben unberücksichtigt, da bei der prozessorientierten Bauzeitermittlung lediglich horizontale und vertikale Bauteile differenziert werden.

[A] Absolutwerte auf ganze Zahlen gerundet

Abb. 93: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, vertikale Bauteile (Einzelwerte)[544]

	$R_{Ist(erw),k}$	$R_{Ist(min),k}$	$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$
Gesamt-Schalungsfläche Wände und Stützen (vertikale Bauteile)	43,8%	69,8%	±13,1%



Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-1-Wert

$R_{Ist(erw),k}$ - Soll-1-Intervall einer Parametergruppe

$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$ - Mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte von den zugehörigen erwarteten Soll-1-Werten

Abb. 94: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, vertikale Bauteile (Zusammenfassung)[545]

Soll-1- und Ist-Intervall:

Das Soll-1-Intervall von 43,8 % unterschreitet das ermittelte Soll-0-Intervall von 61,1 % und Ist-Intervall von 69,8 % deutlich (vgl. Abb. 94 u. Abb. 84) und bestätigt die Adaptivität des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der Ermittlung der Fertigungsmengen „Gesamt-Schalungsfläche Wände und Stützen (vertikale Bauteile)“.[546]

I.3.4 Zwischenfazit (Stufe 3)

Da aus den festgestellten Abweichungen zwischen den Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen der ausgewerteten Bauobjekte (vgl. Kap. I.3.1 bis Kap. I.3.3) keine Bauzeitabweichungen resultieren (vgl. Kap. L.4.3, Anlage), kann die Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens bestätigt werden.

---

[544] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 159 (Anlage).

[545] Eigene Darstellung. Anm.: Auszug aus Abb. 160 (Anlage).

[546] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-1- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen ist in Abb. 158 (Anlage) dargestellt.

Gleichzeitig ist festzuhalten, dass die Genauigkeit der ermittelten Gesamtaufwände und Bauzeiten, die aus den Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen der ausgewerteten Bauobjekte resultieren, grundsätzlich auch von der Genauigkeit der zugrunde gelegten erwarteten Aufwandswerte (vgl. Kap. G.1.1) abhängig sind.

Die Detailbetrachtung von Bauobjekt 1 (vgl. Kap. L.4.3.2, Anlage) zeigt, dass aus den Abweichungen zwischen den Soll-1- und Ist-Bewehrungsmengen vertikaler Bauteile zwar eine Steigerung der Vorgangsdauer von Takt 2 resultiert, die ermittelte Taktzeit jedoch unverändert bleibt.

Die Detailbetrachtung von Bauobjekt 2 (vgl. Kap. L.4.3.3, Anlage) zeigt, dass aus den Abweichungen zwischen den Soll-1- und Ist-Bewehrungsmengen vertikaler Bauteile zwar eine Reduzierung der Vorgangsdauer von Takt 2 bezogen auf das Erdgeschoss resultiert, die ermittelte Taktzeit jedoch unverändert bleibt.

Die Detailbetrachtungen von Bauobjekt 3 und Bauobjekt 4 (vgl. Kap. L.4.3.4 u. Kap. L.4.3.5, Anlage) zeigen, dass aus den Abweichungen zwischen den Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen der Randschalungslängen sowie Schalungsflächen horizontaler und vertikaler Bauteile zwar jeweils eine Reduzierung der Vorgangsdauer von Takt 4 resultiert, die ermittelten Taktzeiten jedoch unverändert bleiben.

Die mittleren linearen Abweichungen der Ist-Fertigungsmengen bezogen auf die erwarteten Soll-1-Werte liegen zwischen ±4,6 % (Betonvolumina horizontaler Bauteile) und ±24,5 % (Randschalungslängen). Im Vergleich zu den mittleren linearen Abweichungen der Ist-Werte bezogen auf die erwarteten Soll-0-Werte ergeben sich für alle untersuchten Fertigungsmengen z. T. deutliche Reduzierungen.

Mit Ausnahme der Randschalungslängen und Schalungsflächen horizontaler Bauteile unterschreiten die ermittelten Soll-1-Intervalle die zugehörigen Soll-0-Intervalle z. T. deutlich. Bis auf das Ist-Intervall des Betonvolumens vertikaler Bauteile, weisen die Soll-1-Intervalle z. T. auch deutliche Unterschreitungen der Ist-Intervalle auf. Dies bestätigt die Adaptivität des entwickelten Verfahrens.[547]

[547] Eine graphische Gegenüberstellung der Soll-1- und Ist-Intervalle aller Fertigungsmengen ist in Abb. 158 (Anlage) dargestellt.

I.4 Stufe 4: Analyse der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände

Bei der Analyse der Gesamtaufwände werden die ermittelten Gesamtaufwände der vier ausgewerteten Bauobjekte, die auf Grundlage der Soll-0- oder Soll-1-Gebäudeparameter ermittelt werden („Soll-0-Gesamtaufwände“ bzw. „Soll-1-Gesamtaufwände“), den Gesamtaufwänden gegenübergestellt, die aus Bauzeitermittlungsverfahren anderer Autoren (Indirekte Methoden; vgl. Kap. L.1.2, Anlage) resultieren („Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren“).

Die jeweiligen Ergebnisse werden nachfolgend zusammengefasst – die Detailbetrachtungen ergeben sich aus Kapitel L.4.4 (Anlage).

Da zwischen den ermittelten Soll-1- und Soll-2-Bauzeiten keine Abweichungen feststellbar sind (vgl. Kap. I.3.4), wird auf eine separate Analyse der Soll-2-Gesamtaufwände verzichtet.

Um die Auswirkungen abweichender Aufwandswerte (vgl. Kap. G.1.1) bei der Ermittlung der Gesamtaufwände erkennen zu können, werden die Soll-0-Gesamtaufwände, die jeweils aus der Arbeitshilfe resultieren, bezüglich der zugrunde gelegten Aufwandswerte differenziert in:

- *Soll-0-Gesamtaufwand (min)*: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und der minimalen Aufwandswerte
- *Soll-0-Gesamtaufwand (erw)*: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und der erwarteten Aufwandswerte
- *Soll-0-Gesamtaufwand (max)*: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und der maximalen Aufwandswerte

In gleicher Form werden auch der Soll-1-Gesamtaufwand (min), der Soll-1-Gesamtaufwand (erw) und der Soll-1-Gesamtaufwand (max) unterschieden, die jedoch auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter ermittelt werden.

In Abb. 95 sind die ermittelten Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände der ausgewerteten Bauobjekte den Gesamtaufwänden aus insgesamt zehn sonstigen Verfahren gegenübergestellt.

Wie Abb. 95 zeigt, werden die Bandbreiten der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren bis auf wenige Ausnahmen durch die ermittelten Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände der vier ausgewerteten Bauobjekte unterschritten und das größtenteils sehr deutlich. Lediglich die Soll-0-Gesamtaufwände (max), die Soll-1-Gesamtaufwände (erw) und die Soll-1-Gesamtaufwände (max) liegen teilweise innerhalb einzelner Bandbreiten der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren (vgl. auch Kap. L.4.4.1, Abb. 161 bis Abb. 164, Anlage).

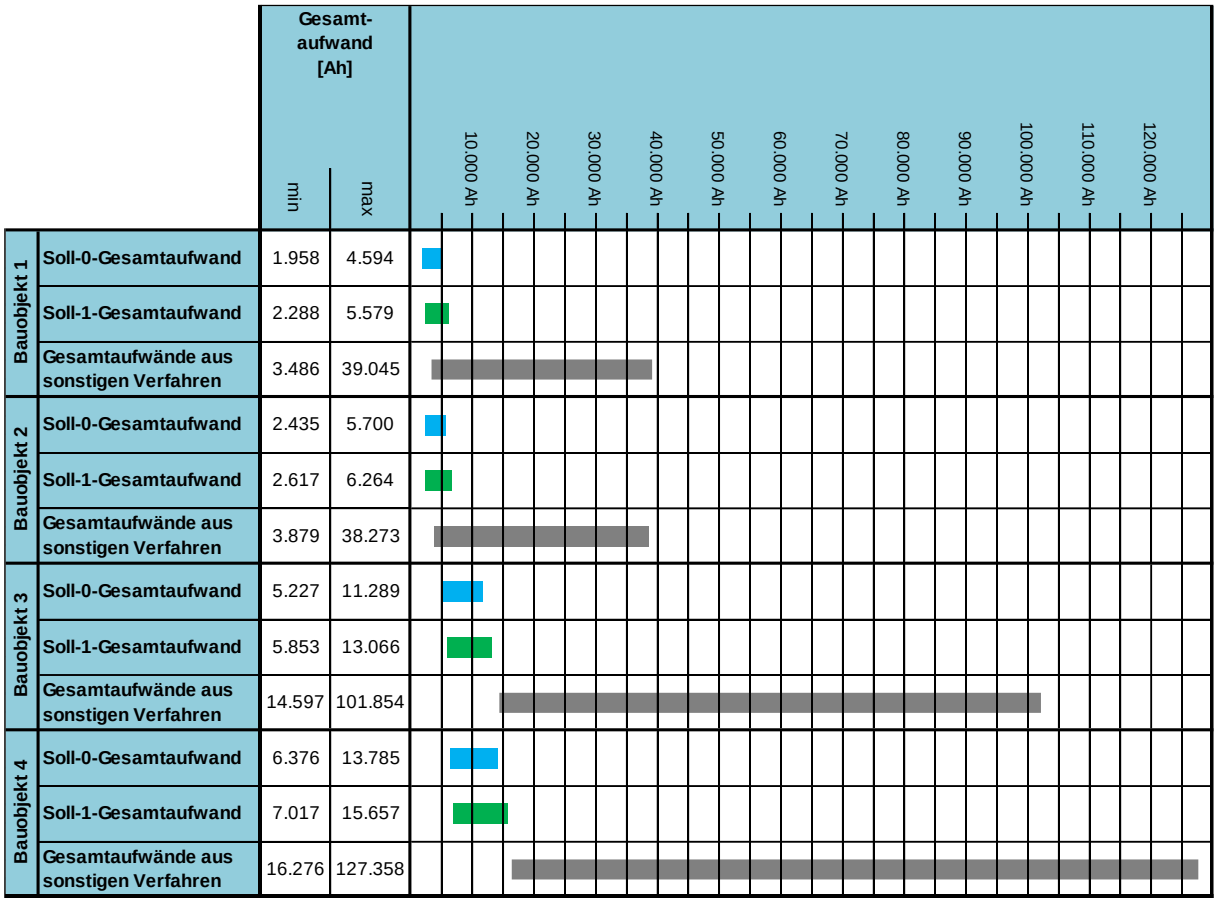


Abb. 95: Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände sowie Gesamtaufwände nach Verfahren diverser Autoren (Zusammenfassung)[548]

Aufgrund der fehlenden tatsächlichen Ist-Gesamtaufwände, kann weder für die ermittelten Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände noch für die Gesamtaufwände, die aus der Anwendung der insgesamt zehn sonstigen Bauzeitermittlungsverfahren anderer Autoren resultieren, die tatsächliche Genauigkeit bewertet werden. Da allerdings für die analysierten Indirekten Methoden festgestellt wurde, dass diese häufig auf Erfahrungswerten, d. h. abgeschlossenen Bauprojekten, beruhen und somit mit hoher Wahrscheinlichkeit auch Einflüsse aus Bauablaufstörungen enthalten (vgl. Kap. B.2.4, hier: „Zwischenfazit 21“), die zu überhöhten Ergebnissen führen, ist die Unterschreitung der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren durch die ermittelten Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände schlüssig. Weiterhin zeigt die durchgeführte Plausibilitätsprüfung in Kapitel I.5, dass die ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten wirtschaftlich und realistisch sind, was die Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens bestätigt. Daraus kann weiterhin auf Ungenauigkeiten der ermittelten Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren geschlossen werden, was deren generelle Anwendbarkeit zur Ermittlung wirtschaftlicher und realistischer Bauzeit in Frage stellt.

[548] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Abb. 161 bis Abb. 164 (vgl. Kap. L.4.4.1, Anlage).

Weiterhin zeigt Abb. 95, dass die Gesamtaufwände der vier ausgewerteten Bauobjekte aus sonstigen Verfahren eine sehr große Bandbreite von 598 % bis 1.020 % (relative Abweichung bezogen auf den jeweiligen Minimalwert der Gesamtaufwände aller sonstigen Verfahren) aufweisen, wohingegen die Bandbreite der Gesamtaufwände des entwickelten Verfahrens zwischen 116 % und 135 % (Soll-0) bzw. 123 % und 144 % (Soll-1) liegen (relative Abweichung bezogen auf den jeweiligen Minimalwert des Gesamtaufwands des entwickelten Verfahrens).[549] Die deutlich geringeren Bandbreiten des entwickelten Verfahrens führen daher grundsätzlich zu einer vergleichsweise höheren Eindeutigkeit der Ergebnisse des entwickelten Verfahrens.

Obwohl in Kapitel B.2.4 (hier: „Zwischenfazit 22“) dargelegt wird, dass die Bauzeit, ebenso wie der Gesamtaufwand, aus den Fertigungsmengen und nicht aus dem BRI eines Bauwerks resultiert, begründen die festgestellten Unterschreitungen der Gesamtaufwände sonstiger Verfahren eine Überprüfung der zugrunde gelegten Aufwandswerte des entwickelten Verfahrens.

I.5 Stufe 5: Analyse der Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten

Nachfolgend werden die ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten und die jeweils zugrundeliegenden Vorgangsdauern zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts der vier ausgewerteten Bauobjekte auf generelle Plausibilität geprüft. Dies umfasst auch die Analyse der Auswirkungen von Anpassungen der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt (vgl. Kap. G.1.3.2) und Krananzahl (vgl. Kap. G.1.3.3) innerhalb der jeweils zugehörigen resultierenden Soll-Bandbreiten.

Da zwischen den ermittelten Soll-1- und Soll-2-Bauzeiten keine Abweichungen feststellbar sind (vgl. Kap. I.3.4), wird auf eine separate Analyse der Soll-2-Bauzeiten verzichtet. Die nachfolgend gemachten Angaben zur Soll-1-Bauzeit können grundsätzlich auch auf die Soll-2-Bauzeiten übertragen werden.

Die Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten der vier ausgewerteten Bauobjekte sowie die jeweils zugehörige minimalen, erwarteten und maximalen Krananzahlen, Anzahlen der Fertigungsabschnitte sowie maximalen Anzahlen an AK pro Fertigungsabschnitt, die nachfolgend betrachtet werden, sind in Tab. 43 zusammengefasst.

[549] Für die minimalen und maximalen Soll-Werte der verwendeten Aufwandswerte (vgl. Kap. G.1.1) ergeben sich Bandbreiten (jeweils relative Abweichung bezogen auf den minimalen Soll-Wert) von ±0 % (Randschalung = 0,35 Ah/m) bis 211 % (Schalung vertikale Bauteile, Wände und Stützen = 0,09 bis 0,28 Ah/m²).

Tab. 43: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Soll-1-Gebäudeparameter – Zusammenfassung[550]

	Bauobjekt 1	Bauobjekt 2	Bauobjekt 3	Bauobjekt 4
Bauzeit				
Erwartete Soll-0-Bauzeit	70 AT	81 AT	176 AT	244 AT
Erwartete Soll-1-Bauzeit (= Soll-2-Bauzeit)	108 AT	124 AT	223 AT	312 AT
Krananzahl [-]				
Soll-0-Bauzeit				
Minimaler Soll-Wert	2	2	2	2
Erwarteter Soll-Wert	2	2	2	3
Maximaler Soll-Wert	2	2	2	4
Soll-1-Bauzeit				
Minimaler Soll-Wert	2	2	2	2
Erwarteter Soll-Wert	2	2	2	3
Maximaler Soll-Wert	2	2	2	3
Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]				
Soll-0-Bauzeit	3	3	3	5
Soll-1-Bauzeit	5	5	4	5
Max. Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt [-]				
Soll-0-Bauzeit				
Minimaler Soll-Wert	7	7	7	4
Erwarteter Soll-Wert (bezogen auf erwartete Soll-0-Krananzahl)	13	13	13	12
Maximaler Soll-Wert	17	17	17	15
Soll-1-Bauzeit				
Minimaler Soll-Wert	4	4	5	4
Erwarteter Soll-Wert (bezogen auf erwartete Soll-1-Krananzahl)	8	8	10	12
Maximaler Soll-Wert	10	10	13	15

I.5.1 Bauobjekt 1

In Abb. 165 (vgl. Kap. L.4.5.1, Anlage) ist der Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt und den daraus resultierenden Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten von Bauobjekt 1 dargestellt.

Für die Soll-0-Bauzeit resultieren aus der Anpassung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, innerhalb der zugehörigen Soll-Bandbreite von $n_{(AK,max/FA),min} = 7$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 17$, Bauzeiten von 38 AT, 70 AT (= Soll-0-Bauzeit) und 102 AT. Für die Soll-1-Bauzeit resultieren aus der Anpassung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, innerhalb der zugehörigen Soll-Bandbreite von $n_{(AK,max/FA),min} = 4$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 10$, Bauzeiten von 74 AT, 108 AT (= Soll-1-Bauzeit) und 210 AT.

[550] Eigene Darstellung.

Bei identischer Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt sind zwischen den jeweils ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten lediglich geringfügige Differenzen von maximal 2 AT bis 6 AT feststellbar.

Die detaillierte Betrachtung der Fertigungsmengen, Anzahl an AK der einzelnen Takte und Fertigungsabschnitte (vgl. Kap. L.4.5.1, Anlage) hat ergeben, dass die ermittelten Taktzeiten und Vorgangsdauern der Arbeitstakte bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten von Bauobjekt 1 als generell plausibel und wirtschaftlich umsetzbar betrachtet werden können.

I.5.2 Bauobjekt 2

In Abb. 166 (vgl. Kap. L.4.5.2, Anlage) ist der Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt und den daraus resultierenden Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten von Bauobjekt 2 dargestellt.

Für die Soll-0-Bauzeit resultieren aus der Anpassung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, innerhalb der zugehörigen Soll-Bandbreite von $n_{(AK,max/FA),min} = 7$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 17$, Bauzeiten von 44 AT, 81 AT (= Soll-0-Bauzeit) und 118 AT. Für die Soll-1-Bauzeit resultieren aus der Anpassung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, innerhalb der zugehörigen Soll-Bandbreite von $n_{(AK,max/FA),min} = 4$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 10$, Bauzeiten von 85 AT, 124 AT (= Soll-1-Bauzeit) und 250 AT.

Bei identischer Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt sind zwischen den jeweils ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten lediglich geringfügige Differenzen von maximal 4 AT bis 6 AT feststellbar.

Die detaillierte Betrachtung der Fertigungsmengen, Anzahl an AK der einzelnen Takte und Fertigungsabschnitte (vgl. Kap. L.4.5.2, Anlage) hat ergeben, dass die ermittelten Taktzeiten und Vorgangsdauern der Arbeitstakte bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten von Bauobjekt 2 als generell plausibel und wirtschaftlich umsetzbar betrachtet werden können.

I.5.3 Bauobjekt 3

In Abb. 167 (vgl. Kap. L.4.5.3, Anlage) ist der Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt und den daraus resultierenden Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten von Bauobjekt 3 dargestellt.

Für die Soll-0-Bauzeit resultieren aus der Anpassung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, innerhalb der zugehörigen Soll-Bandbreite von $n_{(AK,max/FA),min} = 7$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 17$, Bauzeiten von 176 AT (= Soll-0-Bauzeit), 218 AT und 386 AT. Für die

Soll-1-Bauzeit resultieren aus der Anpassung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, innerhalb der zugehörigen Soll-Bandbreite von $n_{(AK,max/FA),min} = 5$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 13$, Bauzeiten von 223 AT (= Soll-1-Bauzeit), 438 AT und 610 AT.

Bei identischer Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt sind zwischen den jeweils ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten für $n_{(AK,max/FA)} = 10$ (= erwartete Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit) und $n_{(AK,max/FA)} = 11$ lediglich geringfügige Differenzen von 5 AT feststellbar. Für die übrigen Anzahlen an AK pro Fertigungsabschnitt ergeben sich zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit hingegen Differenzen von 47 AT und 52 AT, die jeweils insbesondere auf die Unterschiede bei der zugrunde gelegten Anzahl der Fertigungsabschnitte sowie der Taktzeiten des Erd- und der Regelgeschosse zurückgeführt werden können (vgl. Kap. L.4.5.3, Anlage).

Die detaillierte Betrachtung der Fertigungsmengen, Anzahl an AK der einzelnen Takte und Fertigungsabschnitte (vgl. Kap. L.4.5.3, Anlage) hat ergeben, dass die ermittelten Taktzeiten und Vorgangsdauern der Arbeitstakte bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten von Bauobjekt 3 als generell plausibel und wirtschaftlich umsetzbar betrachtet werden können.

I.5.4 Bauobjekt 4

In Abb. 168 (vgl. Kap. L.4.5.4, Anlage) ist der Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt und den daraus resultierenden Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten von Bauobjekt 4 dargestellt.

Für die Soll-0-Bauzeit resultieren aus der Anpassung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, innerhalb der zugehörigen Soll-Bandbreite von $n_{(AK,max/FA),min} = 4$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 20$, Bauzeiten von 142 AT, 176 AT, 244 AT (= Soll-0-Bauzeit), 482 AT und 754 AT. Für die Soll-1-Bauzeit resultieren aus der Anpassung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, innerhalb der zugehörigen Soll-Bandbreite von $n_{(AK,max/FA),min} = 4$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 15$, Bauzeiten von 210 AT, 312 AT (= Soll-1-Bauzeit), 584 AT und 754 AT.

Bei identischer Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt sind zwischen den jeweils ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten für $n_{(AK,max/FA)} = 12$ (= erwartete Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit) Differenzen von 68 AT feststellbar. Für $n_{(AK,max/FA)} = 4$ und $n_{(AK,max/FA)} = 5$ ergeben sich hingegen keine unterschiedlichen Bauzeiten. Für die übrigen Anzahlen an AK pro Fertigungsabschnitt ergeben sich zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit hingegen Differenzen von 34 AT bis 102 AT, die jeweils insbesondere auf die Unterschiede bei der zugrunde gelegten Anzahl der Fertigungsab-

schnitte sowie der Taktzeiten des Erd- und der Regelgeschosse zurückgeführt werden können (vgl. Kap. L.4.5.4, Anlage).

Die detaillierte Betrachtung der Fertigungsmengen, Anzahl an AK der einzelnen Takte und Fertigungsabschnitte (vgl. Kap. L.4.5.4, Anlage) hat ergeben, dass die ermittelten Taktzeiten und Vorgangsdauern der Arbeitstakte bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten von Bauobjekt 4 als generell plausibel und wirtschaftlich umsetzbar betrachtet werden können.

I.5.5 Zwischenfazit (Stufe 5)

Die Bauzeit ist generell von der Anzahl der eingesetzten AK abhängig. Dies zeigt auch der dargestellte Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ($n_{(AK,max/FA)}$) und den daraus resultierenden Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten (vgl. Kap. L.4.5.1 bis Kap. L.4.5.4, Anlage).

Die ermittelten Abweichungen zwischen den Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten wurden bereits in Kapitel I.2 und Kapitel I.3 dargestellt und hinsichtlich ihrer jeweiligen Ursache bewertet.

Die ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten der einzelnen Bauobjekte sind baupraktisch plausibel und umsetzbar, was unter anderem durch die detaillierte Betrachtung der eingesetzten AK und Fertigungsmengen und den damit verbundenen Ausführungsdauern auf Ebene der Fertigungsabschnitte gezeigt werden konnte (vgl. Kap. L.4.5.1 bis Kap. L.4.5.4, Anlage). Aus dem entwickelten Verfahren resultieren somit – im Gegensatz zu den betrachteten sonstigen Verfahren (vgl. auch Kap. I.4) – wirtschaftliche und somit realistische Bauzeiten, die durch Terminsteuerungsmaßnahmen beherrschbar sind.

Generell können sowohl kürzere als auch längere Bauzeiten als die ermittelten Soll-0- bzw. Soll-1-Bauzeiten möglich und wirtschaftlich umsetzbar sein. Durch die Anpassung von Ressourcen – insbesondere der Anzahl der eingesetzten Krane und der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt aber auch der Kolonnenanzahlen – können bei der Ermittlung der Bauzeit mit Hilfe der Arbeitshilfe verschiedene Szenarien des Bauablaufs gegenübergestellt werden.

Die wirtschaftliche Bauzeit ist projektspezifisch zu ermitteln. Hierbei ist beispielsweise eine Kostenvergleichsrechnung durchzuführen, in der variierende Kran- und AK-Anzahlen und die daraus resultierenden Bauzeitänderungen gegenübergestellt werden.

Die Analyse der ermittelten Bauzeiten der vier ausgewerteten Bauobjekte zeigt, dass das entwickelte Verfahren geeignet ist, um wirtschaftliche und somit realistische Bauzeitvorgaben ermitteln zu können und somit ein geeignetes Werkzeug der Terminsteuerung zur Gegenüberstellung unterschiedlicher Varianten des Gebäudeaufbaus und Bauablaufs darstellt.

I.6 Stufe 6: Bandbreitenanalyse

I.6.1 Bauobjekt 1

Die bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 1 ergeben sich aus den Parameterkombinationen aller Gebäudeparameter in Tab. 123 und Tab. 124 (vgl. Kap. L.4.6.1, Anlage) und sind in Tab. 44 zusammengefasst. In Tab. 44 sind außerdem die festgelegten maßgebenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 1 hervorgehoben.

Tab. 44: Bauzeitbeeinflussende und maßgebende Gebäudeparameter – Bauobjekt 1[551]

	Bauzeit D_{erw} (Bauzeitänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)	**Fertigungsmengen** (Fertigungsmengenänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)						
		Betonvolumen [m³]			Randschalungslänge [m]	Schalungsfläche [m²]		
		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile
Soll-0-Bauzeit (Bezugsbauzeit)	**70 AT**	**1.017**	**566**	**451**	**799**	**6.042**	**2.265**	**3.777**
Aus Soll-Wert = min								
Anteil der Fensterflächen	72 AT (+2,9%)	1.087 (+6,9%)	566 (±0%)	521 (+15,5%)	799 (±0%)	6.627 (+9,7%)	2.265 (±0%)	4.362 (+15,5%)
Geschossanzahl	59 AT (-15,7%)	988 (-2,9%)	574 (+1,4%)	414 (-8,2%)	728 (-8,9%)	5.769 (-4,5%)	2.296 (+1,4%)	3.473 (-8,0%)
Aus Soll-Wert = max								
Geschosshöhe der Regelgeschosse	72 AT (+2,9%)	1.082 (+6,4%)	565 (-0,2%)	518 (+14,9%)	805 (+0,8%)	6.596 (+9,2%)	2.258 (-0,3%)	4.338 (+14,9%)
Geschosshöhe des Erdgeschosses	72 AT (+2,9%)	1.030 (+1,3%)	566 (±0%)	464 (+2,9%)	799 (±0%)	6.152 (+1,8%)	2.265 (±0%)	3.887 (+2,9%)
Gebäudetiefe	38 AT (-45,7%)	1.013 (-0,4%)	566 (±0%)	447 (-0,9%)	760 (-4,9%)	6.017 (-0,4%)	2.265 (±0%)	3.751 (-0,7%)
Wandstärke der Außenwände	72 AT (+2,9%)	1.146 (+12,7%)	566 (±0%)	580 (+28,6%)	799 (±0%)	6.042 (±0%)	2.265 (±0%)	3.777 (±0%)
Anteil der Fensterflächen	38 AT (-45,7%)	947 (-6,9%)	566 (±0%)	381 (-15,5%)	799 (±0%)	5.457 (-9,7%)	2.265 (±0%)	3.192 (-15,5%)
Geschossanzahl	44 AT (-37,1%)	998 (-1,9%)	576 (+1,8%)	422 (-6,4%)	772 (-3,4%)	5.851 (-3,2%)	2.306 (+1,8%)	3.545 (-6,1%)
** Tabellenwerte nicht maßgebender Gebäudeparameter sind grau dargestellt.*								

Tab. 44 zeigt, dass die Variation der Gebäudeparameter „Geschossanzahl“ und „Anteil der Fensterflächen“ sowohl beim Ansatz des minimalen Soll-Werts als auch maximalen Soll-Werts zu einer Bauzeitänderung führt (vgl. auch Kap. I.1.8) und somit als maßgebende Gebäudeparameter definiert werden. Die größte Bauzeitänderung resultiert unter anderem aus dem Ansatz des maximalen Soll-Werts des Gebäudeparameters „Gebäudetiefe“, weshalb auch dieser als maßgebender Gebäudeparameter berücksichtigt wird.

[551] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Tabellenwerte resultieren aus Tab. 123 und Tab. 124 (Anlage). Tabellenwerte in Klammern werden bei der weiteren Berechnung nicht berücksichtigt.

Die Gebäudeparameter „Geschosshöhe der Regelgeschosse“, „Geschosshöhe des Erdgeschosses“ und „Wandstärke der Außenwände“ führen jeweils zu Bauzeitänderungen von +2,9 %. Um den Berechnungsaufwand der Parameterkombinationen zu reduzieren (vgl. Kap. H.5.5.2), wird jedoch lediglich der Gebäudeparameter „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ als maßgebender Gebäudeparameter berücksichtigt, da dieser – im Gegensatz zu den beiden anderen genannten Gebäudeparametern – alle angegebenen Fertigungsmengen beeinflusst (vgl. Tab. 44).

Aus den vier festgelegten maßgebenden Gebäudeparametern resultieren für die Ermittlung der Bauzeiten im nächsten Schritt 81 mögliche Parameterkombinationen.

Die resultierenden Bauzeiten, deren Häufigkeiten und zugehörigen Wahrscheinlichkeiten der Parameterkombinationen der maßgebenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 1 ergeben sich aus Tab. 125 (vgl. Kap. L.4.6.1, Anlage) und sind in Tab. 45 zusammengefasst. In Abb. 169 und Abb. 170 (vgl. Kap. L.4.6.1, Anlage) sind die ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die angenommene und exemplarische Wahrscheinlichkeit darüber hinaus in Histogrammen dargestellt.

Tab. 45: Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 1[552]

Bauzeit	Häufigkeit		kumulierte Häufigkeit		Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]	
					Wahrscheinlichkeit	kumulierte Wahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit	kumulierte Wahrscheinlichkeit
	[-]	[%]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
38 AT	9	11,1%	9	11,1%	13,3870%	13,3870%	15,84%	15,84%
43 AT	6	7,4%	15	18,5%	0,7527%	14,1397%	3,20%	19,04%
44 AT	20	24,7%	35	43,2%	8,3456%	22,4853%	16,64%	35,68%
59 AT	13	16,0%	48	59,3%	3,7847%	26,2699%	11,68%	47,36%
61 AT	12	14,8%	60	74,1%	0,6986%	26,9685%	7,68%	55,04%
65 AT	2	2,5%	62	76,5%	0,6504%	27,6189%	1,92%	56,96%
70 AT	4	4,9%	66	81,5%	61,6815%	89,3005%	23,04%	80,00%
72 AT	12	14,8%	78	96,3%	10,6811%	99,9816%	19,20%	99,20%
83 AT	1	1,2%	79	97,5%	0,0017%	99,9832%	0,16%	99,36%
121 AT	2	2,5%	81	100,0%	0,0168%	100,0000%	0,64%	100,00%
Summe:	**81**	**100,0%**			**100,0000%**		**100,00%**	

erwartete Soll-0-Bauzeit

[A] Angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 4,5 %, erwarteter Soll-Wert = 86,4 % und maximaler Soll-Wert = 9,1 % (vgl. Kap. H.5.5.3).

[B] Exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 20 %, erwarteter Soll-Wert = 60 % und maximaler Soll-Wert = 20 % (vgl. Kap. H.5.5.3).

Tab. 45 zeigt, dass aus den Parameterkombinationen insgesamt zehn unterschiedliche Bauzeiten resultieren, die zwischen 38 AT (relative Abweichung von der Soll-0-Bauzeit

[552] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Tab. 125 und sind Abb. 169 und Abb. 170 graphisch dargestellt (vgl. jeweils Kap. L.4.6.1, Anlage).

= -45,7 %)[553] und 121 AT (relative Abweichung von der Soll-0-Bauzeit = +72,9 %)[554] liegen. Die erzielten Ergebnisse zeigen eine große Bandbreite der ermittelten Bauzeiten von insgesamt 83 AT.

Wie in Kapitel I.1.9 nachgewiesen, beeinflusst insbesondere der Gebäudeparameter „Geschossanzahl“ eine Vielzahl der Parameter der Bauzeitermittlung, woraus sich deutliche Bauzeitänderungen ergeben. Wie die ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen in Tab. 125 (Anlage) zeigen, reduziert sich die Bandbreite der ermittelten Bauzeiten für identische Geschossanzahlen z. T. deutlich. Für den minimalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ ergeben sich Bauzeiten von 59 AT bis 121 AT (Bandbreite = 62 AT), für den erwarteten Soll-Wert von 38 AT bis 72 AT (Bandbreite = 34 AT) und für den maximalen Soll-Wert von 43 AT bis 83 AT (Bandbreite = 40 AT).

Aus der Kumulation der Wahrscheinlichkeiten in Tab. 45 resultiert, dass sich aus den Parameterkombinationen der maßgebenden Gebäudeparameter und den angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten (vgl. Kap. H.5.5.3) mit einer Wahrscheinlichkeit von 89,3 % eine Bauzeit von kleiner gleich 70 AT (= Soll-0-Bauzeit) ergibt. Für die ermittelte Soll-1- bzw. Soll-2-Bauzeit von 108 AT ergibt sich hingegen eine Wahrscheinlichkeit von 99,9 %. Werden hingegen die exemplarischen Eintrittswahrscheinlichkeiten in Ansatz gebracht, so reduziert sich die Wahrscheinlichkeit einer Bauzeit von kleiner gleich 70 AT auf 80,0 % und kleiner gleich 108 AT auf 99,4 % (vgl. Tab. 45).

Bezogen auf die Soll-0-Bauzeit lässt sich für die angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten aus Tab. 45 außerdem ermitteln, dass die ermittelten Bauzeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 73,0 % innerhalb einer Bandbreite von ±10 % (= 63 AT bis 77 AT) und einer Wahrscheinlichkeit von 77,5 % innerhalb einer Bandbreite von ±20 % (= 56 AT bis 84 AT) liegen.

[553] Parameterkombinationen 7, 16, 19, 25, 34, 43, 46, 52 und 79 in Tab. 125 (Anlage). Für sieben der neun Parameterkombinationen, aus denen dieser Minimalwert resultiert, zeigt sich die Gemeinsamkeit, dass für den Gebäudeparameter „Anteil der Fensterflächen“ jeweils der maximale Soll-Wert in Ansatz gebracht wird (Parameterkombinationen 7, 16, 25, 34, 43, 52 und 79 in Tab. 125, Anlage). Für die beiden übrigen Parameterkombinationen zeigt sich, dass für den Gebäudeparameter „Gebäudetiefe“ jeweils der maximale Soll-Wert angesetzt wird (Parameterkombinationen 19 und 46 in Tab. 125, Anlage).

[554] Parameterkombinationen 59 und 68 in Tab. 125 (Anlage). Für die Parameterkombinationen, aus denen dieser Maximalwert resultiert, zeigt sich die Gemeinsamkeit, dass für den Gebäudeparameter „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ jeweils der maximale Soll-Wert sowie für die Gebäudeparameter „Anteil der Fensterflächen“ und „Geschossanzahl“ jeweils der minimale Soll-Wert in Ansatz gebracht wird (vgl. Tab. 125, Anlage)

I.6.2 Bauobjekt 2

Die bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 2 ergeben sich aus den Parameterkombinationen aller Gebäudeparameter in Tab. 126 und Tab. 127 (vgl. Kap. L.4.6.2, Anlage) und sind in Tab. 46 zusammengefasst. In Tab. 46 sind außerdem die festgelegten maßgebenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 2 hervorgehoben.

Tab. 46: Bauzeitbeeinflussende und maßgebende Gebäudeparameter – Bauobjekt 2[555]

	Bauzeit D_{erw} (Bauzeitänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)	**Fertigungsmengen** (Fertigungsmengenänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)						
		Betonvolumen [m³]			Randschalungslänge [m]	Schalungsfläche [m²]		
		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile
Soll-0-Bauzeit (Bezugsbauzeit)	**81 AT**	**1.268**	**718**	**550**	**984**	**7.486**	**2.873**	**4.613**
Aus Soll-Wert = min								
Anteil der Fensterflächen	83 AT (+2,5%)	1.355 (+6,9%)	718 (±0%)	637 (+15,8%)	984 (±0%)	8.209 (+9,7%)	2.873 (±0%)	5.336 (+15,7%)
Geschossanzahl	72 AT (-11,1%)	1.239 (-2,3%)	726 (+1,1%)	513 (-6,7%)	913 (-7,2%)	7.212 (-3,7%)	2.904 (+1,1%)	4.309 (-6,6%)
Aus Soll-Wert = max								
Geschosshöhe der Regelgeschosse	83 AT (+2,5%)	1.350 (+6,5%)	716 (-0,3%)	634 (+15,3%)	991 (+0,7%)	8.181 (+9,3%)	2.865 (-0,3%)	5.316 (+15,2%)
Geschosshöhe des Erdgeschosses	83 AT (+2,5%)	1.282 (+1,1%)	718 (±0%)	564 (+2,5%)	984 (±0%)	7.601 (+1,5%)	2.873 (±0%)	4.728 (+2,5%)
Wandstärke der Außenwände	83 AT (+2,5%)	1.427 (+12,5%)	718 (±0%)	709 (+28,9%)	984 (±0%)	7.486 (±0%)	2.873 (±0%)	4.613 (±0%)
Wandstärke der Bauelemente	83 AT (+2,5%)	1.316 (+3,8%)	719 (+0,1%)	597 (+8,5%)	975 (-0,9%)	7.478 (-0,1%)	2.877 (+0,1%)	4.600 (-0,3%)
Geschossanzahl	50 AT (-38,3%)	1.297 (+2,3%)	711 (-1,0%)	586 (+6,5%)	1.054 (+7,1%)	7.752 (+3,6%)	2.842 (-1,1%)	4.910 (+6,4%)
** Tabellenwerte nicht maßgebender Gebäudeparameter sind grau dargestellt.*								

Tab. 46 zeigt, dass die Variation des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ sowohl beim Ansatz des minimalen Soll-Werts als auch maximalen Soll-Werts zu einer Bauzeitänderung führt (vgl. auch Kap. I.1.8) und somit als maßgebender Gebäudeparameter definiert wird.

Die übrigen bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter führen jeweils zu Bauzeitänderungen von +2,5 %. Um den Berechnungsaufwand der Parameterkombinationen zu reduzieren, wird jedoch nicht jeder bauzeitbeeinflussende auch als maßgebender Gebäudeparameter berücksichtigt (vgl. Kap. H.5.5.2).

[555] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Tabellenwerte resultieren aus Tab. 126 und Tab. 127 (Anlage). Tabellenwerte in Klammern werden bei der weiteren Berechnung nicht berücksichtigt.

Die Gebäudeparameter „Wandstärke der Außenwände“ und „Anteil der Fensterflächen“ haben den größten Einfluss auf die resultierenden Betonvolumina und Schalungsflächen, weshalb diese als maßgebender Gebäudeparameter festgelegt werden. Einen ähnlich großen Einfluss auf die resultierenden Betonvolumina und Schalungsflächen hat auch der Gebäudeparameter „Geschosshöhe der Regelgeschosse“, weshalb auch dieser als maßgebender Gebäudeparameter berücksichtigt wird.

Aus den vier festgelegten maßgebenden Gebäudeparametern resultieren für die Ermittlung der Bauzeiten im nächsten Schritt 81 mögliche Parameterkombinationen.

Die resultierenden Bauzeiten, deren Häufigkeiten und zugehörigen Wahrscheinlichkeiten der Parameterkombinationen der maßgebenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 2 ergeben sich aus Tab. 128 (vgl. Kap. L.4.6.2, Anlage) und sind in Tab. 47 zusammengefasst. In Abb. 171 und Abb. 172 (vgl. Kap. L.4.6.2, Anlage) sind die ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die angenommene und exemplarische Wahrscheinlichkeit darüber hinaus in Histogrammen dargestellt.

Tab. 47 zeigt, dass aus den Parameterkombinationen insgesamt 19 unterschiedliche Bauzeiten resultieren, die zwischen 43 AT (relative Abweichung von der Soll-0-Bauzeit = -46,9 %)[556] und 161 AT (relative Abweichung von der Soll-0-Bauzeit = +98,8 %)[557] liegen. Die erzielten Ergebnisse zeigen eine große Bandbreite der ermittelten Bauzeiten von insgesamt 118 AT.

Wie in Kapitel I.1.9 nachgewiesen, beeinflusst insbesondere der Gebäudeparameter „Geschossanzahl“ eine Vielzahl der Parameter der Bauzeitermittlung, woraus sich deutliche Bauzeitänderungen ergeben. Wie die ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen in Tab. 128 (Anlage) zeigen, reduziert sich die Bandbreite der ermittelten Bauzeiten für identische Geschossanzahlen z. T. deutlich. Für den minimalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ ergeben sich Bauzeiten von 70 AT bis 161 AT (Bandbreite = 91 AT), für den erwarteten Soll-Wert von 43 AT bis 158 AT (Bandbreite = 115 AT) und für den maximalen Soll-Wert von 49 AT bis 140 AT (Bandbreite = 91 AT).

[556] Parameterkombinationen 16 und 43 in Tab. 128 (Anlage). Für die Parameterkombinationen, aus denen dieser Minimalwert resultiert, zeigt sich die Gemeinsamkeit, dass für den Gebäudeparameter „Wandstärke der Außenwände“ jeweils der minimale Soll-Wert, für den Gebäudeparameter „Anteil der Fensterflächen“ jeweils der maximale Soll-Wert und für den Gebäudeparameter „Geschossanzahl“ jeweils der erwartete Soll-Wert in Ansatz gebracht wird (vgl. Tab. 128, Anlage)

[557] Parameterkombination 77 in Tab. 128 (Anlage). Für die Parameterkombination, aus der dieser Maximalwert resultiert, zeigt sich, dass für die Gebäudeparameter „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ und „Wandstärke der Außenwände“ jeweils der maximale Soll-Wert sowie für die Gebäudeparameter „Anteil der Fensterflächen“ und „Geschossanzahl“ jeweils der minimale Soll-Wert in Ansatz gebracht wird (vgl. Tab. 128, Anlage).

Aus der Kumulation der Wahrscheinlichkeiten in Tab. 47 resultiert, dass sich aus den Parameterkombinationen der maßgebenden Gebäudeparameter und den angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten (vgl. Kap. H.5.5.3) mit einer Wahrscheinlichkeit von 81,3 % eine Bauzeit von kleiner gleich 81 AT (= Soll-0-Bauzeit) ergibt. Für die ermittelte Soll-1- bzw. Soll-2-Bauzeit von 124 AT ergibt sich hingegen eine Wahrscheinlichkeit von 99,9 %. Werden hingegen die exemplarischen Eintrittswahrscheinlichkeiten in Ansatz gebracht, so reduziert sich die Wahrscheinlichkeit einer Bauzeit von kleiner gleich 81 AT auf 65,3 % und kleiner gleich 124 AT auf 97,6 % (vgl. Tab. 47).

Tab. 47: Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 2[558]

					Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		**Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]**	
Bauzeit	Häufigkeit		kumulierte Häufigkeit		Wahrscheinlichkeit	kumulierte Wahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit	kumulierte Wahrscheinlichkeit
	[-]	[%]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
43 AT	2	2,5%	2	2,5%	0,3216%	0,3216%	1,92%	1,92%
49 AT	2	2,5%	4	4,9%	0,0339%	0,3555%	0,64%	2,56%
50 AT	10	12,3%	14	17,3%	7,2839%	7,6394%	10,88%	13,44%
57 AT	2	2,5%	16	19,8%	0,0168%	7,6562%	0,64%	14,08%
70 AT	10	12,3%	26	32,1%	0,5233%	8,1794%	5,76%	19,84%
72 AT	8	9,9%	34	42,0%	3,4446%	11,6241%	8,96%	28,80%
80 AT	1	1,2%	35	43,2%	0,0079%	11,6319%	0,48%	29,28%
81 AT	13	16,0%	48	59,3%	69,6220%	81,2539%	36,00%	65,28%
83 AT	8	9,9%	56	69,1%	15,4845%	96,7383%	18,24%	83,52%
87 AT	1	1,2%	57	70,4%	0,0322%	96,7705%	0,48%	84,00%
92 AT	2	2,5%	59	72,8%	0,0176%	96,7881%	0,64%	84,64%
94 AT	9	11,1%	68	84,0%	1,7123%	98,5004%	6,56%	91,20%
100 AT	1	1,2%	69	85,2%	0,3057%	98,8061%	1,44%	92,64%
105 AT	2	2,5%	71	87,7%	0,1520%	98,9581%	1,60%	94,24%
124 AT	3	3,7%	74	91,4%	0,9398%	99,8979%	3,36%	97,60%
140 AT	1	1,2%	75	92,6%	0,0034%	99,9013%	0,16%	97,76%
142 AT	4	4,9%	79	97,5%	0,0649%	99,9661%	1,60%	99,36%
158 AT	1	1,2%	80	98,8%	0,0322%	99,9983%	0,48%	99,84%
161 AT	1	1,2%	81	100,0%	0,0017%	100,0000%	0,16%	100,00%
Summe:	**81**	**100,0%**			**100,0000%**		**100,00%**	

erwartete Soll-0-Bauzeit

[A] Angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 4,5 %, erwarteter Soll-Wert = 86,4 % und maximaler Soll-Wert = 9,1 % (vgl. Kap. H.5.5.3).

[B] Exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 20 %, erwarteter Soll-Wert = 60 % und maximaler Soll-Wert = 20 % (vgl. Kap. H.5.5.3).

Bezogen auf die Soll-0-Bauzeit lässt sich für die angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten aus Tab. 47 außerdem ermitteln, dass die ermittelten Bauzeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 85,1 % innerhalb einer Bandbreite von ±10 % (= 73 AT bis 89 AT) und einer Wahrscheinlichkeit von 90,8 % innerhalb einer Bandbreite von ±20 % (= 65 AT bis 97 AT) liegen.

[558] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Tab. 128 und sind Abb. 171 und Abb. 172 graphisch dargestellt (vgl. jeweils Kap. Kap. L.4.6.2, Anlage).

I.6.3 Bauobjekt 3

Die bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 3 ergeben sich aus den Parameterkombinationen aller Gebäudeparameter in Tab. 129 und Tab. 130 (vgl. Kap. L.4.6.3, Anlage) und sind in Tab. 48 zusammengefasst. Wie Tab. 48 zeigt, werden im Gegensatz zu Bauobjekt 1 und Bauobjekt 2, alle bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 3 auch als maßgebende Gebäudeparameter verwendet.

Tab. 48: Bauzeitbeeinflussende und maßgebende Gebäudeparameter – Bauobjekt 3[559]

	Bauzeit D_{erw} (Bauzeitänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)	**Fertigungsmengen** (Fertigungsmengenänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)						
		Betonvolumen [m³]			Randschalungslänge [m]	Schalungsfläche [m²]		
		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile
Soll-0-Bauzeit (Bezugsbauzeit)	**176 AT**	**2.762**	**2.177**	**585**	**2.289**	**13.939**	**8.709**	**5.230**
Aus Soll-Wert = min								
Gebäudetiefe	92 AT (-47,7%)	2.755 (-0,3%)	2.177 (±0%)	577 (-1,4%)	2.380 (+4,0%)	13.907 (-0,2%)	8.709 (±0%)	5.198 (-0,6%)
Deckenstärke	134 AT (-23,9%)	1.482 (-46,3%)	871 (-60,0%)	611 (+4,4%)	2.289 (±0%)	14.178 (+1,7%)	8.709 (±0%)	5.469 (+4,6%)
Geschossanzahl	118 AT (-33,0%)	2.731 (-1,1%)	2.190 (+0,6%)	541 (-7,5%)	2.194 (-4,2%)	13.632 (-2,2%)	8.762 (+0,6%)	4.870 (-6,9%)
Aus Soll-Wert = max								
Deckenstärke	218 AT (+23,9%)	3.188 (+15,4%)	2.613 (+20,0%)	576 (-1,5%)	2.289 (±0%)	13.859 (-0,6%)	8.709 (±0%)	5.150 (-1,5%)
Wandstärke der Bauelemente	223 AT (+26,7%)	2.873 (+4,0%)	2.180 (+0,1%)	693 (+18,5%)	2.268 (-0,9%)	13.889 (-0,4%)	8.720 (+0,1%)	5.169 (-1,2%)
Geschossanzahl	197 AT (+11,9%)	2.776 (+0,5%)	2.189 (+0,6%)	587 (+0,3%)	2.250 (-1,7%)	14.018 (+0,6%)	8.757 (+0,6%)	5.261 (+0,6%)

Aus den vier ermittelten maßgebenden Gebäudeparametern resultieren für die Ermittlung der Bauzeiten im nächsten Schritt 81 mögliche Parameterkombinationen.

Die resultierenden Bauzeiten, deren Häufigkeiten und zugehörigen Wahrscheinlichkeiten der Parameterkombinationen der maßgebenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 3 ergeben sich aus Tab. 131 (vgl. Kap. L.4.6.3, Anlage) und sind in Tab. 49 zusammengefasst. In Abb. 173 und Abb. 174 (vgl. Kap. L.4.6.3, Anlage) sind die ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die angenommene und exemplarische Wahrscheinlichkeit darüber hinaus in Histogrammen dargestellt.

Tab. 49 zeigt, dass aus den Parameterkombinationen insgesamt 18 unterschiedliche Bauzeiten resultieren, die zwischen 92 AT (relative Abweichung von der Soll-0-Bauzeit =

[559] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Tabellenwerte resultieren aus Tab. 129 und Tab. 130 (Anlage). Tabellenwerte in Klammern werden bei der weiteren Berechnung nicht berücksichtigt.

-47,7 %)[560] und 249 AT (relative Abweichung von der Soll-0-Bauzeit = +41,5 %)[561] liegen. Die erzielten Ergebnisse zeigen eine große Bandbreite der ermittelten Bauzeiten von insgesamt 157 AT.

Tab. 49: Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 3[562]

					Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]	
Bauzeit	Häufigkeit		kumulierte Häufigkeit		Wahrscheinlichkeit	kumulierte Wahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit	kumulierte Wahrscheinlichkeit
	[-]	[%]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
92 AT	4	4,9%	4	4,9%	3,2126%	3,2126%	7,68%	7,68%
118 AT	8	9,9%	12	14,8%	3,3799%	6,5925%	10,24%	17,92%
121 AT	4	4,9%	16	19,8%	0,3384%	6,9308%	2,56%	20,48%
134 AT	7	8,6%	23	28,4%	3,7290%	10,6598%	10,08%	30,56%
137 AT	2	2,5%	25	30,9%	0,3216%	10,9814%	1,92%	32,48%
150 AT	8	9,9%	33	40,7%	0,4061%	11,3875%	3,84%	36,32%
155 AT	1	1,2%	34	42,0%	0,0008%	11,3884%	0,16%	36,48%
159 AT	6	7,4%	40	49,4%	0,3722%	11,7606%	3,20%	39,68%
176 AT	4	4,9%	44	54,3%	64,8029%	76,5635%	23,04%	62,72%
180 AT	2	2,5%	46	56,8%	0,6504%	77,2139%	1,92%	64,64%
192 AT	1	1,2%	47	58,0%	0,0159%	77,2298%	0,48%	65,12%
197 AT	12	14,8%	59	72,8%	8,1528%	85,3826%	14,08%	79,20%
201 AT	2	2,5%	61	75,3%	0,0685%	85,4511%	0,64%	79,84%
218 AT	4	4,9%	65	80,2%	6,8253%	92,2764%	7,68%	87,52%
223 AT	4	4,9%	69	85,2%	6,8582%	99,1346%	7,68%	95,20%
235 AT	3	3,7%	72	88,9%	0,0373%	99,1719%	0,80%	96,00%
244 AT	8	9,9%	80	98,8%	0,8212%	99,9931%	3,84%	99,84%
249 AT	1	1,2%	81	100,0%	0,0069%	100,0000%	0,16%	100,00%
Summe:	**81**	**100,0%**			**100,0000%**		**100,00%**	

erwartete Soll-0-Bauzeit

[A] Angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 4,5 %, erwarteter Soll-Wert = 86,4 % und maximaler Soll-Wert = 9,1 % (vgl. Kap. H.5.5.3).

[B] Exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 20 %, erwarteter Soll-Wert = 60 % und maximaler Soll-Wert = 20 % (vgl. Kap. H.5.5.3).

Wie in Kapitel I.1.9 nachgewiesen, beeinflusst insbesondere der Gebäudeparameter „Geschossanzahl“ eine Vielzahl der Parameter der Bauzeitermittlung, woraus sich deutliche Bauzeitänderungen ergeben. Wie die ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen in Tab. 131 (Anlage) zeigen, reduziert sich die Bandbreite der ermittelten Bauzeiten für identische Geschossanzahlen z. T. deutlich. Für den minimalen Soll-Wert des Gebäudepa-

[560] Parameterkombinationen 28, 31, 37 und 40 in Tab. 131 (Anlage). Für die Parameterkombinationen, aus denen dieser Minimalwert resultiert, zeigt sich die Gemeinsamkeit, dass für den Gebäudeparameter „Gebäudetiefe“ jeweils der minimale Soll-Wert und für den Gebäudeparameter „Geschossanzahl“ jeweils der erwartete Soll-Wert in Ansatz gebracht wird (Parameterkombinationen 28, 31, 37 und 40 in Tab. 131, Anlage).

[561] Parameterkombination 81 in Tab. 131 (Anlage). Für die Parameterkombination, aus der dieser Maximalwert resultiert, zeigt sich, dass für alle berücksichtigten maßgebenden Gebäudeparameter jeweils der maximale Soll-Wert in Ansatz gebracht wird (vgl. Tab. 131, Anlage).

[562] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Tab. 131 und sind Abb. 173 und Abb. 174 graphisch dargestellt (vgl. jeweils Kap. Kap. L.4.6.3, Anlage).

rameters „Geschossanzahl“ ergeben sich Bauzeiten von 118 AT bis 235 AT (Bandbreite = 117 AT), für den erwarteten Soll-Wert von 92 AT bis 223 AT (Bandbreite = 131 AT) und für den maximalen Soll-Wert von 150 AT bis 249 AT (Bandbreite = 99 AT).

Aus der Kumulation der Wahrscheinlichkeiten in Tab. 49 resultiert, dass sich aus den Parameterkombinationen der maßgebenden Gebäudeparameter und den angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten (vgl. Kap. H.5.5.3) mit einer Wahrscheinlichkeit von 76,6 % eine Bauzeit von kleiner gleich 176 AT (= Soll-0-Bauzeit) ergibt. Für die ermittelte Soll-1- bzw. Soll-2-Bauzeit von 223 AT ergibt sich hingegen eine Wahrscheinlichkeit von 99,1 %. Werden hingegen die exemplarischen Eintrittswahrscheinlichkeiten in Ansatz gebracht, so reduziert sich die Wahrscheinlichkeit einer Bauzeit von kleiner gleich 176 AT auf 62,7 % und kleiner gleich 223 AT auf 95,2 % (vgl. Tab. 49).

Bezogen auf die Soll-0-Bauzeit lässt sich für die angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten aus Tab. 49 außerdem ermitteln, dass die ermittelten Bauzeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 65,8 % innerhalb einer Bandbreite von ±10 % (= 158 AT bis 194 AT) und einer Wahrscheinlichkeit von 74,5 % innerhalb einer Bandbreite von ±20 % (= 141 AT bis 211 AT) liegen.

I.6.4 Bauobjekt 4

Die bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 4 ergeben sich aus den Parameterkombinationen aller Gebäudeparameter in Tab. 132 und Tab. 133 (vgl. Kap. L.4.6.4, Anlage) und sind in Tab. 50 zusammengefasst. Wie Tab. 50 zeigt, werden im Gegensatz zu Bauobjekt 1 und Bauobjekt 2, alle bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 4 auch als maßgebende Gebäudeparameter verwendet.

Aus den beiden ermittelten maßgebenden Gebäudeparametern resultieren für die Ermittlung der Bauzeiten im nächsten Schritt 9 mögliche Parameterkombinationen.

Die resultierenden Bauzeiten, deren Häufigkeiten und zugehörigen Wahrscheinlichkeiten der Parameterkombinationen der maßgebenden Gebäudeparameter von Bauobjekt 4 ergeben sich aus Tab. 134 (vgl. Kap. L.4.6.4, Anlage) und sind in Tab. 51 zusammengefasst. In Abb. 175 und Abb. 176 (vgl. Kap. L.4.6.4, Anlage) sind die ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die angenommene und exemplarische Wahrscheinlichkeit darüber hinaus in Histogrammen dargestellt.

Tab. 50: Bauzeitbeeinflussende und maßgebende Gebäudeparameter – Bauobjekt 4[563]

	Bauzeit D_{erw} (Bauzeitänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)	**Fertigungsmengen** (Fertigungsmengenänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)						
		Betonvolumen [m³]			Randschalungslänge [m]	Schalungsfläche [m²]		
		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile
Soll-0-Bauzeit (Bezugsbauzeit)	**244 AT**	**3.429**	**2.755**	**673**	**2.586**	**17.059**	**11.021**	**6.038**
Aus Soll-Wert = min								
Deckenstärke	210 AT (-13,9%)	1.806 (-47,3%)	1.102 (-60,0%)	704 (+4,6%)	2.586 (±0%)	17.335 (+1,6%)	11.021 (±0%)	6.314 (+4,6%)
Geschossanzahl	266 AT (+9,0%)	3.458 (+0,8%)	2.772 (+0,6%)	686 (+1,9%)	2.468 (-4,6%)	17.218 (+0,9%)	11.089 (+0,6%)	6.129 (+1,5%)
Aus Soll-Wert = max								
Deckenstärke	312 AT (+27,9%)	3.969 (+15,7%)	3.306 (+20,0%)	663 (-1,5%)	2.586 (±0%)	16.967 (-0,5%)	11.021 (±0%)	5.946 (-1,5%)
Geschossanzahl	159 AT (-34,8%)	3.460 (+0,9%)	2.757 (+0,1%)	703 (+4,5%)	2.600 (+0,5%)	17.306 (+1,4%)	11.029 (+0,1%)	6.277 (+4,0%)

Tab. 51: Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 4[564]

Bauzeit	Häufigkeit		kumulierte Häufigkeit		**Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]**		**Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]**	
					Wahrscheinlichkeit	kumulierte Wahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit	kumulierte Wahrscheinlichkeit
	[-]	[%]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
159 AT	2	22,2%	2	22,2%	8,2719%	8,2719%	16,0%	16,0%
197 AT	1	11,1%	3	33,3%	0,8281%	9,1000%	4,0%	20,0%
210 AT	1	11,1%	4	44,4%	3,8880%	12,9880%	12,0%	32,0%
244 AT	1	11,1%	5	55,6%	74,6496%	87,6376%	36,0%	68,0%
266 AT	1	11,1%	6	66,7%	3,8880%	91,5256%	12,0%	80,0%
307 AT	1	11,1%	7	77,8%	0,2025%	91,7281%	4,0%	84,0%
312 AT	1	11,1%	8	88,9%	7,8624%	99,5905%	12,0%	96,0%
341 AT	1	11,1%	9	100,0%	0,4095%	100,0000%	4,0%	100,0%
Summe:	**81**	**100,0%**			**100,0000%**		**100,0%**	

erwartete Soll-0-Bauzeit

[A] Angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 4,5 %, erwarteter Soll-Wert = 86,4 % und maximaler Soll-Wert = 9,1 % (vgl. Kap. H.5.5.3).

[B] Exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 20 %, erwarteter Soll-Wert = 60 % und maximaler Soll-Wert = 20 % (vgl. Kap. H.5.5.3).

Tab. 51 zeigt, dass aus den Parameterkombinationen insgesamt acht unterschiedliche Bauzeiten resultieren, die zwischen 159 AT (relative Abweichung von der Soll-0-Bauzeit =

563 Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Tabellenwerte resultieren aus Tab. 132 und Tab. 133 (Anlage). Tabellenwerte in Klammern werden bei der weiteren Berechnung nicht berücksichtigt.

564 Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Tab. 134 und sind Abb. 175 und Abb. 176 graphisch dargestellt (vgl. jeweils Kap. Kap. L.4.6.4, Anlage).

-34,8 %)[565] und 341 AT (relative Abweichung von der Soll-0-Bauzeit = +39,8 %)[566] liegen. Die erzielten Ergebnisse zeigen eine große Bandbreite der ermittelten Bauzeiten von insgesamt 182 AT.

Wie in Kapitel I.1.9 nachgewiesen, beeinflusst insbesondere der Gebäudeparameter „Geschossanzahl“ eine Vielzahl der Parameter der Bauzeitermittlung, woraus sich deutliche Bauzeitänderungen ergeben. Wie die ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen in Tab. 134 (Anlage) zeigen, reduziert sich die Bandbreite der ermittelten Bauzeiten für identische Geschossanzahlen z. T. deutlich. Für den minimalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ ergeben sich Bauzeiten von 266 AT bis 341 AT (Bandbreite = 75 AT), für den erwarteten Soll-Wert von 210 AT bis 312 AT (Bandbreite = 102 AT) und für den maximalen Soll-Wert von 159 AT bis 197 AT (Bandbreite = 38 AT).

Aus der Kumulation der Wahrscheinlichkeiten in Tab. 51 resultiert, dass sich aus den Parameterkombinationen der maßgebenden Gebäudeparameter und den angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten (vgl. Kap. H.5.5.3) mit einer Wahrscheinlichkeit von 87,6 % eine Bauzeit von kleiner gleich 244 AT (= Soll-0-Bauzeit) ergibt. Für die ermittelte Soll-1- bzw. Soll-2-Bauzeit von 312 AT ergibt sich hingegen eine Wahrscheinlichkeit von 99,6 %. Werden hingegen die exemplarischen Eintrittswahrscheinlichkeiten in Ansatz gebracht, so reduziert sich die Wahrscheinlichkeit einer Bauzeit von kleiner gleich 244 AT auf 68,0 % und kleiner gleich 312 AT auf 96,0 % (vgl. Tab. 51).

Bezogen auf die Soll-0-Bauzeit lässt sich für die angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten aus Tab. 51 außerdem ermitteln, dass die ermittelten Bauzeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 78,5 % innerhalb einer Bandbreite von ±10 % (= 220 AT bis 268 AT) und einer Wahrscheinlichkeit von 83,3 % innerhalb einer Bandbreite von ±20 % (= 195 AT bis 293 AT) liegen.

I.6.5 Zwischenfazit (Stufe 6)

Die ermittelten bauzeitbeeinflussenden und definierten maßgebenden Gebäudeparameter der Bandbreitenanalyse sind in Tab. 52 zusammengefasst. Die Auswirkungen auf die Bau-

[565] Parameterkombinationen 3 und 6 in Tab. 134 (Anlage). Für die Parameterkombinationen, aus denen dieser Minimalwert resultiert, zeigt sich die Gemeinsamkeit, dass für den Gebäudeparameter „Geschossanzahl“ jeweils der maximale Soll-Wert in Ansatz gebracht wird (vgl. Tab. 125, Anlage).

[566] Parameterkombination 8 in Tab. 134 (Anlage). Für die Parameterkombination, aus der dieser Maximalwert resultiert, zeigt sich, dass für den Gebäudeparameter „Deckenstärke“ der maximale Soll-Wert und für den Gebäudeparameter „Geschossanzahl“ der minimale Soll-Wert in Ansatz gebracht wird (vgl. Tab. 125, Anlage).

zeit, die aus Abweichungen der Soll- und Ist-Werte einzelner maßgebender Gebäudeparameter resultieren, wurden bereits in Kapitel I.1 bewertet.

Tab. 52: Bauzeitbeeinflussende und maßgebende Gebäudeparameter (Zusammenfassung)[567]

	Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter															**Maßgebende Gebäudeparameter**				
	Aus Soll-Wert = min					**Aus Soll-Wert = max**					**gesamt** (ohne Doppelnennung)									
	Bauobjekt 1	Bauobjekt 2	Bauobjekt 3	Bauobjekt 4	**Summe**	Bauobjekt 1	Bauobjekt 2	Bauobjekt 3	Bauobjekt 4	**Summe**	Bauobjekt 1	Bauobjekt 2	Bauobjekt 3	Bauobjekt 4	**Summe**	Bauobjekt 1	Bauobjekt 2	Bauobjekt 3	Bauobjekt 4	**Summe**
Geschossanzahl	1	1	1	1	**4**	1	1	1	1	**4**	1	1	1	1	**4**	1	1	1	1	**4**
Geschosshöhe der Regelgeschosse	0	0	0	0	**0**	1	1	0	0	**2**	1	1	0	0	**2**	1	1	0	0	**2**
Geschosshöhe des Erdgeschosses	0	0	0	0	**0**	1	1	0	0	**2**	1	1	0	0	**2**	0	0	0	0	**0**
Gebäudetiefe	0	0	1	0	**1**	1	0	0	0	**1**	1	0	1	0	**2**	1	0	1	0	**2**
Deckenstärke	0	0	1	1	**2**	0	0	1	1	**2**	0	0	1	1	**2**	0	0	1	1	**2**
Wandstärke der Außenwände	0	0	0	0	**0**	1	1	0	0	**2**	1	1	0	0	**2**	0	1	0	0	**1**
Wandstärke der Bauelemente	0	0	0	0	**0**	0	1	1	0	**2**	0	1	1	0	**2**	0	0	1	0	**1**
Anteil der Fensterflächen	1	1	0	0	**2**	1	0	0	0	**1**	1	1	0	0	**2**	1	1	0	0	**2**
Summe	**2**	**2**	**3**	**2**		**6**	**5**	**3**	**2**		**6**	**6**	**4**	**2**		**4**	**4**	**4**	**2**	

In Tab. 53 sind die Bandbreiten und Auszüge der Wahrscheinlichkeiten der ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter der vier ausgewerteten Bauobjekte zusammengefasst.

Wie Tab. 53 zeigt, weisen die durchgeführten Parameterkombinationen große Bandbreiten zwischen dem jeweiligen Minimal- und Maximalwert der berechneten Bauzeiten auf, was die hohe Sensitivität der Gebäudeparameter zeigt. Gleichzeitig bestätigt dies aber auch die angestrebte Adaptivität des entwickelten Verfahrens bei abweichenden Gebäudeparametern.

Für die angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten (vgl. Kap. H.5.5.3) lässt sich feststellen, dass aus den Parameterkombinationen mit einer Wahrscheinlichkeit von 76,6 % bis 89,3 % (Mittelwert = 83,7 %) Bauzeiten kleiner oder gleich der jeweiligen Soll-0-Bauzeit resultieren (vgl. Tab. 53). Bauzeiten, die bezogen auf die Soll-0-Bauzeit innerhalb einer Bandbreite von ±10 % bzw. ±20 % liegen, ergeben sich mit einer Wahrscheinlichkeit von 65,8 % bis 85,1 % (Mittelwert = 75,6 %) bzw. 74,5 % bis 90,8 % (Mittelwert = 81,5 %).

Für die exemplarischen Eintrittswahrscheinlichkeiten (vgl. Kap. H.5.5.3) lässt sich feststellen, dass aus den Parameterkombinationen mit einer Wahrscheinlichkeit von 62,7 % bis 80,0 %

[567] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen bauzeitbeeinflussenden und maßgebenden Gebäudeparameter ergeben sich aus Kapitel I.6.1 bis Kapitel I.6.4.

(Mittelwert = 69,0 %) Bauzeiten kleiner oder gleich der jeweiligen Soll-0-Bauzeit resultieren (vgl. Tab. 53). Bauzeiten, die bezogen auf die Soll-0-Bauzeit innerhalb einer Bandbreite von ±10 % bzw. ±20 % liegen, ergeben sich mit einer Wahrscheinlichkeit von 28,6 % bis 55,2 % (Mittelwert = 44,0 %) bzw. 47,4 % bis 77,1 % (Mittelwert = 63,1 %).

Bauzeiten kleiner oder gleich der jeweiligen Soll-1- bzw. Soll-2-Bauzeit ergeben sich für die angenommenen Eintrittswahrscheinlichkeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,1 % bis 99,9 % (Mittelwert = 99,6 %) und für die exemplarischen Eintrittswahrscheinlichkeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 95,2 % bis 99,4 % (Mittelwert = 97,1 %).

Tab. 53: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse (Zusammenfassung)[568]

	Bauobjekt				Mittel-wert
	1	2	3	4	
Soll-0-Bauzeit	70 AT	81 AT	176 AT	244 AT	k. A.
Soll-1-Bauzeit (= Soll-2-Bauzeit) (Abweichung bezogen auf Soll-0-Bauzeit)	108 AT (+54,3%)	124 AT (+53,1%)	223 AT (+26,7%)	312 AT (+27,9%)	(+40,5%)
Ergebnisse der Parameterkombinationen					
Minimale Bauzeit (Abweichung bezogen auf Soll-0-Bauzeit)	38 AT (-45,7%)	43 AT (-46,9%)	92 AT (-47,7%)	159 AT (-34,8%)	(-43,8%)
Maximale Bauzeit (Abweichung bezogen auf Soll-0-Bauzeit)	121 AT (+72,9%)	161 AT (+98,8%)	249 AT (+41,5%)	341 AT (+39,8%)	(+63,3%)
Bandbreite (max. Bauzeit – min. Bauzeit)	118,6%	145,7%	89,2%	74,6%	107,0%
Angenommene Wahrscheinlichkeit*					
Resultierende Bauzeit ≤ Soll-0-Bauzeit	89,3%	81,3%	76,6%	87,6%	83,7%
Resultierende Bauzeit = Soll-0-Bauzeit ± 10%	73,0%	85,1%	65,8%	78,5%	75,6%
Resultierende Bauzeit = Soll-0-Bauzeit ± 20%	77,5%	90,8%	74,5%	83,3%	81,5%
Resultierende Bauzeit ≤ Soll-1-Bauzeit	99,9%	99,9%	99,1%	99,6%	99,6%
Exemplarische Wahrscheinlichkeit**					
Resultierende Bauzeit ≤ Soll-0-Bauzeit	80,0%	65,3%	62,7%	68,0%	69,0%
Resultierende Bauzeit = Soll-0-Bauzeit ± 10%	44,2%	55,2%	28,6%	48,0%	44,0%
Resultierende Bauzeit = Soll-0-Bauzeit ± 20%	63,7%	77,1%	47,4%	64,0%	63,1%
Resultierende Bauzeit ≤ Soll-1-Bauzeit	99,4%	97,6%	95,2%	96,0%	97,1%

** Angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 4,5 %, erwarteter Soll-Wert = 86,4 % und maximaler Soll-Wert = 9,1 % (vgl. Kap. H.5.5.3).*

*** Exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 20 %, erwarteter Soll-Wert = 60 % und maximaler Soll-Wert = 20 % (vgl. Kap. H.5.5.3).*

Da die detaillierte Analyse der ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten deren Plausibilität bestätigt (vgl. Kap. I.5), lassen die dargestellten Wahrscheinlichkeiten der Sensitivitätsanalyse den Schluss zu, dass das entwickelte Verfahren geeignet ist, um wirtschaftliche und somit realistische Bauzeiten – bereits vor Anfertigung des ersten Bauentwurfs in LPH 0 und LPH 1 – zu ermitteln, die durch Terminsteuerungsmaßnahmen beherrschbar sind und mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden. Durch die Anpassung unterschiedlicher Gebäudeparameter unter Verwendung der entwickelten Arbeitshilfe, können unterschiedliche Varianten des Referenzgebäudes und des Bauablaufs gegenübergestellt werden. Der Fokus

[568] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Tabellenwerte ergeben sich aus Kapitel I.6.1 bis Kapitel I.6.4.

sollte hierbei auf den identifizierten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparametern liegen (vgl. Kap. I.1 u. Tab. 52).

Die hieraus resultierenden Bauzeiten können anschließend verwendet werden, um die Bauzeit und damit die Wahrscheinlichkeit ihrer Einhaltung projektspezifisch anzupassen. Alternativ ist auch ein pauschaler Zeitzuschlag zur Minimierung des Bauzeitrisikos möglich.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse auch, dass das Bauzeitrisiko deutlich ansteigt, wenn in der Planungsphase insbesondere zu den identifizierten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparametern noch keine oder lediglich ungenaue Informationen vorliegen.

I.7 Stufe 7: Analyse kritischer Werte der Gebäudeparameter

Die ermittelten oberen und unteren kritischen Werte der einzelnen Gebäudeparameter (vgl. Kap. H.5.5) der vier ausgewerteten Bauobjekte ergeben sich aus Abb. 177 (Anlage).

Wie bereits im Rahmen der Bandbreitenanalyse (vgl. Kap. I.6) festgestellt, veranschaulicht auch Abb. 177 (Anlage), dass die zugehörigen oberen und unteren kritischen Werte bauzeitbeeinflussender Gebäudeparameter (vgl. Kap. H.5.5.1) innerhalb der jeweiligen Soll-Bandbreiten liegen. Die unteren und oberen kritischen Werte nicht bauzeitbeeinflussender Gebäudeparameter liegen hingegen außerhalb der Soll-Bandbreiten.[569]

Zusätzlich zu den ermittelten bauzeitbeeinflussenden Parametern aus Kapitel H.5.5.1 sind in Abb. 177 (Anlage) weiterhin auch die ermittelten unteren und oberen kritischen Werte der Bewehrungsanteile horizontaler und vertikaler Bauteile dargestellt. Es zeigt sich, dass lediglich die kritischen Werte des Bewehrungsanteils horizontaler Bauteile z. T. innerhalb der Soll-Bandbreiten liegen bzw. lediglich Anpassungen des Bewehrungsanteils horizontaler Bauteile innerhalb der Soll-Bandbreiten zu Bauzeitänderungen führen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass zur Ermittlung hinreichend genauer Bauzeiten insbesondere an die nachfolgenden Gebäudeparameter ein erhöhter Genauigkeitsanspruch zu stellen ist (vgl. Abb. 177, Anlage):

[569] Die Auswirkungen auf die resultierenden Bauzeiten bei Ansatz der minimalen und maximalen Soll-Gebäudeparameter ergeben sich auch aus Kapitel I.1.1 bis Kapitel I.1.7.

- Geschossanzahl[570]
- Geschosshöhe der Regelgeschosse
- Geschosshöhe des Erdgeschosses
- Gebäudetiefe
- Deckenstärke
- Wandstärke der Außenwände
- Wandstärke der Bauelemente
- Anteil der Fensterflächen
- Bewehrungsanteil Geschossdecken

I.8 Schlussfazit

Die Ergebnisse der Validierung und Sensitivitätsanalyse und die Bewertung hinsichtlich der Genauigkeit, Adaptivität und Sensitivität (vgl. Kap. H.3) bestätigen die Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens zur Ermittlung wirtschaftlicher und somit realistischer Bauzeiten, die durch Terminsteuerungsmaßnahmen beherrschbar sind und mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden.

Obwohl die Anwendbarkeit des Verfahrens auch auf Grundlage der Soll-0-Werte – d. h. vor Anfertigung des ersten Bauentwurfs in LPH 0 bzw. LPH 1 allein auf Grundlage der definierten Eingangsparameter – bestätigt werden kann, kann das zugrunde gelegte Referenzgebäude den Bauentwurf nicht ersetzen.

Sofern die entsprechenden Informationen zum Bauentwurf noch nicht vorliegen, bietet sich zur Ermittlung wirtschaftlicher und realistischer Bauzeiten in LPH 0 bzw. LPH 1 die Gegenüberstellung unterschiedlicher Varianten des Referenzgebäudes und des Bauablaufs, durch die Anpassung unterschiedlicher Gebäudeparameter unter Verwendung der entwickelten Arbeitshilfe, an. Der Fokus sollte hierbei insbesondere auf den identifizierten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparametern liegen (vgl. Kap. I.6.5).

Die hieraus resultierenden Bauzeiten können anschließend verwendet werden, um die Bauzeit und damit die Wahrscheinlichkeit ihrer Einhaltung projektspezifisch anzupassen.

[570] In Abb. 177 (Anlage) nicht angegeben, da aufgrund nicht vorhandener Angaben zum Maß der baulichen Nutzung keine Soll-Bandbreiten ermittelt wurden. Wie in Kapitel I.1.8 führt jegliche Anpassung der Geschossanzahl zu Bauzeitabweichungen, weshalb an den Gebäudeparameter ein hoher Genauigkeitsanspruch zu stellen ist.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse auch, dass das Bauzeitrisiko deutlich ansteigt, wenn in der Planungsphase insbesondere zu den identifizierten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparametern noch keine oder lediglich ungenaue Informationen vorliegen.

Zur anschließenden Verifizierung des entwickelten Verfahrens ist die Anzahl und möglichst auch die Inhomogenität[571] der ausgewerteten Bauobjekte zu erhöhen.

Die detaillierten Ergebnisse der Validierung und Sensitivitätsanalyse können den jeweiligen Zusammenfassungen von Stufe 1 bis 7 entnommen werden.[572]

[571] So handelt es sich bei den vier ausgewerteten Bauobjekte ausschließlich um zweibündige Anlagen mit dem Bürotyp „Zellenbüros“ (vgl. Kap. L.4.1.1, Anlage).

[572] Vgl. Kap. I.1.9 (Stufe 1: Soll-0-Gebäudeparameter), Kap. I.2.4 (Stufe 2: Soll-0-Fertigungsmengen), Kap. I.3.4 (Stufe 3: Soll-1-Fertigungsmengen), Kap. I.4 (Stufe 4: Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände), Kap. I.5.5 (Stufe 5: Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten), Kap. I.6.5 (Stufe 6: Bandbreitenanalyse) und Kap. I.7 (Stufe 7: Analyse kritischer Werte der Gebäudeparameter).

J. Schlussbetrachtung

J.1 Zusammenfassung

Die gängige Basis der Bauzeitermittlung in den frühen Planungsphasen, d. h. im Rahmen der Projektvorbereitung bzw. der Grundlagenermittlung in der ersten Leistungsphase (LPH 1) der HOAI, bilden bislang Erfahrungswerte und/oder „einfache“ objektorientierte Kennzahlen, Näherungsformeln oder Regressionsmodelle, die sich auf „einfache“ Bezugsgrößen, wie z. B. die Baukosten oder den Brutto-Rauminhalt, beziehen.

Eine prozessorientierte Bauzeitermittlung auf Grundlage von Ablaufplänen, die die Bauobjekte in einzelne Bauprozesse gliedern, wird vom Auftraggeber in LPH 1 nicht durchgeführt, da die hierfür notwendigen Informationen (insbesondere die nicht bekannten Fertigungsmengen), aufgrund der fehlenden Bauentwürfe, als unzureichend erachtet werden.

Aber auch nach der Anfertigung der ersten Bauentwürfe in LPH 2 und LPH 3, erfolgt die Bauzeitermittlung auftraggeberseitig regelmäßig anhand dieser „einfachen“ Ansätze. Die grundsätzliche Planung des voraussichtlichen Bauablaufs, der für die prozessorientierte Bauzeitermittlung und damit die Bestimmung realistischer und vor allem wirtschaftlicher Bauzeiten allerdings entscheidend ist, erfolgt auftraggeberseitig (zumindest im Hochbau) nicht.

Die durchgeführte Analyse und kritische Würdigung des Stands der Wissenschaft und Technik zeigt, dass die angewendeten Verfahren auf Basis dieser objektorientierten Bezugsgrößen zur Bauzeitermittlung ungeeignet sind. Unter anderem wird gezeigt, dass diese z. T. unrealistische Ergebnisse liefern, baubetrieblichen Grundsätzen widersprechen und die errechneten Bauzeiten selbst bei der Anwendung eines einzelnen Verfahrens enorme Bandbreiten aufweisen, was einer sicheren und zuverlässigen Anwendung in der Bau- bzw. Planungspraxis entgegensteht.

Gleichzeitig bilden die ermittelten Bauzeiten in frühen Planungsphasen jedoch die Grundlage von Wirtschaftlichkeitsberechnungen und stellen die Basis von Realisierungsentscheidungen dar, weshalb deren Einhaltung über den gesamten Projektverlauf angestrebt wird.

Zur Ermittlung wirtschaftlicher Bauzeiten in den frühen Planungsphasen gilt es daher zukünftig den Fokus auf systematische und prozessorientierte Verfahren zu richten, die einem baupraktischen Ansatz folgen und bereits in den frühen Planungsphasen die maßgeblichen bauzeitbeeinflussenden Bedingungen objektiv und nachvollziehbar berücksichtigen. Dies umfasst insbesondere einen (möglichen) Bauablauf in Form eines Netzplans, der das Bauobjekt prozessorientiert gliedert, Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Bauprozessen einbezieht

und Vorgangsdauern enthält, die prozessorientiert anhand von voraussichtlichen Fertigungsmengen, Aufwandswerten und der wirtschaftlich einsetzbaren Anzahl an Ressourcen ermittelt werden.

Das entwickelte Verfahren stellt einen Ansatz dar, der diesem Grundsatz folgt. Die Überprüfung der gestellten Anforderungen an das entwickelte Verfahren, hinsichtlich der Genauigkeit, Adaptivität und Sensitivität, hat dessen Anwendbarkeit bestätigt.

Die durchgeführte detaillierte Analyse der ermittelten Bauzeiten beweist deren Plausibilität. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse lassen außerdem den Schluss zu, dass das entwickelte Verfahren geeignet ist, um wirtschaftliche und somit realistische Bauzeiten – bereits vor Anfertigung des ersten Bauentwurfs in LPH 0 und LPH 1 – zu ermitteln, die durch Terminsteuerungsmaßnahmen beherrschbar sind und mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden.

Aus den Ergebnissen der Sensitivitätsanalyse lässt sich weiterhin ableiten, dass das Bauzeitrisiko deutlich ansteigt, wenn in der Planungsphase insbesondere zu den identifizierten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparametern noch keine oder lediglich ungenaue Informationen vorliegen. Durch die entwickelte Arbeitshilfe können unterschiedliche Varianten des Referenzgebäudes und des Bauablaufs und die daraus resultierenden Bauzeiten, durch den Ansatz abweichender Gebäudeparameter, Ressourcen usw., gegenübergestellt werden. Der Fokus sollte hierbei auf den identifizierten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparametern liegen, sofern diese noch nicht feststehen. Die hieraus resultierenden Bauzeiten können anschließend verwendet werden, um die Bauzeit und damit die Wahrscheinlichkeit ihrer Einhaltung projektspezifisch anzupassen.

Als bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter, an die ein **erhöhter Genauigkeitsanspruch** zu stellen ist, wurden identifiziert:

- Geschossanzahl
- Geschosshöhe der Regelgeschosse
- Geschosshöhe des Erdgeschosses
- Gebäudetiefe
- Deckenstärke
- Wandstärke der Außenwände
- Wandstärke der Bauelemente
- Anteil der Fensterflächen

- Bewehrungsanteil Geschossdecken

Insbesondere Abweichungen des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ führen zu deutlichen Bauzeitänderungen, weshalb dieser für die sichere Anwendung des entwickelten Verfahrens frühzeitig festgelegt werden sollte.

Weitere Ergebnisse der Validierung und Sensitivitätsanalyse ergeben sich aus Kapitel I.8.

Nachfolgend werden die in Kapitel A.2 formulierten Forschungsfragen und definierten Zielstellungen des Verfahrens beantwortet bzw. überprüft.

J.2 Prüfung der Forschungsfragen und Zielstellung

Das primäre Ziel der vorliegenden Arbeit liegt in der Beantwortung der beiden formulierten Forschungsfragen und Überprüfung der definierten Zielstellungen (vgl. Kap. A.2).

Forschungsfrage

Kann die Genauigkeit der Bauzeitermittlung in den frühen Planungsphasen durch die Anwendung eines prozessorientierten Verfahrens gesteigert werden?

Die durchgeführte Analyse des Stands der Wissenschaft und Technik zeigt, dass die derzeit verwendeten Verfahren zur Bauzeitermittlung in den frühen Planungsphasen auf „einfachen“ objektorientierten Bezugsgrößen beruhen.[573]

Im Rahmen der kritischen Würdigung der analysierten Verfahren werden diverse Problematiken und Widersprüche aufgezeigt, die verdeutlichen, dass die derzeit angewendeten Verfahren zur Bauzeitermittlung in den frühen Planungsphasen ungeeignet sind, da diese z. B. baubetrieblichen Grundsätzen widersprechen, unrealistische Ergebnisse (z. T. negative Bauzeiten) liefern oder auf Erfahrungswerten ohne Beleg der Herkunft und/oder Eingangsgrößen beruhen, die z. T. nicht eindeutig definiert oder nur subjektiv festlegbar sind. Weiterhin lässt sich festhalten, dass die resultierenden Bauzeiten selbst bei der Anwendung eines einzelnen Verfahrens z. T. enorme Bandbreiten aufweisen.

Einer sicheren und zuverlässigen Anwendung der gesichteten Bauzeitermittlungsverfahren in der Bau- bzw. Planungspraxis kann dementsprechend widersprochen werden.

Ob das entwickelte prozessorientierte Verfahren eine Steigerung der Genauigkeit der Bauzeitermittlung in den frühen Planungsphasen ermöglicht, ist, neben der Präzision der verwendeten Aufwandswerte, insbesondere von der Exaktheit der prognostizierten Fertigungs-

[573] Eine Ausnahme stellt lediglich das dargestellte Verfahren von GREITEMANN (2017) dar (vgl. Kap. B.2.4.4).

mengen durch das entwickelte Verfahren abhängig und muss daher kollektiv mit der zweiten formulierten Forschungsfrage beantwortet werden:

Sind die notwendigen Fertigungsmengen zur prozessorientierten Bauzeitermittlung bereits vor der Erstellung des ersten Bauentwurfs auf der Grundlage eines Referenzgebäudes mit einer zweckmäßigen Genauigkeit ermittelbar?

Die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage erfolgt auf Grundlage der durchgeführten Validierung und Sensitivitätsanalyse, deren Fokus, neben der Bewertung der aus dem entwickelten Verfahren resultierenden Bauzeiten, auf den identifizierten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparametern der ausgewerteten Bauobjekte und den Fertigungsmengen der Vorgänge, die im Bauablauf-Modell (BAM) definiert werden, liegt.

Die Ergebnisse der Validierung und Sensitivitätsanalyse und die Bewertung hinsichtlich der Genauigkeit, Adaptivität und Sensitivität (vgl. Kap. H.3) bestätigen die Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens zur Ermittlung wirtschaftlicher und somit realistischer Bauzeiten, die durch Terminsteuerungsmaßnahmen beherrschbar sind und mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden

Zur Ermittlung wirtschaftlicher und realistischer Bauzeiten bietet sich insbesondere die Gegenüberstellung unterschiedlicher Varianten des Referenzgebäudes und des Bauablaufs, durch die Anpassung von Gebäudeparameter und eingesetzten Ressourcen unter Verwendung der entwickelten Arbeitshilfe, an, sofern diese noch nicht feststehen. Der Fokus sollte hierbei auf den identifizierten bauzeitbeeinflussenden Gebäudeparametern liegen.

Die beiden formulierten Forschungsfragen können somit positiv beantwortet werden.

Zielstellung

Die Prüfung der Plausibilität der ermittelten Bauzeiten, die aus dem entwickelten Verfahren resultieren, bestätigt die geforderte **Ergebnissicherheit**. Da die durchgeführte Validierung auf lediglich vier Bauobjekte beschränkt ist, muss zur abschließenden Überprüfung der geforderten Ergebnissicherheit die Anzahl – und möglichst auch die Inhomogenität – der ausgewerteten Bauobjekte erhöht werden, um alle möglichen Kombinationen der definierten Eingangsparameter zu prüfen.

Die **Handhabbarkeit** und **Objektivität** des entwickelten Verfahrens wird durch die vertretbare Anzahl objektiv festlegbarer und eindeutig definierter Eingangsparameter ermöglicht.

Die geforderte **Nachvollziehbarkeit** und **Flexibilität** des entwickelten Verfahrens wird durch die vorgestellte EDV-basierte Arbeitshilfe erzielt, die alle zugrunde gelegten Eingangsparameter sowie die ermittelten Parameter der Bauzeitermittlung dokumentiert und gleichzeitig

deren Anpassung ermöglicht, um verschiedene Varianten des Referenzgebäudes und/oder des Bauablaufs gegenüberstellen zu können.

Auch die angestrebte **Zweckmäßigkeit** des entwickelten Verfahrens kann bestätigt werden. Einerseits aufgrund des zugrunde gelegten prozessorientierten und baupraktischen Verfahrensansatzes. Und andererseits aufgrund der durchgeführten Analyse im Rahmen der Validierung, die die Plausibilität der ermittelten Zwischen- und Endergebnisse der Bauzeitermittlungen der ausgewerteten Bauobjekte bestätigt.

Auch die definierten baupraktischen Ziele, d.h. die geforderte **Prozessorientierung**, **Ressourcenabhängigkeit** und **Fertigungsabschnitt-Definition**, kann aufgrund der systematischen prozessorientierten und baupraktischen Verfahrensumsetzung bestätigt werden.

Die vorgesehene Verfahrensumsetzung, auf Grundlage eines Referenzgebäudes und BAM, ist grundsätzlich auch auf andere Gebäudetypologien anpassbar. Zur abschließenden Beantwortung der Frage, ob die geforderte **Anpassbarkeit** und **Erweiterbarkeit** auf andere Gebäudetypologien und um weitere Gewerke umsetzbar ist, besteht allerdings weiterer Forschungsbedarf.

Ergebnis

Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist ein Verfahren, das eine dokumentierte, prozessorientierte und baupraktische Bauzeitermittlung in den frühen Planungsphasen – noch vor der Anfertigung des ersten Bauentwurfs – ermöglicht. Es stellt damit eine Alternative zu den bisher üblichen objektorientierten Verfahren dar, die auf „einfachen“ Bezugsgrößen beruhen und – wie in der vorliegenden Arbeit aufgezeigt – zur Bauzeitermittlung ungeeignet sind.

Das berechnete Ergebnis des entwickelten Verfahrens repräsentiert schlussendlich eine wirtschaftliche und somit realistische Bauzeit, die durch Terminsteuerungsmaßnahmen beherrschbar ist und mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird.

Die vorgestellte Arbeitshilfe ermöglicht die Dokumentation und Anpassung der Eingangsparameter sowie der Parameter der Bauzeitermittlung, um verschiedene Varianten des Referenzgebäudes und/oder des Bauablaufs gegenüberstellen zu können. Im Gegensatz zu objektorientierten Verfahren ergibt sich hieraus die Möglichkeit einer schrittweisen Plausibilitätsprüfung der Zwischen- und Endergebnisse. Obwohl zur abschließenden Bestätigung weiterer Forschungsbedarf besteht, ist entwickelte Verfahren, das auf einem Referenzgebäude und BAM beruht, grundsätzlich auch auf andere Gebäudetypologien anpassbar und um weitere Gewerke erweiterbar.

J.3 Ausblick

Nachfolgend werden Erweiterungs- und Verbesserungsmöglichkeiten sowie der weiterhin bestehende Forschungsbedarf dargestellt, die sich aus der Verfahrensumsetzung und Validierung ergeben.

Erweiterung des Untersuchungsumfangs

Da die Validierung auf lediglich vier ausgewertete Bauobjekte beschränkt wurde, ist die Anzahl der ausgewerteten Bauobjekte zur abschließenden Verifizierung des entwickelten Verfahrens deutlich zu steigern. Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass möglichst alle Parameterkombinationen der definierten Eingangsparameter „Gebäudeprofil“ überprüft werden.[574] Durch das Anlegen einer entsprechenden Objektdatenbank im Zuge der Verifizierung, können die zugrunde gelegten Ermittlungsansätze überprüft und darüber hinaus verfeinert werden.

Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Eingangsparametern „Maß der baulichen Nutzung“ und den Gebäudeparametern

Zum Maß der baulichen Nutzung der untersuchten Bauobjekte liegen keine Angaben vor. Der suggerierte Zusammenhang zwischen den Eingangsparametern „Maß der baulichen Nutzung“ und der Geometrie des Referenzgebäudes konnte daher nicht validiert werden.[575] Bei der Erweiterung des Untersuchungsumfangs ist darauf zu achten, dass hierbei Bauobjekte mit den entsprechenden Informationen zum Maß der baulichen Nutzung verwendet werden.

Überprüfung der ermittelten Bauzeiten durch baubegleitende Dokumentation bzw. Anwendung des Verfahrens

Zur sinnvollen Gegenüberstellung der aus dem Verfahren resultierenden und tatsächlichen Bauzeiten ist eine baubegleitende Dokumentation des Bauablaufs notwendig, um sowohl Bauablaufstörungen als auch Beschleunigungsmaßnahmen während der Bauphase auszufiltern und den vorhandenen Ressourceneinsatz hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit bewerten zu können. Die alleinige Berücksichtigung der tatsächlichen Bauzeit ist zur Bewertung, ob diese als wirtschaftlich einzustufen ist, ungeeignet, da keine Aussagen dazu getroffen werden können, ob aus einem übermäßigen, unwirtschaftlichen Ressourceneinsatz grundsätzlich

[574] So handelt es sich bei den vier ausgewerteten Bauobjekte ausschließlich um zweibündige Anlagen mit dem Bürotyp „Zellenbüros“ (vgl. Kap. L.4.1.1, Anlage).

[575] Für die ausgewerteten Bauobjekte ist die Angabe der Eingangsparameter „Maß der baulichen Nutzung“ auf die Anzahl von Vollgeschossen beschränkt für die die tatsächliche Geschossanzahl angesetzt wurde.

und/oder zeitweise Produktivitätsverluste entstanden sind. Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Bauzeitvorgaben abgeschlossener Projekte kann auch eine prospektive und/oder retrospektive Umfrage bei bauausführenden Unternehmen zweckmäßig sein. Dies sollte möglichst zeitnah vor bzw. nach der Projektrealisierung erfolgen.

Erweiterung des Anwendungsspektrums

Das entwickelte Verfahren ist auf die Stahlbeton-Rohbauprozesse von Büro- und Verwaltungsgebäuden und oberirdische Geschosse beschränkt. Für die zweckmäßige Anwendbarkeit in der Bau- und Planungspraxis ist eine Erweiterung des Verfahrens auf unterirdische Geschosse sowie weitere Gewerke, Fertigungsverfahren und Gebäudetypologien notwendig.

Der Aufbau und insbesondere die Geschosshöhe unterirdischer Geschosse sind in hohem Maße von der vorgesehenen Nutzung, z. B. als Tiefgarage, Lagerräume etc., abhängig. Hieraus resultiert, dass zur Ermittlung der notwendigen zusätzlichen Gebäudeparameter auch zusätzliche Eingangsparameter „Gebäudeprofil“ berücksichtigt werden müssen. In Abhängigkeit von der vorgesehenen Geschosshöhe können anschließend z. B. aussteifende Wände und weitere Bauelemente des Referenzgebäudes entwickelt werden.

Zur Berücksichtigung weiterer Gewerke ist eine detaillierte Planung einzelner Räume bezüglich der Raumgeometrien und Raumausstattungen notwendig, weshalb sich z. B. eine Kombination des entwickelten Verfahrens mit dem Ansatz nach GREITEMANN (2017) anbietet. Die Definition der Raumgeometrien und Raumausstattungen bei der Anwendung des Verfahrens nach GREITEMANN (2017) kann hierbei auf der Grundlage des entwickelten Referenzgebäudes erfolgen.

Da das entwickelte BAM für vertikale Bauteile (d. h. Wände und Stützen) eine Fertigung in Ortbeton und für Geschossdecken eine Herstellung mittels Elementdecken und Aufbeton unterstellt, ist zur Berücksichtigung abweichender Bauverfahren (z. B. Mauerwerksbau, Fertigteilfertigung), neben der Anpassung der Aufwandswerte, die Entwicklung und Integration entsprechender BAM notwendig. Gleiches gilt auch für weitere Varianten des Bauablaufs, z. B. vorlaufende Treppenhauskerne unter Verwendung von Kletterschalungen o. ä., da dem BAM wird eine geschossweise Fertigung des Referenzgebäudes zugrunde gelegt wird.

Die vorgestellte Verfahrensumsetzung ist grundsätzlich auch auf andere Gebäudetypologien anpassbar sowie um unterirdische Geschosse, weitere Gewerke, Fertigungsverfahren etc. erweiterbar.

Zur abschließenden Bewertung der Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit des entwickelten Verfahrens besteht weiterer Forschungsbedarf.

Verbesserung der Berechnungsansätze zur Ermittlung der Fertigungsmengen

Die durchgeführte Validierung offenbart Verbesserungspotenziale insbesondere bei der Ermittlung der Betonvolumina vertikaler Bauteile.

Das Verbesserungspotenzial der Methode zur Ermittlung der Betonvolumina vertikaler Bauteile konnte aus der Gegenüberstellung der Soll- und Ist-Intervalle im Rahmen der Sensitivitätsanalyse abgeleitet werden. Das vorhandene Soll-Intervall kann insbesondere auf die Abweichungen zwischen den Soll- und Ist-Betonvolumina der Innenwände von Bauobjekt 1 und 2 zurückgeführt werden, die im Gegensatz zu Bauobjekt 3 und 4, hauptsächlich tragende Wände statt Stützen aufweisen. Dem Referenzgebäude wird hingegen jeweils eine Kombination aus Stützen und Wänden zugrunde gelegt.

Eine Verfeinerung der Methode zur Ermittlung der Betonvolumina kann z. B. durch die Entwicklung unterschiedlicher Referenzgebäude mit abweichenden Stützen- bzw. Wandanteilen erreicht werden. Die Umsetzung bietet sich im Zuge der angegebenen detaillierten Planung einzelner Räume, der Raumgeometrien und Raumausstattungen, zur Berücksichtigung weiterer Gewerke an.

Verfeinerung der verwendeten Parameter

Die Ermittlung der im Rahmen des Verfahrens verwendeten Gebäudeparameter erfolgt auf Grundlage von baurechtlichen Vorschriften, Normen und Literaturauswertungen sowie baupraktischen Erfahrungen. Zur Verfeinerung der verwendeten Werte können Auswertungen abgewickelter Bauobjekte (z. B. im Rahmen der Verifizierung) und/oder Projektdatenbanken verwendeten werden, wodurch die Genauigkeit des entwickelten Verfahrens gesteigert werden kann.

Insbesondere zur Verfeinerung der verwendeten Aufwandswerte, die neben den Fertigungsmengen, zur Ermittlung realistischer und wirtschaftlicher Ausführungsdauern der Bauprozesse von maßgebender Bedeutung sind, bietet sich eine Kooperation mit ausführenden Unternehmen aus der Baupraxis an.

Weiterhin sind insbesondere die verwendeten Bewehrungsanteile, die auf der Grundlage von Literaturauswertungen ermittelt wurden, jedoch aufgrund fehlender Angaben in den Objektunterlagen der ausgewerteten Bauobjekte nicht überprüft werden konnten, einer weiteren Überprüfung zu unterziehen.

Detaillierte Überprüfung von Wechselwirkungen durch abweichende Gebäudeparameter

Die durchgeführte (diskrete) Sensitivitätsanalyse wurde zur Steigerung der Nachvollziehbarkeit und Reduzierung des Berechnungsaufwands auf maximal vier Gebäudeparameter be-

schränkt. Gebäudeparameter, die – isoliert betrachtet – innerhalb der ermittelten Bandbreiten zwischen den minimalen und maximalen Soll-Werten jeweils zu keiner Bauzeitänderung führen, wurden dabei nicht berücksichtigt. Wechselwirkungen zwischen nicht berücksichtigten Gebäudeparametern sind daher möglich. Diese können z. B. durch eine Monte-Carlo-Simulation ermittelt und bewertet werden.

Erweiterung der EDV-basierten Arbeitshilfe

Die vorgestellte Arbeitshilfe dient vorwiegend der Validierung und Sensitivitätsanalyse des entwickelten Verfahrens. Zur Überführung in die Bau- und Planungspraxis ist eine Erweiterung der vorgestellten Arbeitshilfe zweckmäßig. Hierdurch kann die Akzeptanz des entwickelten Verfahrens gesteigert und eine dauerhafte Integration in den Planungsprozess erreicht werden.

Für die praktische Anwendung ist insbesondere die EDV-basierte Berechnung und Visualisierung projektspezifischer kritischer Werte sinnvoll, die den Anwender in die Lage versetzen unmittelbar zu erkennen, welche Änderungen der Berechnungsparameter zu welcher Bauzeitänderung führen. In der vorgestellten Arbeitshilfe muss dies noch iterativ erfolgen.

Auch eine automatisch EDV-basiert erstellte tabellarische Zusammenfassung zweckmäßiger Varianten des Referenzgebäudes und/oder des Bauablaufs ist vorteilhaft, da dem Anwender hierdurch sinnvolle, alternative Planungsansätze aufgezeigt werden können.

Berücksichtigung von Beschleunigungspotenzialen und Einarbeitungseffekten

Bei der Entwicklung des BAM und der Ermittlung der Vorgangsdauern bleiben mögliche Beschleunigungspotenziale und Einarbeitungseffekte unberücksichtigt.

Da die Arbeitshilfe eine Anpassung der Anzahl der eingesetzten Kolonnen bzw. Arbeitskräfte und/oder der Taktzeiten ermöglicht, wodurch verschiedene Szenarien des Bauablaufs miteinander verglichen werden können, können Beschleunigungspotenziale iterativ bestimmt und berücksichtigt werden. Eine automatische Erkennung dieser Beschleunigungspotenziale ist EDV-gestützt jedoch umsetzbar.

Zur Berücksichtigung von Einarbeitungseffekten können in der Arbeitshilfe entsprechende Parameter definiert werden. Dies umfasst insbesondere die Dauer der Einarbeitungsphase und den zeitlichen Verlauf der Produktivitätssteigerung (z. B. linear oder progressiv).

Integration Risikomanagement

Die Berücksichtigung von Bauzeitrisiken kann z. B. durch die Implementierung einer stochastischen Bauzeitermittlung in die Arbeitshilfe erfolgen. Dies ist insbesondere für die ermittelten Gebäudeparameter und Aufwandswerte zweckmäßig. Bei Verwendung von Beta-Verteilungen können dabei die bereits ermittelten minimalen und maximalen Soll-Werte in

Ansatz gebracht werden. Durch die Möglichkeit deren Eintrittswahrscheinlichkeiten in einer weiterentwickelten Arbeitshilfe projektspezifisch anzupassen und die zusätzliche Integration von Monte-Carlo-Simulationen, können für die daraus resultierenden Bauzeiten und jeweils zugehörigen Wahrscheinlichkeiten berechnet werden. Diese können den Planer bei der Vorgabe realistischer und wirtschaftlicher Bauzeiten unterstützen.

Integration von Building-Information-Modeling (BIM)

Das entwickelte Verfahren ermöglicht eine Bauzeitermittlung bereits vor der Anfertigung des ersten Bauentwurfs. Die Genauigkeit der ermittelten Bauzeit ist allerdings insbesondere auch von der Genauigkeit der Fertigungsmengen abhängig.

Durch die frühzeitige Integration des BIM in den Planungsprozess und die daraus resultierende hohe Genauigkeit der voraussichtlichen Fertigungsmengen, kann auch die Genauigkeit der ermittelten Bauzeiten deutlich gesteigert werden.

Erweiterung des entwickelten Verfahrens

Die aus dem entwickelten Verfahren resultierenden Fertigungsmengen können in Kombination mit den ermittelten Ressourcen und Bauzeiten grundsätzlich auch als Basis einer mengen- und bauzeitbasierten Kostenermittlung verwendet werden. Insbesondere in LPH 0 bzw. LPH 1 kann hierdurch eine Alternative zur derzeit üblichen Ermittlung des Kostenrahmens auf Grundlage objektorientierter Kennzahlen (vgl. Kap. A.1) geschaffen werden.

Bezüglich der Bewertung, insbesondere ob aus dem entwickelten Verfahren Fertigungsmengen mit einer hierfür zweckmäßigen Genauigkeit resultieren, besteht weiterer Forschungsbedarf.

K. Verzeichnisse

K.1 Abkürzungsverzeichnis[576]

A	AF	Anfangsfolge
	AG	Auftraggeber
	Ah	Arbeitsstunden
	AK	Arbeitskraft/Arbeitskräfte
	AN	Auftragnehmer
	AP	Arbeitsplatz
	ArbStättV	Arbeitsstättenverordnung
	ARH	Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau
	AOB	Anordnungsbeziehung
	ASR	Arbeitsstättenrichtlinie
	AT	Arbeitstag
	Aufz.anz.	Aufzuganzahl
	Aufz.gr.	Aufzugsgruppe
	AW	Außenwand
B	BAM	Bauablauf-Modell
	B-AStV	Bundes-Arbeitsstättenverordnung [Österreichs]
	BauNVO	Baunutzungsverordnung
	BayBO	Bayerische Bauordnung
	BbgBO	Brandenburgische Bauordnung
	BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
	BGF	Brutto-Grundfläche
	BIM	Building-Information-Modeling
	BKI	Baukosteninformationszentrum
	BRI	Brutto-Rauminhalt
	BTC-Modell	Bauzeit-Baukosten-Modell nach Bromilow (engl. „Bromilow's-Time-Cost-Model“)
	BW	Brandschutzwand
C	CA	Baufläche einschließlich Arbeits- und Lagerflächen (engl. „Construction Area“)

[576] Auf die Auflistung allgemein gebräuchlicher Abkürzungen wird verzichtet und stattdessen z. B. auf DUDEN (2005) verwiesen. Währungscodes ergeben sich z. B. aus DUDEN (2005), 406 f.

	CME	Construction Management and Economics
E	EF	Endfolge
	EG-Höhe	Geschosshöhe des Erdgeschosses
	Eq.	Formel (engl. „Equation“)
F	FA	Fertigungsabschnitt
	FAZ	frühester Anfangszeitpunkt
	FE	Flächeneinheit/en
	FEZ	frühester Endzeitpunkt
	FFB	Fertigfußboden
G	GEA	Gross External Area
	GEFA	Gross External Floor Area
	GFA	Gross Floor Area
	GFZ	Geschossflächenzahl
	GKL	Gebäudeklasse gemäß MBO
	GOK	Geländeoberkante
	GRZ	Grundflächenzahl
H	HE-HBO	Handlungsempfehlungen zum Vollzug der HBO (Hessischen Bauordnung) 2011
	HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
I	IJPM	International Journal of Project Management
	IS	Installationsschacht
	IW	Innenwand
J	JCEM	Journal of Construction Engineering and Management
K	k. A.	keine Angabe
	KGF	Konstruktions-Grundfläche
	KM	Konvertible Mark (Währung von Bosnien und Herzegowina)
	Kol.anz.	Kolonnenanzahl
	Kol.st.	Kolonnenstärke
	Kr.	Kran
	KT	Kalendertag
L	LBOAVO a. F.	Allgemeine Ausführungsverordnung des Wirtschaftsministeriums zur Landesbauordnung des Landes Baden-Württemberg (alte Fassung)
	LE	Längeneinheit/en
	LPH	(HOAI-)Leistungsphase
	MBO	Musterbauordnung

N	NE	Nutzungseinheit
	NE 0	Nutzungseinheit des Typs 0 (vgl. Kap. C.2.5.1)
	NE 1	Nutzungseinheit des Typs 1 (vgl. Kap. C.2.5.1)
	NE 2	Nutzungseinheit des Typs 2 (vgl. Kap. C.2.5.1)
	NF	Normalfolge
	NFA	Net Floor Area
	NIA	Net Internal Area
	NRF	Netto-Raumfläche
	NUF	Nutzungsfläche
O	o. S.	ohne Seitenangabe
	oUD	ohne Unterdecke
P	PSP	Projektstrukturplan
R	raumabschl.	raumabschließend
	RG	Regelgeschoss
	RG-Höhe	Geschosshöhe der Regelgeschosse
	RM	Regressionsmodell
T	TGA	Technische Gebäudeausrüstung
	TH	Treppenhaus
U	UDmL	Unterdecke mit Lüftungstechnik
	UDoL	Unterdecke ohne Lüftungstechnik
V	VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
	VOB/A	VOB Teil A („Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen“)
	VOB/B	VOB Teil B („Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen“)
	VOB/C	VOB Teil C („Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen“)
	VStättV	Bayerische Versammlungsstättenverordnung
W	WE	Währungseinheit/en
Z	ZE	Zeiteinheiten/en

K.2 Glossar

Das Pfeilsymbol in Verbindung mit kursivem Text („→ *Beispiel*“) verweist auf den jeweiligen Begriff im Glossar (hier z. B. den Begriff „Beispiel“).

Ablaufplanung

Die Begriffe „Ablaufplanung“ und „Terminplanung“ werden, ebenso wie die Begrifflichkeiten „Ablaufplan“ und „Terminplan“, in der Lehr- und Fachliteratur nicht einheitlich verwendet bzw. unterschiedlich definiert.[577]

Aus KOCHENDÖRFER ET AL. (2010) lässt sich z. B. eine synonyme Verwendung der beiden Begriffe ableiten,[578] wohingegen nach ZIMMERMANN/GREITEMANN (2015) die Terminplanung auftraggeberseitig und die Ablaufplanung auftragnehmerseitig erfolgt.[579]

In der HOAI werden die Begriffe „Ablaufplan“ bzw. „Ablaufplanung“ ausschließlich im Zusammenhang mit den Besonderen Leistungen „Objektübergreifende, integrierte Bauablaufplanung“ und „Aufstellen von Ablauf- und Netzplänen“ in LPH 5 der beiden Leistungsbilder „Ingenieurbauwerke“ und „Verkehrsanlagen“ verwendet.[580] Im Kontext des Leistungsbilds „Gebäude und Innenräume“ wird hingegen ausschließlich der Begriff „Terminplan“ verwendet.[581]

Nach DIN 69900 (2009) werden Ablauf- und Terminpläne wie folgt differenziert:

> *„Ein Ablaufplan für ein Projekt strukturiert einen mehrteiligen Projektablauf nach der Zeit. Er ist die Voraussetzung für eine **anschließende** [Hervorh. d. d. Verf.] Terminplanung, bei der die einzelnen Ablaufelemente, in der Regel Vorgänge, mit Anfangs- und Endterminen versehen werden.“*[582]

Ablaufpläne nach DIN 69900 (2009) ordnen den einzelnen Ablaufelementen lediglich Zeitpunkte für deren Anfang und Ende zu. Ein Zeitpunkt wird in diesem Kontext als *„festgelegter*

---

[577] Vgl. ZIMMERMANN/GREITEMANN (2015), S. 535. Anm.: Eine ausführliche Gegenüberstellung unterschiedlicher Definitionen ergibt sich aus ZIMMERMANN/GREITEMANN (2015).

[578] Vgl. KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 111 ff.

[579] Vgl. ZIMMERMANN/GREITEMANN (2015), S. 535.

[580] Vgl. Anlage 12 (zu §§ 43 Abs. 4 u. 48 Abs. 5) u. Anlage 13 (zu §§ 47 Abs. 2 u. 48 Abs. 5) HOAI (jeweils LPH 5).

[581] Vgl. Anlage 10 (zu §§ 34 Abs. 4 u. 34 Abs. 7) HOAI (LPH 2 lit. h, LPH 3 lit. f, LPH 5 lit. d, LPH 6 lit. a u. LPH 8 lit. d).

[582] DIN 69900 (2009), S. 16.

Punkt im Ablauf [definiert], dessen Lage durch Zeiteinheiten (z. B. Minuten, Tage, Wochen) beschrieben und auf einen Nullpunkt bezogen ist."[583]

Erstellte Ablaufpläne können auf Grundlage eines Starttermins in Terminpläne überführt werden.

Erst ist im Rahmen der Terminplanung werden den einzelnen Ablaufelementen jeweils Termine für deren Anfang und Ende zugeordnet. Ein Termin wird als *„durch Kalenderdatum und/oder Uhrzeit ausgedrückter Zeitpunkt"*[584] definiert.

In der vorliegenden Arbeit wird die Definition bzw. Abgrenzung der Termin- und Ablaufplanung gemäß DIN 69900 (2009) verwendet.

Die ermittelten Bauzeiten sowie der Anfang und das Ende der einzelnen Vorgänge des → *Bauablauf-Modells*, sind auf Zeitpunkte – und nicht auf konkrete Termine – bezogen.

Außenwanddicke

Die Außenwanddicke wird ebenso wie die → *Innenwanddicke* als Gesamt-Wandstärke (Rohbaumaß) definiert (vgl. Abb. 22).

Bauablauf-Modell

Netzplan, der der Bauzeitermittlung zugrunde liegt und ausschließlich → *potenziell bauzeitbestimmende Vorgänge* beinhaltet. Die Ermittlung der minimalen Bauzeit, → *erwarteten wirtschaftlichen Bauzeit* und maximalen Bauzeit erfolgt auf Grundlage identischer potenziell bauzeitbestimmender Vorgänge. Unterschiede ergeben sich im BAM hingegen hinsichtlich der hierin berücksichtigten kapazitiven AOB (vgl. Kap. G.2.1).

Baugrundstücksfläche

Die Baugrundstücksfläche ist anhand der Abmessungen innerhalb der Grenzen des Grundstücks zu ermitteln oder ergibt sich aus dem Liegenschaftskataster bzw. Grundbuch. Bei der Ermittlung der → *zulässigen Grundfläche der baulichen Anlage* ist gemäß BauNVO:

> *„die Fläche des Baugrundstücks maßgebend, die im Bauland und hinter der im Bebauungsplan festgesetzten Straßenbegrenzungslinie liegt. Ist eine Straßenbegrenzungslinie nicht festgesetzt, so ist die Fläche des Baugrundstücks maßgebend, die hinter der tatsächlichen Straßengrenze liegt oder die im Be-*

[583] DIN 69900 (2009), S. 15.

[584] DIN 69900 (2009), S. 14.

bauungsplan als maßgebend für die Ermittlung der zulässigen Grundfläche festgesetzt ist“ [585].

Baukosten

Es gilt Kosten aus Sicht des AG und Kosten aus Sicht des AN zu differenzieren.

Die Kosten aus Sicht des AG werden in der vorliegenden Arbeit als „Baukosten“ bezeichnet. Die Baukosten entsprechen den Erlösen des AN, die sich aus dessen Sicht aus den → *Herstellkosten*, den Allgemeinen Geschäftskosten und dem Gewinn zusammensetzen.[586]

Brutto-Grundfläche (BGF)

Die BGF ist gemäß DIN 277-1 (2016) als *„Gesamtfläche aller Grundrissebenen des Bauwerks“* [587] definiert, wobei jeweils *„die äußeren Maße der Baukonstruktionen einschließlich Bekleidung (z. B. Außenseite von Putzschichten oder Außenschalen mehrschaliger Wandkonstruktionen) in Höhe der Oberseite der Boden- bzw. Deckenbeläge anzusetzen“* [588] sind.

Brutto-Rauminhalt (BRI)

Der BRI ist gemäß DIN 277-1 (2016) als *„Gesamtvolumen des Bauwerks“* [589] definiert, der *„von den äußeren Begrenzungsflächen umschlossen [wird], die von den konstruktiven Bauwerkssohlen, den Außenwänden und den Dächern einschließlich Dachgauben oder Dachoberlichtern gebildet werden“* [590].

Bürotiefe

Die Bürotiefe wird als Abstand zwischen den Innenseiten einer Außen- und der gegenüberliegenden Innenwand (Rohbaumaß) definiert (vgl. Abb. 22).

Construction Area (CA)

JARKAS (2015) führt für sein RM die Bezugseinheit CA ein und definiert diese als Gesamtfläche der Baustelle, einschließlich aller Arbeits- und Lagerflächen.[591]

---

[585] § 19 Abs. 3 BauNVO.

[586] Vgl. KLR BAU (2016), S. 38 ff.

[587] DIN 277-1 (2016), S. 4.

[588] DIN 277-1 (2016), S. 10.

[589] DIN 277-1 (2016), S. 5.

[590] DIN 277-1 (2016), S. 12.

[591] Vgl. JARKAS (2015), S. 3.

Erwartete wirtschaftliche Bauzeit

Bauzeit, die aus den Fertigungsmengen auf Grundlage des → *Referenzgebäudes* und dem → *Bauablauf-Modell* resultiert, wobei ein ausgewogenen Baukosten/Bauzeit-Verhältnis, ein wirtschaftlicher Ressourceneinsatz sowie die Minimierung von → *Leerzeiten* und → *Wartezeiten* (vgl. Abb. 20) angestrebt wird. Abweichende Bauzeiten, z. B. durch angepasste Ressourcenanzahlen, Beschleunigungen usw., können zu einem Anstieg der Baukosten führen (vgl. Abb. 8). Als „erwartete wirtschaftliche Bauzeit“ wird eine wirtschaftliche und somit realistische Bauzeit angestrebt, die durch Terminsteuerungsmaßnahmen beherrschbar ist und mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird.

Flächenbedarf des Nutzers

Bei der Definition des Flächenbedarfs des Nutzers gilt es hinsichtlich der Gebäudenutzung grundsätzlich zwei Fälle zu differenzieren:

- *Baumaßnahmen zur Bedarfsdeckung*, d. h. Bauen zur Deckung eines vordefinierten Nutzerbedarfs (z. B. bei Eigennutzung) und
- *Baumaßnahmen zur Nutzungsmaximierung*, d. h. Bauen zur maximalen Ausnutzung des Maßes der baulichen Nutzung (z. B. Fremdnutzung d.h. Gebäude zur Vermietung durch AG).

Bei einer zugrunde gelegten Nutzungsmaximierung wird dem → *Referenzgebäude* eine Kombination der → *zulässigen Grundfläche der baulichen Anlage* und Geschossanzahl gemäß des Maßes der baulichen Nutzung zugrunde gelegt. Bei Baumaßnahmen zur Bedarfsdeckung resultiert der Flächenbedarf des Nutzers aus der Bedarfsplanung[592] und bildet die Grundlage zur Bestimmung der minimalen → *Gebäudegrundfläche* und Geschossanzahl, die zur Deckung des vordefinierten Nutzerbedarfs notwendig sind.

Obwohl der Flächenbedarf somit aus den Anforderungen des Nutzers und des AG resultieren kann, wird der Flächenbedarf in der vorliegenden Arbeit einheitlich als „Flächenbedarf des Nutzers“ bezeichnet.

Floor Area

Die Floor Area wird im englischsprachigen Raum als Oberbegriff für verschiedene Grundflächenarten verwendet und umfasst unter anderem:

- → *Gross Floor Area (GFA)*

[592] Die Bedarfsplanung stellt gemäß Anlage 10 (zu §§ 34 Abs. 4 u. 35 Abs. 7) HOAI eine Besondere Leistung in LPH 1 dar. Der Ablauf der Berechnung der notwendigen BGF auf Grundlage der Nutzeranforderungen ergibt sich z. B. aus HODULAK/SCHRAMM (2011), S. 156 ff.

- → *Gross External Area (GEA)* bzw. → *Gross External Floor Area (GEFA)*
- → *Gross Internal Area (GIA)*

- → *Net Floor Area (NFA)* bzw. → *Net Internal Area (NIA)*

Die GFA beschreibt grundsätzlich die Bruttofläche eines Gebäudes und die NFA die Nettofläche eines Gebäudes.[593] Hinsichtlich der Ermittlungsgrundlage können weiterhin generell Internal- und External Areas differenziert werden.

Flurbreite

Die Flurbreite wird als Abstand zwischen den Innenseiten der seitlich angeordneten Begrenzungswände des Flurs (Rohbaumaß) definiert (vgl. Abb. 22).

Fußbodenhöhe

Die Fußbodenhöhe wird als senkrechter Abstand zwischen den Oberkanten des Roh- und Fertigfußbodens definiert (vgl. Abb. 96).

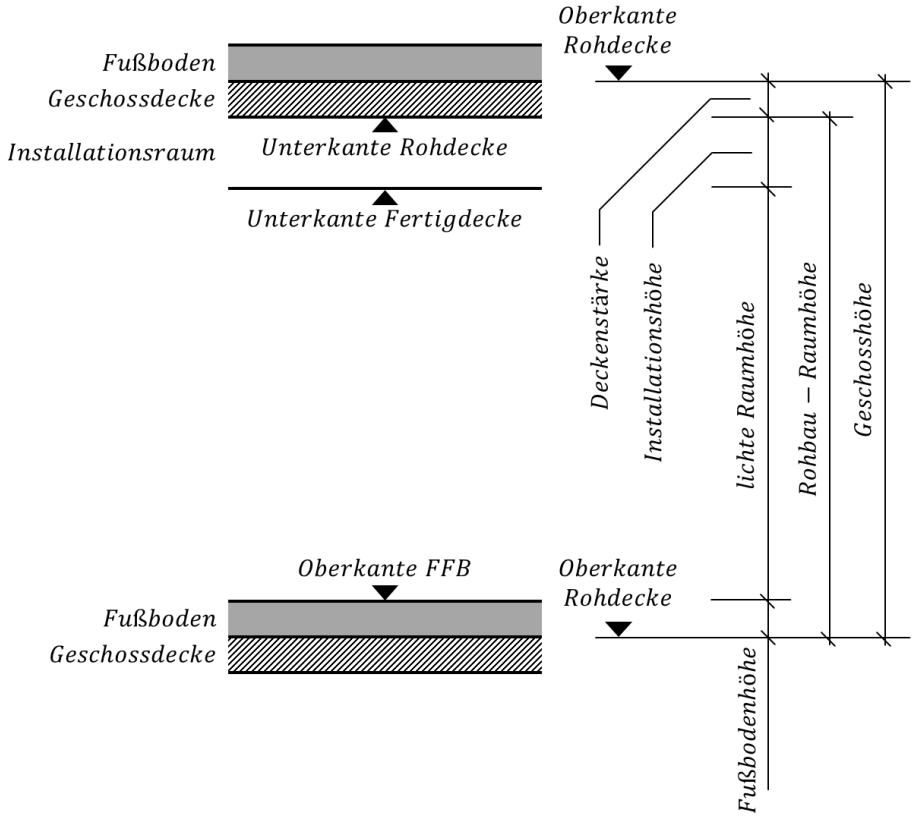


Abb. 96: Definition der Geschosshöhe und Raumhöhen[594]

[593] Vgl. z. B. VOA (2012), o. S.

[594] Eigene Darstellung (qualitativ, Schnitt).

Gebäudegrundfläche

Die Gebäudegrundfläche ist der Anteil des Baugrundstücks, der von baulichen Anlagen überdeckt wird. In der Ausarbeitung werden vorhandene Abweichungen zwischen der Gebäudegrundfläche des Rohbaus und der Gebäudegrundfläche, die rechnerisch aus der → *Brutto-Grundfläche* und Geschossanzahl resultiert, als marginal eingestuft und entsprechend vernachlässigt.

Gebäudegruppe

Bei der Ermittlung der Treppenhausanzahl sind die beiden Gebäudegruppen „Sonderbau“ und „sonstiger Bau“ gemäß § 2 Abs. 4 MBO zu differenzieren (vgl. Tab. 54).

Tab. 54: Gebäudegruppen nach § 2 Abs. 4 MBO[595]

Gebäude-gruppe	Tatbestand gemäß § 2 Abs. 4 MBO
Sonderbau	Grundfläche eines Geschosses über 1.600 m² oder Büro- und Verwaltungsgebäude mit Räumen bzw. NE über 400 m² oder Hochhäuser, d. h. Gebäudehöhe gemäß MBO über 22,00 m oder Gebäudehöhe über 30,00 m
sonstiger Bau	Grundfläche aller Geschosse kleiner gleich 1.600 m² und alle Räume bzw. NE kleiner gleich 400 m² und Gebäudehöhe gemäß MBO kleiner gleich 22,00 m und Gebäudehöhe kleiner gleich 30,00 m

Gebäudehöhe

Als Bezugspunkt der Gebäudehöhe (vgl. auch: → *Zulässige Höhe der baulichen Anlage*) wird die Oberkante des EG-Rohfußbodens festgelegt. Die Gebäudehöhe wird daher von der Oberkante des EG-Rohfußbodens bis zur Oberkante der Rohdecke des obersten Geschosses gemessen (vgl. Eq. (E.25) u. Abb. 97). Der festgesetzte Bezugspunkt im Bebauungsplan (z. B. die Gelände-Oberkante) ist ggf. auf den definierten Bezugspunkt umzurechnen.

Gebäudehöhe gemäß MBO

Von der → *Gebäudehöhe* ist die Gebäudehöhe gemäß MBO zu unterscheiden, die sich auf das *„Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberkante im Mittel“* [596] bezieht. Auch für die Gebäudehöhe gemäß MBO wird vereinfacht die Oberkante der EG-Rohdecken und des höchstge-

[595] Eigene Darstellung.

[596] § 2 Abs. 3 Satz 2 MBO.

legenen Geschosses des → *Referenzgebäudes* als Bezugsniveau angesetzt (vgl. Eq. (E.27) und Abb. 97).

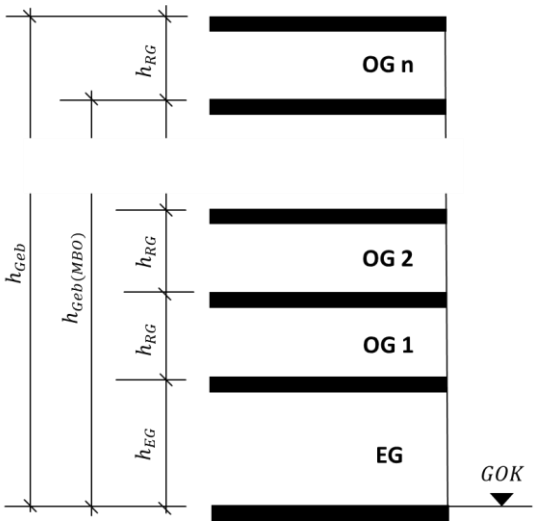


Abb. 97: Schnittdarstellung zur Definition der Gebäudehöhe[597]

Gebäudeklasse

Das → *Referenzgebäude* kann, abhängig von der → *Gebäudehöhe gemäß MBO*, der → *Brutto-Grundfläche* und der Anzahl der → *Nutzungseinheiten* des Gebäudes, einer Gebäudeklasse (GKL) nach § 2 Abs. 3 MBO zugeordnet werden (vgl. Tab. 55).

Tab. 55: Gebäudeklassen nach § 2 Abs. 3 MBO[598]

GKL	Tatbestand gemäß § 2 Abs. 3 MBO	
GKL 1	frei stehende Gebäude	Gebäudehöhe gemäß MBO ≤ 7 m und Anzahl der NE ≤ 2 und BGF ≤ 400 m²
	frei stehende land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude	
GKL 2	Gebäude	
GKL 3	Gebäude	Gebäudehöhe gemäß MBO ≤ 7,00
GKL 4	Gebäude	7 m < Gebäudehöhe nach MBO ≤ 13 m und Verhältnis BGF zu Anzahl der NE ≤ 400 m²
GKL 5	sonstige Gebäude	

Gebäudetiefe

Die Gebäudetiefe wird als senkrechter Abstand zwischen zwei gegenüberliegenden Außenkanten der Außenwände des Rohbaus, gemessen senkrecht zu den Erschließungsfluren, definiert. Bei hintereinander angeordneten Gebäudeteilen, wie z. B. bei kammförmigen oder geschlossenen Grundrissen, wird die Gebäudetiefe ausschließlich anhand eines einzelnen

[597] Eigene Darstellung (exemplarisch).

[598] Eigene Darstellung. Anm.: Die Vorgaben nach § 2 Abs. 3 MBO beziehen sich auf die BGF (vgl. § 2 Abs. 3 Satz 3 MBO). Vereinfacht wird bei der Verfahrensentwicklung die BGF des Rohbaus in Ansatz gebracht (vgl. Kap. C.2.2.1).

Gebäudeteils bestimmt (vgl. Abb. 22 u. Abb. 98). Bei der Entwicklung des → *Referenzgebäudes* wird eine gleichbleibende Gebäudetiefe zugrunde gelegt (vgl. Kap. A.3).

Geschossflächenzahl (GFZ)

Die GFZ beschreibt *„wieviel Quadratmeter Geschossfläche je Quadratmeter Grundstücksfläche […] zulässig sind"*[599]. Die zulässige Geschossfläche wird dabei als Summe der Flächen aller → *Vollgeschosse* im Grundriss definiert, die nach ihren jeweiligen Gebäude-Außenmaßen zu berechnen sind.[600]

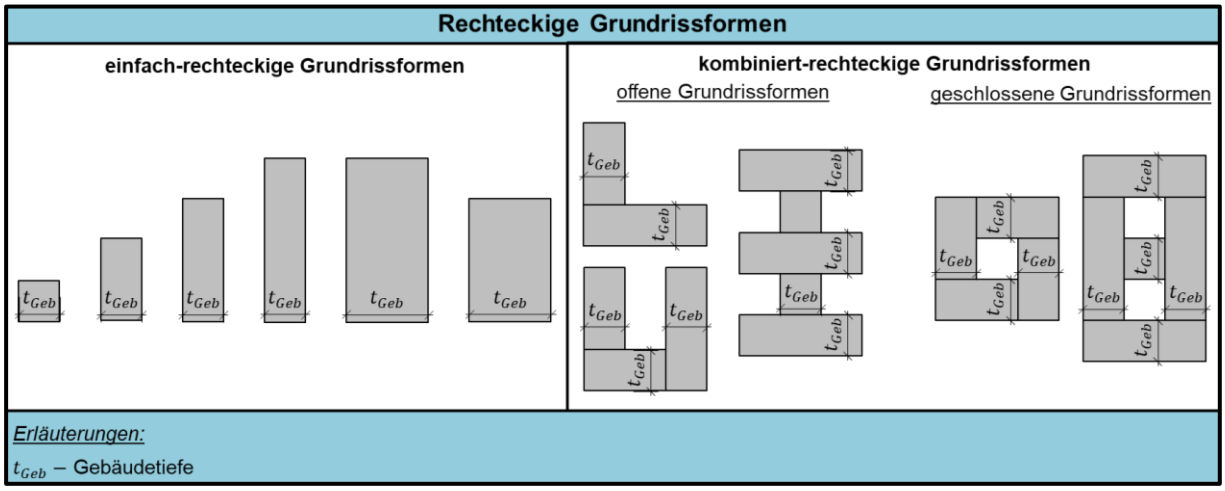


Abb. 98: Ermittlung der Gebäudetiefe verschiedener Grundrissformen[601]

Geschosshöhe

Die Geschosshöhe wird als senkrechter Abstand zwischen der Oberkante einer Rohdecke und der Oberkante der darüber liegenden Rohdecke definiert (vgl. Abb. 96).[602] Die Geschosshöhe ergibt sich aus der Summe der → *Rohbau-Raumhöhe* und der Deckenstärke.

Gross External Area (GEA)

Die GEA entspricht im Wesentlichen der → *Brutto-Grundfläche.*[603]

---

[599] § 20 Abs. 2 BauNVO. Anm.: So resultiert beispielsweise aus einer Baugrundstücksfläche von 1.000 m² und einer festgesetzten GFZ von 1,6 eine maximale Geschossfläche von 1.600 m². Ob die errechnete Geschossfläche auf einem oder mehreren Geschossen ausgeführt werden kann, richtet sich nach den übrigen Vorgaben des Maßes der baulichen Nutzung, wie z. B. der zulässigen GRZ und der zulässigen Anzahl der Vollgeschosse.

[600] Vgl. § 20 BauNVO.

[601] Eigene Darstellung.

[602] So z. B. auch DIN V 18599-1 (2018), S. 14.

[603] Vgl. DIN 277-1 (2016), S. 4 i. V. m. RICS (2007), S. 8.

Für die GFA, GEA und GEFA existieren international unterschiedliche Definitionen. Obwohl bei der gesichteten Literatur keine markanten Abweichungen bei den Definitionen feststellbar sind,[604] können bei der exakten Ermittlung der Eingangsgröße zur Anwendung flächenbasierter RM dennoch Unsicherheiten und Widersprüche nicht ausgeschlossen werden.

DURSUN/STOY (2012) verwenden den Begriff GEFA synonym zur → *Brutto-Grundfläche*.[605] Auch in URA (2015) und BPR (2005), worin die GFA für Singapur bzw. Hongkong definiert wird, wird angegeben, dass die GFA als die überdeckte Fläche aller Geschosse eines Gebäudes, gemessen von der Außenkante der Baukonstruktion, ermittelt wird, was im Wesentlichen der Definition der → *Brutto-Grundfläche* gemäß DIN 277-1 (2016) entspricht.[606] Auch in VOA (2012) und ANSI/ASHRAE 105 (2012) wird die GEA für Großbritannien bzw. die GFA für die USA zusammenfassend als Gesamtfläche aller Geschosse eines Gebäudes, gemessen von den Außenkanten der Außenwände bzw. von der Mittelachse von Gebäudetrennwänden definiert,[607] wobei sich bei näherer Betrachtung Unterschiede bei den zu berücksichtigenden Flächen ergeben.

Während aus den Erläuterungen nach VOA (2012) hervorgeht, dass Tiefgaragen bei der Berechnung der GEA miteinzubeziehen sind, werden diese gemäß ANSI/ASHRAE 105 (2012) nicht berücksichtigt, da die angegebene Definition auf die Verwendung im Rahmen von Energieeffizienzbetrachtungen oder energetischen Analysen beschränkt ist und diese die energetischen Bewertung verzerren können.[608]

Die vorangegangenen Ausführungen dienen lediglich der Veranschaulichung möglicher Widersprüche und Unsicherheiten bei der Anwendung flächenbasierter RM. Da die angegebenen Begriffe lediglich zur Erläuterung des Stands der Wissenschaft und Technik verwendet werden und im Rahmen der darauffolgenden Verfahrensentwicklung keine Rolle spielen, kann auf die Festlegung einheitlicher Definitionen verzichtet werden.

Vgl. auch: → *Floor Area*

---

[604] Geringfügige Unterschiede bei der Ermittlung ergeben sich z. B. gemäß VOA (2012) und RICS (2007). Während nach VOA (2012) Flächen mit einer Raumhöhe von weniger als 1,50 m bei der Ermittlung der GEA nicht berücksichtigt werden (ausgenommen unterhalb von Treppen), sieht RICS (2007) dies hingegen vor (vgl. VOA (2012), o. S. u. RICS (2007), S. 3). Gemäß DIN 277-1 (2016) gehören Flächen, *„die keinen Zugang haben, nicht begehbar sind oder aus anderen Gründen nicht nutzbar sind (a. a. O., S. 10)“* nicht zur BGF.

[605] Vgl. DURSUN/STOY (2012), S. 453.

[606] Vgl. URA (2015), Pt. 1 No. 3.1 u. BPR (2005), S. 8 i. V. m. DIN 277-1 (2016), S. 4, 10.

[607] Vgl. VOA (2012), o. S. u. ANSI/ASHRAE 105 (2012), S. 1. Anm.: So auch RICS (2007), S. 8.

[608] Vgl. VOA (2012), o. S. i. V. m. ANSI/ASHRAE 105 (2012), S. 1.

Gross External Floor Area (GEFA)

→ *Gross External Area*

Gross Floor Area (GFA)

→ *Floor Area* und → *Gross External Area*

Gross Internal Area

Die Gross Internal Area entspricht im Wesentlichen der Innen-Grundfläche gemäß DIN 277-1 (2016), die aus der Differenz der → *Brutto-Grundfläche* und der → *Konstruktions-Grundfläche* der Außenwände resultiert.[609]

Vgl. auch: → *Floor Area.*

Grundflächenzahl (GRZ)

Die GRZ beschreibt *„wieviel Quadratmeter Grundfläche je Quadratmeter Grundstücksfläche […] zulässig sind“*[610].

Herstellkosten

Es gilt Kosten aus Sicht des AN und Kosten aus Sicht des AG zu differenzieren.

Die Kosten aus Sicht des AN werden in der vorliegenden Arbeit als „Herstellkosten“ bezeichnet. Herstellkosten sind Kosten, die der Herstellung eines Bauobjekts sinnvoll und unmittelbar zugeordnet werden können und sich aus den Einzelkosten der Teilleistung und den Gemeinkosten der Baustelle ergeben.[611]

Vgl. auch: → *Baukosten*.

Innenwanddicke

Die Innenwanddicke wird ebenso wie die → *Außenwanddicke* als Gesamt-Wandstärke (Rohbaumaß) definiert (vgl. Abb. 22).

Installationshöhe

Die Installationshöhe wird als Höhe der Unterdecke definiert und ergibt sich aus dem senkrechten Abstand zwischen den Unterkanten der Roh- und Fertigdecke (vgl. Abb. 96). Die

[609] Vgl. DIN 277-1 (2016), S. 7 i. V. m. RICS (2007), S. 12.

[610] § 19 Abs. 1 BauNVO. Anm.: So resultiert beispielsweise aus einer Baugrundstücksfläche von 1.000 m² und einer festgesetzten GRZ von 0,8 eine maximale Gebäudegrundfläche von 800 m².

[611] Vgl. KLR BAU (2016), S. 39.

notwendige Installationshöhe von Büroräumen ergibt sich aus der vorgesehenen TGA – insbesondere der Lüftungstechnik.[612]

Ist-Intervall

Das Ist-Intervall wird als (prozentuale) Bandbreite[613] zwischen einem minimalen und maximalen Ist-Wert bezogen auf den minimalen Ist-Wert definiert.

Das Soll-Intervall wird als (prozentuale) Bandbreite zwischen einem minimalen und maximalen Ist-Wert bezogen auf den erwarteten Soll-Wert definiert.

Durch den Vergleich von Soll-Intervallen und Ist-Intervallen kann die Adaptivität des entwickelten Verfahrens bewertet werden.[614] Aufgrund der unterschiedlichen Bezugsgrößen der Soll-Intervalle (= erwarteter Soll-Wert) und Ist-Intervalle (= minimaler Ist-Wert), stellt das Ergebnis der Gegenüberstellung lediglich einen Indikator dar, aus dem sich Verbesserungspotenziale des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der Ermittlung der erwarteten Soll-0-Werte ableiten lassen.

Aus den Ist-Intervallen der Gebäudeparameter lassen sich Rückschlüsse auf die Inhomogenität aller analysierten Bauobjekte ziehen. Unterschreitet das Soll-Intervall das Ist-Intervall, so zeigt dies, dass die Adaptivität der erwarteten Soll-Werte grundsätzlich ausreicht, um die untersuchten Bauobjekte zu beschreiben.

Dies kann durch die Betrachtung zweier Grenzwert-Szenarien veranschaulicht werden:

- *Szenario 1*:
    - Das Ist-Intervall geht gegen null, d.h. die untersuchten Bauobjekte weisen eine sehr große Homogenität auf und
    - das Soll-Intervall geht gegen unendlich.
- *Szenario 2*:
    - Das Ist-Intervall geht gegen unendlich, d.h. die untersuchten Bauobjekte weisen eine sehr große Inhomogenität auf und
    - das Soll-Intervall geht gegen null.

[612] Vgl. z. B. KISTER ET AL. (2016), S. 493.

[613] Auf die Verwendung des hierfür in der Statistik üblichen Begriffs „Spannweite“ (engl. „Range“) wird verzichtet, um eine eindeutige Abgrenzung zum Begriff „Spannweite“ im Bauwesen zu erreichen, der die *„Entfernung zwischen den Unterstützungspunkten einer Baukonstruktion (SEDLACEK/SCHOLZ (1997), S. 602)“* beschreibt (vgl. z. B. Kap. E.2.11 u. Kap. G.1.1.3).

[614] Vgl. Kap. H.3.

Szenario 1 lässt die Schlussfolgerung zu, dass die erwarteten Soll-Werte ungeeignet sind, um die untersuchten Bauobjekte zu beschreiben, obwohl diese ein sehr geringes Ist-Intervall aufweisen. Dies kann einerseits auf ungenaue erwartete Soll-Werte und damit als Indikator gewertet werden, der auf Verbesserungspotenziale des entwickelten Verfahrens hinsichtlich der Ermittlung der erwarteten Soll-0-Werte hindeutet, oder andererseits auf in der Baupraxis unübliche Ist-Werte aller untersuchten Bauobjekte hindeuten.

Szenario 2 lässt die Schlussfolgerung zu, dass die erwarteten Soll-Werte geeignet sind, um die untersuchten Bauobjekte zu beschreiben, obwohl diese ein sehr hohes Ist-Intervall aufweisen. Daraus lässt sich ableiten, dass die Adaptivität der erwarteten Soll-Werte geeignet ist, um unterschiedlichste Bauobjekte zu beschreiben.

Ist-Werte

Die Definition des Begriffs „Ist-Werte“ ergibt sich aus Kapitel H.2.

Konstruktions-Grundfläche (KGF)

Die KGF umfasst die Grundfläche aller aufgehenden Baukonstruktionen.[615]

Kostenanschlag

→ *Stufen der Kostenermittlung*

Kostenberechnung

→ *Stufen der Kostenermittlung*

Kostenfeststellung

→ *Stufen der Kostenermittlung*

Kostenrahmen

→ *Stufen der Kostenermittlung*

Kostenschätzung

→ *Stufen der Kostenermittlung*

Kritischer Vorgang

Vorgang, der auf dem → *kritischen Weg* liegt. Kritische Vorgänge weisen die geringsten Pufferzeiten aller Vorgänge im Netzplan auf – i. d. R. sind diese gleich null.[616]

[615] Vgl. DIN 277-1 (2016), S. 4.

[616] Vgl. DIN 69900 (2009), S. 8.

Kritischer Weg

„Weg in einem Netzplan der für die Gesamtdauer des Projekts (bzw. des Netzplans) maßgebend ist“ [617] und aus der Netzplanrechnung resultiert.[618]

Leerzeit

Leerzeiten ergeben sich, wenn die Arbeiten an einem Fertigungsabschnitt zwar technologisch möglich sind, da aus technologischer Sicht alle notwendigen vorlaufenden Prozesse abgeschlossen sind, jedoch aus kapazitiven Gründen keine Arbeiten stattfinden können, da die notwendigen Ressourcen an einen anderen Fertigungsabschnitt gebunden sind (vgl. Abb. 20 u. Abb. 29).

So kann z. B. die Schalung eines Fertigungsabschnitts beginnen, sobald der unmittelbar darunterliegende Fertigungsabschnitt fertiggestellt ist, jedoch ist aus kapazitiven Gründen durch die zugehörige Kolonne zunächst die Fertigstellung eines anderen Fertigungsabschnitts notwendig.

Vgl. auch: → *Wartezeit*.

Lichte Raumhöhe

Die lichte Raumhöhe wird z. B. in den Landesbauordnungen oder im Zusammenhang mit dem raumbildenden Ausbau als fertige Raumhöhe und somit als senkrechter Abstand zwischen der Oberkante des Fertigfußbodens und der Unterkante der darüber liegenden Fertigdecke definiert (vgl. Abb. 96).[619]

Net Floor Area (NFA)

Unterschiedliche Bedeutungen der Begriffe Net Internal Area (NIA) und NFA konnten in der gesichteten englischsprachigen Literatur nicht ermittelt werden. In RICS (2007) und VOA (2012) wird die NIA als nutzbare Fläche innerhalb eines Gebäudes, gemessen von der inneren Oberfläche der umgebenden Wände jedes Geschosses, definiert.[620] Technikflächen[621] sowie, bei der gemeinschaftlichen Nutzung eines Gebäudes durch unterschiedliche Parteien, gemeinsam genutzte Flächen wie z. B. Eingangshallen und Flure, zählen nicht zur

[617] DIN 69900 (2009), S. 8.

[618] Vgl. DIN 69900 (2009), S. 10.

[619] Lichte Raumhöhe = „Fertig-Raumhöhe” z. B. in DIN V 18599-1 (2018), S. 14 u. HE-HBO, S. 35 Nr. 42.1.1.

[620] Vgl. RICS (2007), S. 16 u. VOA (2012), o. S.

[621] Technikflächen im Sinne von DIN 277-1 (2016) sind Flächen *„für die technischen Anlagen zur Versorgung und Entsorgung des Bauwerks (a. a. O., S. 5)“*.

NIA.[622] Ein sinngemäßer Terminus zur NIA bzw. NFA kann aus DIN 277-1 (2016) nicht abgeleitet werden.[623]

Vgl. auch: → *Floor Area.*

Net Internal Area (NIA)

→ *Floor Area* und → *Net Floor Area*

Netto-Raumfläche (NRF)

Zusammen mit den Technik- und Verkehrsflächen bildet die → *Nutzungsfläche* die NRF, [624] die *„sämtliche Grundflächen der nutzbaren Räume aller Grundrissebenen des Bauwerks umfasst“* [625]. Die Summe aus der NRF und der → *Konstruktions-Grundfläche* ergibt die → *Brutto-Grundfläche*.[626]

Nutzungsfläche (NUF)

Die NUF dient der wesentlichen Zweckbestimmung des Bauwerks und umfasst bei Bürogebäuden z. B. Büro-, Besprechungs- und Bürogeräteräume.[627]

Nutzungseinheit (NE)

Die Definition einer NE ergibt sich z. B. aus den Handlungsempfehlungen zum Vollzug der Hessischen Bauordnung (HE-HBO).[628] Die MBO verwendet den Begriff „Nutzungseinheit“ ebenfalls, wenn auch nicht ausdrücklich definiert, in gleicher Weise:

> *„Als ‚**Nutzungseinheit**‘ gilt eine in sich abgeschlossene Folge von Aufenthaltsräumen, die einer Person oder einem gemeinschaftlichen Personenkreis zur Benutzung zur Verfügung stehen (z. B. [...] Büros, [...]). Innerhalb der Nutzungseinheit muss der direkte Zugang zu den Rettungswegen jederzeit gewährleistet sein.*
>
> *Bei **gewerblich genutzten Aufenthaltsräumen** wird die maximale Größe der Nutzungseinheit durch die notwendigen Brandabschnitte begrenzt. Nutzungs-*

[622] Vgl. RICS (2007), S. 16, VOA (2012), o. S.

[623] Vgl. DIN 277-1 (2016), S. 4 ff.

[624] Vgl. DIN 277-1 (2016), S. 6. Anm.: Der Begriff „Netto-Grundfläche“ in den alten Fassungen von DIN 277 wird in DIN 277-1 (2016) durch die NRF ersetzt (vgl. a. a. O., S. 3). Die beiden Begriffe können, insbesondere bei der Anwendung älterer Veröffentlichungen, als Synonyme betrachtet werden, weshalb in der vorliegenden Arbeit einheitlich der Begriff NRF verwendet wird.

[625] DIN 277-1 (2016), S. 4.

[626] Vgl. DIN 277-1 (2016), S. 4, 6.

[627] Vgl. DIN 277-1 (2016), S. 5 f.

[628] Vgl. HE-HBO, S. 5.

einheiten sind nur brandschutztechnisch abgegrenzte Einheiten, die gegeneinander geschützt sind und den Feuerwehreinsatz durch räumlich definierte Abschnitte für die Brandbekämpfung begünstigen." [629]

Bei der Ermittlung der Geometrie und Anzahl der NE des → *Referenzgebäudes* werden drei unterschiedliche Typen von NE differenziert, deren Definitionen sich aus Kap. C.2.5.1 ergeben.

Potenziell bauzeitbestimmende Vorgänge

Potenziell bauzeitbestimmende Vorgänge bezeichnen Vorgänge, die für Hochbauten und das Referenzgebäude generell als bauzeitbestimmend angesehen werden können und die Grundlage des → *Bauablauf-Modells* bilden. Auf die Verwendung des Begriffs „kritische Vorgänge" wird bewusst verzichtet, da kritische Vorgänge und der → *kritische Weg* gemäß DIN 69900 (2009) erst aus der Netzplanrechnung resultieren.[630]

Referenzgebäude

Gebäudemodell, das einen für die vorgesehene Typologie (z. B. Bürogebäude) möglichen Gebäudeaufbau darstellt und anhand der definierten Eingangs- und/oder Gebäudeparameter bestimmt wird.

Rohbau-Raumhöhe

Die Rohbau-Raumhöhe wird als senkrechter Abstand zwischen der Oberkante des Rohfußbodens und der Unterkante der darüber liegenden Rohdecke definiert (vgl. Abb. 96). Die Rohbau-Raumhöhe ergibt sich aus der Summe der → *lichten Raumhöhe*, → *Fußbodenhöhe* und → *Installationshöhe*.

Soll-0-Werte

Die Definitionen der Begriffe „Soll-0-Gebäudeparameter", „Soll-0-Fertigungsmengen", „Soll-0-Gesamtaufwände" und „Soll-0-Bauzeiten" ergeben sich aus Kapitel H.2.

Soll-1-Werte

Die Definitionen der Begriffe „Soll-1-Gebäudeparameter", „Soll-1-Fertigungsmengen", „Soll-1-Gesamtaufwände" und „Soll-1-Bauzeiten" ergeben sich aus Kapitel H.2.

Soll-2-Werte

Die Definitionen der Begriffe „Soll-2-Fertigungsmengen", „Soll-2-Gesamtaufwände" und „Soll-2-Bauzeiten" ergeben sich aus Kapitel H.2.

---

[629] HE-HBO, S. 5.

[630] Vgl. a. a. O., S. 10.

Soll-Bandbreite

Die Soll-Bandbreite wird als (prozentuale) Bandbreite[631] zwischen einem minimalen und maximalen Soll-Wert bezogen auf den erwarteten Soll-Wert definiert.

Soll-Intervall

→ *Ist-Intervall*

Stufen der Kostenermittlung

In DIN 276-1 (2008) werden fünf Stufen der Kostenermittlung hinsichtlich des vorgesehenen Zwecks, der notwendigen Grundlagen und des Detaillierungsgrads differenziert:

- *Kostenrahmen (Stufe 1)*: Kostenermittlung auf Grundlage der Bedarfsplanung.[632]
  Die Basis des Kostenrahmens bildet unter anderem der Nutzerbedarf (z. B. Raumprogramme mit NE, Ausstattungsstandards etc.) in LPH 1.[633]
- *Kostenschätzung (Stufe 2)*: Kostenermittlung auf Grundlage der Vorplanung.[634]
  Die Basis der Kostenschätzung bilden unter anderem Bauentwürfe (erste zeichnerische Darstellungen) und Mengenermittlungen in LPH 2.[635]
- *Kostenberechnung (Stufe 3)*: Kostenermittlung auf Grundlage der Entwurfsplanung.[636]
  Die Basis der Kostenberechnung bilden unter anderem Bauentwürfe (z. B. durchgearbeitete Entwurfszeichnungen) und Mengenermittlungen in LPH 3.[637]
- *Kostenanschlag (Stufe 4)*: Kostenermittlung auf Grundlage der Ausführungsvorbereitung.[638]
  Die Basis des Kostenanschlags bilden unter anderem Bauentwürfe (z. B. vollständige Ausführungszeichnungen) und Mengenermittlungen in LPH 5 bzw. LPH 6.[639]

---

[631] Auf die Verwendung des hierfür in der Statistik üblichen Begriffs „Spannweite“ (engl. „Range“) wird verzichtet (vgl. auch → *Ist-Intervall).*

[632] DIN 276-1 (2008), S. 4.

[633] Vgl. DIN 276-1 (2008), S. 7 i. V. m. Anlage 10 HOAI.

[634] DIN 276-1 (2008), S. 4.

[635] Vgl. DIN 276-1 (2008), S. 8 i. V. m. Anlage 10 HOAI.

[636] DIN 276-1 (2008), S. 4.

[637] Vgl. DIN 276-1 (2008), S. 8 i. V. m. Anlage 10 HOAI.

[638] DIN 276-1 (2008), S. 4.

[639] Vgl. DIN 276-1 (2008), S. 8 i. V. m. Anlage 10 HOAI.

- *Kostenfeststellung (Stufe 5)*: Ermittlung der tatsächlichen bzw. endgültigen Baukosten nach Fertigstellung.[640]
  Die Basis der Kostenfeststellung bilden unter anderem Abrechnungszeichnungen, Abrechnungsbelege etc. in LPH 8.[641]

Terminplanung

→ *Ablaufplanung*

Vollgeschoss

Zur Begriffsbestimmung des Vollgeschosses verweist § 20 Abs. 1 BauNVO auf die landesrechtlichen Vorschriften bzw. Bauordnungen der jeweiligen Bundesländer, deren Definitionen jedoch nicht einheitlich sind.[642] SCHÖNENBROICHER (2015) definiert aufgrund der unterschiedlichen landesrechtlichen Definitionen Vollgeschosse wie folgt:

> *„Ein Vollgeschoss ist allgemein ein Geschoss, dessen Räume in einem bestimmten Umfang über der Geländeoberfläche liegen und das über einem bestimmten Anteil seiner Grundfläche eine bestimmte Höhe hat.“* [643]

Bei der Entwicklung des → *Referenzgebäudes* werden das Erdgeschoss (EG) sowie jedes Regelgeschoss (RG) als Vollgeschosse berücksichtigt.

Wartezeit

Wartezeiten ergeben sich, wenn die Arbeiten an einem Fertigungsabschnitt zwar kapazitiv möglich sind, da nicht an einen anderen Fertigungsabschnitt gebundene Ressourcen zur Verfügung stehen, jedoch aus technologischen Gründen keine Arbeiten stattfinden können (vgl. Abb. 20 u. Abb. 29).

So kann z. B. die Schalung eines Fertigungsabschnitts beginnen, sobald die zugehörige Kolonne die Schalarbeiten eines anderen Fertigungsabschnitts abgeschlossen hat, jedoch ist

---

[640] DIN 276-1 (2008), S. 4.

[641] Vgl. DIN 276-1 (2008), S. 9 i. V. m. Anlage 10 HOAI.

[642] Beispielsweise verweist die Brandenburgische Bauordnung (BbgBO) in § 88 Abs. 2 BbgBO auf die alte Fassung (BbgBO a. F.): *„Vollgeschosse sind alle oberirdischen Geschosse, deren Deckenoberkante im Mittel mehr als 1,40 m über die Geländeoberfläche hinausragt. Geschosse, die ausschließlich der Unterbringung technischer Gebäudeausrüstungen dienen (Installationsgeschosse) sowie Hohlräume zwischen der obersten Decke und der Bedachung, in denen Aufenthaltsräume nicht möglich sind, gelten nicht als Vollgeschosse (§ 2 Abs. 4 BbgBO a. F.)“.* Wohingegen die Bayerische Bauordnung (BayBO) Vollgeschosse als Geschosse definiert, *„die vollständig über der natürlichen oder festgelegten Geländeoberfläche liegen und über mindestens zwei Drittel ihrer Grundfläche eine Höhe von mindestens 2,30 m haben. Als Vollgeschosse gelten Kellergeschosse, deren Deckenunterkante im Mittel mindestens 1,20 m höher liegt als die natürliche oder festgelegte Geländeoberfläche (Art. 2 Abs. 5 BayBO a. F. i. V. m Art. 83 Abs. 6 BayBO)“*.

[643] SCHÖNENBROICHER (2015), Rdnr. 17.

aus technologischen Gründen zunächst der unmittelbar darunterliegende Fertigungsabschnitt fertigzustellen, um diesen betreten zu können.

Vgl. auch: → *Leerzeit*.

Zulässige Grundfläche der baulichen Anlage

Die zulässige Grundfläche der baulichen Anlage ist gemäß BauNVO der *„errechnete Anteil des Baugrundstücks, der von baulichen Anlagen überdeckt werden darf“* [644]. Ist zulässige Grundfläche der baulichen Anlage im Bebauungsplan nicht bereits ausdrücklich in Quadratmetern angegeben, so ist diese aus der → *Grundflächenzahl* und der → *Baugrundstücksfläche* zu bestimmen.[645]

Bei der Grundflächenermittlung sind neben dem eigentlichen Gebäude auch Garagen und Stellplätze einschließlich ihrer Zufahrten, unterirdische bauliche Anlagen, durch die lediglich eine Unterbauung des Baugrundstücks erfolgt, sowie Nebenanlagen miteinzurechnen.[646] Bei der Entwicklung des → *Referenzgebäudes* bleiben diese jedoch unberücksichtigt.

Zulässige Höhe der baulichen Anlage

Wird eine zulässige Höhe der baulichen Anlage im Bebauungsplan festgesetzt, so sind die erforderlichen Bezugspunkte zur Bestimmung der Höhe der baulichen Anlage gemäß § 18 Abs. 1 BauNVO festzulegen.[647]

Vgl. auch: → *Gebäudehöhe* und → *Gebäudehöhe gemäß MBO*

[644] § 19 Abs. 2 BauNVO.

[645] Vgl. § 19 Abs. 3 BauNVO.

[646] Vgl. § 19 Abs. 4 BauNVO.

[647] Vgl. § 18 Abs. 1 BauNVO.

K.3 Verzeichnis der verwendeten Symbole

Funktionen, Mengen und Operatoren

Symbol	Beschreibung
$\lceil x \rceil$	Funktion, die einer reellen Zahl x die nächstliegende nicht größere ganze Zahl zuordnet („Obere Gaußklammer“)
$\lfloor x \rfloor$	Funktion, die einer reellen Zahl x die nächstliegende nicht kleinere ganze Zahl zuordnet („Untere Gaußklammer“)
$\lvert x \rvert$	Betrag, die einer Zahl x
$f(x_1;\ x_n)$	Funktion von x_1 bis x_n
$max(x_1;\ x_n)$	Maximum der Werte x_1 bis x_n
$med(x_1;\ x_n)$	Median der Werte x_1 bis x_n
$min(x_1;\ x_n)$	Minimum der Werte x_1 bis x_n
$\mathbb{N}$	Menge der natürlichen Zahlen (größer Null)
$\mathbb{R}_{>0}$	Menge der reellen Zahlen größer null
$\emptyset$	leere Menge
$\in$	ist Element von
$\notin$	ist kein Element von
$\wedge$	und
$\vee$	oder

Formelzeichen[648]

Symbol	Einheit	Beschreibung
a_{AP}	m²/AP	BGF-Bedarf pro AP
$a_{B,ges}$	m³/m³	Ges.-Betonanteil des Gebäudes pro m³BRI
$a_{Bew,GD}$	t/m³	Bewehrungsanteil von Geschossdecken
$a_{Bew,ges}$	t/m³	Ges.-Bewehrungsanteil des Gebäudes
$a_{Bew,hor}$	t/m³	Bewehrungsanteil der hor. Bauteile
$a_{Bew,St}$	t/m³	Bewehrungsanteil von Stützen
$a_{Bew,vert}$	t/m³	Bewehrungsanteil der vert. Bauteile

[648] Auf die Darstellung der jeweiligen Indizes für minimale, erwartete und maximale Werte (min, erw und max) wird verzichtet.

$a_{Bew,W}$	t/m³	Bewehrungsanteil von Wänden
a_F	m³/m³	Feststoffanteil des Gebäudes pro m³BRI[649]
$a_{F,AW}$	–	Anteil der Fensterflächen an der Gesamtfläche der tragenden AW
a_{IS}	m²/m²	BGF-Bedarf der IS pro m²BGF
$a_{IS,(GKL)}$	m²/m²	BGF-Bedarf der IS pro m²BGF aufgrund der GKL gemäß MBO
$a_{IS,(TGA)}$	m²/m²	Flächenbedarf der IS pro m²BGF aufgrund der TGA
$a_{S,ges}$	m²/m³	Ges.-Schalungsanteil des Gebäudes
$a_{S,hor}$	m²/m³	Schalungsanteil der hor. Bauteile
$a_{S,vert}$	m²/m³	Schalungsanteil der vert. Bauteile
A	FE	Fläche zur Bestimmung der Bauzeit mittels flächenbasierter und multipler RM *(bezieht sich auf unterschiedliche FE)*
$A_{BA,zul}$	m²	Zulässige Fläche eines Brandabschnitts gemäß MBO
A_{FA}	m²	Grundfläche eines FA
A_{Geb}	m²	Gebäudegrundfläche
$A_{Geb,zul}$	m²	Zul. Grundfläche der baulichen Anlage
A_{GS}	m²	Baugrundstücksfläche
A_{NE1}	m²	Fläche der NE 1
A_{NE2}	m²	Fläche der NE 2
$A_{S,1s}$	m²	Idealisierte Schalungsfläche bei einseitiger Schalung
$A_{S,2s}$	m²	Idealisierte Schalungsfläche bei zweiseitiger Schalung
$A_{S,4s}$	m²	Idealisierte Schalungsfläche bei vierseitiger Schalung
$A_{S,A,EG}$	m²	Schalungsfläche von Aufz.gr. 1 u. 2 im EG
$A_{S,A,ges}$	m²	Schalungsfläche von Aufz.gr. 1 u. 2 aller Geschosse
$A_{S,A,RG}$	m²	Schalungsfläche von Aufz.gr. 1 u. 2 pro RG
$A_{S,AW,EG}$	m²	Schalungsfläche der AW im EG
$A_{S,AW,ges}$	m²	Schalungsfläche der AW aller Geschosse
$A_{S,AW,RG}$	m²	Schalungsfläche der AW pro RG
$A_{S,BW,EG}$	m²	Schalungsfläche der BW im EG
$A_{S,BW,ges}$	m²	Schalungsfläche der BW aller Geschosse
$A_{S,BW,RG}$	m²	Schalungsfläche der BW pro RG

[649] Anwendung unter anderem in Aufwandsfunktion von PLATZ (1982).

$A_{S,ges}$	m²	Ges.-Schalungsfläche aller Bauteile und Geschosse
$A_{S,hor,EG}$	m²	Schalungsfläche hor. Bauteile im EG
$A_{S,hor,ges}$	m²	Ges.-Schalungsfläche hor. Bauteile aller Geschosse
$A_{S,hor,RG}$	m²	Schalungsfläche hor. Bauteile pro RG
$A_{S,IS,EG}$	m²	Schalungsfläche der IS im EG
$A_{S,IS,ges}$	m²	Schalungsfläche der IS aller Geschosse
$A_{S,IS,RG}$	m²	Schalungsfläche der IS pro RG
$A_{S,IW,EG}$	m²	Schalungsfläche der IW im EG
$A_{S,IW,ges}$	m²	Schalungsfläche der IW aller Geschosse
$A_{S,IW,RG}$	m²	Schalungsfläche der IW pro RG
$A_{S,St,EG}$	m²	Schalungsfläche der Stützen im EG
$A_{S,St,ges}$	m²	Schalungsfläche der Stützen aller Geschosse
$A_{S,St,RG}$	m²	Schalungsfläche der Stützen pro RG
$A_{S,TH,EG}$	m²	Schalungsfläche der TH im EG
$A_{S,TH,ges}$	m²	Schalungsfläche der TH aller Geschosse
$A_{S,TH,RG}$	m²	Schalungsfläche der TH pro RG
$A_{S,vert,EG}$	m²	Schalungsfläche vert. Bauteile im EG
$A_{S,vert,ges}$	m²	Ges.-Schalungsfläche vert. Bauteile aller Geschosse
$A_{S,vert,RG}$	m²	Schalungsfläche vert. Bauteile pro RG
AOB_k	AT	kapazitive AOB zur Berechnung des zgh. FAZ bzw. FEZ
AOB_t	AT	technologische AOB zur Berechnung des zgh. FAZ bzw. FEZ
b_{IS}	m	Breite der IS (Schachtbreite)
b_{Pod}	m	Breite der Zwischenpodeste der Treppe (Podestbreite)
b_{TA}	m	Treppenaugenbreite
b_{TH}	m	Treppenhausbreite
b_{Tr}	m	Treppenbreite
B	–	Verhältnis zwischen der generellen Leistung und der Projektgröße gemessen an den Kosten
BGF_{erf}	m²	Flächenbedarf des Nutzers
$BGF_{IS,0}$	m²	BGF pro IS
BGF_{RB}	m²	BGF des Referenzgebäudes (Rohbau)
BGF_{zul}	m²	Zul. BGF des Gebäudes

C	WE	Baukosten zur Bestimmung der Bauzeit mittels kostenbasierter und multipler RM *(bezieht sich auf unterschiedliche WE)*
d_{AW}	m	Wandstärke der AW
$d_{Bew,Stab}$	mm	Stabstahl-Durchmesser
d_{GD}	m	Deckenstärke der Geschossdecken
d_{IW}	m	Wandstärke der IW
$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$	–	Mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte von den zugehörigen erwarteten Soll-Werten einer Parametergruppe
D	AT	Bauzeit
$D_{Ah/AT}$	Ah/AT	Durchschnittliche tägliche Arbeitszeit
$D_{FA,EG}$	AT	Dauer eines FA im EG
$D_{FA,RG}$	AT	Dauer eines FA in den RG
$D_{T,EG}$	AT	Maßgebende Taktzeit im EG
$D_{T,RG}$	AT	Maßgebende Taktzeit in den RG
$D_{T1,EG,min}$	AT	Minimale Vorgangsdauer von Takt 1 im EG
$D_{T1,RG,min}$	AT	Minimale Vorgangsdauer von Takt 1 in den RG
$D_{T2,EG,min}$	AT	Minimale Vorgangsdauer von Takt 2 im EG
$D_{T2,RG,min}$	AT	Minimale Vorgangsdauer von Takt 2 in den RG
$D_{T4,EG,min}$	AT	Minimale Vorgangsdauer von Takt 4 im EG
$D_{T4,RG,min}$	AT	Minimale Vorgangsdauer von Takt 4 in den RG
$D_{T5,EG,min}$	AT	Minimale Vorgangsdauer von Takt 5 im EG
$D_{T5,RG,min}$	AT	Minimale Vorgangsdauer von Takt 5 in den RG
f_{Kr}	Kr./m²	Krandichte
F_{erf}	1/min	Erforderliche Förderleistung der Aufzugsanlage
F_{vorh}	1/min	Vorhandene Förderleistung pro Aufzug
$FAZ(j\|i)$	AT	FAZ des FA i im Geschoss j ($j = 0$ für EG, $j = 1$ für 1. RG, $j = 2$ für 2. RG usw.)
$FEZ(j\|i)$	AT	FEZ des FA i im Geschoss j ($j = 0$ für EG, $j = 1$ für 1. RG, $j = 2$ für 2. RG usw.)
g_{BS}	Mp/m³	Verbautes Baustoffgewicht pro m³BRI[650]
G_{Geb}	–	boolesche Variable zur Berücksichtigung der Gebäudegruppe nach MBO

[650] Anwendung in Aufwandsfunktion von HRUSCHKA (1969).

GFZ	–	Geschossflächenzahl
GKL	–	Gebäudeklasse nach MBO
GRZ	–	Grundflächenzahl
h_0/h_m	–	Verhältnis zwischen der mittleren lichten Geschosshöhe und der mittleren Geschosshöhe[651]
h_{EG}	m	Geschosshöhe des EG (EG-Höhe)
h_{FH}	m	mittlere Förderhöhe der Aufzugsanlage
h_{Geb}	m	Gebäudehöhe
$h_{Geb(MBO)}$	m	Gebäudehöhe gemäß MBO
$h_{Geb,zul}$	m	Zul. Höhe der baulichen Anlage
h_{RG}	m	Geschosshöhe der RG (RG-Höhe)
h_{Tr}	m	Treppensteigung
i	–	Laufvariable
j	–	Laufvariable
k_1	–	Korrekturfaktor[652] zur Berücksichtigung von Projektänderungen
k_2	–	Korrekturfaktor[653] zur Berücksichtigung des Projektmanagements
k_3	–	Korrekturfaktor[654] zur Berücksichtigung von Finanzierungsproblemen
k_4	–	Korrekturfaktor[655] zur Berücksichtigung des Eigentümers
k_T	–	Korrekturfaktor[656] zur Berücksichtigung des Gebäudetyps
K	ZE/WE	generelle Leistung gemessen an den Kosten (bezieht sich jeweils auf die zgh. ZE und WE)
l_{AG1}	m	Länge von Aufz.gr. 1
l_{AG2}	m	Länge von Aufz.gr. 2

[651] Anwendung in Diagramm von KOCHENDÖRFER ET AL. (2010).

[652] Anwendung im kostenbasierten RM von CAR-PUŠIĆ/RADUJKOVIĆ (2009). Kategoriale Variable: groß = 1,50; mittel = 1,25; klein = 1,00 (vgl. a. a. O., S. 68).

[653] Anwendung im kostenbasierten RM von CAR-PUŠIĆ/RADUJKOVIĆ (2009). Kategoriale Variable: exzellent = 0,80; durchschnittlich = 1,00; schlecht = 1,20 (vgl. a. a. O., S. 68).

[654] Anwendung im kostenbasierten RM von CAR-PUŠIĆ/RADUJKOVIĆ (2009). Kategoriale Variable: massiv = 1,35; moderat = 1,05; nein = 1,00 (vgl. a. a. O., S. 68).

[655] Anwendung im kostenbasierten RM von CAR-PUŠIĆ/RADUJKOVIĆ (2009). Kategoriale Variable: privat = 0,90; kombiniert = 1,00; öffentlich = 1,10 (vgl. a. a. O. S. 68).

[656] Anwendung im multiplen RM von GUERRERO ET AL. (2014). Kategoriale Variable: Einfamilienhäuser = 1,313; Büro- und Gewerbebauten = 0,687; andere Gebäude = 1,0 (vgl. a. a. O., S. 866).

l_{FA}	m	Wandlänge eines FA
l_{FS1}	m	Lichte Länge eines Aufzugsschachts mit 1 Fahrschacht
l_{FS2}	m	Lichte Länge eines Aufzugsschachts mit 2 Fahrschächten
l_{FS3}	m	Lichte Länge eines Aufzugsschachts mit 3 Fahrschächten
$l_{FW,zul}$	m	Zulässige Fluchtweglänge gemäß MBO
l_{Geb}	m	Gebäudelänge
l_{IS}	m	Länge der IS (Schachtlänge)
l_{NE0}	m	Länge der NE 0
$l_{NE0,max}$	m	Max. Länge der NE 0
$l_{NE0,max,1}$	m	Max. Länge der NE 0 aus der zul. Gesamtfläche eines Brandabschnitts
$l_{NE0,max,2}$	m	Max. Länge der NE 0 aus der zul. Fluchtweglänge
$l_{NE0,max,3}$	m	Max. Länge der NE 0 aus der zul. Länge eines Rauchabschnitts
l_{NE1}	m	Länge der NE 1
l_{NE2}	m	Länge der NE 2
$l_{RA,zul}$	m	Zulässige Länge eines Rauchabschnitts gemäß MBO
$l_{RS,GD,0}$	m	Ges.-Randschalungslänge ohne Aussparungen
$l_{RS,hor,EG}$	m	Randschalungslänge im EG
$l_{RS,hor,ges}$	m	Ges.-Randschalungslänge aller Geschosse
$l_{RS,hor,RG}$	m	Randschalungslänge pro RG
l_{St}	m	Stützenlänge (gemessen in Richtung der Gebäudelänge)
l_{TH}	m	Treppenhauslänge
l_{Tr}	m	Treppenlänge
L	ZE/FE	generelle Leistung gemessen an der Fläche (bezieht sich jeweils auf die zgh. ZE und FE)
$m_{Bew,Stab}$	–	Beiwert zur Berücksichtigung der Bauteilschwierigkeit[657]
M	–	Verhältnis zwischen der generellen Leistung und der Projektgröße gemessen an der Fläche
$M_{Bew,A,EG}$	t	Bewehrungsmenge der Aufzugsschächte im EG
$M_{Bew,A,ges}$	t	Bewehrungsmenge der Aufzugsschächte aller Geschosse

[657] Anwendung in Zeitbedarfsfunktion von GREINER ET AL. (2009). Beiwert beträgt i. d. R. für Einzel- und Streifenfundamente = 1, Plattenfundamente = 2, flächig waagerechte Bauteile = 4, flächig senkrechte Bauteile = 5 stabförmig waagerechte Bauteile = 6 und stabförmig senkrechte Bauteile = 7 (vgl. a. a. O., S. 158).

$M_{Bew,A,RG}$	t	Bewehrungsmenge der Aufzugsschächte pro RG
$M_{Bew,AW,EG}$	t	Bewehrungsmenge der AW im EG
$M_{Bew,AW,ges}$	t	Bewehrungsmenge der AW aller Geschosse
$M_{Bew,AW,RG}$	t	Bewehrungsmenge der AW pro RG
$M_{Bew,BW,EG}$	t	Bewehrungsmenge der BW im EG
$M_{Bew,BW,ges}$	t	Bewehrungsmenge der BW aller Geschosse
$M_{Bew,BW,RG}$	t	Bewehrungsmenge der BW pro RG
$M_{Bew,ges}$	t	Ges.-Bewehrungsmenge aller Bauteile und Geschosse
$M_{Bew,hor,EG}$	t	Bewehrungsmenge der hor. Bauteile im EG
$M_{Bew,hor,ges}$	t	Ges.-Bewehrungsmenge der hor. Bauteile aller Geschosse
$M_{Bew,hor,RG}$	t	Bewehrungsmenge der hor. Bauteile pro RG
$M_{Bew,IS,EG}$	t	Bewehrungsmenge der IS im EG
$M_{Bew,IS,ges}$	t	Bewehrungsmenge der IS aller Geschosse
$M_{Bew,IS,RG}$	t	Bewehrungsmenge der IS pro RG
$M_{Bew,IW,EG}$	t	Bewehrungsmenge der IW im EG
$M_{Bew,IW,ges}$	t	Bewehrungsmenge der IW aller Geschosse
$M_{Bew,IW,RG}$	t	Bewehrungsmenge der IW pro RG
$M_{Bew,St,EG}$	t	Bewehrungsmenge der Stützen im EG
$M_{Bew,St,ges}$	t	Bewehrungsmenge der Stützen aller Geschosse
$M_{Bew,St,RG}$	t	Bewehrungsmenge der Stützen pro RG
$M_{Bew,TH,EG}$	t	Bewehrungsmenge der TH im EG
$M_{Bew,TH,ges}$	t	Bewehrungsmenge der TH aller Geschosse
$M_{Bew,TH,RG}$	t	Bewehrungsmenge der TH pro RG
$M_{Bew,vert,EG}$	t	Bewehrungsmenge der vert. Bauteile im EG
$M_{Bew,vert,ges}$	t	Ges.-Bewehrungsmenge der vert. Bauteile aller Geschosse
$M_{Bew,vert,RG}$	t	Bewehrungsmenge der vert. Bauteile pro RG
$n_{(AK,max/FA)}$	–	Max. Anzahl an AK pro FA
$n_{(AK,max/Kr)}$	–	Max. Anzahl an AK pro Kran
$n_{(Kol,max/FA),B,hor}$	–	Max. Kol.anz. pro FA für die Betonagearbeiten hor. Bauteile
$n_{(Kol,max/FA),B,vert}$	–	Max. Kol.anz. pro FA für die Betonagearbeiten vert. Bauteile

$n_{(Kol,max/FA),Bew,hor}$	–	Max. Kol.anz. pro FA für die Bewehrungsarbeiten hor. Bauteile
$n_{(Kol,max/FA),Bew,vert}$	–	Max. Kol.anz. pro FA für die Bewehrungsarbeiten vert. Bauteile
$n_{(Kol,max/FA),RS,hor}$	–	Max. Kol.anz. pro FA für die Randschalungsarbeiten (hor. Bauteile)
$n_{(Kol,max/FA),S,hor}$	–	Max. Kol.anz. pro FA für die Schalarbeiten hor. Bauteile
$n_{(Kol,max/FA),S,vert}$	–	Max. Kol.anz. pro FA für die Schalarbeiten vert. Bauteile
$n_{(Kol/FA),T1,EG}$	–	Vorh. Kol.anz. pro FA in Takt 1 im EG
$n_{(Kol/FA),T1,RG}$	–	Vorh. Kol.anz. pro FA in Takt 1 in RG
$n_{(Kol/FA),T2,EG}$	–	Vorh. Kol.anz. pro FA in Takt 2 im EG
$n_{(Kol/FA),T2,RG}$	–	Vorh. Kol.anz. pro FA in Takt 2 in RG
$n_{(Kol/FA),T3,EG}$	–	Vorh. Kol.anz. pro FA in Takt 3 im EG
$n_{(Kol/FA),T3,RG}$	–	Vorh. Kol.anz. pro FA in Takt 3 in RG
$n_{(Kol/FA),T4,EG}$	–	Vorh. Kol.anz. pro FA in Takt 4 im EG
$n_{(Kol/FA),T4,RG}$	–	Vorh. Kol.anz. pro FA in Takt 4 in RG
$n_{(Kol/FA),T5,EG}$	–	Vorh. Kol.anz. pro FA in Takt 5 im EG
$n_{(Kol/FA),T5,RG}$	–	Vorh. Kol.anz. pro FA in Takt 5 in RG
$n_{(Kol/FA),T6,EG}$	–	Vorh. Kol.anz. pro FA in Takt 6 im EG
$n_{(Kol/FA),T6,RG}$	–	Vorh. Kol.anz. pro FA in Takt 6 in RG
n_A	–	Aufz.anz.
$n_{A,1}$	–	Aufz.anz. auf Grundlage des Kennwerts gemäß LBOAVO a. F.
$n_{A,2}$	–	Aufz.anz. auf Grundlage des Kennwerts gemäß STRAKOSCH/CAPORALE (2010)
$n_{A,3}$	–	Aufz.anz. auf Grundlage der überschläglichen Verkehrsberechnung gemäß AMEV (2017)
$n_{AK/Kol,B,hor}$	–	Zweckm. Kol.st. für die Betonage der hor. Bauteile
$n_{AK/Kol,B,vert}$	–	Zweckm. Kol.st. für die Betonage der vert. Bauteile
$n_{AK/Kol,Bew,hor}$	–	Zweckm. Kol.st. für die Bewehrung der hor. Bauteile
$n_{AK/Kol,Bew,vert}$	–	Zweckm. Kol.st. für die Bewehrung der vert. Bauteile
$n_{AK/Kol,RS,hor}$	–	Zweckm. Kol.st. für die Randschalung
$n_{AK/Kol,S,hor}$	–	Zweckm. Kol.st. für die Schalung der hor. Bauteile
$n_{AK/Kol,S,vert}$	–	Zweckm. Kol.st. für die Schalung der vert. Bauteile

n_{AP}	–	AP-Anzahl innerhalb des Gebäudes
$n_{AS,AG1}$	–	Ges.-Anzahl der Aufzugsschächte in Aufz.gr. 1
$n_{AS,AG2}$	–	Ges.-Anzahl der Aufzugsschächte in Aufz.gr. 2
$n_{AS,ges}$	–	Ges.-Anzahl der Aufzugsschächte (in Aufz.gr. 1 u. 2)
n_B	–	Ges.-Benutzeranzahl des Gebäudes zur Bemessung der Aufzugsanlage nach AMEV (2017)
$n_{B,0}$	–	Benutzeranzahl der Aufzugsanlage pro Geschoss
$n_{B.El.}$	–	Anzahl eines beliebigen Bauelements
n_{Bd}	–	Bundanzahl
$n_{BW,l}$	–	Anzahl der BW in Richtung der Gebäudelänge
$n_{BW,t}$	–	Anzahl der BW in Richtung der Gebäudetiefe
n_F	–	Anzahl ober- und unterirdischer Geschosse zur Bestimmung der Bauzeit mittels RM
$\tilde{n}_{FA,0}$	–	Bauzeitbestimmender FA
$n_{FA,0}$	–	Anzahl der FA
$n_{FA,0,hor}$	–	Anz. der FA bedingt durch hor. Bauteile
$n_{FA,0,vert}$	–	Anz. der FA bedingt durch vert. Bauteile
n_{FAG}	–	Anz. oberirdischer Geschosse (engl. „Number of Floors Above Ground")[658]
n_{FBG}	–	Anzahl unterirdischer Geschosse (engl. „Number of Floors Below Ground")[659]
n_{FS1}	–	Anz. der Aufzugsschächte mit 1 Fahrschacht
$n_{FS1,AG1}$	–	Anz. der Aufzugsschächte mit 1 Fahrschacht in Aufz.gr. 1
$n_{FS1,AG2}$	–	Anz. der Aufzugsschächte mit 1 Fahrschacht in Aufz.gr. 2
n_{FS2}	–	Anz. der Aufzugsschächte mit 2 Fahrschächten
$n_{FS2,AG1}$	–	Anz. der Aufzugsschächte mit 2 Fahrschächten in Aufz.gr. 1
$n_{FS2,AG2}$	–	Anz. der Aufzugsschächte mit 2 Fahrschächten in Aufz.gr. 2
n_{FS3}	–	Anz. der Aufzugsschächte mit 3 Fahrschächten
$n_{FS3,AG1}$	–	Anz. der Aufzugsschächte mit 3 Fahrschächten in Aufz.gr. 1

[658] Anwendung im flächenbasierten RM von JARKAS (2015).

[659] Anwendung im flächenbasierten RM von JARKAS (2015).

$n_{FS3,AG2}$	–	Anz. der Aufzugsschächte mit 3 Fahrschächten in Aufz.gr. 2
n_G	–	Geschossanzahl
$n_{G,zul}$	–	Zul. Anzahl von Vollgeschossen
n_{IH}		Anzahl baulich vollumfänglich umschlossener Innenhöfe
n_{IS}	–	Anzahl der IS bzw. Schachtanzahl
n_j	–	Anzahl der Parameter einer Parametergruppe
$n_{j,k}$	–	Anzahl aller betrachteten Parameter aller Parametergruppen
n_k	–	Anzahl der betrachteten Parametergruppen
n_{Kr}	–	Krananzahl
n'_{Kr}	–	Krananzahl auf Grundlage des Ermittlungsverfahren gemäß HOFSTADLER (2007)
$n_{NE,ges}$	–	Ges.-Anzahl der NE 1 und NE 2 aller Geschosse
$n_{NE0,l}$	–	Anz. der NE 0 in Richtung Gebäudelänge pro Geschoss
n_{NE1}	–	Ges.-Anzahl der NE 1 pro Geschoss
$n_{NE1,l}$	–	Anz. der NE 1 in Richtung Gebäudelänge pro Geschoss
$n_{NE1,t}$	–	Anz. der NE 1 in Richtung Gebäudetiefe pro Geschoss
n_{NE2}	–	Ges.-Anzahl der NE 2 pro Geschoss
$n_{NE2,l}$	–	Anz. der NE 2 in Richtung Gebäudelänge pro Geschoss
n_{Pod}	–	Anz. der Zwischenpodeste der Treppe (Podestanzahl)
$n_{St,ges}$	–	Ges.-Stützenanzahl pro Geschoss
$n_{St,l}$	–	Stützenanzahl in Richtung der Gebäudelänge
$n_{St,t}$	–	Stützenanzahl in Richtung der Gebäudetiefe
n_{TH}	–	Treppenhausanzahl
$n_{TH,1}$	–	notwendige Treppenhausanzahl, aufgrund der Gebäudegruppe und Geschossanzahl
$n_{TH,2}$	–	notwendige Treppenhausanzahl, aufgrund der Bundanzahl, Anzahl der NE 0 und Geschossanzahl
$n_{Tr,0}$	–	Stufenanzahl eines Treppenlaufs
$n_{Tr,ges}$	–	Ges.-Anzahl der Stufen eines RG
$n_{TW,AG1}$	–	Anzahl der Fahrschacht-Trennwände in Aufz.gr. 1
$n_{TW,AG2}$	–	Anzahl der Fahrschacht-Trennwände in Aufz.gr. 2
$p_{B.El.}$	–	Geometrischer Parameter eines beliebigen Bauelements
P_0	–	Personen-Tragfähigkeit der Aufzüge

r_{Kr}	m	Kranradius
R	–	Bandbreite (engl. „Range“) der Abweichung zwischen einem maximalen und minimalen ermittelten Einzelwert
$R_{Ist(erw),k}$	–	Soll-Intervall einer Parametergruppe
$R_{Ist(min),k}$	–	Ist-Intervall einer Parametergruppe
$R_{Soll(erw),j,k}$	–	Soll-Bandbreite bzw. Bandbreite zwischen dem minimalen und maximalen Soll-Wert eines Parameters
s_{Kr}	m	Kranabstand zur Gebäudestirnseite (der noch eine vollflächige Kranabdeckung des Gebäudes im Bereich der Gebäudestirnseite ermöglicht)
$s_{St,l}$	m	(Vorh.) Stützenabstand in Richtung der Gebäudelänge
$s_{St,l,zul}$	m	Zul. Stützenabstand in Richtung Gebäudelänge
$s_{St,t}$	m	(Vorh.) Stützenabstand in Richtung der Gebäudetiefe
$s_{St,t,zul}$	m	Zul. Stützenabstand in Richtung der Gebäudetiefe
t_{AG1}	m	Tiefe von Aufz.gr. 1
t_{AG2}	m	Tiefe von Aufz.gr. 2
t_{FS1}	m	Lichte Tiefe eines Aufzugsschachts mit 1 Fahrschacht
t_{FS2}	m	Lichte Tiefe eines Aufzugsschachts mit 2 Fahrschächten
t_{FS3}	m	Lichte Tiefe eines Aufzugsschachts mit 3 Fahrschächten
t_{Geb}	m	Gebäudetiefe
t_{NE0}	m	Tiefe der NE 0
t_{NE1}	m	Tiefe der NE 1
t_{NE2}	m	Tiefe der NE 2
t_{St}	m	Stützenbreite (gemessen in Richtung der Gebäudetiefe)
t_{Tr}	m	Tiefe eines Treppenauftritts
T	ZE	Bauzeit aus RM (bezieht sich auf unterschiedliche ZE)
T^*	m²/Mo.	Baugeschwindigkeit aus RM
U_{Geb}	m	Gebäudeumfang
v	–	Verhältnis zwischen der KGF und der BGF[660]
v_A	m/s	Fahrgeschwindigkeit des Aufzugs
$V_{B,A,EG}$	m³	Betonvolumen der Aufzugsschächte im EG
$V_{B,A,ges}$	m³	Ges.-Betonvolumen der Aufzugsschächte
$V_{B,A,RG}$	m³	Betonvolumen der Aufzugsschächte pro RG

[660] Anwendung in Diagramm von KOCHENDÖRFER ET AL. (2010).

$V_{B,AG1,EG,0}$	m³	Betonvolumen von Aufz.gr. 1 ohne Abzüge im EG
$V_{B,AG1,RG,0}$	m³	Betonvolumen von Aufz.gr. 1 ohne Abzüge pro RG
$V_{B,AG2,EG,0}$	m³	Betonvolumen von Aufz.gr. 2 ohne Abzüge im EG
$V_{B,AG2,RG,0}$	m³	Betonvolumen von Aufz.gr. 2 ohne Abzüge pro RG
$V_{B,AW,EG}$	m³	Betonvolumen der AW des EG
$V_{B,AW,EG,0}$	m³	Betonvolumen der AW ohne Abzüge des EG
$V_{B,AW,ges}$	m³	Ges.-Betonvolumen der AW aller Geschosse
$V_{B,AW,RG}$	m³	Betonvolumen der AW pro RG
$V_{B,AW,RG,0}$	m³	Betonvolumen der AW ohne Abzüge pro RG
$V_{B,BW,EG}$	m³	Ges.-Betonvol. der BW im EG
$V_{B,BW,EG,l,0}$	m³	Ges.-Betonvol. der BW ohne Abzüge in Richtung l_{Geb} im EG
$V_{B,BW,EG,t,0}$	m³	Ges.-Betonvol. der BW ohne Abzüge in Richtung t_{Geb} im EG
$V_{B,BW,ges}$	m³	Ges.- Betonvol. der BW aller Geschosse
$V_{B,BW,RG}$	m³	Ges.-Betonvol. der BW pro RG
$V_{B,BW,RG,l,0}$	m³	Ges.-Betonvol. der BW ohne Abzüge in Richtung l_{Geb} pro RG
$V_{B,BW,RG,t,0}$	m³	Ges.-Betonvol. der BW ohne Abzüge in Richtung t_{Geb}im EG
$V_{B,ges}$	m³	Ges.-Betonvolumen aller Bauteile und Geschosse
$V_{B,hor,0}$	m³	Ges.-Betonvol. der hor. Bauteile aller Geschosse ohne Abzüge
$V_{B,hor,EG}$	m³	Betonvol. der hor. Bauteile des EG
$V_{B,hor,ges}$	m³	Ges.-Betonvol. der hor. Bauteile aller Geschosse
$V_{B,hor,RG}$	m³	Betonvol. der hor. Bauteile pro RG
$V_{B,IS,EG}$	m³	Betonvol. der IS im EG
$V_{B,IS,EG,0}$	m³	Betonvol. pro IS ohne Abzüge im EG
$V_{B,IS,ges}$	m³	Ges.-Betonvol. der IS aller Geschosse
$V_{B,IS,RG}$	m³	Ges.-Betonvol. der IS pro RG
$V_{B,IS,RG,0}$	m³	Betonvol. pro IS ohne Abzüge pro RG
$V_{B,IW,EG}$	m³	Betonvol. der IW des EG
$V_{B,IW,ges}$	m³	Ges.-Betonvol. der IW aller Geschosse
$V_{B,IW,RG}$	m³	Betonvol. der IW pro RG

$V_{B,St,EG}$	m³	Betonvol. der Stützen des EG
$V_{B,St,EG,0}$	m³	Betonvol. pro Stütze im EG
$V_{B,St,ges}$	m³	Ges.-Betonvol. der Stützen aller Geschosse
$V_{B,St,RG}$	m³	Betonvol. der Stützen pro RG
$V_{B,St,RG,0}$	m³	Betonvol. pro Stütze in den RG
$V_{B,TH,EG}$	m³	Betonvol. der TH im EG
$V_{B,TH,EG,0}$	m³	Betonvol. pro TH ohne Abzüge im EG
$V_{B,TH,ges}$	m³	Ges.-Betonvol. der TH aller Geschosse
$V_{B,TH,RG}$	m³	Ges.-Betonvol. der TH pro RG
$V_{B,TH,RG,0}$	m³	Betonvol. pro TH ohne Abzüge pro RG
$V_{B,vert,EG}$	m³	Betonvol. der vert. Bauteile des EG
$V_{B,vert,ges}$	m³	Ges.-Betonvol. der vert. Bauteile aller Geschosse
$V_{B,vert,RG}$	m³	Betonvol. der vert. Bauteile pro RG
$w_{AS,vert}$	Ah/m²	Aufwandswert für das Ausschalen vert. Bauteile
w_B	Ah/m³	mittlerer Aufwandswert für Betonagearbeiten hor. und vert. Bauteile
$w_{B,hor}$	Ah/m³	Aufwandswert für Betonagearbeiten hor. Bauteile
$w_{B,vert}$	Ah/m³	Aufwandswert für Betonagearbeiten vert. Bauteile
w_{Bew}	Ah/t	mittlerer Aufwandswert für Bewehrungsarbeiten hor. und vert. Bauteile[661]
$w_{Bew,hor}$	Ah/t	Aufwandswert für Bewehrungsarbeiten hor. Bauteile
$w_{Bew,verl}$	Ah/t	Aufwandswert für das Verlegen von Stabbewehrung[662]
$w_{Bew,vert}$	Ah/t	Aufwandswert für Bewehrungsarbeiten vert. Bauteile
$w_{ES,vert}$	Ah/m²	Aufwandswert für das Einschalen vert. Bauteile
w_{RB}	Ah/m³	Ges.-Aufwandswerts der Rohbauarbeiten pro m³BRI[663]
w_{RS}	Ah/m	Aufwandswert für Randschalungsarbeiten
w_S	Ah/m²	mittlerer Aufwandswert für Schalarbeiten hor. und vert. Bauteile[664]
$w_{S,hor}$	Ah/m²	Aufwandswert für Schalarbeiten hor. Bauteile
$w_{S,vert}$	Ah/m²	Aufwandswert für Schalarbeiten vert. Bauteile

[661] Anwendung unter anderem in Aufwandsfunktion von PLATZ (1982).

[662] Anwendung in Zeitbedarfsfunktion von GREINER ET AL. (2009).

[663] Anwendung in Aufwandsfunktion von HRUSCHKA (1969).

[664] Anwendung unter anderem in Aufwandsfunktion von PLATZ (1982).

w_{Stb}	Ah/m³	Ges.-Aufwandswerts der Stahlbetonarbeiten pro m³BRI[665]
$W_{AS,vert,EG}$	Ah	Arbeitsaufwand für das Ausschalen vert. Bauteile im EG
$W_{AS,vert,RG}$	Ah	Arbeitsaufwand für das Ausschalen vert. Bauteile pro RG
$W_{B,EG}$	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für die Betonage hor. und vert. Bauteile im EG
$W_{B,ges}$	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für die Betonage hor. und vert. Bauteile aller Geschosse
$W_{B,hor,EG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Betonage hor. Bauteile im EG
$W_{B,hor,ges}$	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für die Betonage hor. Bauteile aller Geschosse
$W_{B,hor,RG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Betonage hor. Bauteile pro RG
$W_{B,RG}$	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für die Betonage hor. und vert. Bauteile pro RG
$W_{B,vert,EG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Betonage vert. Bauteile im EG
$W_{B,vert,ges}$	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für die Betonage vert. Bauteile aller Geschosse
$W_{B,vert,RG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Betonage vert. Bauteile pro RG
$W_{Bew,ges}$	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für die Bewehrung hor. und vert. Bauteile aller Geschosse
$W_{Bew,hor,EG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Bewehrung hor. Bauteile im EG
$W_{Bew,hor,ges}$	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für die Bewehrung hor. Bauteile aller Geschosse
$W_{Bew,hor,RG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Bewehrung hor. Bauteile pro RG
$W_{Bew,vert,EG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Bewehrung vert. Bauteile im EG
$W_{Bew,vert,ges}$	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für die Bewehrung vert. Bauteile aller Geschosse
$W_{Bew,vert,RG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Bewehrung vert. Bauteile pro RG
$W_{ES,vert,EG}$	Ah	Arbeitsaufwand für das Einschalen vert. Bauteile im EG
$W_{ES,vert,RG}$	Ah	Arbeitsaufwand für das Einschalen vert. Bauteile pro RG
W_{ges}	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für alle Prozesse hor. und vert. Bauteile aller Geschosse
$W_{RS,EG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Randschalung im EG
$W_{RS,ges}$	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für die Randschalung aller Geschosse

[665] Anwendung unter anderem in Aufwandsfunktion von PLATZ (1982).

$W_{RS,RG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Randschalung pro RG
$W_{S,ges}$	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für die Schalarbeiten hor. und vert. Bauteile aller Geschosse
$W_{S,hor,EG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Schalarbeiten hor. Bauteile im EG
$W_{S,hor,ges}$	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für die Schalarbeiten hor. Bauteile aller Geschosse
$W_{S,hor,RG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Schalarbeiten hor. Bauteile pro RG
$W_{S,vert,EG}$	Ah	Arbeitsaufwand für die Schalarbeiten vert. Bauteile im EG
$W_{S,vert,ges}$	Ah	Ges.-Arbeitsaufwand für die Schalarbeiten vert. Bauteile aller Geschosse
$W_{S,vert,RG}$	Ah	Arbeitsaufwand f. die Schalarbeiten vert. Bauteile pro RG
x_1	–	boolesche Variable[666] zur Berücksichtigung der Vergabeart
x_2	–	boolesche Variable[667] für Projekte des „Air Combat Command"
x_3	–	boolesche Variable[668] für Projekte des „Air Education and Training Command"
x_4	–	boolesche Variable[669] für Projekte des „Air Force Special Operations Command"
x_5	–	boolesche Variable[670] für Projekte der „Northwestern COE Region“
x_6	–	boolesche Variable[671] für Projekte mit eigener Planung
$x_{erw,j,k}$	*var.*	Absolutwert eines erwarteten Soll-Werts
$x_{Ist,j,k}$	*var.*	Absolutwert eines Ist-Werts
$x_{krit,max,j,k}$	*var.*	Kritischer Absolutwert oberhalb eines erwarteten Soll-Gebäudeparameters, ab dem sich im Vergleich zum erwarteten Soll-Gebäudeparameter eine Bauzeitänderung ergibt

[666] Anwendung im kostenbasierten RM von LOVE ET AL. (2005).

[667] Anwendung im kostenbasierten RM von HOFFMAN ET AL. (2007).

[668] Anwendung im kostenbasierten RM von HOFFMAN ET AL. (2007).

[669] Anwendung im kostenbasierten RM von HOFFMAN ET AL. (2007).

[670] Anwendung im kostenbasierten RM von HOFFMAN ET AL. (2007).

[671] Anwendung im kostenbasierten RM von HOFFMAN ET AL. (2007).

$x_{krit,min,j,k}$	*var.*	Kritischer Absolutwert unterhalb eines erwarteten Soll-Gebäudeparameters, ab dem sich im Vergleich zum erwarteten Soll-Gebäudeparameter eine Bauzeitänderung ergibt
$x_{max,j,k}$	*var.*	Absolutwert eines maximalen Soll-Werts
$x_{min,j,k}$	*var.*	Absolutwert eines minimalen Soll-Werts
y_1	AT	Variable[672] zur Berücksichtigung verspäteter Zahlungen
y_2	AT	Variable[673] zur Berücksichtigung verspäteter Bearbeitung und Freigabe der Planung
y_3	AT	Variable[674] zur Berücksichtigung verspäteter Übergabe des Baufeldes
y_4	AT	Variable[675] zur Berücksichtigung von Änderungsanordnungen
z_{BE}	–	Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung von Baustelleneinrichtung, Baustellenräumung und sonstigen Arbeiten[676]
$Z_{Fü}$	min	Gebäudefüllzeit
$Z_{FZ,0}$	s	Fahrzeit eines Aufzugs ohne Halte
$Z_{FZ,H}$	s	Fahrzeitzuschlag pro Haltestelle des Aufzugs
$Z_{FZ,z}$	s	Ges.-Fahrzeitzuschlag für das Beschleunigen und Verzögern des Fahrkorbs, das Öffnen und Schließen der Türen und das Ein- und Aussteigen der Personen
Z_{Uml}	min	Fahrkorbumlaufzeit
$\alpha_{AK,T1,EG}$	m/ (AK*AT)	Vorh. Arbeitslänge für die Schalung vert. Bauteile (Takt 1) im EG
$\alpha_{AK,T1,RG}$	m/ (AK*AT)	Vorh. Arbeitslänge für die Schalung vert. Bauteile (Takt 1) in den RG
$\alpha_{AK,T1,zul}$	m/ (AK*AT)	Mindestarbeitslänge für die Schalung vert. Bauteile (Takt 1)
$\alpha_{AK,T2,EG}$	m/ (AK*AT)	Vorh. Arbeitslänge für die Bewehrung vert. Bauteile (Takt 2) im EG

[672] Anwendung im multiplen RM von AHMADU ET AL. (2015).

[673] Anwendung im multiplen RM von AHMADU ET AL. (2015).

[674] Anwendung im multiplen RM von AHMADU ET AL. (2015).

[675] Anwendung im multiplen RM von AHMADU ET AL. (2015).

[676] Anwendung in Aufwandsfunktion von PLATZ (1982). I. d. R. Minimalwert = 1,27, Durchschnittswert = 1,40 und Maximalwert = 1,53 (vgl. a. a. O., S. 97).

$\alpha_{AK,T2,RG}$	m/ (AK*AT)	Vorh. Arbeitslänge für die Bewehrung vert. Bauteile (Takt 2) in den RG
$\alpha_{AK,T2,zul}$	m/ (AK*AT)	Mindestarbeitslänge für die Bewehrung vert. Bauteile (Takt 2)
$\alpha_{AK,T3,EG}$	m/ (AK*AT)	Vorh. Arbeitslänge für die Betonage vert. Bauteile (Takt 3) im EG
$\alpha_{AK,T3,RG}$	m/ (AK*AT)	Vorh. Arbeitslänge für die Betonage vert. Bauteile (Takt 3) in den RG
$\alpha_{AK,T3,zul}$	m/ (AK*AT)	Mindestarbeitslänge für die Betonage vert. Bauteile (Takt 3)
$\alpha_{AK,T4,EG}$	m²/ (AK*AT)	Vorh. Arbeitsfläche für die Schalung hor. Bauteile (Takt 4) im EG
$\alpha_{AK,T4,RG}$	m²/ (AK*AT)	Vorh. Arbeitsfläche für die Schalung hor. Bauteile (Takt 4) in den RG
$\alpha_{AK,T4,zul}$	m²/ (AK*AT)	Mindestarbeitsfläche für die Schalung hor. Bauteile (Takt 4)
$\alpha_{AK,T5,EG}$	m²/ (AK*AT)	Vorh. Arbeitsfläche für die Bewehrung hor. Bauteile (Takt 5) im EG
$\alpha_{AK,T5,RG}$	m²/ (AK*AT)	Vorh. Arbeitsfläche für die Bewehrung hor. Bauteile (Takt 5) in den RG
$\alpha_{AK,T5,zul}$	m²/ (AK*AT)	Mindestarbeitsfläche für die Bewehrung hor. Bauteile (Takt 5)
$\alpha_{AK,T6,EG}$	m²/ (AK*AT)	Vorh. Arbeitsfläche für die Betonage hor. Bauteile (Takt 6) im EG
$\alpha_{AK,T6,RG}$	m²/ (AK*AT)	Vorh. Arbeitsfläche für die Betonage hor. Bauteile (Takt 6) in den RG
$\alpha_{AK,T6,zul}$	m²/ (AK*AT)	Mindestarbeitsfläche für die Betonage hor. Bauteile (Takt 6)
$\Delta d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$	–	Mittlere lineare Unter- und Überschreitung der Soll-Bandbreiten durch die jeweiligen Ist-Werte einer Parametergruppe
ΔFAZ_1	AT	Dauer zwischen den FAZ der ersten FA im zweiten und dritten RG
ΔFAZ_2	AT	Dauer zwischen den FAZ des ersten und des betrachteten FA i im zweiten RG

ΔFEZ_1	AT	Dauer zwischen den FEZ der ersten FA im zweiten und dritten RG
ΔFEZ_2	AT	Dauer zwischen den FEZ des ersten und des betrachteten FA i im zweiten RG
$\Delta l_{B,AG,l}$	m	Aussparungs - bzw. Überschneidungslänge zwischen BW in Richtung der Gebäudelänge und Aufz.gr.
$\Delta l_{B,AG,t}$	m	Aussparungs - bzw. Überschneidungslänge zwischen BW in Richtung der Gebäudetiefe und Aufz.gr.
$\Delta l_{B,BW,l}$	m	Aussparungslänge der BW in Richtung der Gebäudelänge für zwei aneinander angrenzende NE
$\Delta l_{B,BW,t}$	m	Aussparungslänge der BW in Richtung der Gebäudetiefe für zwei aneinander angrenzende NE
$\Delta l_{B,TH,l}$	m	Aussparungs- bzw. Überschneidungslänge zwischen BW in Richtung der Gebäudelänge und TH
$\Delta l_{B,TH,t}$	m	Aussparungs- bzw. Überschneidungslänge zwischen BW in Richtung der Gebäudetiefe und TH
$\Delta l_{RS,GD}$	m	Ges.-Randschalungslänge der Aussparungen aller Bauelemente und Geschosse
$\Delta l_{RS,GD-A}$	m	Randschalungslänge der für Aufzugsschächte der Aufz.gr. 1 und 2 Aussparungen pro Geschoss
$\Delta l_{RS,GD-IS}$	m	Randschalungslänge der Aussparungen der IS pro Geschoss
$\Delta l_{RS,GD-TH}$	m	Randschalungslänge der Aussparungen der TH pro Geschoss
$\Delta R_{Soll,Ist,j}$	–	Überschreitung eines maximalen bzw. Unterschreitung eines minimalen Soll-Werts durch den zugehörigen Ist-Wert eines Parameters
$\Delta V_{B,AG1,EG}$	m³	Volumen der Aussparungen der Aufz.gr. 1 im EG
$\Delta V_{B,AG1,RG}$	m³	Volumen der Aussparungen der Aufz.gr. 1 pro RG
$\Delta V_{B,AG2,EG}$	m³	Volumen der Aussparungen der Aufz.gr. 2 im EG
$\Delta V_{B,AG2,RG}$	m³	Volumen der Aussparungen der Aufz.gr. 2 pro RG
$\Delta V_{B,BW,EG,l}$	m³	Vol. der Aussparungen der BW in Richtung l_{Geb} im EG
$\Delta V_{B,BW,EG,t}$	m³	Vol. der Aussparungen der BW in Richtung t_{Geb} im EG
$\Delta V_{B,BW,RG,l}$	m³	Vol. der Aussparungen der BW in Richtung l_{Geb} pro RG
$\Delta V_{B,BW,RG,t}$	m³	Vol. der Aussparungen der BW in Richtung t_{Geb} pro RG

$\Delta V_{B,GD-A}$	m³	Vol. der Aussparungen von Geschossdecken im Bereich der Aufzugsschächte pro Geschoss
$\Delta V_{B,GD-AG1}$	m³	Vol. der Aussparungen von Geschossdecken im Bereich der Aufzugsschächte von Aufz.gr. 1 pro Geschoss
$\Delta V_{B,GD-AG2}$	m³	Vol. der Aussparungen von Geschossdecken im Bereich der Aufzugsschächte von Aufz.gr. 2 pro Geschoss
$\Delta V_{B,GD-IS}$	m³	Vol. der Aussparungen von Geschossdecken im Bereich der IS pro Geschoss
$\Delta V_{B,GD-TH}$	m³	Vol. der Aussparungen von Geschossdecken im Bereich der TH pro Geschoss
$\Delta V_{B,hor}$	m³	Ges.-Vol. der Aussparungen der hor. Bauteile aller Geschosse
$\Delta V_{B,IS,EG}$	m³	Vol. der Abzüge von IW pro IS im EG
$\Delta V_{B,IS,RG}$	m³	Vol. der Abzüge von IW pro IS in den RG
$\Delta V_{B,TH,EG}$	m³	Vol. der Abzüge von IW pro TH im EG
$\Delta V_{B,TH,RG}$	m³	Vol. der Abzüge von IW pro TH in den RG
$\Delta x_{Ist,j,k}$	*var.*	Absolute Abweichung eines Ist-Werts vom zugehörigen erwarteten Soll-Wert
$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	–	Relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-Wert
$\Delta x_{Ist,j}(x_{min,Ist})$	–	Relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen minimalen Ist-Wert einer Parametergruppe
$\Delta x_{krit,max,j,k}$	*var.*	Absolute Abweichung eines kritischen Absolutwerts oberhalb eines erwarteten Soll-Werts vom zugehörigen erwarteten Soll-Wert
$\Delta x_{krit,max,j,k}(x_{erw,j,k})$	–	Relative Abweichung eines kritischen Absolutwerts oberhalb eines erwarteten Soll-Werts vom zugehörigen erwarteten Soll-Wert bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-Wert
$\Delta x_{krit,min,j,k}$	*var.*	Absolute Abweichung eines kritischen Absolutwerts unterhalb eines erwarteten Soll-Werts vom zugehörigen erwarteten Soll-Wert
$\Delta x_{krit,min,j,k}(x_{erw,j,k})$	–	Relative Abweichung eines kritischen Absolutwerts unterhalb eines erwarteten Soll-Werts vom zugehörigen erwarteten Soll-Wert bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-Wert

$\Delta x_{max,j,k}$	*var.*	Absolute Abweichung eines maximalen Soll-Werts vom zugehörigen erwarteten Soll-Wert
$\Delta x_{max,j,k(x_{erw,j,k})}$	–	Relative Abweichung eines maximalen Soll-Werts bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-Wert
$\Delta x_{min,j,k}$	*var.*	Absolute Abweichung eines minimalen Soll-Werts vom zugehörigen erwarteten Soll-Wert
$\Delta x_{min,j,k}(x_{erw,j,k})$	–	Relative Abweichung eines minimalen Soll-Werts bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-Wert
$\eta_{F\ddot{u}}$	–	Füllungsgrad des Fahrkorbs

K.4 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anwendung und Anwendbarkeit von Kennzahlen und Aufwandswerten zur Bauzeitermittlung in den HOAI-Leistungsphasen 3

Abb. 2: Grundrissformen von Gebäuden 9

Abb. 3: Konzept des entwickelten Bauzeitermittlungsverfahrens 11

Abb. 4: Ablauf der Ermittlung der Geschossanzahl und Gebäudegrundfläche (Schritt 1) 12

Abb. 5: Ablauf der Ermittlung der Gebäudetiefe und –länge (Schritt 2) 13

Abb. 6: Aufbau der Arbeit (Hauptteil) 15

Abb. 7: Aufbau der Arbeit (Verzeichnisse und Anlagen) 16

Abb. 8: Zusammenhang zwischen Bauzeit und Baukosten 19

Abb. 9: Toleranzgrenzen von Kostenermittlungen 22

Abb. 10: Differenzierung Direkter und Indirekter Methoden zur Bauzeitermittlung 24

Abb. 11: BTC-Modelle verschiedener Autoren 32

Abb. 12: Kostenbasiertes RM von OGUNSEMI/JAGBORO (2006) 32

Abb. 13: Kostenbasiertes RM von HOFFMAN ET AL. (2007) 34

Abb. 14: Kostenbasiertes RM von LE-HOAI/LEE (2009) 35

Abb. 15: Zusammenhang zwischen Geschossanzahl, Ressourcenanzahl und Bauzeit 37

Abb. 16: Flächenbasiertes RM von KUMARASWAMY/CHAN (1995) 38

Abb. 17: Flächenbasiertes RM von LOVE ET AL. (2005) 39

Abb. 18: Flächenbasierten RM von JARKAS (2015) 39

Abb. 19: Taktfolgen im Hochbau 52

Abb. 20: Bauabläufe unterschiedlicher Taktfolgen 53

Abb. 21: Mustergrundrisse von Zellen-, Kombi-, Gruppen- und Großraumbüros 57

Abb. 22: Grundrissaufteilungen bei unterschiedlichen Bundanzahlen 58

Abb. 23: Berücksichtigte Bauelemente des Referenzgebäudes 63

Abb. 24: Anordnung der NE in Abhängigkeit von der Bundanzahl 66

Abb. 25: PSP des Referenzgebäudes zur Entwicklung des BAM 77

Abb. 26: Bauablauf zur Herstellung eines Fertigungsabschnitts auf Bauprozessebene 78

Abb. 27: BAM (PSP-Ebene 3 und 4: Bauprozesse) – Herstellung eines Fertigungsabschnitts (Taktung) 80

Abb. 28: BAM (PSP-Ebene 2: Fertigungsabschnitte) – Herstellung eines Geschosses 81

Abb. 29: Auswirkungen unterschiedlicher Anzahlen von Fertigungsabschnitten 84

Abb. 30: Entwicklung des Referenzgebäudes – Ablaufschema 85

Abb. 31: Lichte Raumhöhen diverser Gebäudetypologien 94

Abb. 32: Gebäudetiefen diverser Gebäudetypologien 102

Abb. 33: Abweichungen des Gebäudeumfangs durch baulich vollumfänglich umschlossene Innenhöfe 103

Abb. 34: Mittlere Förderhöhe von Aufzügen 115

Abb. 35: Geometrische und quantitative Parameter der NE und des Bauelements „Brandschutzwände“ 119

Abb. 36: Geometrie der NE und berücksichtigte Vorgaben gemäß MBO – Einbündige Gebäudeerschließung, ohne Stichflure 119

Abb. 37: Geometrie der NE und berücksichtigte Vorgaben gemäß MBO – Zweibündige Gebäudeerschließung, ohne Stichflure 120

Abb. 38: Geometrie der NE und berücksichtigte Vorgaben gemäß MBO – Dreibündige Gebäudeerschließung, ohne Stichflure 120

Abb. 39: Geometrie der NE und berücksichtigte Vorgaben gemäß MBO – Flurlose Gebäudeerschließung 121

Abb. 40: Anzahl der NE 0 und notwendige Treppenhäuser bei NE mit und ohne Stichflur 125

Abb. 41: Geometrie der NE – Einbündige Gebäudeerschließung, mit Stichfluren 126

Abb. 42: Geometrie der NE – Zweibündige Gebäudeerschließung, mit Stichfluren 126

Abb. 43: Geometrie der NE – Dreibündige Gebäudeerschließung, mit Stichfluren 127

Abb. 44: Geometrische Parameter des Bauelements „Treppenhäuser“ 129

Abb. 45: Geometrische Parameter des Bauelements „Installationsschächte“ 135

Abb. 46: Geometrische und quantitative Parameter des Bauelements „Aufzugsschächte“ 138

Abb. 47: Aufzuganzahl und resultierende Fahrschachtanzahl 139

Abb. 48: Schachtmaße der berücksichtigten Aufzüge 141

Abb. 49: Geometrische und quantitative Parameter des Bauelements „Stützen“ 144

Abb. 50: Ermittlung des Kranabstands zur Gebäudestirnseite 181

Abb. 51: Ermittlung der Krananzahl 182

Abb. 52: BAM zur Bestimmung der minimalen Bauzeit 187

Abb. 53: BAM zur Bestimmung der maximalen Bauzeit 188

Abb. 54: BAM zur Bestimmung der erwarteten Bauzeit 189

Abb. 55: Auswirkung unterschiedlicher Taktzeiten im EG und in den RG auf die zeitliche Lage von Vorgängen 192

Abb. 56: Grundlagen der Ermittlung von Soll-0-, Soll-1- und Soll-2-Werten 206

Abb. 57: Systematik der Validierung und Sensitivitätsanalyse 209

Abb. 58: Regelgeschoss-Grundrisse der untersuchten Bauobjekte 211

Abb. 59: Differenzierung der verwendeten Indizes j und k 214

Abb. 60: Herleitung der angenommenen und exemplarischen Eintrittswahrscheinlichkeiten der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-Werte 220

Abb. 61: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – RG-Höhe (Einzelwerte) 224

Abb. 62: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – RG-Höhe (Zusammenfassung) 224

Abb. 63: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – EG-Höhe (Einzelwerte) 226

Abb. 64: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – EG-Höhe (Zusammenfassung) 226

Abb. 65: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Gebäudetiefe (Einzelwerte) 228

Abb. 66: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Gebäudetiefe (Zusammenfassung) 229

Abb. 67: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Deckenstärke (Einzelwerte) 231

Abb. 68: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Deckenstärke (Zusammenfassung) 231

Abb. 69: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände (Einzelwerte) 233

Abb. 70: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände (Zusammenfassung) 233

Abb. 71: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Bauelemente (Einzelwerte) 235

Abb. 72: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Bauelemente (Zusammenfassung) 236

Abb. 73: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen (Einzelwerte).....238

Abb. 74: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen (Zusammenfassung) 238

Abb. 75: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, horizontale Bauteile (Einzelwerte) 244

Abb. 76: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, horizontale Bauteile (Zusammenfassung) 244

Abb. 77: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, vertikale Bauteile (Einzelwerte) 245

Abb. 78: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, vertikale Bauteile (Zusammenfassung) 245

Abb. 79: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Randschalungslängen (Einzelwerte).....246

Abb. 80: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Randschalungslängen (Zusammenfassung) 246

Abb. 81: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, horizontale Bauteile (Einzelwerte) 247

Abb. 82: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, horizontale Bauteile (Zusammenfassung) 248

Abb. 83: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, vertikale Bauteile (Einzelwerte) 249

Abb. 84: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, vertikale Bauteile (Zusammenfassung) 249

Abb. 85: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, horizontale Bauteile (Einzelwerte) 253

Abb. 86: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, horizontale Bauteile (Zusammenfassung) 253

Abb. 87: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, vertikale Bauteile (Einzelwerte) 254

Abb. 88: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina, vertikale Bauteile (Zusammenfassung) 254

Abb. 89: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Randschalungslängen (Einzelwerte).....255

Abb. 90: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Randschalungslängen (Zusammenfassung) 255

Abb. 91: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, horizontale Bauteile (Einzelwerte) 256

Abb. 92: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, horizontale Bauteile (Zusammenfassung) 257

Abb. 93: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, vertikale Bauteile (Einzelwerte) 258

Abb. 94: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen, vertikale Bauteile (Zusammenfassung) 258

Abb. 95: Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände sowie Gesamtaufwände nach Verfahren diverser Autoren (Zusammenfassung)....261

Abb. 96: Definition der Geschosshöhe und Raumhöhen 300

Abb. 97: Schnittdarstellung zur Definition der Gebäudehöhe....302

Abb. 98: Ermittlung der Gebäudetiefe verschiedener Grundrissformen 303

Abb. 99: Schema der Bauzeitermittlung nach NGUYEN ET AL. (2013)....389

Abb. 100: Kennzahlen zur Bauzeitermittlung nach DREES/SPRANZ (1976)....390

Abb. 101: Diagramm zur Bauzeitermittlung nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010) 393

Abb. 102: Diagramm zur Bauzeitermittlung anhand des BRI nach HOFSTADLER (2007) 395

Abb. 103: Diagramm zur Bauzeitermittlung anhand des Betonvolumens nach HOFSTADLER (2007)....396

Abb. 104: Diagramm zur Bauzeitermittlung nach SOMMER (2009) 397

Abb. 105: Ermittlung der Geschosshöhe der Regelgeschosse – Ablaufschema....399

Abb. 106: Ermittlung der Geschossanzahl und Gebäudegrundfläche – Ablaufschema....400

Abb. 107: Ermittlung der Geschosshöhe des Erdgeschosses – Ablaufschema 401

Abb. 108: Ermittlung der Gebäudehöhe – Ablaufschema 401

Abb. 109: Ermittlung der Gebäudetiefe – Ablaufschema 402

Abb. 110: Ermittlung der Gebäudelänge – Ablaufschema 402

Abb. 111: Ermittlung des Gebäudeumfangs – Ablaufschema....403

Abb. 112: Ermittlung der Deckenstärke der Geschossdecken – Ablaufschema....403

Abb. 113: Ermittlung der Wandstärke der Außenwände – Ablaufschema....403

Abb. 114: Ermittlung der Wandstärke der Bauelemente – Ablaufschema 404

Abb. 115: Ermittlung des Stützenquerschnitts und der Stützenabstände – Ablaufschema..404

Abb. 116: Ermittlung des Flächenbedarfs der Installationsschächte – Ablaufschema 405

Abb. 117: Ermittlung der Aufzuganzahl – Ablaufschema 406

Abb. 118: Ermittlung der Benutzeranzahl der Aufzugsanlage pro Geschoss – Ablaufschema 406

Abb. 119: Ermittlung der Aufzuganzahl nach LBOAVO a. F. – Ablaufschema 407

Abb. 120: Ermittlung der Aufzuganzahl nach STRAKOSCH/CAPORALE (2010) – Ablaufschema 407

Abb. 121: Ermittlung der Aufzuganzahl nach AMEV (2017) – Ablaufschema 408

Abb. 122: Ermittlung des Anteils der Fensterflächen der tragenden Außenwände– Ablaufschema 409

Abb. 123: Ermittlung der Bewehrungsanteile der Geschossdecken, Wände und Stützen – Ablaufschema 409

Abb. 124: Ermittlung der Anzahl und Geometrie der NE 0 – Ablaufschema.....410

Abb. 125: Ermittlung der Anzahl und Geometrie der NE 1 und NE 2 – Ablaufschema.....411

Abb. 126: Ermittlung der Treppenhausanzahl – Ablaufschema 412

Abb. 127: Ermittlung der Treppenhausbreite und -länge – Ablaufschema 413

Abb. 128: Ermittlung der Treppenlänge – Ablaufschema.....414

Abb. 129: Ermittlung der Treppenbreite – Ablaufschema.....415

Abb. 130: Ermittlung der Podestbreite – Ablaufschema.....415

Abb. 131: Ermittlung der Treppenaugenbreite – Ablaufschema.....415

Abb. 132: Ermittlung der Anzahl und Geometrie der Installationsschächte– Ablaufschema416

Abb. 133: Ermittlung der Anzahl der Aufzugsschächte und Fahrschacht-Trennwände – Ablaufschema 417

Abb. 134: Ermittlung der Länge und Tiefe von Aufzugsgruppe 1 und 2 – Ablaufschema....418

Abb. 135: Ermittlung der Anzahl der Brandschutzwände – Ablaufschema.....419

Abb. 136: Ermittlung der Stützenanzahl – Ablaufschema 419

Abb. 137: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Geschosshöhe – Zellenbüros 420

Abb. 138: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Geschosshöhe – Kombibüros 421

Abb. 139: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Geschosshöhe – Gruppenbüros 422

Abb. 140: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Geschosshöhe – Großraumbüros 423

Abb. 141: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefe – Zellenbüros 424

Abb. 142: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefe – Kombibüros 425

Abb. 143: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefe – Gruppenbüros 426

Abb. 144: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefe – Großraumbüros 427

Abb. 145: Ermittlung des minimalen, erwarteten und maximalen BGF-Bedarfs pro Arbeitsplatz 428

Abb. 146: Ermittlung des Verhältnisses der NRF zur BGF 429

Abb. 147: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Bewehrungsanteile 430

Abb. 148: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – alle Gebäudeparameter (Einzelwerte) 442

Abb. 149: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – alle Gebäudeparameter (Zusammenfassung) 443

Abb. 150: Soll-0- und Ist-Intervalle der Gebäudeparameter 444

Abb. 151: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina (Einzelwerte) 485

Abb. 152: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina (Zusammenfassung) 486

Abb. 153: Soll-0- und Ist-Intervalle der Fertigungsmengen 487

Abb. 154: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen (Einzelwerte) 488

Abb. 155: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen (Zusammenfassung) 489

Abb. 156: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina (Einzelwerte) 501

Abb. 157: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina (Zusammenfassung) 502

Abb. 158: Soll-1- und Ist-Intervalle der Fertigungsmengen 503

Abb. 159: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen (Einzelwerte) 504

Abb. 160: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen (Zusammenfassung) 505

Abb. 161: Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände sowie Gesamtaufwände nach Verfahren diverser Autoren – Bauobjekt 1 515

Abb. 162: Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände sowie Gesamtaufwände nach Verfahren diverser Autoren – Bauobjekt 2 517

Abb. 163: Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände sowie Gesamtaufwände nach Verfahren diverser Autoren – Bauobjekt 3 519

Abb. 164: Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände sowie Gesamtaufwände nach Verfahren diverser Autoren – Bauobjekt 4 521

Abb. 165: Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an Arbeitskräften pro Fertigungsabschnitt und der Soll-0- bzw. Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 1 526

Abb. 166: Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an Arbeitskräften pro Fertigungsabschnitt und der Soll-0- bzw. Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 2 529

Abb. 167: Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an Arbeitskräften pro Fertigungsabschnitt und der Soll-0- bzw. Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 3 533

Abb. 168: Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an Arbeitskräften pro Fertigungsabschnitt und der Soll-0- bzw. Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 4 537

Abb. 169: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (angenommene Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 1 548

Abb. 170: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 1 549

Abb. 171: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (angenommene Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 2 557

Abb. 172: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 2 558

Abb. 173: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (angenommene Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 3 566

Abb. 174: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 3 567

Abb. 175: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (angenommene Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 4 571

Abb. 176: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 4 572

Abb. 177: Obere und untere kritische Werte der Gebäudeparameter 576

Abb. 178: Exemplarische Darstellung der Arbeitshilfe – Gebäudeprofil 577

Abb. 179: Exemplarische Darstellung der Arbeitshilfe – Maß der baulichen Nutzung 577

Abb. 180: Exemplarische Darstellung der Arbeitshilfe – Gebäudeparameter (Auszug) 578

K.5 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Anwendung der Methoden zur Zeitschätzung von Vorgängen und Projekten durch Unternehmer und Fachberater in Großbritannien 25

Tab. 2: Flächenbedarf von Installationsschächten nach VDI 2050-1.1 (2017).....61

Tab. 3: Minimale, erwartete und maximale Geschosshöhen der Regelgeschosse.....93

Tab. 4: Minimale, erwartete und maximale Gebäudetiefen 100

Tab. 5: Minimale, erwartete und maximale Stützenabstände.....106

Tab. 6: Minimaler und maximaler Flächenbedarf der Installationsschächte 108

Tab. 7: Minimaler, erwarteter und maximaler BGF-Bedarf pro Arbeitsplatz 111

Tab. 8: Fahrgeschwindigkeiten von Standardaufzügen 116

Tab. 9: Minimale, erwartete und maximale Bewehrungsanteile 117

Tab. 10: Grenzmaße für Treppenlaufbreite, Treppensteigung und Treppenauftritt 133

Tab. 11: Berechnung der Schalungsflächen der horizontalen Bauteile 155

Tab. 12: Berechnung der Schalungsflächen der vertikalen Bauteile 156

Tab. 13: Berechnung der Bewehrungsmengen der horizontalen Bauteile 158

Tab. 14: Berechnung der Bewehrungsmengen der vertikalen Bauteile.....158

Tab. 15: Berechnung der minimalen Taktzeiten des EG und der RG.....162

Tab. 16: Berechnung des Arbeitsaufwands 164

Tab. 17: Aufwandswerte für Betonagearbeiten.....165

Tab. 18: Aufwandswerte für Schalarbeiten (horizontale Bauteile).....168

Tab. 19: Aufwandswerte für Schalarbeiten (Wandschalung) 169

Tab. 20: Aufwandswerte für Schalarbeiten (Stützenschalung).....171

Tab. 21: Aufwandswerte für Schalarbeiten (vertikale Bauteile) 172

Tab. 22: Aufwandswerte für Bewehrungsarbeiten (Stabstahl) 173

Tab. 23: Aufwandswerte für Bewehrungsarbeiten (Mattenstahl).....174

Tab. 24: Optimale Kolonnenstärken verschiedener Bauprozesse des Stahlbetonbaus 176

Tab. 25: Kolonnenstärken 177

Tab. 26: Berechnung der maximalen Kolonnenanzahl pro Fertigungsabschnitt.....179

Tab. 27: Maximale Anzahl an Arbeitskräften pro Kran 184

Tab. 28: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – RG-Höhe 225

Tab. 29: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – RG-Höhe 225

Tab. 30: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – EG-Höhe 227

Tab. 31: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – EG-Höhe 228

Tab. 32: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Gebäudetiefe 229

Tab. 33: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Gebäudetiefe 230

Tab. 34: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Deckenstärke 231

Tab. 35: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Deckenstärke 232

Tab. 36: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände 234

Tab. 37: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände 235

Tab. 38: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Bauelemente 236

Tab. 39: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Wandstärke der Bauelemente 237

Tab. 40: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen 238

Tab. 41: Bauzeiten durch Ansatz der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen 239

Tab. 42: Bauzeiten durch Ansatz der erwarteten und davon abweichenden Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl 240

Tab. 43: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Soll-1-Gebäudeparameter – Zusammenfassung 263

Tab. 44: Bauzeitbeeinflussende und maßgebende Gebäudeparameter – Bauobjekt 1.....267

Tab. 45: Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 1 268

Tab. 46: Bauzeitbeeinflussende und maßgebende Gebäudeparameter – Bauobjekt 2.....270

Tab. 47: Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 2 272

Tab. 48: Bauzeitbeeinflussende und maßgebende Gebäudeparameter – Bauobjekt 3.....273

Tab. 49: Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 3 274

Tab. 50: Bauzeitbeeinflussende und maßgebende Gebäudeparameter – Bauobjekt 4.....276

Tab. 51: Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der ermittelten Bauzeiten aus den Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 4 276

Tab. 52: Bauzeitbeeinflussende und maßgebende Gebäudeparameter (Zusammenfassung) 278

Tab. 53: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse (Zusammenfassung).....279

Tab. 54: Gebäudegruppen nach § 2 Abs. 4 MBO.....301

Tab. 55: Gebäudeklassen nach § 2 Abs. 3 MBO.....302

Tab. 56: Kostenbasierte Regressionsmodelle (Übersicht) 377

Tab. 57: Flächenbasierte Regressionsmodelle (Übersicht).....386

Tab. 58: Multiple Regressionsmodelle (Übersicht).....388

Tab. 59: Zulässige Mindestarbeitsflächen (vertikale Bauteile) 432

Tab. 60: Zulässige Mindestarbeitslängen (horizontale Bauteile).....432

Tab. 61: Berechnung der vorhandenen Arbeitsflächen und -längen 435

Tab. 62: Berechnung der vorhandenen Kolonnenanzahl pro Fertigungsabschnitt der einzelnen Takte.....437

Tab. 63: Eingangsparameter zur Ermittlung der Soll-0-Gebäudeparameter, Bauobjekt 1...438

Tab. 64: Eingangsparameter zur Ermittlung der Soll-0-Gebäudeparameter, Bauobjekt 2...438

Tab. 65: Eingangsparameter zur Ermittlung der Soll-0-Gebäudeparameter, Bauobjekt 3...439

Tab. 66: Eingangsparameter zur Ermittlung der Soll-0-Gebäudeparameter, Bauobjekt 4 ...439

Tab. 67: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – RG-Höhe, Bauobjekt 1 ...445

Tab. 68: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – RG-Höhe, Bauobjekt 1 ...446

Tab. 69: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – RG-Höhe, Bauobjekt 2 ...447

Tab. 70: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – EG-Höhe, Bauobjekt 1 ...449

Tab. 71: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – EG-Höhe, Bauobjekt 2 ...450

Tab. 72: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Gebäudetiefe, Bauobjekt 1 ...452

Tab. 73: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und minimalen Soll-0-Gebäudeparameter – Gebäudetiefe, Bauobjekt 3 ...453

Tab. 74: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Deckenstärke, Bauobjekt 3 ...454

Tab. 75: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Deckenstärke, Bauobjekt 4 ...455

Tab. 76: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände, Bauobjekt 1 ...458

Tab. 77: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände, Bauobjekt 2 ...459

Tab. 78: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände, Bauobjekt 2 ...460

Tab. 79: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Wandstärke der Bauelemente, Bauobjekt 2 ...462

Tab. 80: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Wandstärke der Bauelemente, Bauobjekt 3 ...463

Tab. 81: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und minimalen Soll-0-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen, Bauobjekt 1 ...465

Tab. 82: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen, Bauobjekt 1.....466

Tab. 83: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und minimalen Soll-0-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen, Bauobjekt 2.....467

Tab. 84: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 1.....469

Tab. 85: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 1.....469

Tab. 86: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 1.....470

Tab. 87: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 1.....471

Tab. 88: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 2.....472

Tab. 89: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 2.....473

Tab. 90: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 2.....474

Tab. 91: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 2.....475

Tab. 92: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 3.....476

Tab. 93: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 3.....477

Tab. 94: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 3.....479

Tab. 95: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 3.....479

Tab. 96: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 4.....480

Tab. 97: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 4.....481

Tab. 98: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 4 483

Tab. 99: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 4 484

Tab. 100: Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 1 490

Tab. 101: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 1 491

Tab. 102: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen bei identischer Anzahl an Fertigungsabschnitten – Bauobjekt 1 492

Tab. 103: Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 2 493

Tab. 104: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 2 494

Tab. 105: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen bei identischer Anzahl an Fertigungsabschnitten – Bauobjekt 2 495

Tab. 106: Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 3 496

Tab. 107: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 3 497

Tab. 108: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen bei identischer Anzahl an Fertigungsabschnitten – Bauobjekt 3 498

Tab. 109: Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 4 499

Tab. 110: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 4 500

Tab. 111: Resultierende Abweichungen der Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 1 506

Tab. 112: Gegenüberstellung diverser resultierender Parameter der Bauzeitermittlung durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 1 507

Tab. 113: Resultierende Abweichungen der Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 2 508

Tab. 114: Gegenüberstellung diverser resultierender Parameter der Bauzeitermittlung durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 2 509

Tab. 115: Resultierende Abweichungen der Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 3 510

Tab. 116: Gegenüberstellung diverser resultierender Parameter der Bauzeitermittlung durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 3 511

Tab. 117: Resultierende Abweichungen der Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 4 512

Tab. 118: Gegenüberstellung diverser resultierender Parameter der Bauzeitermittlung durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 4 513

Tab. 119: Netzplanberechnungen bei Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 1 527

Tab. 120: Netzplanberechnungen bei Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 2 530

Tab. 121: Netzplanberechnungen bei Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 3 534

Tab. 122: Netzplanberechnungen bei Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 4 539

Tab. 123: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 1, minimale Soll-Werte 541

Tab. 124: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 1, maximale Soll-Werte 542

Tab. 125: Bauzeiten und zugehörige Wahrscheinlichkeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 1 543

Tab. 126: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 2, minimale Soll-Werte 550

Tab. 127: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 2, maximale Soll-Werte 551

Tab. 128: Bauzeiten und zugehörige Wahrscheinlichkeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 2 552

Tab. 129: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 3, minimale Soll-Werte 559

Tab. 130: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 3, maximale Soll-Werte 560

Tab. 131: Bauzeiten und zugehörige Wahrscheinlichkeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 3 561

Tab. 132: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 4, minimale Soll-Werte 568

Tab. 133: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 4, maximale Soll-Werte 569

Tab. 134: Bauzeiten und zugehörige Wahrscheinlichkeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 4 570

K.6 Quellenverzeichnis

K.6.1 Bücher, Buchbeiträge und Aufsätze

A AHMADU ET AL. (2015)

AHMADU, H.A., IBRAHIM, Y.M., IBRAHIM, A.D., ABDULLAHI, M.: *Modelling Building Construction Durations*. In: *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 20 (1), 2015, S. 65-84.

AHO (2020)

AUSSCHUSS DER VERBÄNDE UND KAMMERN DER INGENIEURE UND ARCHITEKTEN FÜR DIE HONORARORDNUNG – AHO (Hrsg.): *Leistungsbild und Honorierung. Projektmanagement in der Bau- und Immobilienwirtschaft – Standards für Leistungen und Vergütung* (Heft Nr. 9, Stand: März 2020). Reguvis Verlag, 2020.

ALTROGGE (1996)

ALTROGGE, G.: *Netzplantechnik*. R. Oldenburg Verlag, München/Wien, 1996.

AMEV (2017)

ARBEITSKREIS MASCHINEN- UND ELEKTROTECHNIK STAATLICHER UND KOMMUNALER VERWALTUNGEN – AMEV (Hrsg.): *Hinweise für Planung, Ausschreibung und Verwendung von Aufzugsanlagen in öffentlichen Gebäuden – Aufzug 2017* (Broschüre Nr. 134). Eigenverlag, Berlin, Online-Publikation, Stand: 01.08.2017.
URL: https://www.amev-online.de/AMEVInhalt/Planen/Elektrotechnik/Aufzug%202017/AMEV_Aufzug_01_08_2017.pdf, Zugriff am 16.09.2015.

AMEYAW ET AL. (2012)

AMEYAW, C., MENSAH, S., ARTHUR, Y.D.: *Applicability of Bromilow's Time-Cost Model on Building Projects in Ghana*. In: LARYEA, S., AGYEPONG, S.A., LEIRINGER, R., HUGHES, W. (Hrsg.): *Proceedings of the 4th West Africa Built Environment Research (WABER) Conference, 24-26/07/2012, Abuja, Nigeria, S. 881-888.*

ARH (1981)

AUTORENGEMEINSCHAFT HOCHBAU: *Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau (ARH) – Handbuch Arbeitsorganisation Bau. Bewehrungsarbeiten. Richtzeiten* (Heft 1.04). Zeittechnik-Verlag, Dreieich, 1981.

ARH (1999)

INSTITUT FÜR ZEITWIRTSCHAFT UND BETRIEBSBERATUNG BAU (Hrsg.): *Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau (ARH) – Handbuch Arbeitsorganisation Bau. Konventionelle Schalung und Großflächen-Schalung. Richtzeiten*. Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg, 1999.

ARH (2001)

INSTITUT FÜR ZEITWIRTSCHAFT UND BETRIEBSBERATUNG BAU (Hrsg.): *Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau (ARH) – Handbuch Arbeitsorganisation Bau. Bewehrungsarbeiten. Richtzeiten*. Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg, 2001.

ARH (2006)

INSTITUT FÜR ZEITWIRTSCHAFT UND BETRIEBSBERATUNG BAU (Hrsg.): *Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau (ARH) – Handbuch Arbeitsorganisation Bau. Betonarbeiten. Richtzeiten*. Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg, 2006.

ARH (2009)

ZENTRALVERBAND DES DEUTSCHEN BAUGEWERBES, HAUPTVERBAND DER DEUTSCHEN BAUINDUSTRIE, INDUSTRIEGEWERKSCHAFT BAUEN-AGRAR-UMWELT (Hrsg.): *Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau (ARH) – B. Beton- und Stahlbetonarbeiten. B4. Montagearbeiten Stahlbeton – Fertigbauteile. B4.2 Deckensysteme. Elementdecken*. Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg, 2009.

ARH (2016)

INSTITUT FÜR ZEITWIRTSCHAFT UND BETRIEBSBERATUNG BAU (Hrsg.): *Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau (ARH) – Handbuch Arbeitsorganisation Bau. Schalarbeiten. Rahmenschalung Wände, Stützenschalung. Richtzeiten*. Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg, 2016.

B BAUCH (2004)

BAUCH, U.: *Organisation der Terminsteuerung.* In: BAUCH, U., HELBIG, W. (Hrsg.): *Baustellenorganisation Band 3 – Reihe: Praxiswissen für Bauleiter.* Rudolf Müller Verlag, Köln, 2004.

BAUER (2007)

BAUER, H.: *Baubetrieb*. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2007.

BDK (1998)

BERNSDORFF-DIEHL-KLEIN INGENIEURGESELLSCHAFT – BDK: *Terminplanung – Zeitbedarfswerte für Bauleistungen im Hochbau* (Bd. 1.13). In: LANDESINSTITUT FÜR BAUWESEN

DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN – LB, MINISTERIUM FÜR BAUEN UND WOHNEN DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN – MBW (Hrsg.): [gleicher Titel]. Eigenverlag, Aachen, November 1998.

BERNER ET AL. (2013)

BERNER, F., KOCHENDÖRFER, B., SCHACH, R.: *Grundlagen der Baubetriebslehre 2: Baubetriebsplanung*. In: BERNER, F., KOCHENDÖRFER, B. (Hrsg.): *Leitfaden des Baubetriebs und der Bauwirtschaft.* Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2013.

BINDHARDT/JAGENBURG (1981)

BINDHARDT, W., JAGENBURG, W.: *Die Haftung des Architekten und seine strafrechtliche Verantwortung*. Werner Verlag, Düsseldorf, 1981.

BIPPUS (2010)

BIPPUS, B.: *Terminplanung für Architekten und Generalunternehmer. Nachweis des gestörten Bauablaufs* (Bd. 1); Books on Demand, Norderstedt, 2010

BKI (2016)

BAUKOSTENINFORMATIONSZENTRUM – BKI (Hrsg.): *BKI Baukosten 2016 Neubau. Teil 1. Statistische Kostenkennwerte für Gebäude*. Stuttgart, BKI, 2016.

BOGENSTÄTTER (2007)

BOGENSTÄTTER, U.: *Flächen- und Raumkennzahlen. Synopse* (Institute for Building Operations Research at Nürtingen-Geislingen University – ifBOR DTB 2007-10). Online-Publikation, Oktober 2007.
URL: http://www.ifbor.eu/resources/ifBOR+FRZ+2007-10+S1-10.pdf, Zugriff *am 19.10.2016.*

BOHNE (2014)

BOHNE, D.: *Technischer Ausbau von Gebäuden und nachhaltige Gebäudetechnik*. Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2014.

BROMILOW (1969)

BROMILOW, F.J.: *Contract Time Performance Expectations and the Reality*. In: *Building Forum*, 09/1969, S. 70-80.

BROMILOW ET AL. (1980)

BROMILOW, F.J., HINDS, M.F., MOODY, N.F.: *AIQS Survey of Building Contract Time Performance*. In: *The Building Economist*, 09/1980, S. 79-82.

BRÜSSEL (2002)

BRÜSSEL, W.: *Baubetrieb von A bis Z*. Werner Verlag, 2002.

BUDNICK (1998)

BUDNICK, J.: *Architektenhaftung für Vergabe-, Koordinierungs- und Baukostenplanungsfehler. Rechtslage und Reformüberlegungen unter Berücksichtigung ausgewählter Auslandsrechte* (zugl.: Universität Erlangen, Diss., 1997). In: KORBION, H., LOCHER, H. (Hrsg.): *Baurechtliche Schriften* (Bd. 45). Werner Verlag, Düsseldorf, 1998.

C CAR-PUŠIĆ/RADUJKOVIĆ (2009)

CAR-PUŠIĆ, D., RADUJKOVIĆ, M.: *Construction Time-Cost Model in Croatia*. In: *Engineering Modelling*, 22 (1-4), 2009, S. 63-70.

CHAN (1999)

CHAN, A.P.C.: *Modelling Building Durations in Hong Kong*. In: *CME,* 17, 1999, S. 189-196).

CHAN (2001)

CHAN, A.P.C.: *Time-Cost Relationship of Public Sector Projects in Malaysia*. In: *IJPM,* 19, 2001, S. 223-229.

CHOUDHURY/RAJAN (2003)

CHOUDHURY, I., RAJAN, S.S.: *Time-Cost Relationship for Residential Construction in Texas*. In: *CIB W78's 20th International Conference on Construction IT. Constructing IT Bridging the Distance* (Waiheke Island, Neuseeland, 23-25/04/2003), Online-Publikation. URL: http://itc.scix.net/pdfs/w78-2003-73.content.pdf, Zugriff am 01.03.2016.

CZARNIGOWSKA/SOBOTKA (2013)

CZARNIGOWSKA, A., SOBOTKA, A.: *Time-Cost Relationship for Predicting Construction Duration*. In: *Archives of Civil and Mechanical Engineering,* 13, 2013, S. 518-526.

D DREES ET AL. (1980)

DREES, G., SOMMER, H., ECKERT, G.: *Zweckmäßiger Einsatz von Turmdrehkranen auf Hochbaustellen*. In: *Baumaschine + Bautechnik*, 12, Dezember 1980, S. 822-843. Bauverlag, Walluf.

DREES/SPRANZ (1976)

DREES, G., SPRANZ, D.: *Handbuch der Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen*. Bauverlag, Wiesbaden/Berlin, 1976.

DUDEN (2005)

STEINHAUER, A.: *DUDEN. Das Wörterbuch der Abkürzungen*. Dudenverlag, Mannheim/Leipzig/Wien/Zürich, 2005.

DURSUN/STOY (2011)

DURSUN, O., STOY, C.: *Time-Cost Relationship of Building Projects – Statistical Adequacy of Categorization with Respect to Project Location*. In: *CME,* 29, 01/2011, S. 97-106.

DURSUN/STOY (2012)

DURSUN, O., STOY, C.: *Determinants of Construction Duration for Building Projects in Germany*. In: *Engineering, Construction and Architectural Management,* 19 (4), 2012, S. 444-468.

E EICHHORN (2019)

EICHHORN, T.: *Ist Aktualität wichtiger als Genauigkeit?* In: *Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg*, 05/2019, S. 47-50.

ESCHENBRUCH (2001)

ESCHENBRUCH, K.: *Bauverzug. Haftet Baubetreuer/Projektsteuerer?* In: *Immobilien- und Baurecht (IBR)*, Heft 1, 2001, S. 34.

ESCHENBRUCH (2003)

ESCHENBRUCH, K.: *Recht der Projektsteuerung. Projektmanagement, Projektsteuerung, Projektcontrolling und Construction Management für Immobilien- und Bauprojekte*. Werner Verlag, Düsseldorf, 2003.

ESCHERICH (1994)

ESCHERICH, H.J.: *Gebäudeentwurf*. In: GOTTSCHALK, O. (Hrsg.): *Verwaltungsbauten* (S. 100-129). Bauverlag, Wiesbaden/Berlin, 1994.

F FAUTH (2017)

FAUTH, R.: *Entwicklung eines Modells zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Bestandsgebäuden* (zugl.: Universität der Bundeswehr München, Diss., 2017). Dr. Hut Verlag, München, 2017.

FLEISCHMANN/HEMMERICH (2004)

FLEISCHMANN, H.D., HEMMERICH, R.: *Angebotskalkulation mit Richtwerten. Grundlagen, Stundenaufwand, Geräteleistung, Baustoffbedarf, Beispiel*. Werner Verlag, München, 2004.

FUCHS (2002)

FUCHS, W.: *Die Zukunft der Büroimmobilie*. In: HASCHER, R., JESKA, S., KLAUCK, B. (Hrsg.): *Entwurfsatlas Bürobau* (S. 40 ff.). Birkhäuser Verlag; Basel/Berlin, 2002.

G GEYER (2017)

GEYER, H.: *Kennzahlen für die Bau- und Immobilienwirtschaft*. Haufe Verlag, Freiburg, 2017.

GRALLA (2011)

GRALLA, M.: *Baubetriebslehre. Bauprozessmanagement*. Werner Verlag, Köln, 2011.

GREINER ET AL. (2009)

GREINER, P., MAYER, P.E., STARK, K.: *Baubetriebslehre – Projektmanagement. Erfolgreiche Steuerung von Projekten*. Vieweg u. Teubner Verlag, Wiesbaden, 2009.

GREITEMANN (2017)

GREITEMANN, P.N.: *Bestimmung der Bauzeit von Bauprojekten zum Zeitpunkt der Realisierungsentscheidung* (zugl.: Technische Hochschule München, Diss., 2017). In: GREITEMANN, P.N., ZIMMERMANN, J. (Hrsg.): *Schriftenreihe des Lehrstuhls für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung (Bd. 45).* Eigenverlag, München, Online-Publikation, 2017.
URL: http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss-20180131-1362730-1-4, Zugriff am 15.06.2020.

GUERRERO ET AL. (2014)

GUERRERO, M.A., VILLACAMPA, Y., MONTOYO, A.: *Modeling Construction Time in Spanish Building Projects*. In: *IJPM,* 32, 2014, S. 861-873.

H HAGER (1991)

HAGER, H.: *Untersuchung von Einflußgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmaßnahmen von Bauvorhaben (Fortschrittberichte VDI, Reihe 4: Bauingenieurwesen, Nr. 106)*. VDI Verlag, Düsseldorf, 1991.

HAMMER (1997)

HAMMER, U.: *Adaptivität*. In: MERTENS, P., BACK, A., BECKER, J., KÖNIG, W., KRALLMANN, H., RIEGER, B., SCHEER, A.-W., SEIBT, D., STAHLKNECHT, P., STRUNZ, H., THOME, R., WEDEKIND, H. (Hrsg.): *Lexikon der Wirtschaftsinformatik* (S. 6). Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1997.

HÄNDLER (2018)

HÄNDLER, A.: *Bauzeitschätzung in den frühen Planungsphasen anhand projektspezifischer Referenzgebäude*. In: ZENTRUM FÜR BAU- UND INFRASTRUKTURMANAGEMENT (Hrsg.): *Tagungsband zum 29. BBB-Assistententreffen – Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik* (Beiträge zum 29. BBB-Assistententreffen vom 06. bis 08. Juni 2018 in Braunschweig, S. 99-114), Online-Publikation.
URL: https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201805141054-0, Zugriff am 17.01.2021.

HÄNDLER/SCHWARZ (2017)

HÄNDLER, A., SCHWARZ, J.: *Verfahren zur Bauzeitschätzung und -ermittlung am Beispiel von Rohbauarbeiten von Bürogebäuden in den frühen Planungsphasen*. In: FENNER, J. (Hrsg.): *Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko* (S. 231-248). Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt, 2017.

HEISEL (2013)

HEISEL, J.P.: *Planungsatlas. Praxishandbuch Bauentwurf*. Beuth Verlag, Berlin/Wien/Zürich, 2013.

HODULAK/SCHRAMM (2011)

HODULAK, M., SCHRAMM, U.: *Nutzerorientierte Bedarfsplanung. Prozessqualität für nachhaltige Gebäude*. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg; 2011.

HOFFMAN ET AL. (2007)

HOFFMAN, G.J., THAL JR., A.E., WEBB, T.S., WEIR, J.D.: *Estimating Performance Time for Construction Projects*. In: Journal of Management in Engineering, 23 (4), 10/2007, S. 193-199.

HOFFMANN ET AL. (2012)

HOFFMANN, F., MOTZKO, C., CORSTEN, B.: *Aufwand und Kosten zeitgemäßer Schalverfahren*. Zeittechnik Verlag, Neu-Isenburg, 2012.

HOFSTADLER (2007)

HOFSTADLER, C.: *Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb*. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2007.

HOFSTADLER (2014)

HOFSTADLER, C.: *Produktivität im Baubetrieb. Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste*. Springer Vieweg Verlag, Berlin/Heidelberg, 2014.

HOFSTADLER/FRANZL (2011)

HOFSTADLER, C., FRANZL, G.: *Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb*. In: VERBAND ÖSTERREICHISCHER BIEGE- UND VERLEGETECHNIK – VÖBV (Hrsg.): [gleicher Titel]. Eigenverlag, Ratschendorf, 2011.

HRUSCHKA (1968)

HRUSCHKA, J.: *Die Anwendung des Normprodukts in der Baubetriebsplanung, erläutert am Beispiel der Rohbauarbeiten im Hochbau* (zugl.: Technische Hochschule München, Diss., 1968). Shaker Verlag, München, 1968.

HRUSCHKA (1969)

HRUSCHKA, H. [sic!][677]: *Richtwerte für die Betriebsplanung der Rohbauarbeiten im Hochbau. Verfahren für die Bemessung von Vorgängen bei der Makroplanung der Rohbauarbeiten*. In: *Die Bauwirtschaft* (Sonderdruck, 23. Jahrgang, Heft 12/16/20, 22.03., 19.04. u. 15.05.1969, o. S.).

HÜSTER (1992)

HÜSTER, F.: *Leistungsberechnung der Baumaschinen*. Werner Verlag, Düsseldorf, 1992.

I IRELAND (1985)

IRELAND, V.: *The Role of Managerial Actions in the Cost, Time and Quality Performance of High-Rise Commercial Building Projects*. In: *CME, 3,* 1985, S. 59-87), Online-Publikation.
URL: http://web.b.ebscohost.com/ehost/results?sid=9774f339-c3a3-42af-bae7-700b30ce411a%40sessionmgr111&vid=9&hid=116&bquery=JN+%22Construction+Management+%26+Economics%22+AND+DT+19850301&bdata=JmRiPWJ1aCZ0eXBlPTEmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl, Zugriff am 28.09.2015.

J JAAFARI (1988)

JAAFARI, A.: *Cost and Performance Analysis of Tall Structures*. In: *Journal of Structural Engineering*, 114 (11), 11/1988, S. 2594-2611), Online-Publikation.
URL: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9445%281988%29114%3A11%282594%29, Zugriff am 09.05.2016.

[677] Bei HRUSCHKA (1969) handelt es sich um einen Auszug der Dissertation von Johann Hruschka – anders als angegeben lautet der Vorname des Autors damit „Johann“ (vgl. HRUSCHKA (1968), Titelseite i. V. m. HRUSCHKA (1969), Titelseite).

JARKAS (2015)

JARKAS, A.M.: *Predicting Contract Duration for Building Construction – Is Bromilow's Time-Cost Model a Panacea?* In: Journal of Management in Engineering, 32 (1), 05015004, Online-Publikation, 27.05.2015.
URL: http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29ME.1943-5479.0000394, Zugriff am 28.09.2015.

K KAKA/PRICE (1991)

KAKA, A., PRICE, A.D.F.: *Relationship between Value and Duration of Construction Projects*. In: *CME,* 9 (9), 1991, S. 383-400), Online-Publikation.
URL: http://web.b.ebscohost.com/ehost/results?sid=9774f339-c3a3-42af-bae7-700b30ce411a%40sessionmgr111&vid=7&hid=116&bquery=JN+%22Construction+Management+%26+Economics%22+AND+DT+19910701&bdata=JmRiPWJ1aCZ0eXBlPTEmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl, Zugriff am 28.09.2015.

KISTER ET AL. (2016)

KISTER, J., BROCKHAUS, M., LOHMANN, M., MERKEL, P.: *Neufert Bauentwurfslehre. Grundlagen, Normen, Vorschriften über Anlage, Bau, Gestaltung, Raumbedarf, Raumbeziehungen, Maße für Gebäude, Räume, Einrichtungen, Geräte mit Menschen als Maß und Ziel*. Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2016.

KLR BAU (2016)

HAUPTVERBAND DER DEUTSCHEN BAUINDUSTRIE, ZENTRALVERBAND DEUTSCHES BAUGEWERBE (Hrsg.): *KLR Bau. Kosten-, Leistungs- und Ergebnisrechnung der Bauunternehmen*. Rudolf Müller Verlag, Köln, 2016.

KOCHENDÖRFER ET AL. (2010)

KOCHENDÖRFER, B., LIEBCHEN, J.H., VIERING, M.G.: *Bau-Projekt-Management. Grundlagen und Vorgehensweisen.* In: BERNER, F., KOCHENDÖRFER, B. (Hrsg.): *Leitfaden des Baubetriebs und der Bauwirtschaft*. Vieweg u. Teubner Verlag, Wiesbaden, 2010.

KOEBLE (2014)

KOEBLE, W.: *Fehler im Zusammenhang mit Kostenermittlungen („Bausummenüberschreitung")*. In: KOEBLE, W., LOCHER, U., ZAHN, A. (Hrsg.): *Kommentar zur HOAI. Vertrag, Honorar, Haftung*. Werner Verlag, Köln, 2014.

KRAMPERT (1986)

KRAMPERT, L.: *Der Einfluß von Arbeitseinsatz und Arbeitstakt auf die Kosten von Hochbauten* (zugl.: Technische Hochschule Darmstadt, Diss., 1986). Fachbereich Konstruktiver Ingenieurbau der TH Darmstadt, 1986.

KÜHFUß/PAWLITSCHKO (2008)

KÜHFUß, S., PAWLITSCHKO, R.: *Raumformen*. In: POGADE, D. (Hrsg.): *Inspiration Office. How to Design Workspaces* (S. 8-19); DOM Publishers, 2008.

KUMARASWAMY/CHAN (1995)

KUMARASWAMY, M.M., CHAN, D.W.M.: *Determinants of Construction Duration*. In: *CME, 13,* 1995, S. 209-217).

L LANG (1988)

LANG, A.: *Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung* (*Fortschrittberichte VDI, Reihe 4: Bauingenieurwesen, Nr. 85)*. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1988.

LAUER/WURM (2012)

LAUER, J., WURM, C.: *Haftung des Architekten und Bauunternehmers*. In: BUSSE, F. (Hrsg.): *NJW Praxis*. C.H. Beck Verlag, München, 2012.

LECHNER/STIFTER (2012)

LECHNER, H., STIFTER; D.: *Kommentar zum Leistungsbild Architektur (HOAI 2009-20xx).* In: LECHNER, H., HECK, D. (Hrsg.): [gleicher Titel]. Verlag der Technischen Universität Graz, 2012.

LE-HOAI/LEE (2009)

LE-HOAI, L., LEE, Y.D.: *Time-Cost Relationships of Building Construction Project in Korea*. In: *Facilities*, 27 (13/14), 2009, S. 549-559.

LESSER (1996)

LESSER; P. (Hrsg.): *Das aktuelle Zitatenhandbuch von A-Z (Bd. 2, Zitate nach Schlagworten Bi-E, Teil 5 – Schlagwort: „Einfachheit“)*. WEKA Verlage, Kissing/Zürich/Paris/ Mailand/Amsterdam/Wien/New York, Stand: 02/1996.

LOCHER (1996)

LOCHER, H.: *Das private Baurecht. Juristisches Kurzlehrbuch für Studium und Praxis*. C.H. Beck Verlag, München, 1996.

LÖFFELMANN/FLEISCHMANN (2000)

LÖFFELMANN, P., FLEISCHMANN, G.: *Architektenrecht. Architektenvertrag und HOAI. Leistungspflichten, Honorar und Haftung, Bausummenüberschreitung*. Werner Verlag, Düsseldorf, 2000.

LÖHNERT (2006)

LÖHNERT, G.: *Flexible Raumstrukturen und Nutzungskonzepte*. In: VOSS, K., LÖHNERT, G., HERKEL, S., WAGNER ,A., WAMBSGANß, M. (Hrsg.): *Bürogebäude mit Zukunft* (S. 10-13). Solarpraxis Verlag, Berlin, 2006.

LOVE (2002)

LOVE, P.E.D.: *Influence of Project Type and Procurement Method on Rework Costs in Building Construction Projects*. In: *JCEM*, 128 (1), 01&02/2002, S. 18-29.

LOVE ET AL. (2005)

LOVE, P.E.D., TSE, R.Y.C., EDWARDS, D.J.: *Time-Cost Relationships in Australian Building Construction Projects*. In: *JCEM*, 131 (2), 02/2005, S. 187-194.

M MAYER (2013)

MAYER, F.X.: *Kostensicherheit zum Zeitpunkt der Realisierungsentscheidung. Entwicklung eines Kosten-Prognose-Modells für Bauwerkskosten im Hochbau* (zugl.: Technische Universität München, Diss., 2013). Online-Publikation.
URL: http://mediatum.ub.tum.de/doc/1129695, Zugriff am 24.11.2019.

N NG ET AL. (2001)

NG, S.T., MAK, M.M.Y., SKITMORE, R.M., LAM, K.C., VARNAM, M.: *The Predictive Ability of Bromilow's Time-Cost Model*. In: *CME,* 19, 2001, S. 165-173, Online-Publikation.
URL: http://web.b.ebscohost.com/ehost/results?sid=9774f339-c3a3-42af-bae7-700b30ce411a%40sessionmgr111&vid=19&hid=116&bquery=JN+%22Construction+Management+%26+Economics%22+AND+DT+20010301&bdata=JmRiPWJ1aCZ0eXBlPTEmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl, Zugriff am 29.09.2015.

NGUYEN ET AL. (2013)

NGUYEN, L.D., PHAN, D.H., TANG, L.C.M.: *Simulating Construction Duration for Multistory Buildings with Controlling Activities*. In: *JCEM*, 139 (8), 08/2013, S. 951-959, Online-Publikation.
URL: http://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000677, Zugriff am 28.09.2015.

NOOSTEN (2013)

NOOSTEN, D.: *Netzplantechnik. Grundlagen und Anwendung im Bauprojektmanagement*. Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2013.

O OGUNSEMI/JAGBORO (2006)

OGUNSEMI, D.R., JAGBORO, G.O.: *Time-Cost Model for Building Projects in Nigeria*. In: *CME*, 24, 03/2003, S. 253-258, Online-Publikation.
URL: http://web.a.ebscohost.com/ehost/results?sid=fbf23579-8a79-4764-b9d3-c0a5955efdf2%40sessionmgr4004&vid=1&hid=4106&bquery=JN+%22Construction+Management+%26+Economics%22+AND+DT+20060301&bdata=JmRiPWJ1aCZ0eXBlPTEmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl, Zugriff am 29.09.2015.

OLAWALE/SUN (2015)

OLAWALE, Y., SUN, M.: *Construction Project Control in the UK – Current Practice, Existing Problems and Recommendations for Future Improvement*. In: *IJPM*, 33, 2015, S. 623-637, Online-Publikation.
URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786314001604, Zugriff am 28.09.2015.

P PECH/KOLBITSCH (2005)

PECH, A., KOLBITSCH, A.: *Treppen/Stiegen*. In: PECH, A. (Hrsg.): *Baukonstruktion* (Bd. 10). Springer Verlag, Wien, 2005.

PETZSCHMANN (2013)

PETZSCHMANN, E.: *Bauverfahren und Maschineneinsatz im Beton- und Stahlbetonbau*. In: ZILCH, K., DIEDERICHS, C.J., KATZENBACH, R., BECKMANN, K.J. (Hrsg.): *Bauwirtschaft und Baubetrieb* (S. 908-941). Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2013.

PLATZ (1982)

PLATZ, H.: *Aufwandswerte und Aufwandsfunktionen für Rohbauarbeiten im Hochbau*. In: SCHUB, A., MEYRAN, G. (Hrsg.): *Praxis-Kompendium Baubetrieb. Leitfaden, Arbeitsunterlage und Nachschlagewerk für Praktiker und Studenten* (Bd. 1). Bauverlag, Wiesbaden/Berlin, 1982.

R RAHMAN ET AL. (2014)

RAHMAN, M., LEE, Y.D., HA, D.K., CHUN, Y.H.: *Development of Time-Cost Models for Building Construction Projects in Bangladesh*. In: *Journal of Construction Engineering and Project Management*, 4 (3), 09/2014, S. 13-20, Online-Publikation.

URL: http://www.jcepm.org/english/viewtopic.php?t=471&sid=dbf26d6b9a221574c2e7526de3ff6b21, Zugriff am 29.09.2015.

RYBICKI (1988)

RYBICKI, R.: *Faustformeln und Faustwerte für Konstruktionen im Hochbau. Teil 1: Geschoßbauten*. Werner Verlag, Düsseldorf, 1988.

RYBICKI/PRIETZ (2011)

RYBICKI, R., PRIETZ, F.: *Faustformeln und Faustwerte für Tragwerke im Hochbau*. Werner Verlag, Köln, 2011.

S SCHACH/OTTO (2011)

SCHACH, R., OTTO, J.: *Baustelleneinrichtung. Grundlagen, Planung, Praxishinweise, Vorschriften und Regeln*. In: BERNER, F., KOCHENDÖRFER, B. (Hrsg.): *Leitfaden des Baubetriebs und der Bauwirtschaft*. Vieweg u. Teubner Verlag, Wiesbaden, 2011.

SCHEFFLER ET AL. (1998)

SCHEFFLER, M., FEYRER, K., MATTHIAS, K.: *Fördermaschinen. Hebezeuge, Aufzüge, Flurförderzeuge*. In: SCHEFFLER, M.: *Fördertechnik und Baumaschinen*. Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 1998.

SCHÖNENBROICHER (2015)

SCHÖNENBROICHER, K.: *BauNVO § 20 Vollgeschosse, Geschossflächenzahl, Geschossfläche*. In: SPANNOWSKY, W., HORNMANN, G., KÄMPFER, N. (Hrsg.): *Beck'scher Online-Kommentar BauNVO*. Verlag C.H. Beck, München, Online-Publikation, Stand: 01.09.2015.
URL: https://beck-online.beck.de/?vpath=bibdata\komm\BeckOKBauNVO_5\BAUNVO\cont\BECKOKBAUNVO.BAUNVO.P20.glA.glIII.htm; Zugriff am 04.08.2016.

SEDLACEK/SCHOLZ (1997)

SEDLACEK, G., SCHOLZ, H: *Spannweite*. In: OLSHAUSEN, H.-G., VDI-GESELLSCHAFT BAUTECHNIK [Verein Deutscher Ingenieure – VDI] (Hrsg.): *VDI-Lexikon Bauingenieurwesen* (S. 602). Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1997.

SEELING (1979)

SEELING, R.: *Auswahl und Kombination der Hauptfördermittel auf Betonbaustellen*. In: Baumaschine + Bautechnik, Januar 1979, S. 21-32. Bauverlag, Wiesbaden, Online-Publikation.

URL: https://www.baumaschine.de/baumaschine/fachzeitschriften/baumaschinen/baumaschine-und-bautechnik_dateien/1979/heft1/a021_032.pdf, Zugriff am 25.03.2019.

SKITMORE/NG (2003)

SKITMORE, R.M., NG, S.T.: *Forecast Models for Actual Construction Time and Cost*. In: *Building and Environment*, 38 (2003), S. 1075-1083, Online-Publikation.
URL: http://www.sciencedirect.com.3389-0.shan01.han.tib.eu/science/journal/03601323/38/8, Zugriff am 29.09.2015.

SOMMER (1990)

SOMMER, H.: *Vor- und Nachteile verschiedener Büroformen.* In: CONGENA GESELLSCHAFT FÜR PLANUNG, TRAINING UND ORGANISATION (Hrsg.): *Kombi-Büro* (S. 79-99). FBO Verlag, Baden-Baden, 1990.

SOMMER (1994)

SOMMER, H.: *Projektmanagement im Hochbau. Eine praxisnahe Einführung in die Grundlagen*. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1994.

SOMMER (2009)

SOMMER, H.: *Projektmanagement im Hochbau. 35 Jahre Innovationen bei Drees & Sommer*. Springer Verlag, Heidelberg, 2009.

SOUSA ET AL. (2014)

SOUSA, V., ALMEIDA, N.M., DIAS, L.A., BRANCO, F.A.: *Risk-informed Time-Cost Relationship Models for Sanitation Projects*. In: *JCEM*, 140 (5), 05/2014, 06014002, Online-Publikation.
URL: http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000848, Zugriff am 28.09.2015.

STANIEK (2005)

STANIEK, B.: *Büroorganisationsformen*. In: EISELE, J., STANIEK, B. (Hrsg.): *Bürobau Atlas. Grundlagen, Planung, Technologie, Arbeitsplatzqualitäten* (S. 54-67). Georg D.W. Callwey Verlag, München, 2005.

STANIEK/STANIEK (2013)

STANIEK, B., STANIEK, C.: *Typologie der Büroorganisationsformen*. In: INSTITUT FÜR INTERNATIONALE ARCHITEKTUR-DOKUMENTATION (Hrsg.): *Büro/Office – Best of Detail* (S. 32-51). Detail Verlag, 2013.

STORZ (2018)

STORZ, S.: *BayBO Art. 37 Aufzüge*. In: BUSSE, J., KRAUS, S. (Hrsg.): *Bayerische Bauordnung. Kommentar*. Verlag C.H. Beck, München, Online-Publikation, Stand: März 2018 (129. Ergänzungslieferung).
URL: https://beck-online.beck.de/?vpath=bibdata%2Fkomm%2FSimonBusseKoBayBO2008_129%2FBayBO%2Fcont%2FSimonBusseKoBayBO2008%2EBayBO%2Ea37%2EglIV%2Egl6%2Ehtm, Zugriff am 12.09.2018.

STOY ET AL. (2007)

STOY, C., DREIER, F. SCHALCHER, H.-R.: *Construction Duration of Residental Building Projects in Germany*. In: Engineering, Construction and Architectural Management, 14 (1), 2007, S. 52-64, Online-Publikation.
URL: http://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/09699980710716972, Zugriff am 28.09.2015.

STRAKOSCH/CAPORALE (2010)

STRAKOSCH, G.R., CAPORALE, R.S. (Hrsg.): *The Vertical Transportation Handbook*. John Wiley & Sons Verlag, Hoboken (New Jersey, USA), 2010, Online-Publikation.
URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470949818, Zugriff am 12.09.2018.

STROETMANN ET AL. (2018)

STROETMANN, R., EISELE, J., OTTO, J., HÜTTIG, L., TRAUTMANN, B., HARZDORF, A., WELLER, C.: *Multifunktionale Geschäftshäuser in Stahl- und Verbundbauweise – Teil 1: Grundlagen zur Bewertung, Planung und Konstruktion.* In: *Stahlbau*, 87 (4), 2018, S. 363-381. Ernst & Sohn Verlag, Online-Publikation.
URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/stab.201810594, Zugriff am 15.11.2019.

SUNDERMEIER (2020)

SUNDERMEIER, M.: *Ablaufplanung und Arbeitsvorbereitung.* In: GRALLA, M. (Hrsg.): *Baubetriebstabellen* (S. 7.1-7.56). Reguvis Verlag, Köln, 2020.

T TSCHÖPE/GÄFKE (2011)

TSCHÖPE, H., GÄFKE, A.: *Brandschutz im Krankenhaus*. In: FOUAD, N. A. (Hrsg.): *Bauphysik Kalender 2011* (S. 469-504). Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2011, Online-Publikation.

URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9783433600818, Zugriff am 20.01.2021

W WERNER/PASTOR (2005)

WERNER, U., PASTOR, W.: *Der Bauprozess. Prozessuale und materielle Probleme des zivilen Bauprozesses*. Werner Verlag, München, 2005.

Z ZIMMERMANN (2018)

ZIMMERMANN, J.: *Erforderlicher Kenntnisstand für eine fundierte Realisierungsentscheidung* (Vortrag LBI-Forum am 19.02.2018 in München).

ZIMMERMANN ET AL. (2014)

ZIMMERMANN, J., EBER, W., TILKE, C.: *Unsicherheiten bei der Realisierung von Bauprojekten – Grenzen einer wahrscheinlichkeitsbasierten Risikoanalyse*. In: GIRMSCHEID, G., KATZENBACH, R., PASTERNAK, H., WRIGGERS, P., HEGGER, J. (Hrsg.): *Bauingenieur* (Bd. 89, 06/2014, S. 272-282). Springer VDI Verlag, 2014.

ZIMMERMANN/GREITEMANN (2015)

ZIMMERMANN, J., GREITEMANN, P.: *Anforderungen an Struktur und Detaillierung von Termin- und Ablaufplanung zur Steuerung von Bauprojekten – Teil 1: Status Quo und organisationswissenschaftliche Grundlagen.* In: KATZENBACH, R., PASTERNAK, H., WRIGGERS, P., HEGGER, J. (Hrsg.): *Bauingenieur* (Bd. 90, 11/2015, S. 535-547). Springer VDI Verlag, 2015.

ŽUJO/CAR-PUŠIĆ (2008)

ŽUJO, V., CAR-PUŠIĆ, D.: Application of “Time-Cost” Model in Construction Project Management, Abstract of the 8th International Conference on Organization, Technology and Management in Construction and 5th SENET Conference, 17-20/09/2008, Umag, Kroatien.

K.6.2 Gesetze, Verordnungen, Satzungen und Allgemeine Verwaltungsvorschriften

A ArbStättV

Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) in der Fassung vom 12.08.2004 (BGBI. I S. 2179) zuletzt geändert durch Art. 226 der Verordnung vom 19.06.2020 (BGBI. I S. 1328); Online-Publikation.
URL: https://www.gesetze-im-internet.de/arbst_ttv_2004/ArbSt%C3%A4ttV.pdf, Zugriff am 09.09.2020.

ArbStättV a. F.

Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) in der Fassung vom 20.03.1975 (BGBI. I 1975, S. 729) zuletzt geändert durch Art. 281 der Verordnung vom 25.11.2003 (BGBI. I S. 2304); Online-Publikation, alte Fassung.

URL: https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/arbst_ttv/gesamt.pdf, Zugriff am 19.10.2016.

B B-AStV

Verordnung der Bundesregierung [Österreichs], mit der Anforderungen an Arbeitsstätten von Dienststellen des Bundes festgelegt werden (Bundes-Arbeitsstättenverordnung – B-AStV) in der Fassung vom 16.09.2020, zuletzt geändert durch BGBI. II Nr. 291/2011 u. BGBI. II Nr. 356/2013; Online-Publikation.

URL: https://www.ris.bka.gv.at/geltendeFassung/Bundesnormen/20002162/B-AStV%2c%20Fassung%20vom%2016.09.2020.pdf, Zugriff am 16.09.2020.

BauNVO

Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO) in der Fassung vom 21.11.2017 (BGBI. I S. 3786); Online-Publikation.

URL: https://www.gesetze-im-internet.de/baunvo/BauNVO.pdfhttps://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/baunvo/gesamt.pdf, Zugriff am 08.09.2020.

BayBO

Bayerische Bauordnung (BayBO) in der Fassung vom 14.08.2007 (GVBI. 1997, S. 588, BayRS 2132-1-B) zuletzt geändert durch Gesetz vom 24.07.2020 (GVBI. S. 381); Online-Publikation.

URL: https://www.gesetzebayern.de/Content/Document/BayBO/true, Zugriff am 09.09.2020.

BayBO a. F.

Bayerische Bauordnung (BayBO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 04.08.1997 (GVBI. 1997, S. 433) zuletzt geändert am 10.03.2006 (GVBI. 2006, S. 120); Online-Publikation.

URL: https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/buw/baurechtundtechnik/baybo_1998.pdf, Zugriff am 11.05.2016.

BbgBO

Brandenburgische Bauordnung (BbgBO) in der Fassung vom 15.11.2018 (GVBI.I/18, Nr. 39); Online-Publikation, alte Fassung.

URL: https://bravors.brandenburg.de/gesetze/bbgbo_2016, Zugriff am 09.09.2020.

BbgBO a. F.

Brandenburgische Bauordnung (BbgBO) in der Fassung vom 17.09.2008 (GVBl.I/08, Nr. 14, S. 226) zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 29.11.2010 (GVBl.I/10, Nr. 39); Online-Publikation, alte Fassung.
URL: https://bravors.brandenburg.de/gesetze/bbgbo/14, Zugriff am 29.10.2019.

BGB

Bürgerliches Gesetzbuch (BGB) in der Fassung vom 02.01.2002 (BGBl. I S. 42, 2909; 2003 I S. 738) zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 12.06.2020 (BGBl. I S. 1245; Online-Publikation.
URL: https://www.gesetze-im-internet.de/bgb/BGB.pdf, Zugriff am 08.09.2020.

BRTV

Bundesrahmentarifvertrag für das Baugewerbe (BRTV) vom 28.09.2018 zwischen dem Zentralverband des Deutschen Baugewerbes, dem Hauptverband der Deutschen Bauindustrie und der Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt; Online-Publikation.
URL: https://www.soka-bau.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Arbeitgeber/tarifvertrag_brtv.pdf, Zugriff am 08.09.2020.

H HE-HBO

HESSISCHES MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ENERGIE, VERKEHR UND LANDESENTWICKLUNG, REFERAT VI 3 – OBERSTE BAUAUFSICHT, BAURECHT (Hrsg.): *Handlungsempfehlungen zum Vollzug der HBO [Hessischen Bauordnung] 2011 (HE-HBO)* vom 22.01.2004 (StAnz. S. 746) zuletzt geändert am 01.10.2014; Online-Publikation.
URL: https://wirtschaft.hessen.de/sites/default/files/media/hmwvl/hehbo_2011_aend_1_oktober_2014_rot_06_10_2014.pdf, Zugriff am 17.10.2016.

HOAI

Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure - HOAI) in der Fassung vom 10.07.2013, Online-Publikation.
URL: https:/www.gesetze-im-internet.de/HOAI_2013/HOAI.pdf, Zugriff am 08.09.2020.

L LBOAVO a. F.

Allgemeine Ausführungsverordnung des Wirtschaftsministeriums zur Landesbauordnung [Baden-Württembergs] (Allgemeine LBO-Ausführungsverordnung 1995 –

LBOAVO 1995) vom 17.11.1995 (GBI. S. 836, BWGültV Sachgebiet 2133-1); Online-Publikation, alte Fassung.
URL: https://beck-online.beck.de/Dokument?vpath=bibdata%2Fges%2Fbwlboavo1995%2Fcont%2Fbwlboavo1995.inh.htm&anchor=Y-100-G-BWLBOAVO1995&jumpType=Jump&jumpWords=BWLBOAVO1995, Zugriff am 17.09.2018.

M MBO

Musterbauordnung (MBO) in der Fassung von November 2002 zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 27.09.2019; Online-Publikation.
URL: https://www.bauministerkonferenz.de/Dokumente/42323097.pdf, Zugriff am 08.09.2020.

MBO a. F.

Musterbauordnung (MBO) in der Fassung von November 2002 zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom Oktober 2008 einschließlich der Änderung von § 20 Satz 1 gemäß Beschluss der FK Bauaufsicht vom Mai 2009; Online-Publikation, alte Fassung.
URL: https://www.bauministerkonferenz.de/Dokumente/42311628.pdf, Zugriff am 14.06.2018.

V VOB/A

SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN (Hrsg.): *VOB/A 2019 – Textausgabe/Text Edition. Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil A / German Construction Contract Procedures, Part A. Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen – VOB/A (DIN 1960, Ausgabe: 09/2012)*. Springer Verlag, Wiesbaden, 2020; Online-Publikation.
URL: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-29622-3, Zugriff am 08.09.2020.

VOB/B

Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil B. Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen (VOB/B). BAnz. AT 19.01.2016 B3 und BAnz AT 01.04.2016 B1; Online-Publikation.
URL: https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/themen/bauen/vob-teil-b.pdf?__blob=publicationFile&v=5, Zugriff am 08.09.2020.

VStättV

[Bayerische] Verordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Versammlungsstättenverordnung – VStättV) in der Fassung vom 02.11.2007 (GVBI. S. 736,

BayRS 2132-1-5-B) zuletzt geändert durch § 4 der Verordnung vom 07.08.2018 (GVBl. S. 694); Online-Publikation.
URL: https://www.gesetzebayern.de/Content/Document/BayVStaettV/true, Zugriff am 08.09.2020.

K.6.3 Normen und Richtlinien

A ANSI/ASHRAE 105 (2012)

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE- ANSI; AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE: *Standard Methods of Measuring, Expressing and Comparing Building Energy Performance (ANSI/ASHRAE Addenda a and b to ANSI/ASHRAE Standard 105-2007).* Atlanta [USA], 2012.

ASR A1.2 (2013)

AUSSCHUSS FÜR ARBEITSSTÄTTEN – ASTA; BUNDESANSTALT FÜR ARBEITSSCHUTZ UND ARBEITSMEDIZIN – BAuA (Hrsg.): *Technische Regeln für Arbeitsstätten. Raumabmessungen und Bewegungsflächen (Arbeitsstättenrichtlinie ASR A1.2)* in der Fassung von September 2013 zuletzt geändert durch GMBl. 2018, S. 471).
URL: https://www.baua.de/de/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A1-2.pdf, Zugriff am 16.09.2020.

ASR A2.3 (2007)

AUSSCHUSS FÜR ARBEITSSTÄTTEN – ASTA; BUNDESANSTALT FÜR ARBEITSSCHUTZ UND ARBEITSMEDIZIN – BAuA (Hrsg.): *Technische Regeln für Arbeitsstätten. Fluchtwege und Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan (Arbeitsstättenrichtlinie ASR A2.3)* in der Fassung von August 2007 zuletzt geändert GMBl. 2017, S. 8.
URL: http://www.baua.de/de/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A2-3.pdf, Zugriff am 16.09.2020.

B BPR (2005)

INTERPRETATION AND GENERAL CLAUSES ORDINANCE [Hong Kong]: *Building (Planning) Regulations [BPR] – Empowering Section* (Chapter 123F, Section 38, Regulation 23 No. 3(a); Gazette Number: L.N. 110 of 2005, Version Date: 31.12.2005). Hong Kong, Online-Publikation, 2005.
URL: http://www.legislation.gov.hk/blis_pdf.nsf/6799165D2FEE3FA94825755E0033E532/25C2868DA2669A12482575EE003F079B/$FILE/CAP_123F_e_b5.pdf, Zugriff am 23.03.2016.

D DIN 15309 (2002)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN 15309: Aufzüge. Personenaufzüge für andere als Wohngebäude sowie Bettenaufzüge. Baumaße, Fahrkorbmaße, Türmaße*. Beuth Verlag, Berlin, Dezember 2002.

DIN 18040-1 (2010)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN 18040-1: Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen – Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude*. Beuth Verlag, Berlin, Oktober 2010.

DIN 18065 (2020)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN 18065: Gebäudetreppen – Begriffe, Messregeln, Hauptmaße*. Beuth Verlag, Berlin, August 2020.

DIN 18331 (2019)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG: *DIN 18331: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Betonarbeiten*. Beuth Verlag, Berlin, September 2019.

DIN 276-1 (2008)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN 276-1: Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau.* Beuth Verlag, Berlin, Dezember 2008.

DIN 277-1 (2016)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN 277-1: Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen – Teil 1: Hochbau*. Beuth Verlag, Berlin, Januar 2016.

DIN 4102-4 (2016)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN 4102-4: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile*. Beuth Verlag, Berlin, Mai 2016.

DIN 4102-11 (1985)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN 4102-11: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 11: Rohrummantelungen, Rohrabschottungen, Installationsschächte und -kanäle, sowie Abschlüsse ihrer Revisionsöffnungen. Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*. Beuth Verlag, Berlin, Dezember 1985.

DIN 5034-1 (2011)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN 5034-1: Tageslicht in Innenräumen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen*. Beuth Verlag, Berlin, Juli 2011.

DIN 69900 (2009)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN 69900: Projektmanagement – Netzplantechnik; Beschreibungen und Begriffe*. Beuth Verlag, Berlin, Januar 2009.

DIN 69901-5 (2009)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN 69901-5: Projektmanagement – Projektmanagementsysteme – Teil 5: Begriffe*. Beuth Verlag, Berlin, Januar 2009.

DIN EN 81-20 (2020)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN EN 81-20: Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen – Aufzüge für den Personen und Gütertransport – Teil 20: Personen- und Lastenaufzüge (Deutsche Fassung EN 81-20: 2020)*. Beuth Verlag, Berlin, Juni 2020.

DIN V 18599-1 (2018)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN V 18599-1 [Vornorm]: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger*. Beuth Verlag, Berlin, September 2018.

E E DIN 5034-1 (2019)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN 5034-1 [Entwurf]: Tageslicht in Innenräumen – Teil 1: Begriffe und Mindestanforderungen.* Beuth Verlag, Berlin, Dezember 2019.

R RICS (2007)

ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS – RICS [Großbritannien] (Hrsg.): *RICS Guidance Note. Code of Measuring Practice. A Guide for Property Professionals.* Cambridge University Press, Online-Publikation, 08/2007.
URL: http://www.isurv.com/site/scripts/download.aspx?type=downloads&fileID=167, Zugriff am 21.03.2016.

U URA (2015)

URBAN REDEVELOPMENT AUTHORITY – URA, [Singapur] (Hrsg.): *Development Control Handbooks. Handbook on Gross Floor Area*. Online-Publikation, Stand: 11/2015.
URL: https://www.ura.gov.sg/uol/publications/technical/dc-handbooks/handbook-on-gross-floor-area.aspx, Zugriff am 23.03.2016.

V VDI 2050-1.1 (2017)

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE – VDI: *VDI-Richtlinie 2050, Blatt 1.1. Anforderungen an Technikzentralen. Platzbedarf für Installationsschächte*. Beuth Verlag, Berlin, Juli 2017.

VDI 6028-1.1 (2013)

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE – VDI: *VDI-Richtlinie 6028, Blatt 1.1. Bewertungskriterien für die Technische Gebäudeausrüstung. Technische Qualität für nachhaltiges Bauen*. Beuth Verlag, Berlin, November 2013.

VOA (2012)

VALUATION OFFICE AGENCY – VOA [United Kingdom] (Hrsg.): *Code of Measuring Practice: Definitions for Rating Purposes*. Stand: 02/10/2012, Online-Publikation.
URL: https://www.gov.uk/government/publications/measuring-practice-for-voa-property-valuations/code-of-measuring-practice-definitions-for-rating-purposes, Zugriff am 21.03.2016.

K.6.4 Studentische Abschlussarbeiten

H HACHERER (2019)

HACHERER, F.: *Bauzeitschätzung in den frühen Planungsphasen. Verifizierung durch Auswerten praktischer Beispiele* (zugl.: Universität der Bundeswehr München, Bachelorarbeit, 01.01.2019). Unveröffentlicht, Neubiberg, 2019.

Y YEONG (1994)

YEONG, C.M.: *Time and Cost Performance of Building Contracts in Australia and Malaysia* (zugl.: University of South Australia, School of Building and Planning, M. Sc. Thesis). Online-Publikation, 01/1994.
URL: http://search.ror.unisa.edu.au/media/researcharchive/open/9915960293901831/53112361800001831, Zugriff am 02.02.2016.

K.6.5 Sonstige

B BHI (2009A)

BAYERISCHE HAUSBAU IMMOBILIEN – BHI: *Bauobjekt 1 – Bestandspläne*. Unveröffentlicht, München, Stand: 18.02.2009.

BHI (2009B)

BAYERISCHE HAUSBAU IMMOBILIEN – BHI: *Bauobjekt 2 – Bestandspläne*. Unveröffentlicht, München, Stand: 18.02.2009.

BHI (2009C)

BAYERISCHE HAUSBAU IMMOBILIEN – BHI: *Bauobjekt 3 – Bestandspläne*. Unveröffentlicht, München, Stand: 14.01.2009.

BHI (2009D)

BAYERISCHE HAUSBAU IMMOBILIEN – BHI: *Bauobjekt 4 – Bestandspläne*. Unveröffentlicht, München, Stand: 14.01.2009.

L. Anlagen

L.1 Stand der Wissenschaft und Technik (Kap. B)

L.1.1 Direkte Methoden

Im Gegensatz zu den gesichteten deutschsprachigen Veröffentlichungen wurden in der englischsprachigen Literatur keine ressourcenabhängigen RM veröffentlicht. Die gesichteten englischsprachigen Veröffentlichungen beschränken sich stattdessen auf RM, aus denen die Bauzeit direkt ermittelt wird.

RM, die Rauminhalte des Bauwerks als Bezugsgröße verwenden, konnten im Rahmen der englischsprachigen Literaturrecherche nicht ermittelt werden, wohingegen der BRI in der deutschsprachigen Literatur die vorwiegend verwendete Bezugsgröße darstellt (vgl. Kap. L.1.2).

Die Gliederung Direkter Methoden ergibt sich aus Abb. 10. In den vergangenen Jahren wurden auch verschiedene qualitative Parameter, wie z. B. private und öffentliche AG sowie unterschiedliche Vergabe- und Vertragsarten, von verschiedenen Autoren hinsichtlich ihres Einflusses auf die Bauzeit untersucht.[678]

L.1.1.1 Kostenbasierte Regressionsmodelle

Kostenbasierte RM suggerieren einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen den Baukosten und der Bauzeit, der durch eine mathematische Funktion in Form eines RM darstellbar ist. Da kostenbasierte RM währungsabhängig sind, müssen diese zur Anwendung in anderen Ländern angepasst werden. Eine landesspezifische Anpassung der RM ist ebenfalls notwendig, um mögliche landesspezifische Besonderheiten der Bauwirtschaft berücksichtigen zu können.

Die durchgeführte Literaturrecherche zeigt, dass die Baukosten bei den Direkten Methoden die häufigste Bezugsgröße darstellen, wohingegen die Kosten bei den Indirekten Methoden überhaupt nicht als Bezugsgröße verwendet werden.[679]

Die Darstellung der gesichteten Veröffentlichungen der kostenbasierten RM, die in Tab. 56 zusammengefasst sind, erfolgt in chronologischer Reihenfolge.

---

[678] Eine Zusammenfassung berücksichtigter Parameter einzelner Autoren ist z. B. in DURSUN/STOY (2011), S. 99 dargestellt.

[679] Eine Ausnahme ergibt sich bei der Ermittlung der Planungsdauern nach GRALLA (2011), dessen Zeitansätze sich auf die Honoraransätze gemäß HOAI beziehen (vgl. a. a. O., S. 227 f.).

Tab. 56: Kostenbasierte Regressionsmodelle (Übersicht)[680]

Quelle	Regressionsmodell
BROMILOW (1969), S. 73	$T = K \cdot C^B$ (L.1) $T = 350 \cdot C^{0,30}$ (L.2) *(WE = Mio. AUD)*
BROMILOW ET AL. (1980), S. 80	Private AG: $T = K \cdot C^B = 238 \cdot C^{0,33}$ (L.3) Öffentliche AG: $T = K \cdot C^B = 358 \cdot C^{0,30}$ (L.4) *(WE = Mio. AUD)*
IRELAND (1985), S. 75	$T = K \cdot C^B = 219 \cdot C^{0,47}$ (L.5) *(WE = Mio. AUD)*
KAKA/PRICE (1991), S. 398	Private AG, Adjusted Price Contracts: $T = K \cdot C^B = 491{,}22 \cdot C^{0,0817}$ (L.6) Öffentliche AG, Adjusted Price Contracts: $T = K \cdot C^B = 486{,}70 \cdot C^{0,2050}$ (L.7) *(WE = Mio. GBP)*
YEONG (1994), S. 83 f., 129 f.	Private AG, Australien: $T = K \cdot C^B = 161 \cdot C^{0,367}$ (L.8) Öffentliche AG, Australien: $T = K \cdot C^B = 287 \cdot C^{0,237}$ (L.9) *(WE = Mio. AUD, T in KT)*
KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 210 f.	Private AG, Gewerbebauten: $T = K \cdot C^B = 245{,}0 \cdot C^{0,202}$ (L.10) Öffentliche AG, Nicht-Wohnbauten: $T = K \cdot C^B = 207{,}1 \cdot C^{0,266}$ (L.11) *(WE = Mio. HKD)*
CHAN (1999), S. 193	Private AG: $T = K \cdot C^B = 120 \cdot C^{0,34}$ (L.12) Öffentliche AG: $T = K \cdot C^B = 166 \cdot C^{0,28}$ (L.13) *(WE = Mio. HKD)*
NG ET AL. (2001), S. 169	Industrielle Bauprojekte: $T = K \cdot C^B = 96{,}832 \cdot C^{0,36168}$ (L.14) Nicht-Industrielle Bauprojekte: $T = K \cdot C^B = 152{,}463 \cdot C^{0,27411}$ (L.15) *(WE = Mio. AUD)*
Fortsetzung Tab. 56 auf Folgeseite	

[680] Eigene Darstellung und Übersetzung. Anm.: Chronologische Reihenfolge. Die angegebenen Modelle beziehen sich, sofern nicht ausdrücklich anders angegeben, auf Hochbauten und stellen z. T. lediglich Auszüge aus Veröffentlichungen einzelner Autoren dar. Formeln und Formelzeichen wurden in der vorliegenden Darstellung zur Vereinheitlichung z. T. umgeformt bzw. umbenannt.

Fortsetzung Tab. 56	
CHAN (2001), S. 226	$T = K \cdot C^B = 269 \cdot C^{0,32}$ (L.16) *(WE = Mio. MYR)*
CHOUDHURY/RAJAN (2003), S. 6	$T = K \cdot C^B = 18{,}96 \cdot C^{0,39}$ (L.17) *(WE = Tsd. USD)*
LOVE ET AL. (2005), S. 192.	$T = 1{,}7258^{-x_1} \cdot K \cdot C^B = 1{,}7258^{-x_1} \cdot 2{,}2542 \cdot C^{0,345}$ (L.18) *(WE wird in LOVE ET AL. (2005) nicht eindeutig definiert)*
OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 257	Private AG: $T = \begin{cases} 168{,}895 + 0{,}491 \cdot C & wenn: C \leq 557 \\ 709{,}660 + 0{,}884 \cdot C & wenn: C > 557 \end{cases}$ (L.19) Private und öffentliche AG (alle Projekte): $T = \begin{cases} 118{,}563 - 0{,}401 \cdot C & wenn: C \leq 408 \\ 603{,}427 + 0{,}610 \cdot C & wenn: C > 408 \end{cases}$ (L.20) *(WE = Mio. NGN)*
HOFFMAN ET AL. (2007), S. 195 f.	$T = 3{,}44 + 0{,}198C - 0{,}059x_2 - 0{,}07x_3 - 0{,}222x_4 - 0{,}193x_5 - 0{,}0146x_6$ (L.21) *(WE = USD)* $T = K \cdot C^B = 26{,}8 \cdot C^{0,202}$ (L.22) *(WE = Mio. USD)*
ŽUJO/CAR-PUŠIĆ (2008), S. 5	Neubauten: $T = K \cdot C^B = 70 \cdot C^{0,52}$ (L.23) *(WE = Hdt.-Tsd. KM)*
CAR-PUŠIĆ/RADUJKOVIĆ (2009), S. 68	$T = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot K \cdot C^B = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot 88 \cdot C^{0,54}$ (L.24) *(WE = Mio. HRK)*
LE-HOAI/LEE (2009), S. 553, 556	Private AG: $T = K \cdot C^B = 220 \cdot C^{0,267}$ (L.25) $T = 353{,}10 + 8{,}185C - 0{,}055C^2 + 1{,}39^{-4C^3}$ (L.26) Öffentliche AG: $T = K \cdot C^B = 359 \cdot C^{0,166}$ (L.27) $T = 442{,}24 + 7{,}05C - 0{,}042C^2 + 8{,}93^{-5C^3}$ (L.28) *(WE = Mrd. KRW)*
AMEYAW ET AL. (2012), S. 886	Bürogebäude: $T = K \cdot C^B = 344{,}59 \cdot C^{0,684}$ (L.29) *(WE = Tsd. GHC)*
CZARNIGOWSKA/ SOBOTKA (2013), S. 522 f.	$T = K \cdot C^B = 3{,}342 \cdot C^{0,4649}$ (L.30) *(WE = Tsd. PLN)*
RAHMAN ET AL. (2014), S. 16	Private AG: $T = K \cdot C^B = 166 \cdot C^{0,372}$ (L.31) Öffentliche AG: $T = K \cdot C^B = 134 \cdot C^{0,352}$ (L.32) *(WE = Mio. BDT)*
Fortsetzung Tab. 56 auf Folgeseite	

Fortsetzung Tab. 56

SOUSA ET AL. (2014), S. 2	Wasserversorgungsprojekte: $T = K \cdot C^B = 5{,}058 \cdot C^{0{,}457}$ (L.33) Abwasserentsorgungsprojekte: $T = K \cdot C^B = 5{,}998 \cdot C^{0{,}457}$ (L.34) *(WE = Tsd. USD)*
JARKAS (2015), S. 5	Bürogebäude: $T = K \cdot C^B = 7{,}92 \cdot C^{0{,}277}$ (L.35) *(WE = Mio. USD)*

Erläuterungen:

- B – *Verhältnis zwischen genereller Leistung und Projektgröße gemessen an den Kosten [-]*
- C – *Baukosten [WE]*
- K – *generelle Leistung ; Bauzeit pro Währungseinheit [AT/WE; KT/WE] (K in AT/WE sofern nicht anders angegeben)*
- k_1 – *kategoriale Variable; Korrekturfaktor zur Berücksichtigung von Projektänderungen [-] groß = 1,50; mittel = 1,25; klein = 1,00)*
- k_2 – *kategoriale Variable; Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Projektmanagements [-] (exzellent = 0,80; durchschnittlich = 1,00; schlecht= 1,20)*
- k_3 – *kategoriale Variable; Korrekturfaktor zur Berücksichtigung von Finanzierungsproblemen [-] (massiv = 1,35; moderat = 1,05; nein = 1,00)*
- k_4 – *kategoriale Variable; Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Eigentümers [-] (privat = 0,90; kombiniert = 1,0; öffentlich = 1,10)*
- T – *Bauzeit [AT; KT] (in AT sofern nicht anders angegeben)*
- x_1 – *boolesche Variable zur Berücksichtigung der Vergabeart [-]*
- x_2 – *boolesche Variable für Projekte des „Air Combat Command" [-]*
- x_3 – *boolesche Variable für Projekte des „Air Education and Training Command" [-]*
- x_4 – *boolesche Variable für Projekte des „Air Force Special Operations Command" [-]*
- x_5 – *boolesche Variable für Projekte der „Northwestern COE Region" [-]*
- x_6 – *boolesche Variable für Projekte mit eigener Planung [-]*

In BROMILOW (1969) ist die älteste gesichtete Direkte Methode zur Bauzeitermittlung enthalten. BROMILOW (1969) kommt zu dem Schluss, dass die Baukosten die beste Bezugsgröße zur Entwicklung eines RM zur Bauzeitermittlung von Hochbauten in Australien darstellen, da diese im Zusammenhang mit der Komplexität, Qualität und physischen Größe eines Bauobjektes stehen.[681] BROMILOW (1969) schlussfolgerte, dass das entwickelte RM (vgl. Eq. (L.2)) für Architekten, AG und AN in der Baupraxis geeignet ist, um realistische Bauzeiten zu ermitteln.[682]

Die Grundform des RM von BROMILOW (1969) ist in Eq. (L.1) dargestellt und wird in darauffolgenden Veröffentlichungen anderer Autoren als „Bromilow's-Time-Cost-Model" bzw. als „BTC-Model" (in der vorliegenden Arbeit als „BTC-Modell") bezeichnet. Bis heute wurde das BTC-Modell von einer Vielzahl von Autoren hinsichtlich dessen Eignung für Bauprojekte in anderen Ländern untersucht und dabei teilweise bestätigt (vgl. Tab. 56).

[681] Vgl. BROMILOW (1969), S. 73.

[682] Vgl. BROMILOW (1969), S. 77.

In **BROMILOW ET AL. (1980)** wird die Anwendbarkeit des BTC-Modells (vgl. Eq. (L.3) u. Eq. (L.4)) auf den Hochbau in Australien bestätigt,[683] wobei bei der Modellentwicklung öffentliche und private AG differenziert werden, da hieraus eine Steigerung der Modellgenauigkeit resultiert.[684]

Auch von **IRELAND (1985)** wird die Anwendbarkeit des entwickelten BTC-Modells (vgl. Eq. (L.5)) auf Hochbauten in Australien bestätigt.[685] Eine Differenzierung öffentlicher und privater AG wird von IRELAND (1985) bei der Modellentwicklung, im Gegensatz zu BROMILOW ET AL. (1980), nicht berücksichtigt.[686]

KAKA/PRICE (1991) enthält eine Untersuchung zur Anwendbarkeit des BTC-Modells (vgl. Eq. (L.6) u. Eq. (L.7)) auf Hoch- und Straßenbauprojekte in Großbritannien,[687] wobei zusätzliche Parameter hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Bauzeit bei der Modellentwicklung bewertet werden. KAKA/PRICE (1991) kommen zu dem Schluss, dass es bei der Entwicklung des BTC-Modells private und öffentliche AG, Hoch- und Straßenbauprojekte sowie die Vertragsart (Fixed- und Adjusted-Price-Contracts) zu berücksichtigen gilt,[688] wohingegen die Vergabeart (Open-, Selected- und Negotiated Competition) und der Projektstandort die Modellgenauigkeit nicht beeinflussen.[689] KAKA/PRICE (1991) bestätigen die Anwendbarkeit des BTC-Modells zur Bauzeitermittlung auf Projekte öffentlicher AG und Straßenbauprojekte, wohingegen für Baumaßnahmen privater AG nur unzureichende Ergebnisse resultieren.[690]

In **YEONG (1994)** ist eine Studie zur Anwendbarkeit des BTC-Modells auf Hochbauprojekte in Australien und Malaysia enthalten. Neben Neubaumaßnahmen werden hierin auch Instandsetzungs- und Umbaumaßnahmen von Hochbauten berücksichtigt.[691] Im ersten Schritt werden zahlreiche Parameter, wie z. B. Komplexität, Größe, Art des Bauprojekts sowie Vergabe- und Vertragsarten, hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Bauzeit untersucht.[692] Obwohl

[683] Vgl. BROMILOW ET AL. (1980), S. 81.

[684] Vgl. BROMILOW ET AL. (1980), S. 81. Anm.: A. A. z. B. NG ET AL. (2001), wonach eine Unterscheidung öffentlicher und privater AG keinen Einfluss auf die Modellentwicklung hat (vgl. a. a. O., S. 172).

[685] Vgl. IRELAND (1985), S. 75.

[686] Vgl. BROMILOW ET AL. (1980), S. 81.

[687] Vgl. KAKA/PRICE (1991), S. 386.

[688] Vgl. KAKA/PRICE (1991), S. 394.

[689] Vgl. KAKA/PRICE (1991), S. 390, 392. Anm.: A. A. z. B. YEONG (1994) und DURSUN/STOY (2011), wonach der Projektstandort einen signifikanten Einfluss auf die Modellentwicklung hat (vgl. YEONG (1994), S. 129 u. DURSUN/STOY (2011), S. 106).

[690] Vgl. KAKA/PRICE (1991), S. 399 f.

[691] Vgl. YEONG (1994), S. 149.

[692] Für weiterführende Informationen zu den untersuchten Parametern wird auf YEONG (1994), S. 5 ff. verwiesen.

auch andere Parameter die Bauzeit beeinflussen können,[693] kommt YEONG (1994) zu der Schlussfolgerung, dass das entwickelte BTC-Modell (vgl. Eq. (L.8) u. Eq. (L.9)), das den Projektstandort sowie private und öffentliche AG differenziert, zur Bauzeitermittlung geeignet ist.[694]

In **KUMARASWAMY/CHAN (1995)** wird die Anwendbarkeit des BTC-Modells (vgl. Eq. (L.10) u. Eq. (L.11)) und flächenbasierter RM (vgl. Kap. L.1.1.2) auf Hochbauten und Ingenieurbauwerke einschließlich Straßenbauprojekte in Hongkong untersucht. [695] KUMARASWAMY/CHAN (1995) erachten den Zusammenhang zwischen der Bauzeit und den Baukosten zwar als generell unzutreffend, [696] geben allerdings gleichzeitig an, dass das BTC-Modell für die untersuchten Bauprojekte statistisch signifikante Ergebnisse liefert.[697] Weiterhin führen KUMARASWAMY/CHAN (1995) aus, dass das entwickelte flächenbasierte RM die Bauzeit genauer darstellt als das BTC-Modell, sofern dieses auf den tatsächlichen statt geschätzten Baukosten beruht.[698]

CHAN (1999) kommt zu dem Ergebnis, dass das BTC-Modell (vgl. Eq. (L.12) u. Eq. (L.13)) zur objektiven Schätzung angemessener Bauzeiten für Hochbauprojekte in Hongkong geeignet ist, wobei der Modellbildung eine Differenzierung privater und öffentlicher AG zugrunde gelegt wird.[699]

In **NG ET AL. (2001)** werden das BTC-Modell (vgl. Eq. (L.14) u. Eq. (L.15)) und weitere kostenbasierte RM hinsichtlich ihrer Eignung zur Bauzeitermittlung von Hochbauprojekten in Australien untersucht. NG ET AL. (2001) schlussfolgern, dass das BTC-Modell die zutreffendsten Bauzeitprognosen liefert und eine differenzierte Modellentwicklung für industrielle und nicht-industrielle Hochbauprojekte zur Steigerung der Modellgenauigkeit zweckmäßig ist,[700] wohingegen keine nennenswerten Genauigkeitssteigerungen aus der differenzierten

[693] Vgl. YEONG (1994), S. 130.

[694] Vgl. YEONG (1994), S. 129. Anm.: Auch DURSUN/STOY (2011) identifizierten den Projektstandort als entscheidenden Parameter bei der Modellentwicklung (vgl. a. a. O., S. 106). Wohingegen KAKA/PRICE (1991) schlussfolgern, dass der Projektstandort keinen signifikanten Einfluss auf die Modellentwicklung hat (vgl. a. a. O., S. 390).

[695] Vgl. KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 210.

[696] Vgl. KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 210.

[697] Vgl. KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 210 f., 217.

[698] Vgl. KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 211 f., S. 215.

[699] Vgl. CHAN (1999), S. 193, 195.

[700] Vgl. NG ET AL. (2001), S. 165, 172.

Betrachtung von Projekten privater und öffentlicher AG sowie unterschiedlicher Vergabe- und Vertragsarten resultieren.[701]

CHAN (2001) schlussfolgert, dass das BTC-Modell (vgl. Eq. (L.16)) ein geeignetes und anwendbares Werkzeug zur Bauzeitermittlung öffentlicher Hochbauten in Malaysia darstellt, das die in der Baupraxis übliche, erfahrungsbasierte und damit subjektive Bauzeitschätzung durch ein objektives Verfahren ergänzen kann.[702]

CHOUDHURY/RAJAN (2003) kommen für Wohngebäude im US-Bundesstaat Texas zu dem Schluss, dass das BTC-Modell (vgl. Eq. (L.17)) für AG und AN eine objektive und schlüssige Ergänzung zur überwiegend gängigen Praxis der Bauzeitermittlung anhand individueller Erfahrungen darstellt.[703] Gleichzeitig weisen CHOUDHURY/RAJAN (2003) darauf hin, dass neben den Kosten auch andere Faktoren die Bauzeit beeinflussen können, die in der Studie jedoch nicht berücksichtigt werden.[704]

In **LOVE ET AL. (2005)** wird die Anwendbarkeit des BTC-Modells (vgl. Eq. (L.18)) und flächenbasierter RM (vgl. Kap. L.1.1.2) auf Hochbauprojekte in Australien untersucht.[705] Zum Untersuchungsumfang gehören Neubauten, Gebäudemodernisierungen und TGA-Installationen sowie deren Kombinationen.[706] Um diese unterschiedlichen Projektarten sowie verschiedene Vergabearten innerhalb eines Modells zu berücksichtigen, wird das ursprüngliche BTC-Modell um Korrekturfaktoren und zugehörige boolesche Variablen erweitert.[707] LOVE ET AL. (2005) kommen zu dem Schluss, dass die Baukosten ein mangelhaftes Instrument zur Bauzeitschätzung darstellen, auch weil die tatsächlichen Projektkosten erst nach Vollendung des Bauvorhabens feststehen und die Kostenschätzung vor Baubeginn keine sinnvolle Bezugsgröße darstellt, weshalb das BTC-Modell lediglich zur Plausibilitätskontrolle geeignet ist.[708]

Auch in **OGUNSEMI/JAGBORO (2006)** wird die Anwendbarkeit des BTC-Modells und weiterer kostenbasierter RM (vgl. Eq. (L.19) u. Eq. (L.20)) auf Hochbauten in Nigeria untersucht.[709]

---

[701] Vgl. NG ET AL. (2001), S. 172. Anm.: Dies widerspricht beispielsweise den Schlussfolgerungen von BROMILOW ET AL. (1980), KAKA/PRICE (1991), YEONG (1994) und CHAN (1999).

[702] Vgl. CHAN (2001), S. 228.

[703] Vgl. CHOUDHURY/RAJAN (2003), S. 6.

[704] Vgl. CHOUDHURY/RAJAN (2003), S. 2.

[705] Vgl. LOVE ET AL. (2005), S. 188 ff. Anm.: Die untersuchten Projekte wurden aus LOVE (2002) übernommen (vgl. LOVE ET AL. (2005), S. 188).

[706] Vgl. LOVE ET AL. (2005), S. 191.

[707] Vgl. LOVE ET AL. (2005), S. 191 f.

[708] Vgl. LOVE ET AL. (2005), S. 193.

[709] Vgl. OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 257.

OGUNSEMI/JAGBORO (2006) schlussfolgern, dass grundsätzlich eine differenzierte Modellentwicklung für öffentliche und private AG zweckmäßig ist.[710] Allerdings kommen OGUNSEMI/JAGBORO (2006) zu dem Ergebnis, dass das BTC-Modell auf Hochbauten in Nigeria nicht anwendbar ist.[711] Das entwickelte alternative kostenbasierte RM differenziert private und öffentliche AG und enthält jeweils einen Kostengrenzwert für die Anwendung.[712] Eine abschließende Bestätigung der Anwendbarkeit des entwickelten alternativen RM findet nicht statt. Stattdessen geben OGUNSEMI/JAGBORO (2006) lediglich an, dass eine abschließende Bewertung durch die Baupraxis notwendig ist.[713]

HOFFMAN ET AL. (2007) führen aus, dass bei der US-Air-Force für die Kostenschätzung von Baumaßnahmen[714] spezifische Handlungsanweisungen vorliegen, wohingegen die Bauzeitschätzung lediglich anhand von äußerst pauschalen Benchmarks erfolgt.[715] Auswertungen abgeschlossener Bauprojekte zeigen, dass die Bauzeitvorgaben auf Grundlage der Benchmarks zu 72 % überschritten wurden,[716] weshalb HOFFMAN ET AL. (2007) die Anwendbarkeit des BTC-Modells (vgl. Eq. (L.22)) sowie alternativer kostenbasierter RM (vgl. Eq. (L.21)) auf Bauprojekte der US-Air-Force untersuchten.[717]

Obwohl das entwickelte BTC-Modell auf einen generellen statistischen Zusammenhang zwischen der Bauzeit und den Baukosten hindeutet, kann die Vielzahl der vorliegenden projektspezifischen Randbedingungen (z. B. Projektstandorte und -arten) vom BTC-Modell nicht berücksichtigt werden.[718] HOFFMAN ET AL. (2007) entwickelten daher ein kostenbasiertes RM, das diese Randbedingungen mittels boolescher Variablen berücksichtigt und kommen zu dem Schluss, dass dieses zur Schätzung angemessener Ausführungsdauern von Baumaßnahmen geeigneter ist als das ausschließlich kostenbasierte BTC-Modell.[719]

---

[710] Vgl. OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 255.

[711] Vgl. OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 256.

[712] Vgl. OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 257.

[713] Vgl. OGUNSEMI/JAGBORO (2006), S. 257.

[714] Welche Arten von Baumaßnahmen oder Bauwerkstypen genau untersucht wurden, wird in HOFFMAN ET AL. (2007) nicht näher spezifiziert. Der verwendete Begriff „Facility Project" (vgl. z. B. a. a. O., S. 193) wird in der vorliegenden Arbeit daher als „Baumaßnahme" oder „Bauprojekt" bezeichnet.

[715] Vgl. HOFFMAN ET AL. (2007), S. 193. Anm.: Für Bauprojekte mit geschätzten Kosten bis 5 Mio. USD wird eine Bauzeit von 365 Tagen, von 5 bis 20 Mio. USD von 540 Tagen und über 20 Mio. USD von 730 Tagen in Ansatz gebracht (vgl. ebd.).

[716] Vgl. HOFFMAN ET AL. (2007), S. 194.

[717] Vgl. HOFFMAN ET AL. (2007), S. 195.

[718] Vgl. HOFFMAN ET AL. (2007), S. 195, 198.

[719] Vgl. HOFFMAN ET AL. (2007), S. 198.

ŽUJO/CAR-PUŠIĆ (2008) bestätigen die Anwendbarkeit des BTC-Modells (vgl. Eq. (L.23)) auf Neubau- und Instandsetzungsprojekte des Hochbaus in Bosnien und Herzegowina. [720]

CAR-PUŠIĆ/RADUJKOVIĆ (2009) bestätigen die Anwendbarkeit des BTC-Modells auf Wohn- und Geschäftsgebäude sowie den Straßenbau in Kroatien und ergänzen dieses durch verschiedene Korrekturfaktoren, die die Berücksichtigung verschiedener Projektrisiken ermöglichen (vgl. Eq. (L.24)).[721]

In **LE-HOAI/LEE (2009)** wird die Anwendbarkeit des BTC-Modells (vgl. Eq. (L.25) u. Eq. (L.27)) und alternativer kostenbasierter RM (vgl. Eq. (L.26) u. Eq. (L.28)) auf Hochbauprojekte in Südkorea untersucht, wobei die Modellentwicklung hinsichtlich der Gebäudetypologie, privater und öffentlicher AG sowie unterschiedlicher Vergabearten differenziert wird.[722] LE-HOAI/LEE (2009) bestätigen zwar die Anwendbarkeit des BTC-Modells, kommen allerdings zu dem Schluss, dass die entwickelten alternativen kostenbasierten RM besser geeignet sind, um den Zusammenhang zwischen den Baukosten und der Bauzeit darzustellen.[723]

In **AMEYAW ET AL. (2012)** wird die Anwendbarkeit des BTC-Modells (vgl. Eq. (L.29)) auf Hochbauprojekte in Ghana untersucht. AMEYAW ET AL. (2012) schlussfolgern, dass das BTC-Modell lediglich für Bürogebäude hinreichend exakte Ergebnisse liefert, wohingegen für Bildungseinrichtungen, Wohngebäuden und der Kombination aller Projekte große Diskrepanzen resultieren.[724] Zusammenfassend wird das BTC-Modell von AMEYAW ET AL. (2012) für die ghanaische Bauindustrie als nicht anwendbar eingestuft.[725]

CZARNIGOWSKA/SOBOTKA (2013) kommen zu dem Schluss, dass das BTC-Modell (vgl. Eq. (L.30)) aufgrund seiner Ungenauigkeit, für die Bauzeitermittlung von Neubauten, Instandsetzungen und Modernisierungen von Straßenbauwerken in Polen, ungeeignet ist, obwohl die statistische Genauigkeit des BTC-Modells nachgewiesen werden konnte.[726]

In **RAHMAN ET AL. (2014)** wird die Anwendbarkeit des BTC-Modells (vgl. Eq. (L.31) u. Eq. (L.32)) auf Hochbauprojekte in Bangladesch untersucht und die gewonnen Ergebnisse darüber hinaus den Resultaten fünf weiterer kostenbasierten RM gegenübergestellt. [727] RAHMAN ET AL. (2014) führen aus, dass bei der Modellentwicklung eine differenzierte Be-

[720] Vgl. ŽUJO/CAR-PUŠIĆ (2008), S. 6.

[721] Vgl. CAR-PUŠIĆ/RADUJKOVIĆ (2009), S. 63, 69.

[722] Vgl. LE-HOAI/LEE (2009), S. 553, 556.

[723] Vgl. LE-HOAI/LEE (2009), S. 557.

[724] Vgl. AMEYAW ET AL. (2012), S. 886.

[725] Vgl. AMEYAW ET AL. (2012), S. 886.

[726] Vgl. CZARNIGOWSKA/SOBOTKA (2013), S. 525.

[727] Vgl. RAHMAN ET AL. (2014), S. 17.

trachtung privater und öffentlicher AG sowie unterschiedlicher Projekttypen und Vergabeverfahren zweckmäßig ist.[728] Zusammenfassend bestätigen RAHMAN ET AL. (2014) zwar die Anwendbarkeit des BTC-Modells, weisen allerdings gleichzeitig darauf hin, dass die übrigen kostenbasierten RM ausnahmslos exaktere Ergebnisse liefern.[729]

SOUSA ET AL. (2014) kommen zu dem Schluss, dass ein nach Projekttypen differenziertes BTC-Modell (vgl. Eq. (L.33) u. Eq. (L.34)) geeignet ist, um anhand der geschätzten Baukosten eine verlässliche Bauzeitermittlung für Bauprojekte der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in der US-Stadt Chicago (Illinois) durchzuführen.[730]

JARKAS (2015) schlussfolgert, dass das BTC-Modell (vgl. Eq. (L.35)) für die Bauzeitermittlung von Wohn- und Bürogebäude in Kuwait zwar geeignet ist, allerdings nicht die Genauigkeit des entwickelten flächenbasierten RM (vgl. Kap. L.1.1.2) bietet.[731]

L.1.1.2 Flächenbasierte Regressionsmodelle

Flächenbasierte RM suggerieren einen direkten Zusammenhang zwischen der Bauzeit und der Grundfläche einer Baumaßnahme,[732] der durch eine mathematische Funktion in Form eines RM darstellbar ist.

Die Darstellung der gesichteten Veröffentlichungen der flächenbasierten RM, die in Tab. 57 zusammengefasst sind und neben Flächen teilweise auch die Anzahl der Geschosse berücksichtigen, erfolgt in chronologischer Reihenfolge.

In **KUMARASWAMY/CHAN (1995)** wird neben der Eignung des BTC-Modells zur Bauzeitermittlung (vgl. Kap. L.1.1.1) auch die Anwendbarkeit flächenbasierter RM auf Hochbauten und Ingenieurbauwerke einschließlich Straßenbauprojekte in Hongkong untersucht.[733] Obwohl ausgeführt wird, dass auch eine Vielzahl weiterer Faktoren die Bauzeit beeinflusst, bezieht sich das entwickelte flächenbasierte RM (vgl. Eq. (L.37) u. Eq. (L.38)) einzig auf die Floor Area[734], wobei differenzierte Modelle für private und öffentliche AG sowie die Gebäudetypo-

[728] Vgl. RAHMAN ET AL. (2014), S. 16. Anm.: Eine Differenzierung privater und öffentlicher AG bei der Modellentwicklung wird z. B. auch von OGUNSEMI/JAGBORO (2006) für notwendig erachtet (vgl. a. a. O., S. 257).

[729] Vgl. RAHMAN ET AL. (2014), S. 17 f.

[730] Vgl. SOUSA ET AL. (2014), S. 4.

[731] Vgl. JARKAS (2015), S. 6 f.

[732] Im Gegensatz dazu wird in JARKAS (2015) die „Construction Area“ als Bezugsgröße verwendet (vgl. Tab. 57). Die Definition des Begriffs „Construction Area“ ergibt sich aus dem Glossar.

[733] Vgl. KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 210.

[734] Die Definition des Begriffs „Floor Area“ ergibt sich aus dem Glossar.

logie vorliegen.[735] KUMARASWAMY/CHAN (1995) schlussfolgern, dass das entwickelte flächenbasierte RM, obwohl Qualitätsstufen der Ausführung im Gegensatz zum BTC-Modell unberücksichtigt bleiben,[736] die Bauzeit genauer darstellt als das BTC-Modell, sofern dieses auf den tatsächlichen statt geschätzten Baukosten beruht.[737]

Tab. 57: Flächenbasierte Regressionsmodelle (Übersicht)[738]

Quelle	Regressionsmodell
KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 215	$T = L \cdot A^{M}$ (L.36) Private AG, Gewerbebau: $T = 177{,}4 \cdot A^{0{,}125}$ (L.37) Öffentliche AG, Nicht-Wohnbauten: $T = 51{,}6 \cdot A^{0{,}268}$ (L.38) *(FE = Floor Area)*
LOVE ET AL. (2005), S. 193	$T = 1.506{,}607 \cdot A^{0{,}274} \cdot n_F^{0{,}142}$ (L.39) *(FE = GFA)*
JARKAS (2015), S. 6	$T = 453{,}97 + 0{,}0103 \cdot A + 1{,}92 \cdot n_{FAG} + 58{,}54 \cdot n_{FBG}$ (L.40) *(FE = CA)*

Erläuterungen:

- A – *Fläche [m²FE]*
- L – *generelle Leistung ; Bauzeit pro Flächeneinheit [AT/m²FE]*
- M – *Verhältnis zwischen genereller Leistung und Projektgröße gemessen an der Fläche [-]*
- n_F – *Geschossanzahl [-]*
- n_{FAG} – *Anzahl oberirdischer Geschosse ("Number of Floors Above Ground") [-]*
- n_{FBG} – *Anzahl unterirdischer Geschosse ("Number Of Floors Below Ground") [-]*
- T – *Bauzeit [AT]*

In **LOVE ET AL. (2005)** wird die Anwendbarkeit des BTC-Modells (vgl. Kap. L.1.1.1) und flächenbasierter RM (vgl. Eq. (L.39)) auf Hochbauprojekte in Australien untersucht.[739] LOVE ET AL. (2005) identifizieren die Gross Floor Area[740] (GFA) und Geschossanzahl als wichtige Indikatoren zur Bauzeitermittlung, wohingegen die Baukosten als mangelhaftes Instrument zur Bauzeitermittlung bezeichnet werden.[741]

In **JARKAS (2015)** wird neben der Eignung des BTC-Modells (vgl. Kap. L.1.1.1) auch die Anwendbarkeit flächenbasierter RM (vgl. Eq. (L.40)) zur Bauzeitermittlung auf Hochbauprojekte

[735] Vgl. KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 210 f.

[736] Vgl. KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 217.

[737] Vgl. KUMARASWAMY/CHAN (1995), S. 211 f., 215.

[738] Eigene Darstellung und Übersetzung. Anm.: Chronologische Reihenfolge. Die angegebenen Modelle beziehen sich auf Hochbauten und stellen z. T. lediglich Auszüge aus Veröffentlichungen einzelner Autoren dar. Formeln und Formelzeichen wurden in der vorliegenden Darstellung zur Vereinheitlichung z. T. umgeformt bzw. umbenannt.

[739] Vgl. LOVE ET AL. (2005), S. 188 ff. Anm.: Die untersuchten Projekte wurden aus LOVE (2002) übernommen (vgl. LOVE ET AL. (2005), S. 188).

[740] Die Definition des Begriffs „Gross Floor Area“ ergibt sich aus dem Glossar.

[741] Vgl. LOVE ET AL. (2005), S. 193.

in Kuwait untersucht.[742] JARKAS (2015) kommt zu dem Schluss, dass das entwickelte flächenbasierte RM, das auf der CA und der Anzahl unter- und oberirdischer Geschosse beruht,[743] eine hinreichende Genauigkeit liefert, um in der kuwaitischen Bauwirtschaft angewendet werden zu können, z. B. um im Rahmen des Claim-Managements unrealistische Bauzeitvorgaben zu identifizieren.[744]

L.1.1.3 Multiple Regressionsmodelle

Multiple RM suggerieren einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Bauzeit und mehreren Variablen des geplanten Bauwerks, der durch eine mathematische Funktion in Form eines RM darstellbar ist.

Die Darstellung der gesichteten Veröffentlichungen der multiplen RM, die in Tab. 58 zusammengefasst sind, erfolgt in chronologischer Reihenfolge.

In **STOY ET AL. (2007)** werden unterschiedliche Projektparameter hinsichtlich ihres Einflusses auf die Bauzeit untersucht und in ein multiples RM (vgl. Eq. (L.41)) für Wohnbauprojekte in Deutschland überführt.[745] Die Gross External Floor Area (GEFA), als Indikator für die physische Größe des Bauvorhabens, und der Projektstandard, der als Verhältnis der Baukosten und GEFA definiert wird, werden von STOY ET AL. (2007) als signifikante Parameter zur Bauzeitschätzung identifiziert.[746] Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass zur abschließenden Verifizierung des entwickelten RM weitere Untersuchungen größeren Umfangs und unter Berücksichtigung weiterer Parameter, wie z. B. der Projektkomplexität, notwendig sind.[747]

Auch in **GUERRERO ET AL. (2014)** werden unterschiedliche Projektparameter hinsichtlich ihres Einflusses auf die Bauzeit untersucht und in ein multiples RM (vgl. Eq. (L.42)) für Hochbauprojekte in Spanien überführt, das auf der GFA, der Geschossanzahl, den Baukosten und der Gebäudeart beruht.[748] GUERRERO ET AL. (2014) schlussfolgern, dass sowohl die Baukosten als auch die Grundfläche wichtige Parameter zur Bauzeitermittlung darstellen und deren Kombination zur Beschreibung des Projektstandards die Modellexaktheit steigert.[749] Auf

[742] Vgl. JARKAS (2015), S. 1, 3 ff.

[743] Vgl. JARKAS (2015), S. 4 ff.

[744] Vgl. JARKAS (2015), S. 7.

[745] Vgl. STOY ET AL. (2007), S. 56 ff.

[746] Vgl. STOY ET AL. (2007), S. 60.

[747] Vgl. STOY ET AL. (2007), S. 62 f.

[748] Vgl. GUERRERO ET AL. (2014), S. 862 f., 872.

[749] Vgl. GUERRERO ET AL. (2014), S. 872. Anm.: Der Projektstandard, den STOY ET AL. (2007) als Quotienten aus Baukosten und GEFA beschreiben, wurde von GUERRERO ET AL. (2014) in ihrer Ausarbeitung übernommen (vgl. GUERRERO ET AL. (2014), S. 863 i. V. m. STOY ET AL. (2007), S. 60).

Grundlage der ersten Anwendung des entwickelten RM schlussfolgern GUERRERO ET AL. (2014) allerdings, dass dieses für die Baupraxis ungeeignet ist, da nicht alle Parameterkombinationen zutreffende Ergebnisse liefern.[750]

Tab. 58: Multiple Regressionsmodelle (Übersicht)[751]

Quelle	Regressionsmodell
STOY ET AL. (2007), S. 60	$T^* = exp\left(4{,}753 + 0{,}0002 \cdot A - 0{,}001 \cdot \frac{C}{A}\right)$ (L.41) *(FE = GEFA)*
GUERRERO ET AL. (2014), S. 872	$T = 0{,}474 \cdot A^{0{,}148} \cdot n_F^{0{,}120} \cdot \left(\frac{C}{A}\right)^{0{,}359} \cdot k_T$ (L.42) *(FE = GFA)*
AHMADU ET AL. (2015), S. 80	Private AG: $T = 140{,}82 \cdot 1{,}033^6 \cdot C^{0{,}021} \cdot {y_1}^{0{,}004} \cdot A^{0{,}0265} \cdot {y_2}^{0{,}037} \cdot {y_3}^{0{,}0113} \cdot {y_4}^{0{,}0119}$ (L.43) *(T in AT, FE = GFA)*

Erläuterungen:

- A – *Fläche [m²FE]*
- C – *Baukosten [EUR]*
- n_F – *Geschossanzahl [-]*
- k_T – *kategoriale Variable; Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Gebäudetyps [-] (z. B. für Büro- und Gewerbebauten = 0,687)*
- T – *Bauzeit [Mo.; AT] (in Mo. sofern nicht anders angegeben)*
- T^* – *Baugeschwindigkeit [m²GEFA/Mo.]*
- y_1 – *Variable zur Berücksichtigung verspäteter Zahlungen [AT]*
- y_2 – *Variable zur Berücksichtigung verspäteter Bearbeitung und Freigabe der Planung [AT]*
- y_3 – *Variable zur Berücksichtigung verspäteter Übergabe des Baufeldes [AT]*
- y_4 – *Variable zur Berücksichtigung von Änderungsanordnungen [AT]*

In AHMADU ET AL. (2015) werden neben den Baukosten und der GFA auch zahlreiche qualitative Projektparameter hinsichtlich ihres Einflusses auf die Bauzeit von Hochbaumaßnahmen in Nigeria untersucht und in ein multiples RM (vgl. Eq. (L.43)) überführt.[752] AHMADU ET AL. (2015) bestätigen die Baukosten und GFA sowie die berücksichtigten qualitativen Projektparameter als geeignete Indikatoren zur Bauzeitermittlung und schlussfolgern, dass das entwickelte RM ein brauchbares und handhabbares Werkzeug zur Bauzeitermittlung darstellt.[753]

L.1.1.4 Alternative Ansätze

In NGUYEN ET AL. (2013) wird ein Verfahren zur Bauzeitermittlung in frühen Planungsphasen für Wohnbauten in Vietnam vorgestellt, dem für gleiche Bauwerkstypen bei identischen Bau-

[750] Vgl. GUERRERO ET AL. (2014), S. 872.

[751] Eigene Darstellung und Übersetzung. Anm.: Chronologische Reihenfolge. Die angegebenen Modelle beziehen sich auf Hochbauten und stellen z. T. lediglich Auszüge aus Veröffentlichungen einzelner Autoren dar. Formeln und Formelzeichen wurden in der vorliegenden Darstellung zur Vereinheitlichung z. T. umgeformt bzw. umbenannt.

[752] Vgl. AHMADU ET AL. (2015), S. 80.

[753] Vgl. AHMADU ET AL. (2015), S. 78, 82.

weisen und Bauverfahren analoge kritische Vorgänge[754] unterstellt werden.[755] Da Überlappungen kritischer Vorgänge verhindern, dass die Gesamt-Bauzeit aus der Summe der einzelnen Dauern der kritischen Vorgänge bestimmt werden kann, werden der Bauzeitermittlung ausschließlich die nicht überlappenden Zeitanteile der einzelnen kritischen Vorgänge zugrunde gelegt (vgl. Abb. 99).[756]

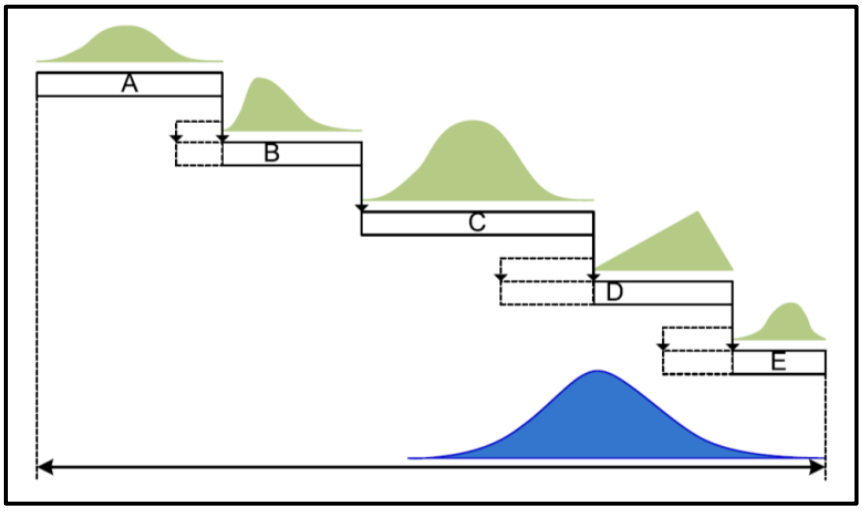


Abb. 99: Schema der Bauzeitermittlung nach NGUYEN ET AL. (2013)[757]

Die Bestimmung der Vorgangsdauern in AT, der insgesamt sechs identifizierten kritischen Vorgänge, erfolgt auf der Grundlage einfacher Bezugsgrößen (z. B. Grundflächen).[758] NGUYEN ET AL. (2013) verwenden das entwickelte Simulationsmodell zur Bauzeitermittlung eines 25-geschossigen Wohngebäudes und schlussfolgern, dass dieses angemessene Ergebnisse liefert.[759]

L.1.2 Indirekte Methoden

Die vorwiegend verwendete Bezugsgröße Indirekter Methoden stellt der BRI dar. Neben dem BRI, werden von GREINER ET AL. (2009) die BGF und NUF aber auch die Anzahl von Arbeitsplätzen, Krankenhausbetten u. ä. als mögliche Bezugsgrößen der Bauzeitermittlung angegeben.[760]

---

[754] Die Definition des Begriffs „kritischer Vorgang“ ergibt sich aus dem Glossar.

[755] Vgl. NGUYEN ET AL. (2013), S. 953 f.

[756] Vgl. NGUYEN ET AL. (2013), S. 953 ff.

[757] NGUYEN ET AL. (2013), S. 954.

[758] Vgl. NGUYEN ET AL. (2013), S. 955.

[759] Vgl. NGUYEN ET AL. (2013), S. 958.

[760] Vgl. GREINER ET AL. (2009),S. 121 f.

In den gesichteten deutschsprachigen Veröffentlichungen finden sich ausschließlich Indirekte Methoden zur ressourcenabhängigen Bauzeitermittlung. Deutschsprachige Lehr- und Fachbücher beschränken sich auf Kennzahlen, Aufwandsfunktionen und Diagramme, aus denen Gesamt-Aufwandswerte zur Bestimmung des Gesamt-Arbeitsaufwands der Rohbauarbeiten abgeleitet werden können. In GREITEMANN (2017) wird ein Verfahren zur Bauzeitermittlung, aber erst zum Zeitpunkt der Realisierungsentscheidung (= LPH 3), vorgestellt (vgl. Kap. L.1.2.4).[761] Kostenbasierte Methoden zur Bauzeitschätzung, die in der englischsprachigen Literatur den Regelfall darstellen (vgl. Kap. L.1.1), konnten im Rahmen der deutschsprachigen Literaturrecherche nicht ermittelt werden.[762]

Die Gliederung Indirekter Methoden ergibt sich aus Abb. 10.

L.1.2.1 Kennzahlen

In **DREES/SPRANZ (1976)** sind Kennzahlen zur Bestimmung der Rohbaudauer in Ah pro m³BRI angegeben, die auf neun ausgewerteten Hochbauprojekten beruhen (vgl. Abb. 100).

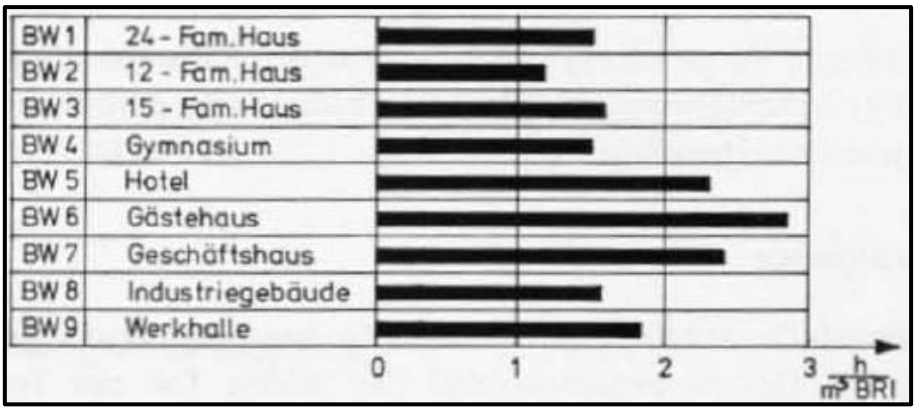


Abb. 100: Kennzahlen zur Bauzeitermittlung nach DREES/SPRANZ (1976)[763]

BAUCH (2004) hat Kennzahlen veröffentlicht, wonach der Gesamt-Arbeitsaufwand für Rohbauarbeiten je nach Schwierigkeitsgrad mit 0,50 bis 1,80 Ah pro m³BRI angenommen werden kann.[764] Der untere Grenzwert kann für Bauobjekte mit geringerem Schwierigkeitsgrad, massigen Bauteilen sowie hohen Baumassen und der obere Grenzwert für Bauobjekte mit hohem Schwierigkeitsgrad, filigranen Bauteilen sowie geringen Baumassen in Ansatz gebracht werden. [765]

---

[761] Vgl. GREITEMANN (2017), S. 7.

[762] Eine Ausnahme bildet der kosten- bzw. honorarbasierte Ansatz zur Bestimmung der Planungsdauer nach GREINER ET AL. (2009) (vgl. a. a. O., S. 153 f.).

[763] DREES/SPRANZ (1976), S. 87.

[764] Vgl. BAUCH (2004), S. 78.

[765] Vgl. BAUCH (2004), S. 78.

L.1.2.2 Aufwandsfunktionen

HRUSCHKA (1969) stellte für die damals üblichen Fertigungsverfahren fest, dass der benötigte Aufwand zur Verarbeitung der Baustoffe im Rohbau pro Gewichtseinheit unabhängig von der Materialart und somit annährend konstant ist, wenn das Bauobjekt überwiegend in Massivbauweise und Ortfertigung hergestellt wird.[766] Von HRUSCHKA (1969) wird aus diesem Zusammenhang folgende Aufwandsfunktion zur Ermittlung des Gesamt-Aufwandswerts der Rohbauarbeiten (w_{RB}) abgeleitet, wobei g_{BS} das verbaute Baustoffgewicht in Megapond pro m³BRI repräsentiert:[767]

$$w_{RB}\left[\frac{Ah}{m^3 BRI}\right] = 0{,}68 + 3{,}88 \cdot g_{BS} \tag{L.44}$$

Zur Bestimmung des verbauten Baustoffgewichts sind in HRUSCHKA (1969) des Weiteren vereinfachte Ansätze angegeben, um die Anwendung der entwickelten Aufwandsfunktion in der Baupraxis zu erleichtern.[768] Außerdem gibt HRUSCHKA (1969) für Rohbauarbeiten einen mittleren Aufwandswert von 2,61 Ah pro m³BRI an.[769]

Nach **PLATZ (1982)** kann der Gesamt-Aufwandswert für Stahlbetonarbeiten (w_{Stb}) über die folgende „ursprüngliche“[770] Aufwandsfunktion bestimmt werden:[771]

$$w_{Stb}\left[\frac{Ah}{m^3 BRI}\right] = a_F \cdot (a_{s,ges} \cdot w_S + a_{Bew,ges} \cdot w_{Bew} + w_B) \cdot z_{BE} \tag{L.45}$$

In Eq. (L.45) repräsentieren a_F den Feststoffanteil in m³Beton pro m³BRI, $a_{S,ges}$ und $a_{Bew,ges}$ die Gesamt-Schalungs- bzw. Bewehrungsanteile des Gebäudes in m² bzw. t pro m³Beton, z_{BE} einen Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Baustelleneinrichtung, Baustellenräumung und sonstiger Arbeiten sowie w_S, w_{Bew} und w_B die Aufwandswerte für die Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten in Ah pro m², t bzw. m³Beton.[772]

PLATZ (1982) führt aus, dass die Aufwandswerte von Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten sowie die Schalungs- und Bewehrungsanteile aufgrund ihrer geringen Streuung durch

---

[766] Vgl. HRUSCHKA (1969), Abschn. 3.32.

[767] Vgl. HRUSCHKA (1969), Abschn. 3.32. Anm.: Die Formelzeichen wurden in der vorliegenden Darstellung zur Vereinheitlichung umbenannt.

[768] Vgl. HRUSCHKA (1969), Abschn. 3.32.

[769] Vgl. HRUSCHKA (1969), Abschn. 3.32.

[770] „Ursprünglich“, da im Gegensatz zur „vereinfachten“ Aufwandsfunktion, keine mittleren Aufwandswerte für verschiedene Bauprozesse in Ansatz gebraht werden.

[771] Vgl. PLATZ (1982), S. 97. Anm.: Die Formel und Formelzeichen wurden in der vorliegenden Darstellung zur Vereinfachung und Vereinheitlichung teilweise umgeformt bzw. umbenannt.

[772] Vgl. PLATZ (1982), S. 97. Anm.: Der Minimalwert des Zuschlagsfaktors beträgt i. d. R. 1,27, der Durchschnittswert i. d. R. 1,40 und der Maximalwert i. d. R. 1,53 (vgl. ebd.).

übliche Mittelwerte ersetzt werden können, um die dargestellte Aufwandsfunktion in Eq. (L.45) zu vereinfachen.[773] Die von PLATZ (1982) vorgestellte vereinfachte Aufwandsfunktion stellt sich wie folgt dar:[774]

$$w_{Stb}\left[\frac{Ah}{m^3 BRI}\right] = a_F \cdot (1{,}50 \cdot a_{s,ges} + 4{,}0) \cdot z_{BE} \tag{L.46}$$

Laut PLATZ (1982) dient die entwickelte vereinfachte Aufwandsfunktion in Eq. (L.46) der Kalkulation und Kostenplanung,[775] weshalb mögliche Randzeiten entsprechend mitberücksichtigt werden und zur Bauzeitermittlung herausgerechnet werden müssen (vgl. Kap. C.4.1.1).

Zur Ermittlung des Feststoffanteils werden von PLATZ (1982) des Weiteren Näherungsformeln für unter- und oberirdische Geschosse, in Abhängigkeit von der mittleren Geschosshöhe[776], angegeben.

GREINER ET AL. (2009) haben die ursprüngliche Aufwandsfunktion von PLATZ (1982) (vgl. Eq. (L.45)) übernommen und durch die Festlegung entsprechender Mittelwerte für die Aufwandswerte von Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten sowie die Feststoff- und Bewehrungsanteile ebenfalls eine vereinfachte Aufwandsfunktion zur Ermittlung des Gesamt-Aufwandswerts von Stahlbetonarbeiten ermittelt.[777] Diese stellt sich wie folgt dar:[778]

$$w_{Stb}\left[\frac{Ah}{m^3 BRI}\right] = 0{,}12 \cdot (a_{s,ges} + 3{,}40) \tag{L.47}$$

Zur genaueren Ermittlung des Gesamt-Aufwandswerts von Stahlbetonarbeiten auf Grundlage der ursprünglichen Aufwandsfunktion (vgl. Eq. (L.45)), werden von GREINER ET AL. (2009) darüber hinaus Zeitbedarfsfunktionen vorgestellt, die zur vereinfachten Ermittlung der Aufwandswerte für die Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten sowie Feststoff-, Bewehrungs- und Schalungsanteile verwendet werden können.[779] Die Zeitbedarfsfunktion für das Verlegen von Bewehrung (Stabstahl) wird z. B. wie folgt angegeben:[780]

$$w_{Bew,verl} = 38 - 0{,}75 \cdot d_{Bew,Stab} \cdot \left(100 - d_{Bew,Stab}\right) - 100 \cdot m_{Bew,Stab} \tag{L.48}$$

---

[773] Vgl. PLATZ (1982), S. 97.

[774] Vgl. PLATZ (1982), S. 97.

[775] Vgl. PLATZ (1982), S. 101.

[776] Die Definition des Begriffs „Geschosshöhe“ ergibt sich aus dem Glossar.

[777] Vgl. GREINER ET AL. (2009), S. 155 i. V. m. PLATZ (1982), S. 97.

[778] Vgl. GREINER ET AL. (2009), S. 156. Anm.: Die Formelzeichen wurden in der vorliegenden Darstellung zur Vereinheitlichung teilweise umbenannt.

[779] Vgl. GREINER ET AL. (2009), S. 155 ff.

[780] Vgl. GREINER ET AL. (2009), S. 158. Anm.: Die Formelzeichen wurden in der vorliegenden Darstellung zur Vereinheitlichung umbenannt.

In Eq. (L.48) repräsentieren $w_{Bew,verl}$ den Aufwandswert für das Verlegen von Stabbewehrung in Ah pro t, $d_{Bew,Stab}$ den Stabstahl-Durchmesser in mm und $m_{Bew,Stab}$ einen Beiwert zur Berücksichtigung der Bauteilschwierigkeit ohne Einheit.[781]

KOCHENDÖRFER ET AL. (2010) haben die vereinfachte Aufwandsfunktion zur Ermittlung des Gesamt-Aufwandswerts von PLATZ (1982) (vgl. Eq. (L.45)) übernommen und geben ergänzend eine Näherungsformel zur Berechnung des Feststoffanteils unter- und oberirdischer Geschosse auf Grundlage der mittleren Geschosshöhe an.[782]

Zur erleichterten Anwendung der Aufwandsfunktion wurde von KOCHENDÖRFER ET AL. (2010) weiterhin ein Diagramm erarbeitet, das in Abb. 101 dargestellt ist. Hierin repräsentieren h_0/h_m das Verhältnis zwischen der mittleren lichten Geschosshöhe und der mittleren Geschosshöhe und v das Verhältnis zwischen der KGF und der BGF.[783]

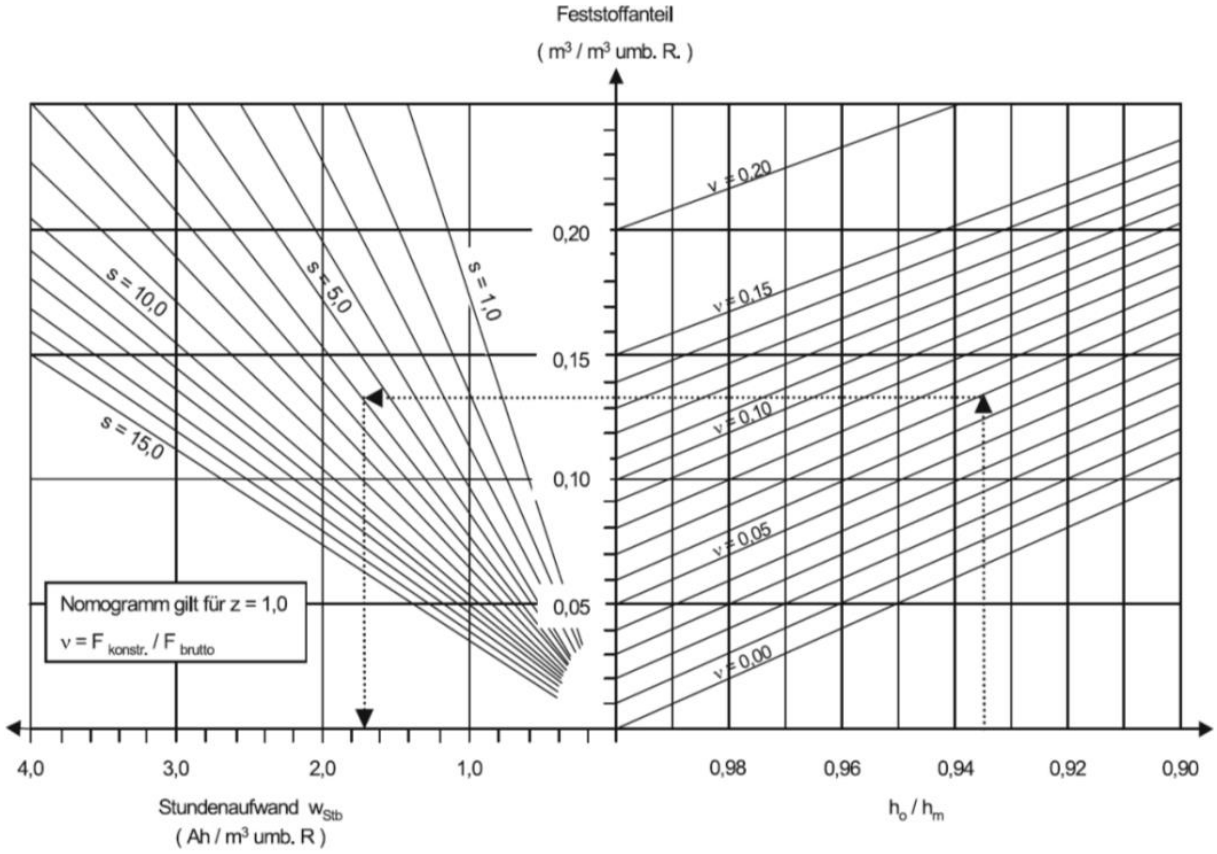


Abb. 101: Diagramm zur Bauzeitermittlung nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010)[784]

[781] Vgl. GREINER ET AL. (2009), S. 158. Anm.: Die angegebenen Beiwerte zur Berücksichtigung der Bauteilschwierigkeit reichen von $m_{Bew,Stab} = 1$ für Einzel- und Streifenfundamente bis $m_{Bew,Stab} = 7$ für stabförmig senkrechte Bauteile (vgl. a. a. O., S. 158).

[782] Vgl. KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 119 i. V. m. PLATZ (1982), S. 97.

[783] Vgl. KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 120.

[784] KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 120.

L.1.2.3 Graphische Verfahren

In **HOFSTADLER (2007)** sind Diagramme enthalten, die auf Grundlage eines mittleren Aufwandswerts für die Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten in Ah pro m³BRI, der Anzahl an AK und der täglichen Arbeitszeit, die Bestimmung der Dauer von Rohbau- bzw. Stahlbetonarbeiten ermöglichen.[785]

Je nach Informationsstand können als Bezugsgrößen der Bauzeitermittlung der BRI oder das Betonvolumen verwendet werden (vgl. Abb. 102 und Abb. 103).[786]

Obwohl die Anwendungsmöglichkeiten der in Abb. 102 und Abb. 103 dargestellten Diagramme nach HOFSTADLER (2007) vielfältig sind,[787] beschränkt sich die nachfolgende Erläuterung zur Anwendung der Diagramme ausschließlich auf die Bauzeitermittlung und wird hinsichtlich der jeweiligen Quadranten differenziert:[788]

- *I. Quadrant:* Auf der Abszisse sind mittlere Aufwandswerte für die Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten in Ah pro m³BRI bzw. Ah pro m³Beton und auf der Ordinate die stündliche Arbeitsleistung in m³BRI bzw. m³Beton pro Ah angegeben. Die enthaltenen Kurven repräsentieren die Anzahl an AK.

  Vom mittleren Aufwandswert auf der Abszisse wird eine vertikale Linie bis zur entsprechenden Kurve der Anzahl an AK eingezeichnet. Von diesem Schnittpunkt wird eine Horizontale bis zur Ordinate gezeichnet, aus der die stündliche Arbeitsleistung resultiert.

- *II. Quadrant:* Auf der Ordinate ist die stündliche Arbeitsleistung und auf der Abszisse die tägliche Arbeitsleistung in m³BRI bzw. m³Beton pro Ah angegeben. Die enthaltenen Geraden repräsentieren die tägliche Arbeitszeit.

  Vom Ordinatenwert wird eine horizontale Linie bis zur entsprechenden Geraden der täglichen Arbeitszeit eingezeichnet. Von diesem Schnittpunkt wird eine Vertikale bis zur Abszisse gezeichnet, aus der die tägliche Arbeitsleistung resultiert.

---

[785] Vgl. HOFSTADLER (2007), S. 217 ff., 224 ff. Anm.: In HOFSTADLER (2007) ist weiterhin ein Diagramm zur Ermittlung des mittleren Aufwandswerts für die Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten angegeben (a. a. O., S. 112 ff.).

[786] Vgl. HOFSTADLER (2007), S. 220, 227.

[787] Vgl. HOFSTADLER (2007), S. 218 f. Anm.: In HOFSTADLER (2007) ist eine umfassende Erläuterung des Diagramms angegeben (vgl. a. a. O., S. 219 ff.).

[788] Vgl. HOFSTADLER (2007), S. 219 ff.

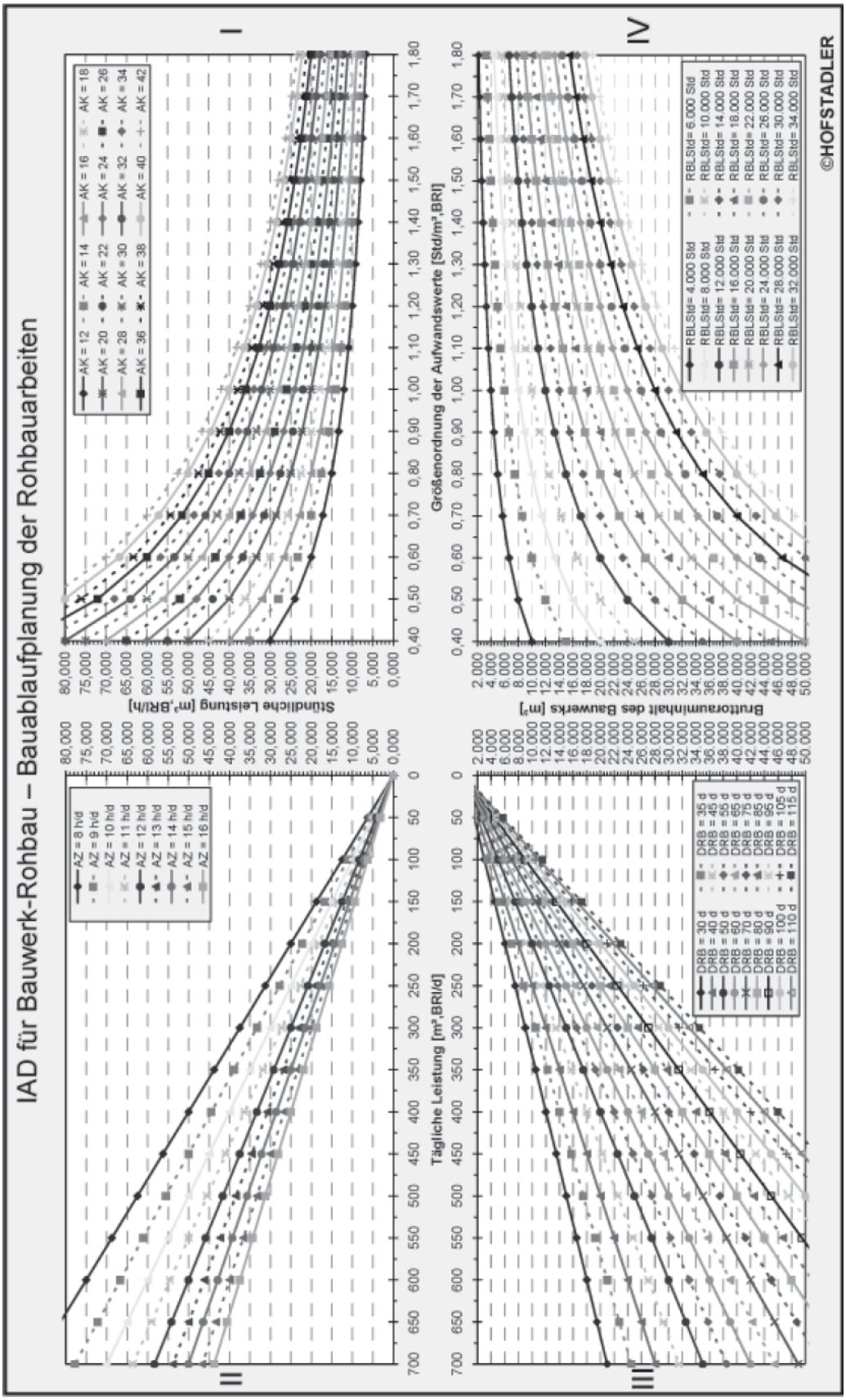


Abb. 102: Diagramm zur Bauzeitermittlung anhand des BRI nach HOFSTADLER (2007)[789]

[789] HOFSTADLER (2007), S. 220.

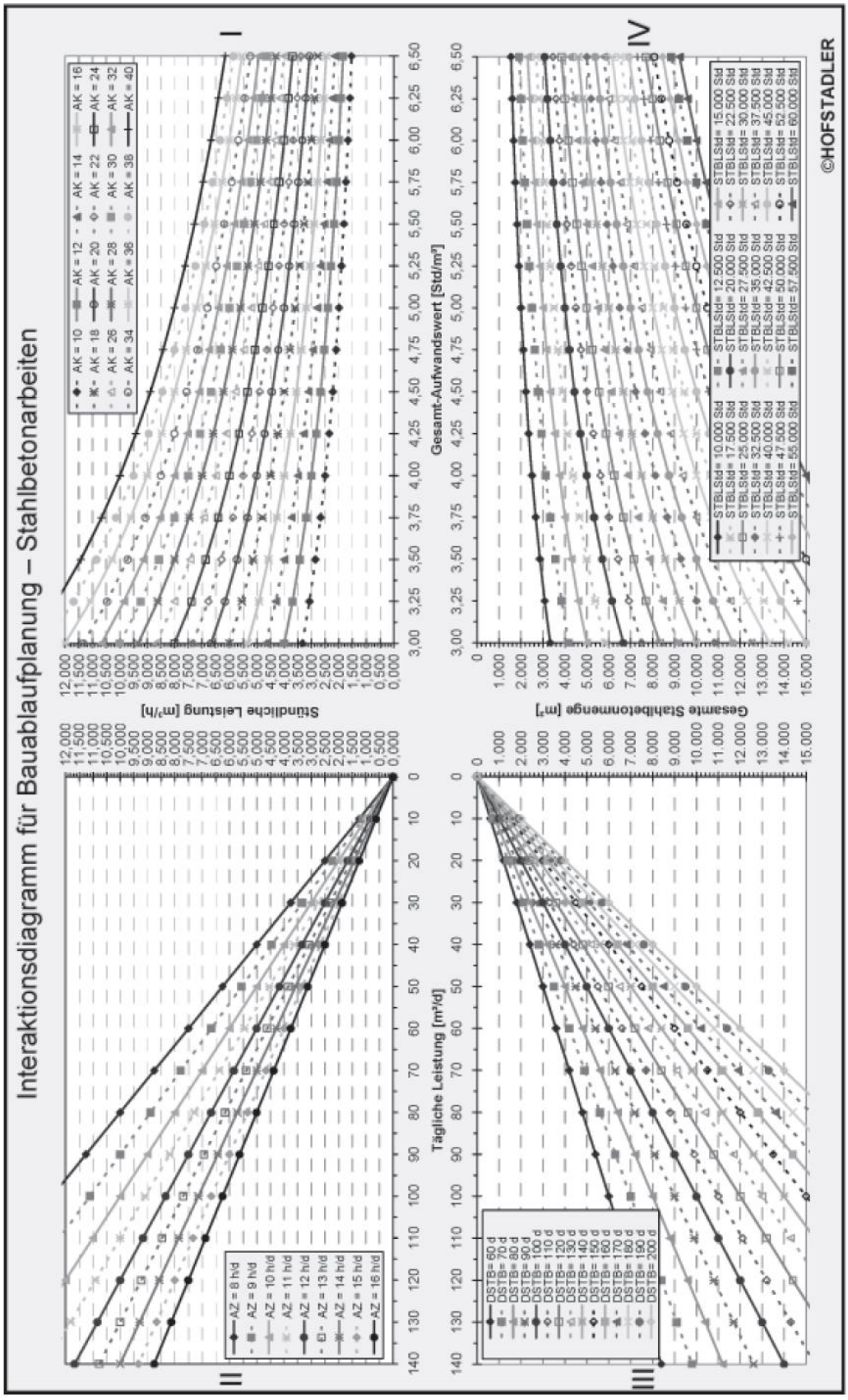


Abb. 103: Diagramm zur Bauzeitermittlung anhand des Betonvolumens nach HOFSTADLER (2007)[790]

[790] HOFSTADLER (2007), S. 227.

- *III. Quadrant:* Auf der Abszisse ist die tägliche Arbeitsleistung und auf der Ordinate der BRI bzw. das Gesamt-Betonvolumen des Bauwerks angegeben. Die enthaltenen Geraden repräsentieren die Ausführungsdauer.

  Vom Abszissenwert wird eine vertikale und vom Ordinatenwert eine horizontale Linie eingezeichnet. Der Schnittpunkt ergibt die entsprechende Ausführungsdauer.

- *IV. Quadrant:* Auf der Abszisse sind mittlere Aufwandswerte für die Schal-, Bewehrungs- und Betonagearbeiten in Ah pro m³BRI bzw. Ah pro m³Beton und auf der Ordinate der BRI bzw. das Gesamt-Betonvolumen des Bauwerks angegeben. Die enthaltenen Kurven repräsentieren die *„Summe der Lohnstunden für die Rohbauarbeiten“*[791].

Nach **SOMMER (2009)** kann der Gesamt-Aufwandswert der Rohbauarbeiten in Ah pro m³BRI in den frühen Planungsphasen auf Grundlage des Diagramms in Abb. 104 ermittelt werden.[792]

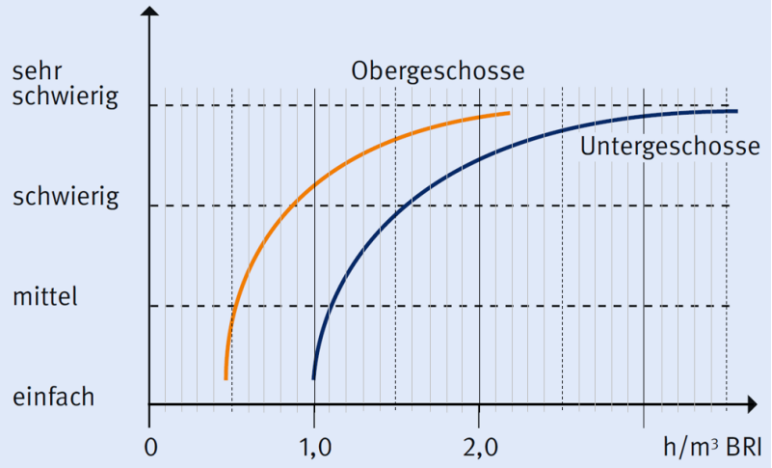


Abb. 104: Diagramm zur Bauzeitermittlung nach SOMMER (2009)[793]

Aus Abb. 104 resultiert der Gesamt-Aufwandswert, getrennt für Unter- und Obergeschosse, aus dem Schwierigkeitsgrad der Baumaßnahme.[794] Die abweichenden Kennzahlen für Unter- und Obergeschosse können unter anderem auf den i. d. R. höheren Feststoffanteil in Untergeschossen zurückgeführt werden. Für unterirdische Geschosse reicht der angegebe-

[791] HOFSTADLER (2007), S. 219, Anm.: Im Rahmen der vorliegenden Arbeit als „Gesamtaufwand“ bezeichnet.

[792] Vgl. SOMMER (2009), S. 110.

[793] Vgl. SOMMER (2009), S. 110.

[794] Vgl. SOMMER (2009), S. 110. Anm.: Ob sich die Angaben „einfach“, „mittel“, „schwierig“ und „sehr schwierig“ auf der Ordinate tatsächlich auf den Schwierigkeitsgrad beziehen, wird von SOMMER (2009) nicht ausdrücklich angegeben (vgl. a. a. O., S. 110).

ne Gesamt-Aufwandswert von ca. 1,0 bis 3,55 Ah pro m³BRI. Für Obergeschosse sind im Diagramm Gesamt-Aufwandswerte von ca. 0,45 bis 2,2 Ah pro m³BRI angegeben.

L.1.2.4 Alternative Ansätze

In **GREITEMANN (2017)** wird ausgehend vom Objektsoll ein Bauzeitermittlungsverfahren für den Roh- und Ausbau zum Zeitpunkt der Realisierungsentscheidung (= LPH 3) vorgestellt.[795] Hierbei werden, auf Grundlage standardisierter Räume und deren Mengenermittlungen, die Vorgangsdauern abgeleitet, aus denen anschließend die Gesamtbauzeit und Vertragstermine für jedes Gewerk aus Sicht des Bauherrn ermittelt werden können.[796]

Die Anwendbarkeit des Verfahrens von GREITEMANN (2017) setzt unter anderem die Festlegung der Gebäudegeometrie sowie einzelner Raumgeometrien und Raumausstattungen voraus.[797] Deshalb wird als Anwendungszeitpunkt der Zeitpunkt der Realisierungsentscheidung ab LPH 3,[798] d. h. erst nach Anfertigung des ersten Bauentwurfs, angegeben. Wohingegen das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Verfahren bereits eine Bauzeitermittlung ab LPH 0 ermöglicht. Während das in dieser Arbeit entwickelte Verfahren eine Bauzeitermittlung auf Bauprozessebene vorsieht, wird von GREITEMANN (2017) die Meinung vertreten, dass *„eine detaillierte Ablaufplanung auf der Ebene der einzelnen Vorgänge der Positionen zu diesem Zeitpunkt [= Realisierungsentscheidung bzw. LPH 3,[799] Erg. d. d. Verf.] nicht sinnvoll und zielführend ist“*[800]. Stattdessen erfolgt eine zusammenfassende Bestimmung von Vorgangsdauern einzelner Module, die Kostengruppen (d. h. überwiegend Bauteile) und Leistungsbereiche (d. h. Vergabeeinheiten oder Gewerke) zusammenfassen.[801] Eine Validierung des Verfahrens wird von GREITEMANN (2017) nicht durchgeführt.

[795] Vgl. GREITEMANN (2017), S. 7.

[796] Vgl. GREITEMANN (2017), S. 9, 161 ff, 285.

[797] Vgl. GREITEMANN (2017), S. 143 ff, 152 ff u. 286.

[798] Vgl. GREITEMANN (2017), S. 7.

[799] Vgl. GREITEMANN (2017), S. 7.

[800] GREITEMANN (2017), S. 184.

[801] GREITEMANN (2017), S. 184 ff, 189 ff..

L.2 Entwicklung des Referenzgebäudes (Kap. E)

L.2.1 Ablaufschemata

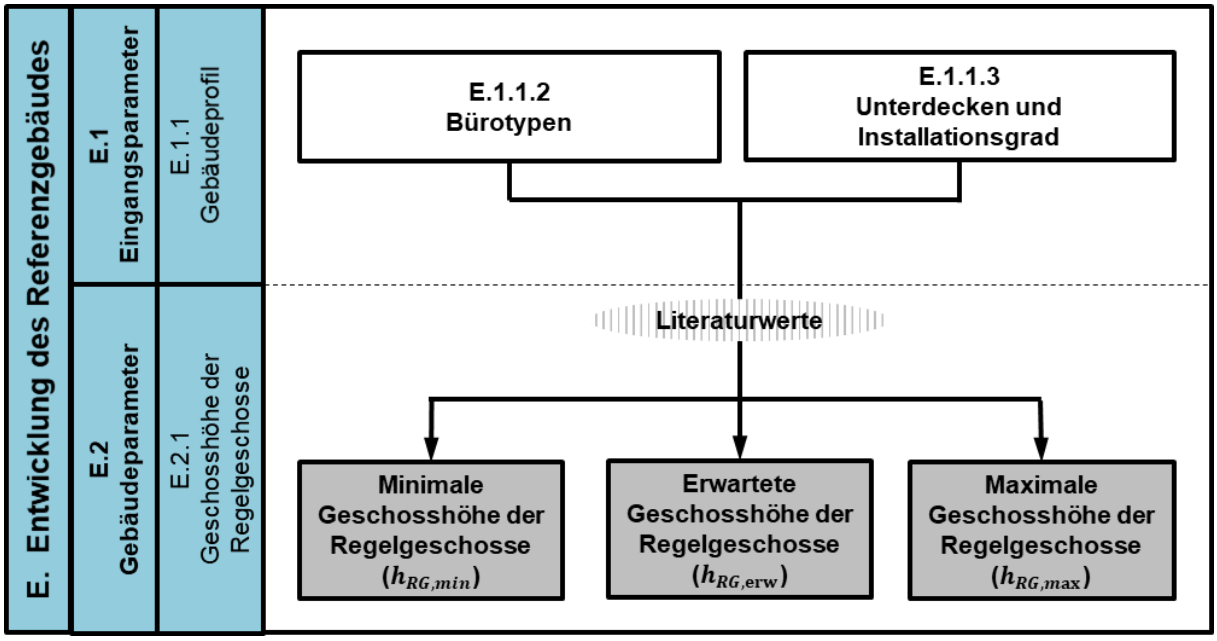


Abb. 105: Ermittlung der Geschosshöhe der Regelgeschosse – Ablaufschema[802]

[802] Eigene Darstellung.

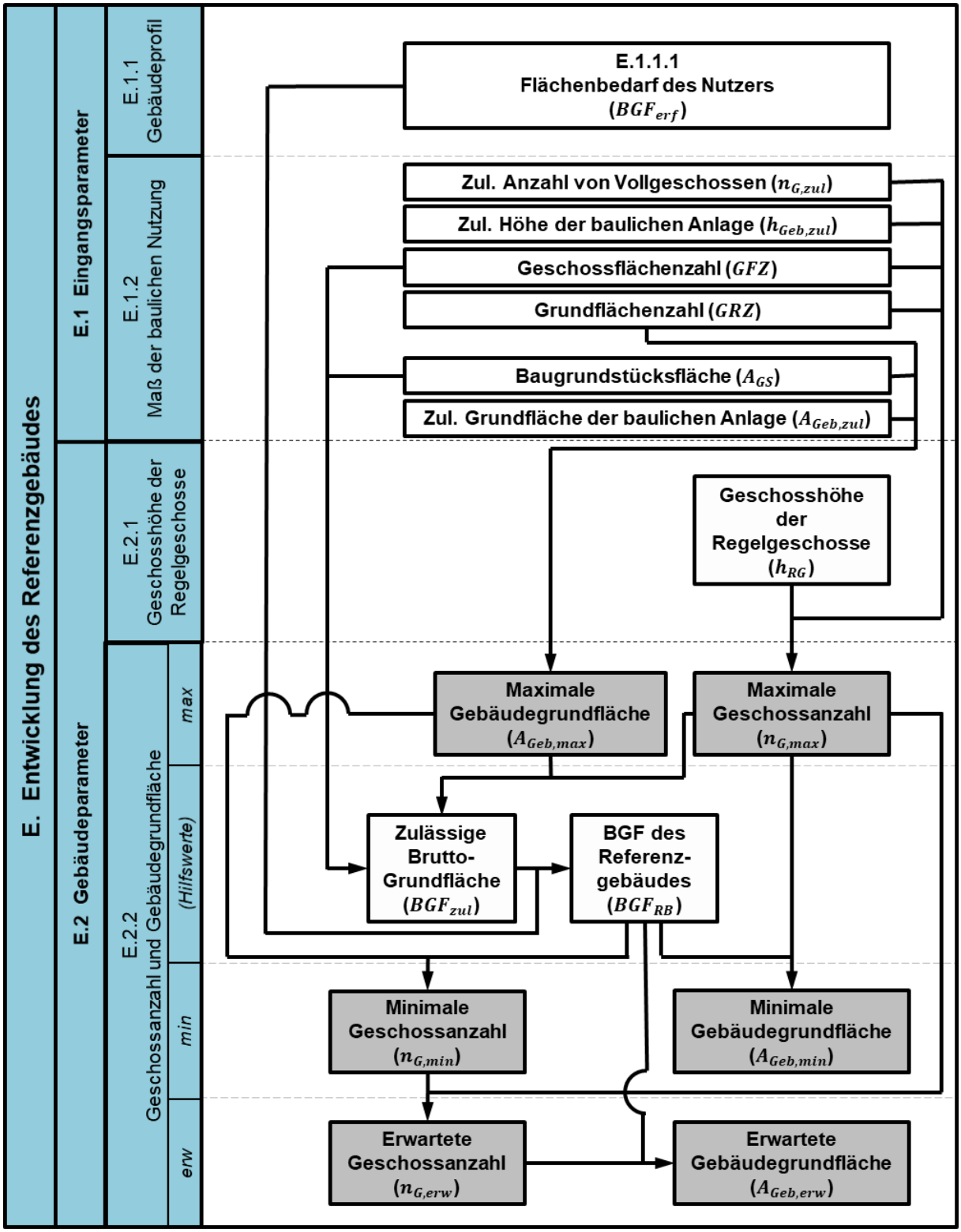


Abb. 106: Ermittlung der Geschossanzahl und Gebäudegrundfläche – Ablaufschema[803]

[803] Eigene Darstellung.

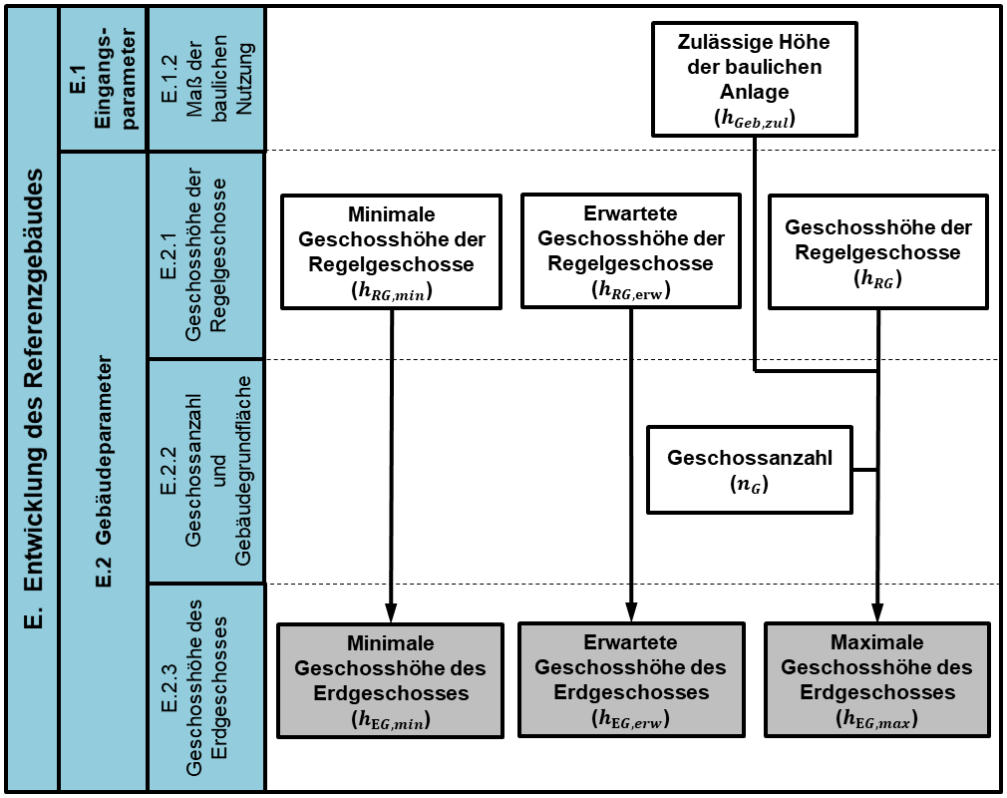


Abb. 107: Ermittlung der Geschosshöhe des Erdgeschosses – Ablaufschema[804]

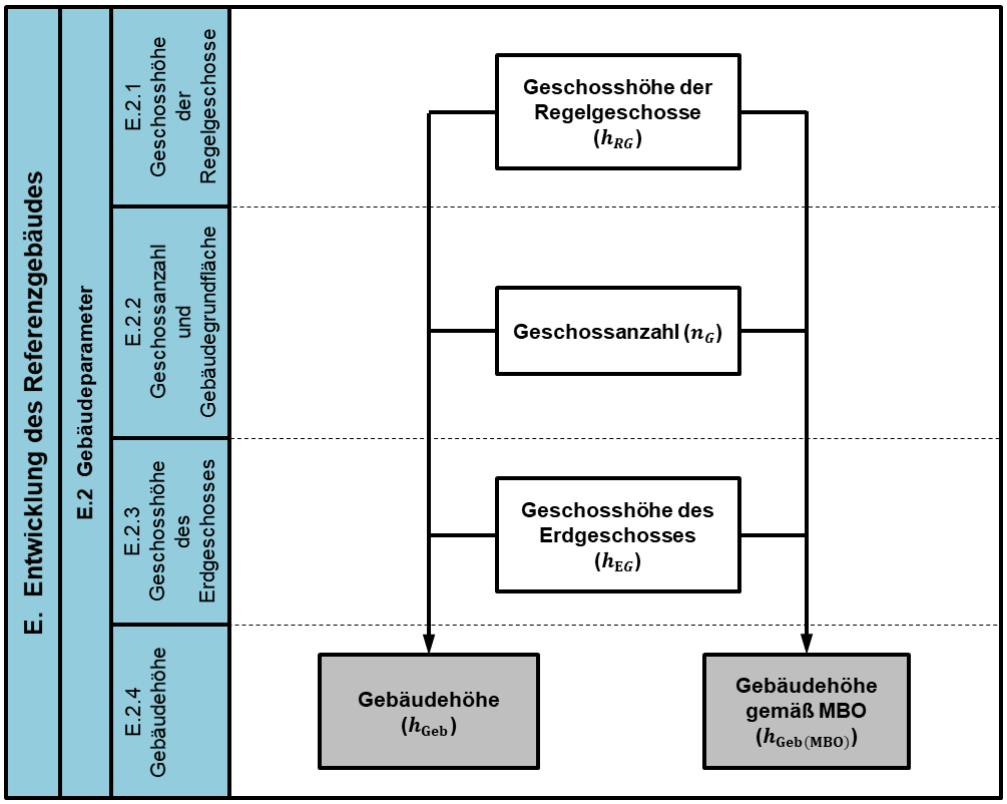


Abb. 108: Ermittlung der Gebäudehöhe – Ablaufschema[805]

[804] Eigene Darstellung.

[805] Eigene Darstellung.

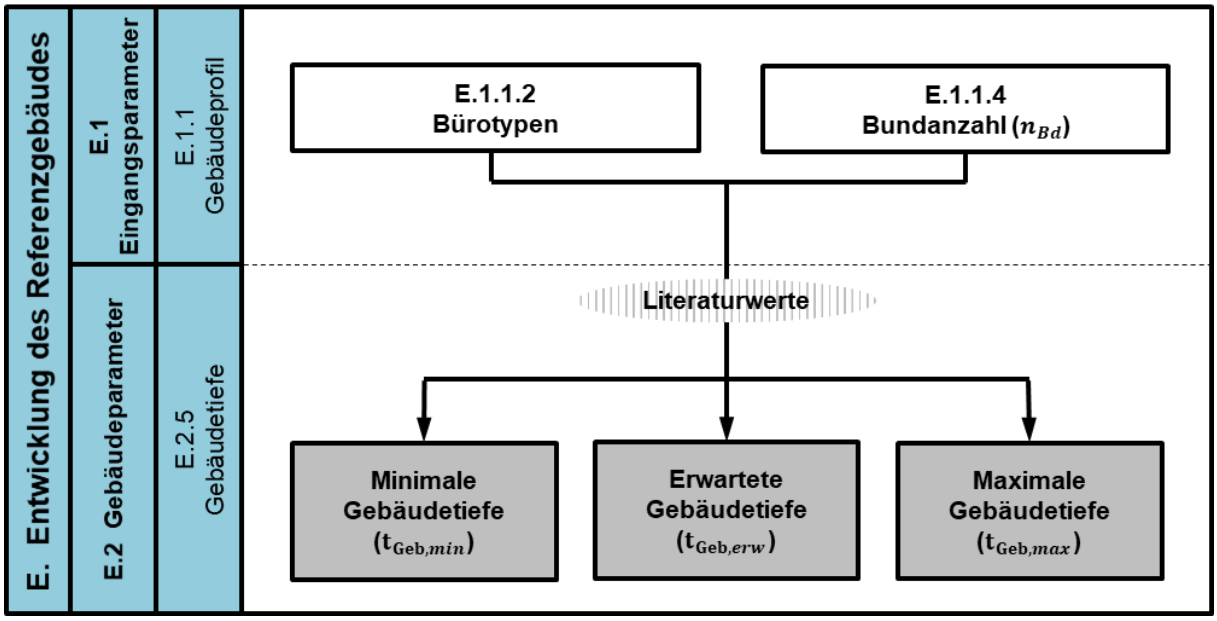


Abb. 109: Ermittlung der Gebäudetiefe – Ablaufschema[806]

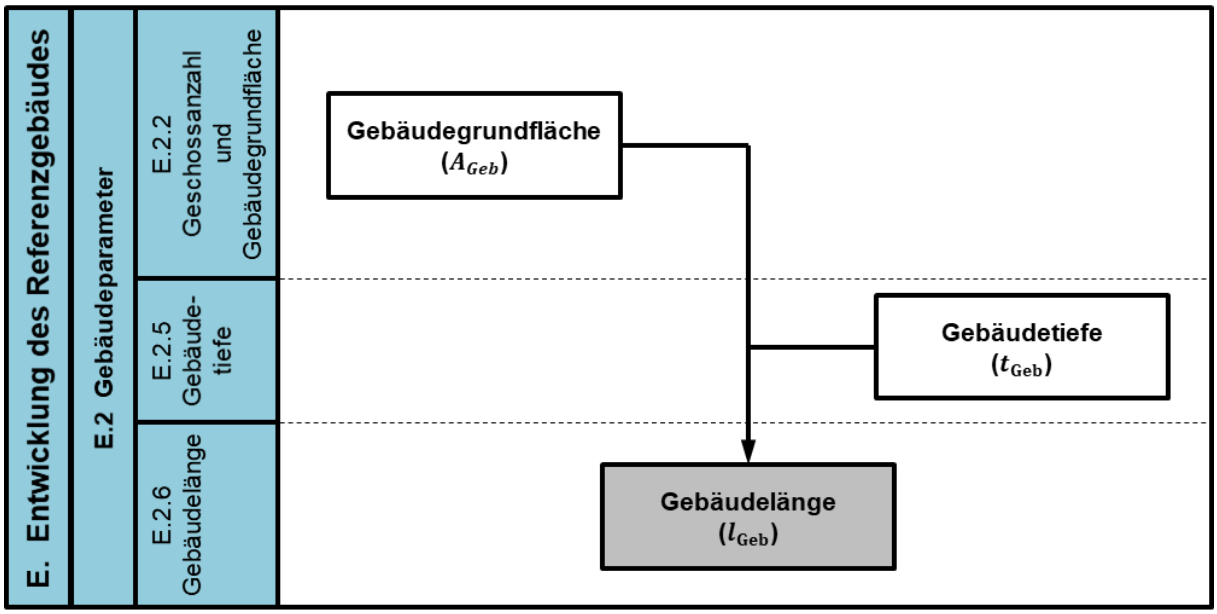


Abb. 110: Ermittlung der Gebäudelänge – Ablaufschema[807]

[806] Eigene Darstellung.

[807] Eigene Darstellung.

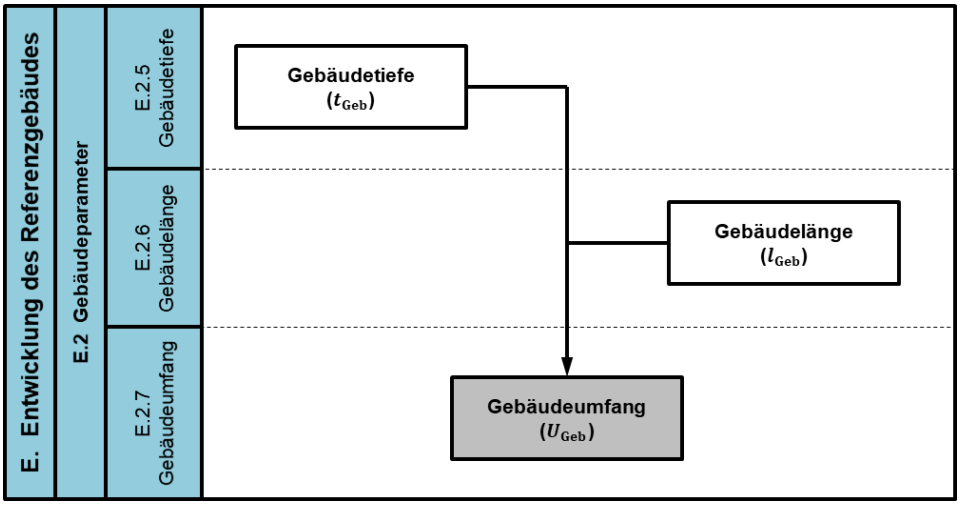


Abb. 111: Ermittlung des Gebäudeumfangs – Ablaufschema[808]

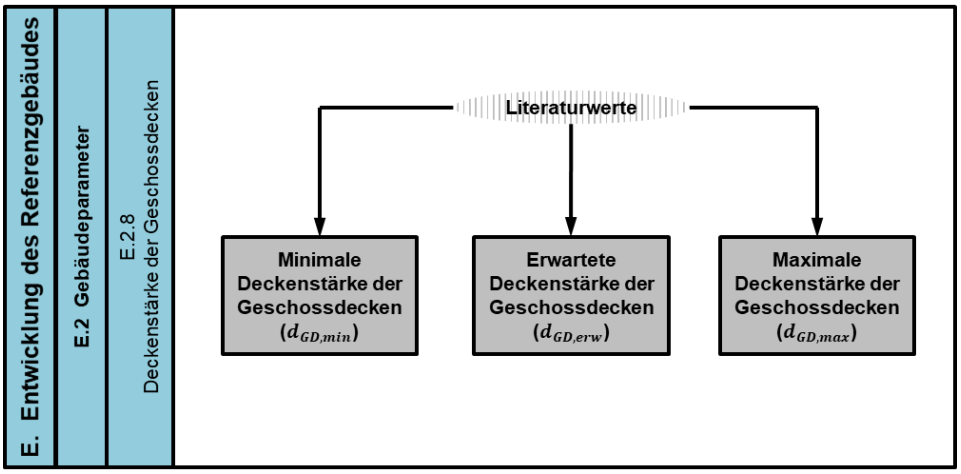


Abb. 112: Ermittlung der Deckenstärke der Geschossdecken – Ablaufschema[809]

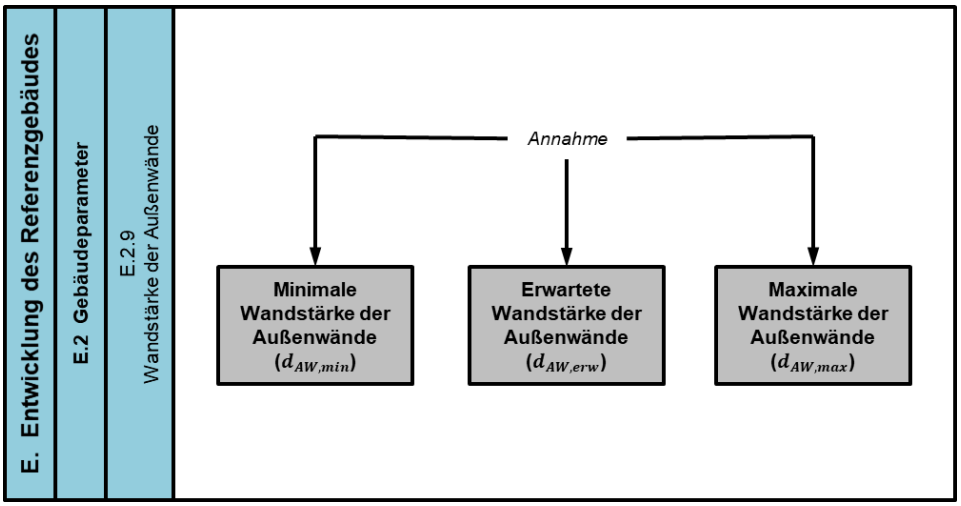


Abb. 113: Ermittlung der Wandstärke der Außenwände – Ablaufschema[810]

[808] Eigene Darstellung.

[809] Eigene Darstellung.

[810] Eigene Darstellung.

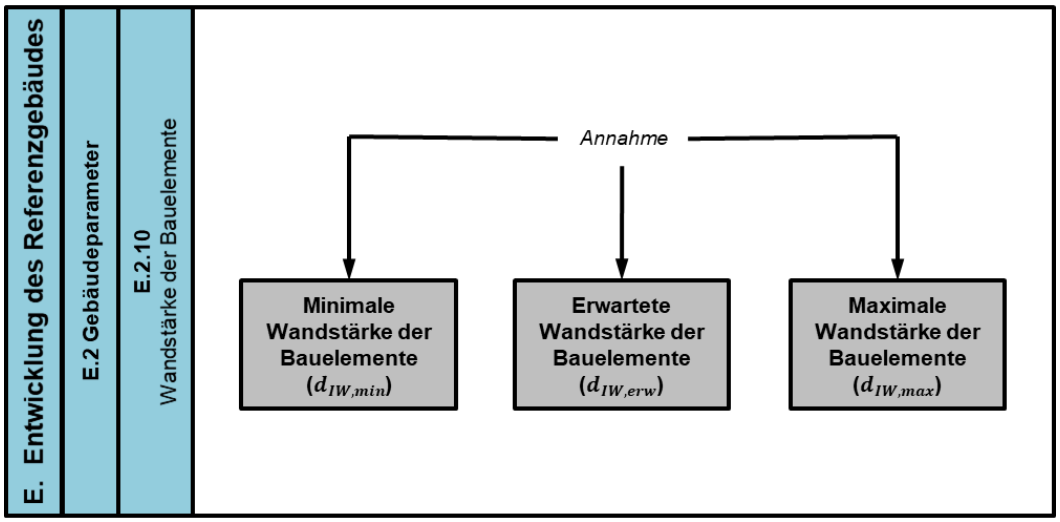


Abb. 114: Ermittlung der Wandstärke der Bauelemente – Ablaufschema[811]

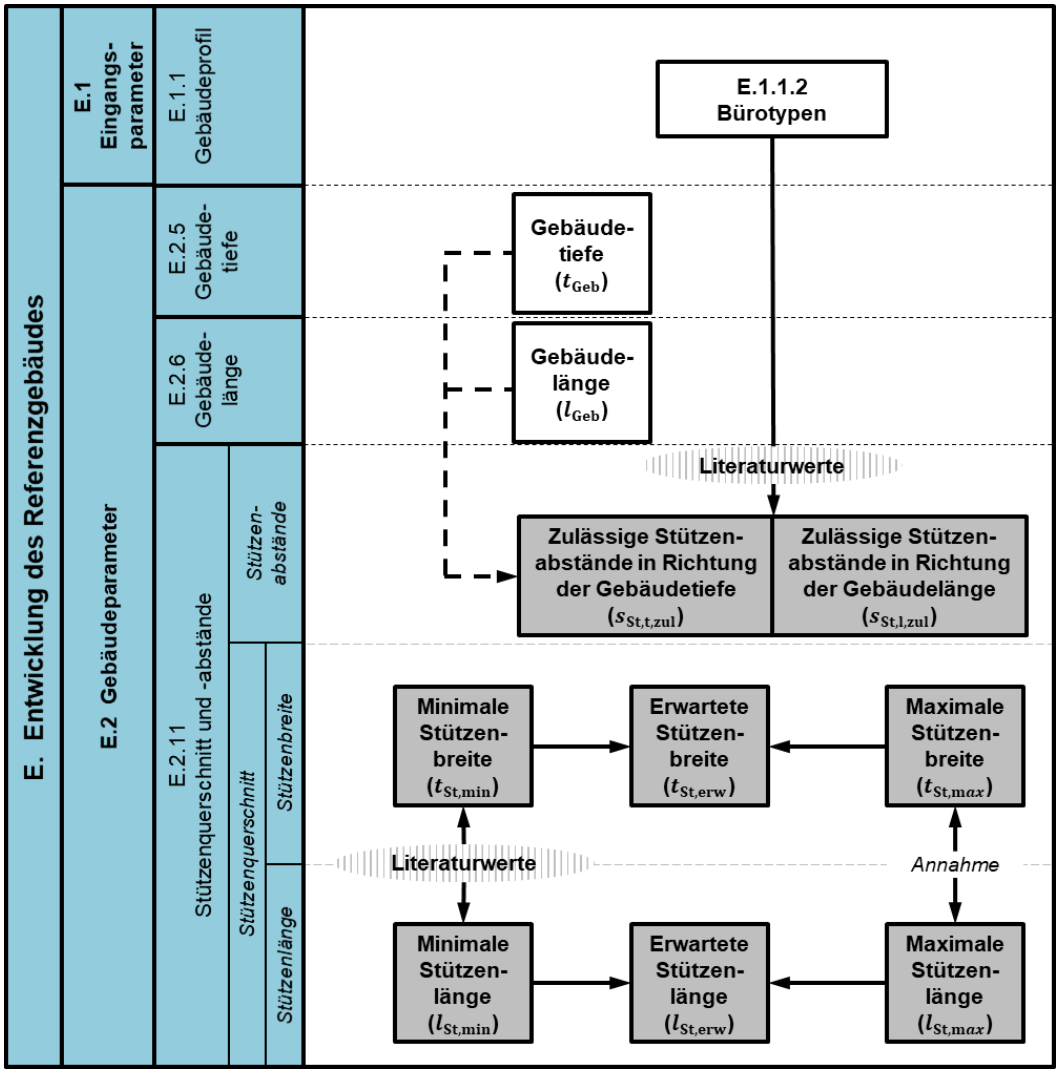


Abb. 115: Ermittlung des Stützenquerschnitts und der Stützenabstände – Ablaufschema[812]

[811] Eigene Darstellung.

[812] Eigene Darstellung.

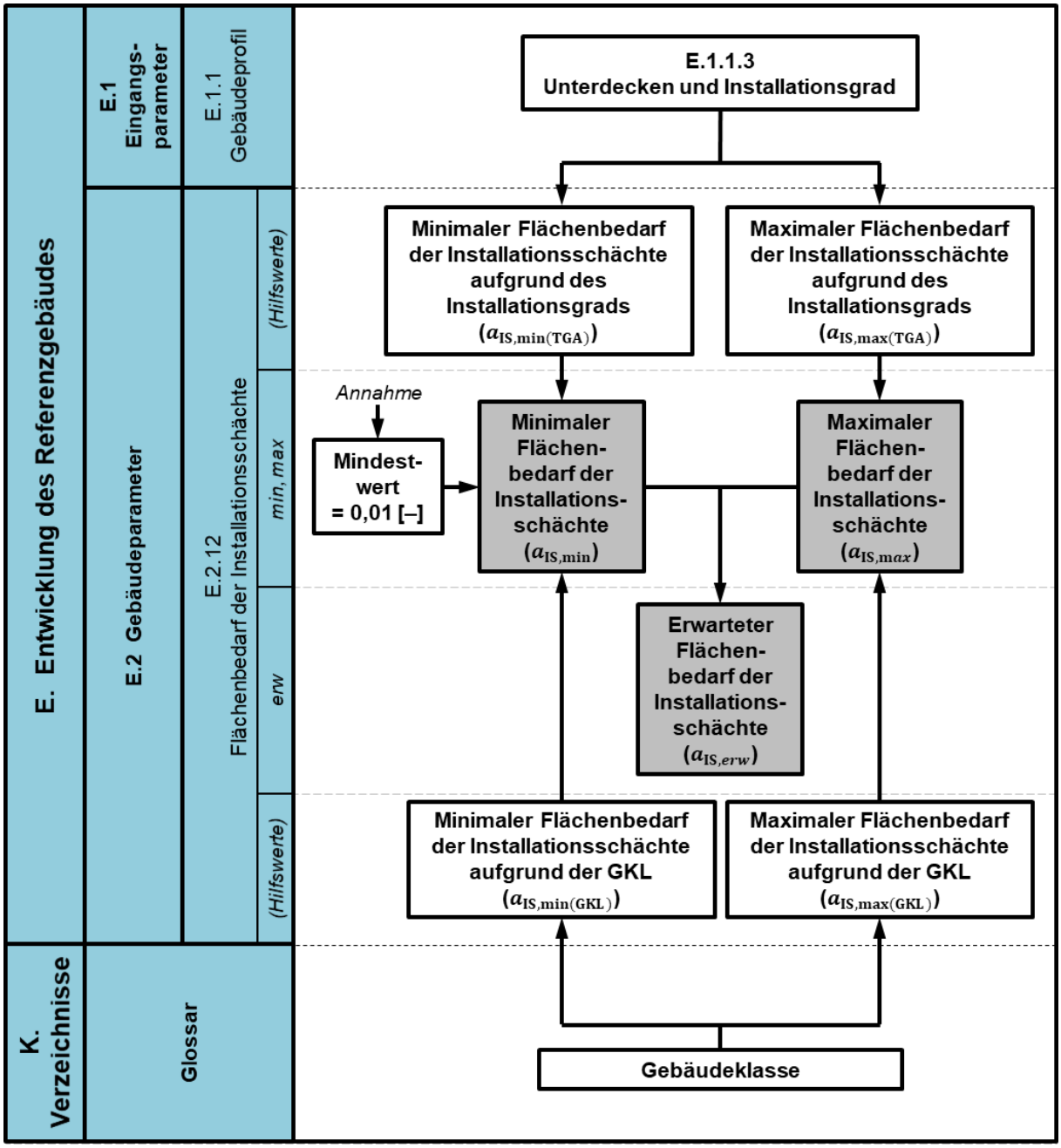


Abb. 116: Ermittlung des Flächenbedarfs der Installationsschächte – Ablaufschema[813]

[813] Eigene Darstellung.

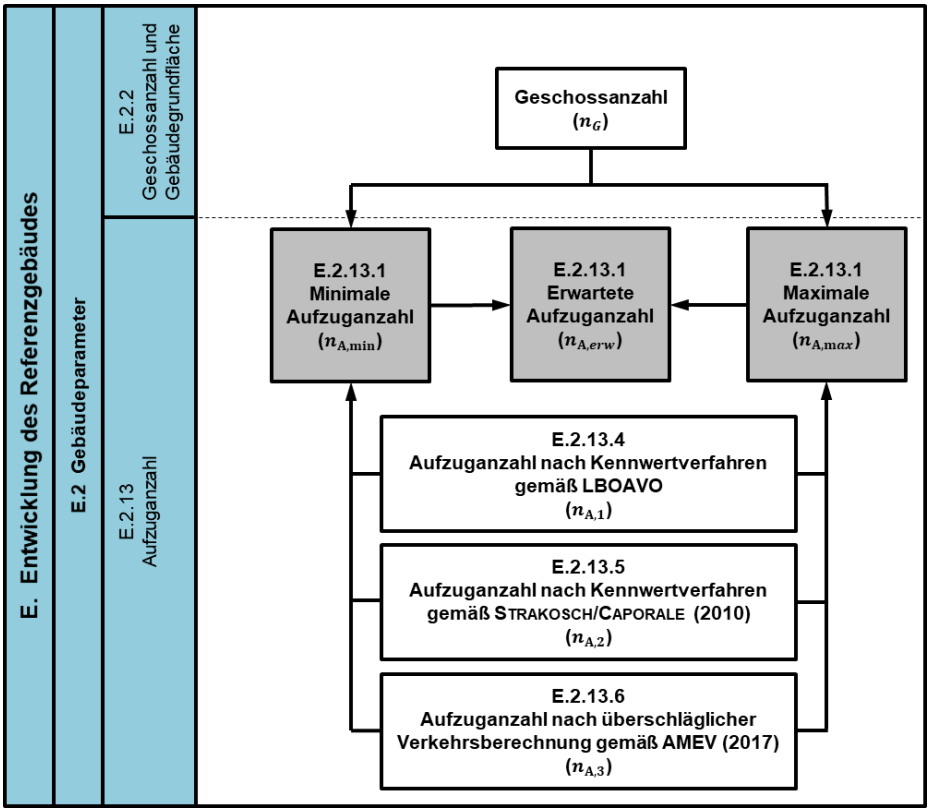


Abb. 117: Ermittlung der Aufzuganzahl – Ablaufschema[814]

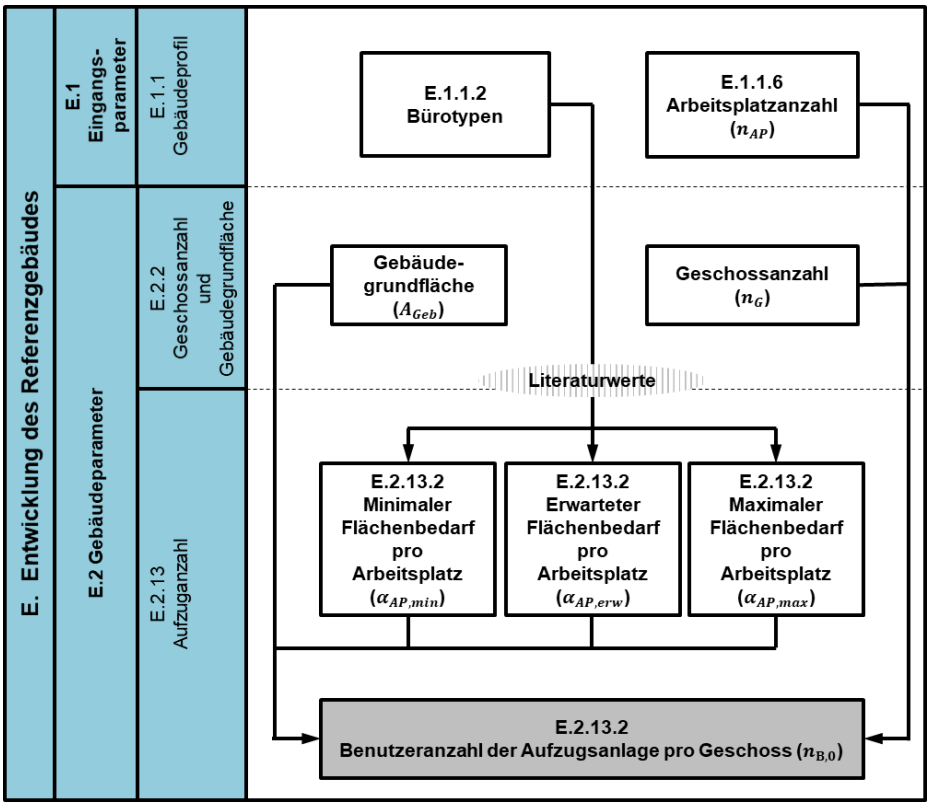


Abb. 118: Ermittlung der Benutzeranzahl der Aufzugsanlage pro Geschoss – Ablaufschema[815]

[814] Eigene Darstellung.

[815] Eigene Darstellung.

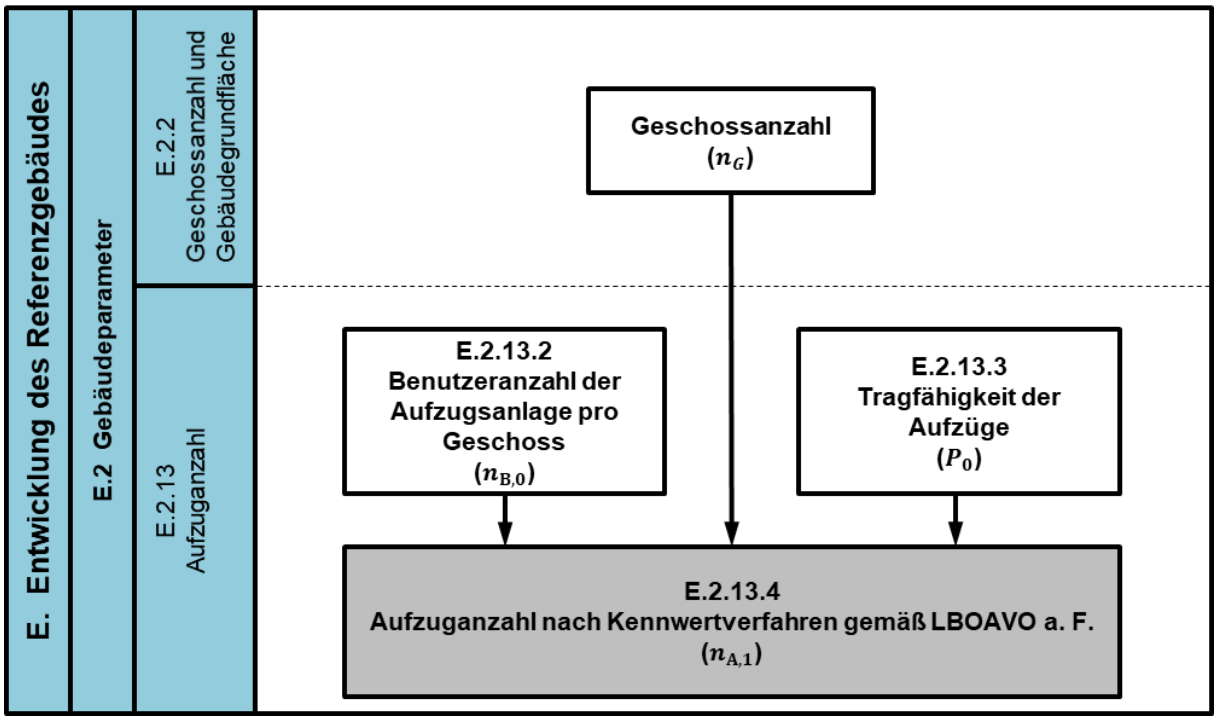


Abb. 119: Ermittlung der Aufzuganzahl nach LBOAVO a. F. – Ablaufschema[816]

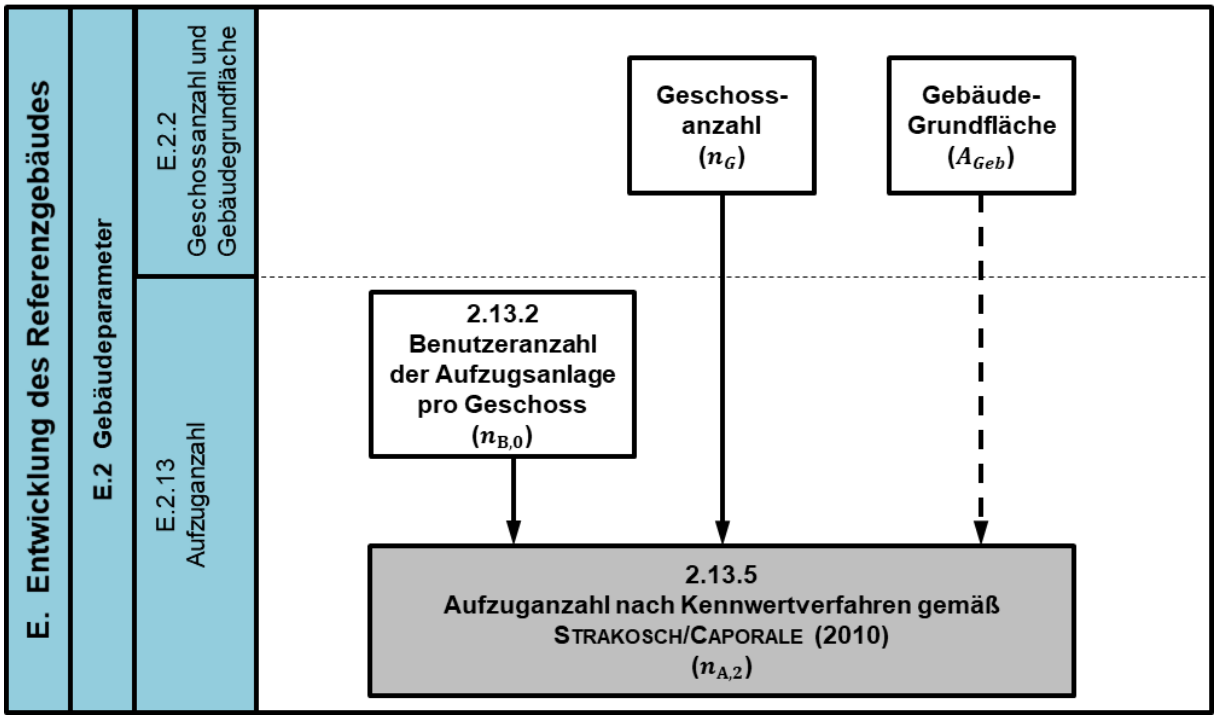


Abb. 120: Ermittlung der Aufzuganzahl nach STRAKOSCH/CAPORALE (2010) – Ablaufschema[817]

[816] Eigene Darstellung.

[817] Eigene Darstellung.

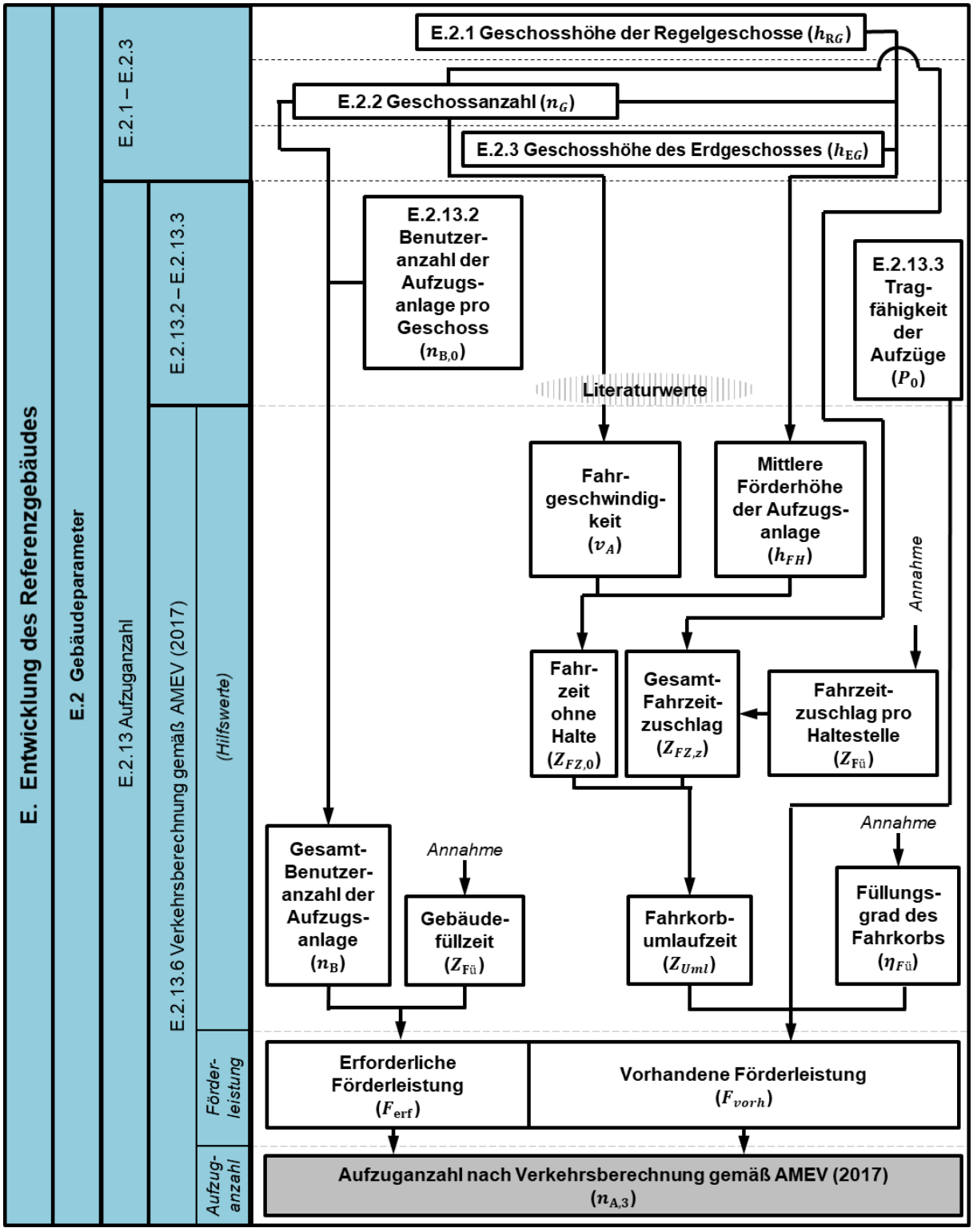


Abb. 121: Ermittlung der Aufzuganzahl nach AMEV (2017) – Ablaufschema[818]

[818] Eigene Darstellung.

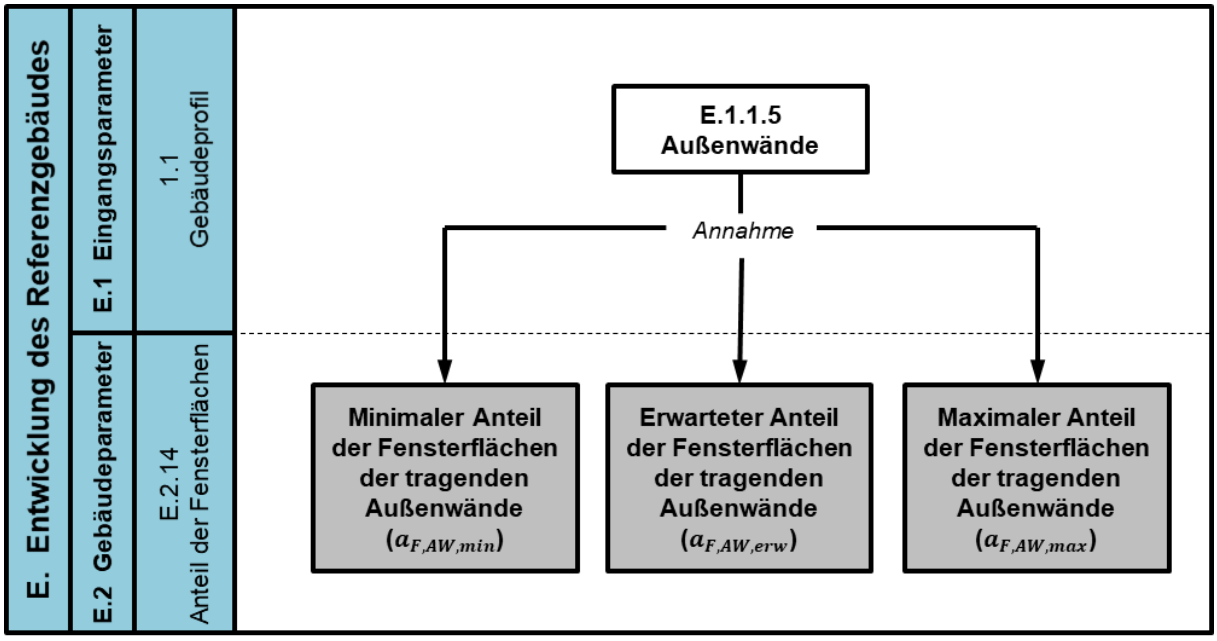


Abb. 122: Ermittlung des Anteils der Fensterflächen der tragenden Außenwände– Ablaufschema[819]

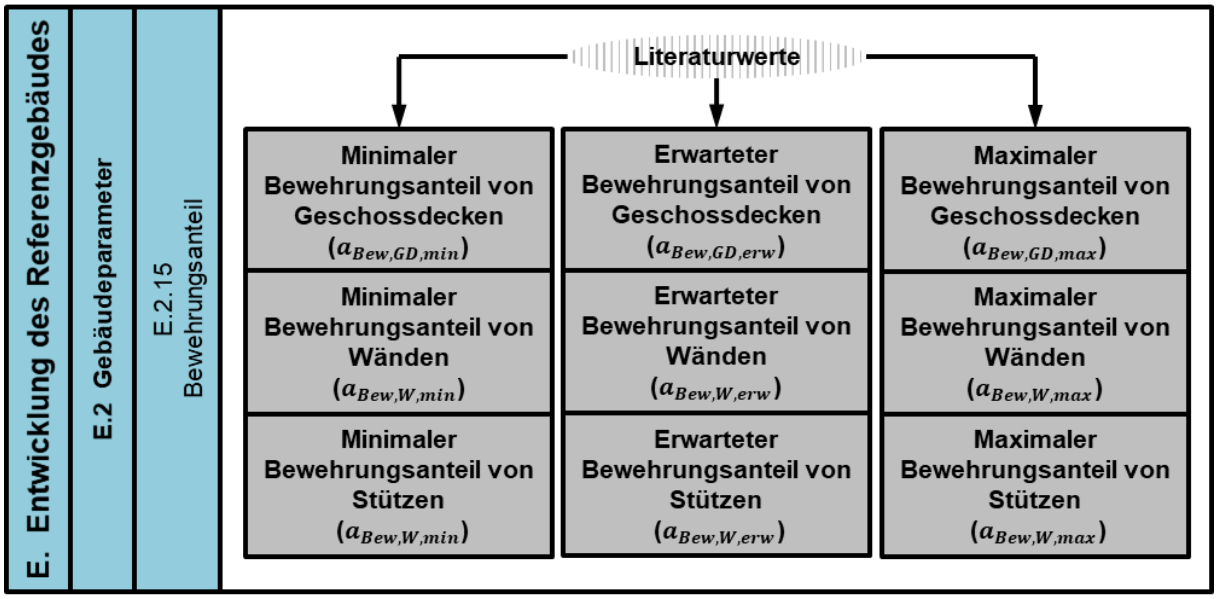


Abb. 123: Ermittlung der Bewehrungsanteile der Geschossdecken, Wände und Stützen – Ablaufschema[820]

[819] Eigene Darstellung.

[820] Eigene Darstellung.

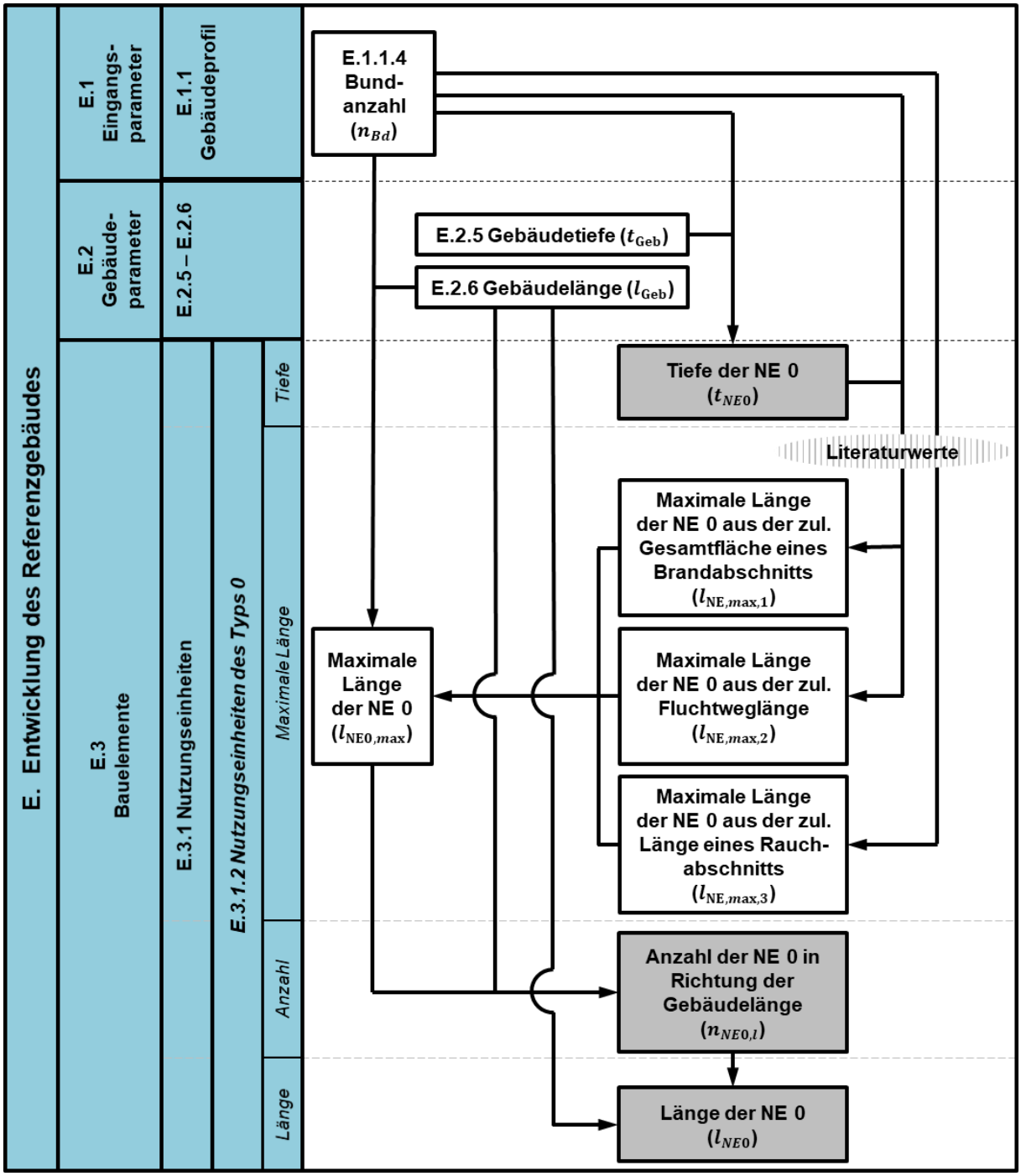


Abb. 124: Ermittlung der Anzahl und Geometrie der NE 0 – Ablaufschema[821]

[821] Eigene Darstellung.

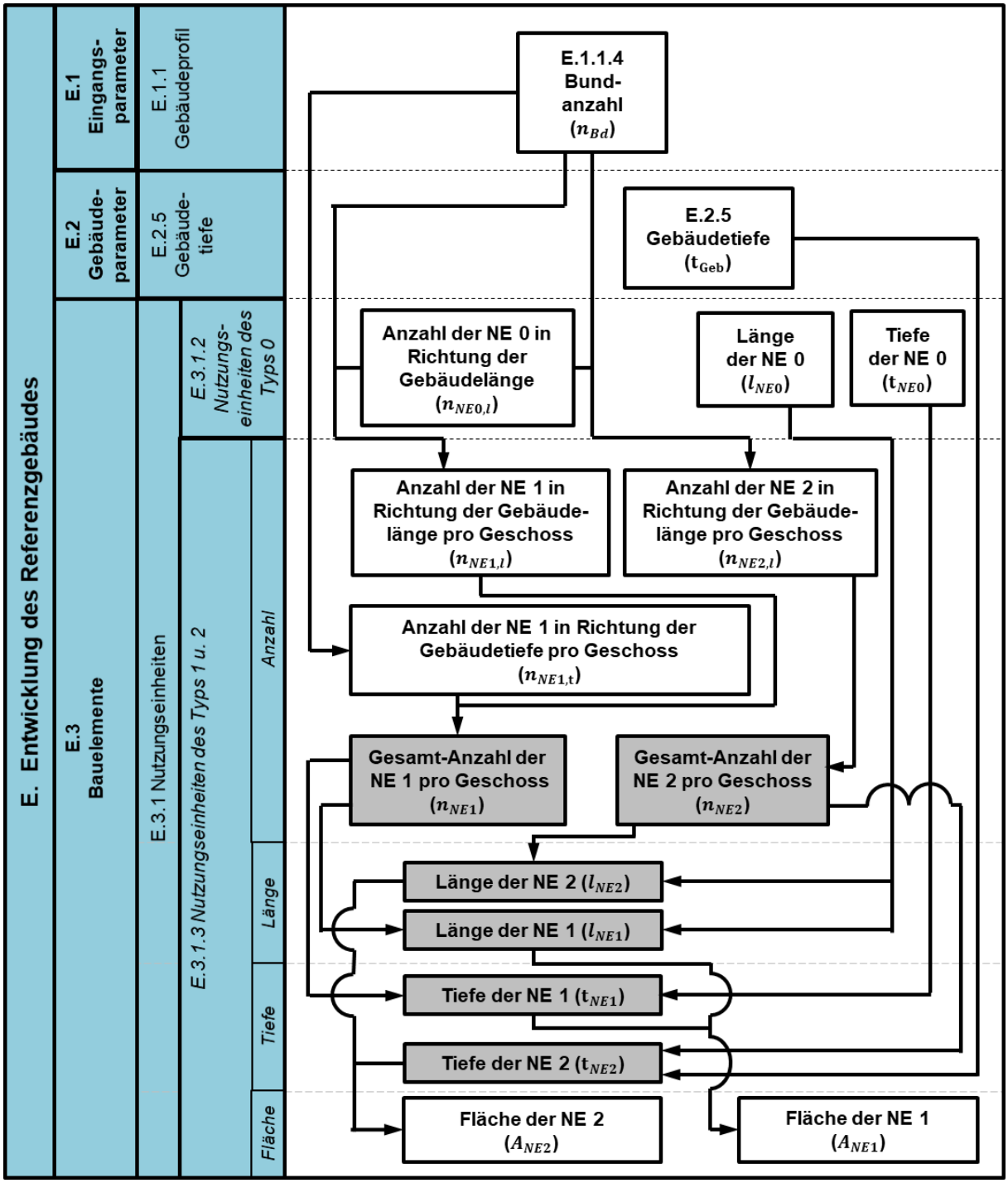


Abb. 125: Ermittlung der Anzahl und Geometrie der NE 1 und NE 2 – Ablaufschema[822]

[822] Eigene Darstellung.

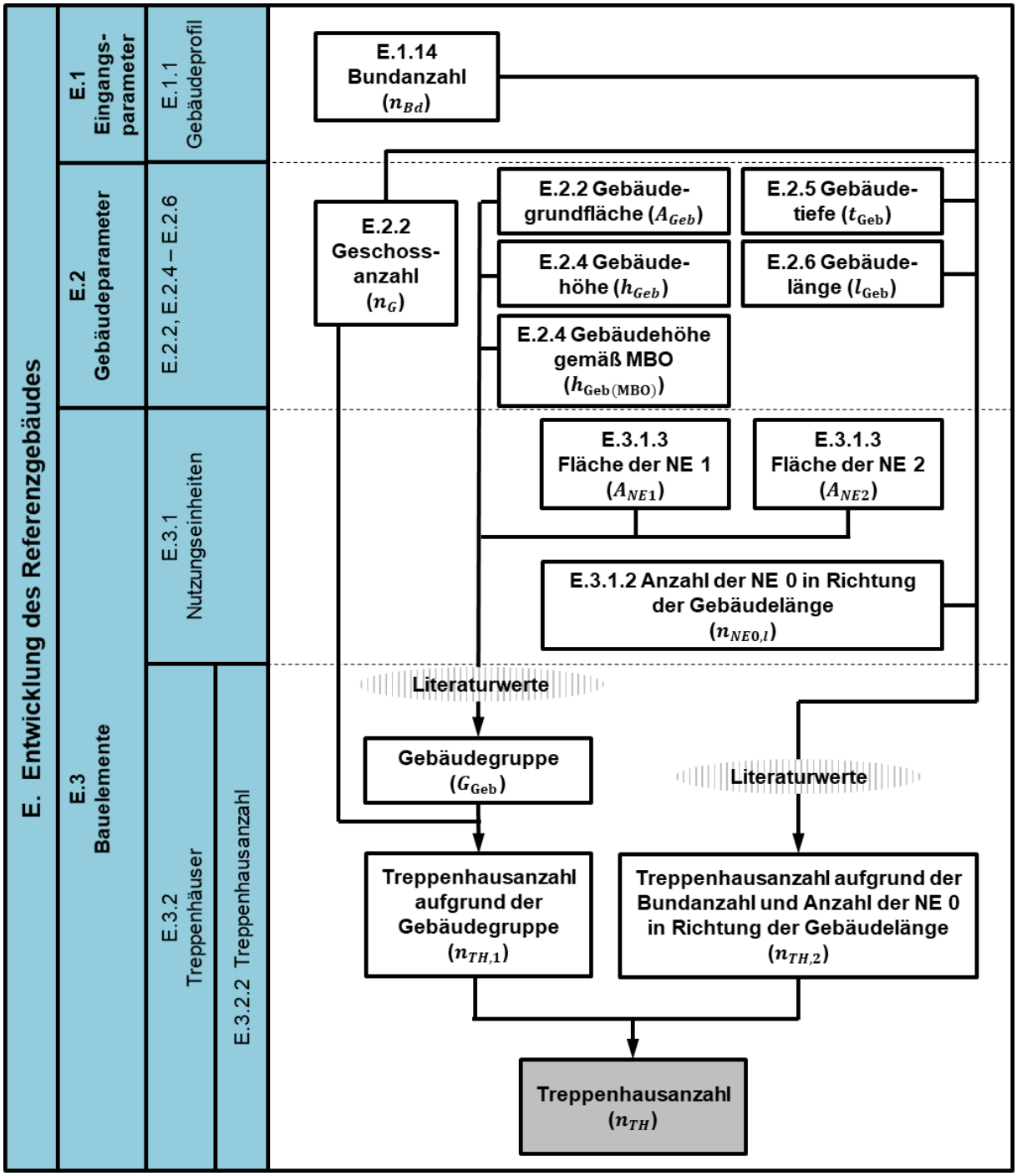


Abb. 126: Ermittlung der Treppenhausanzahl – Ablaufschema[823]

[823] Eigene Darstellung.

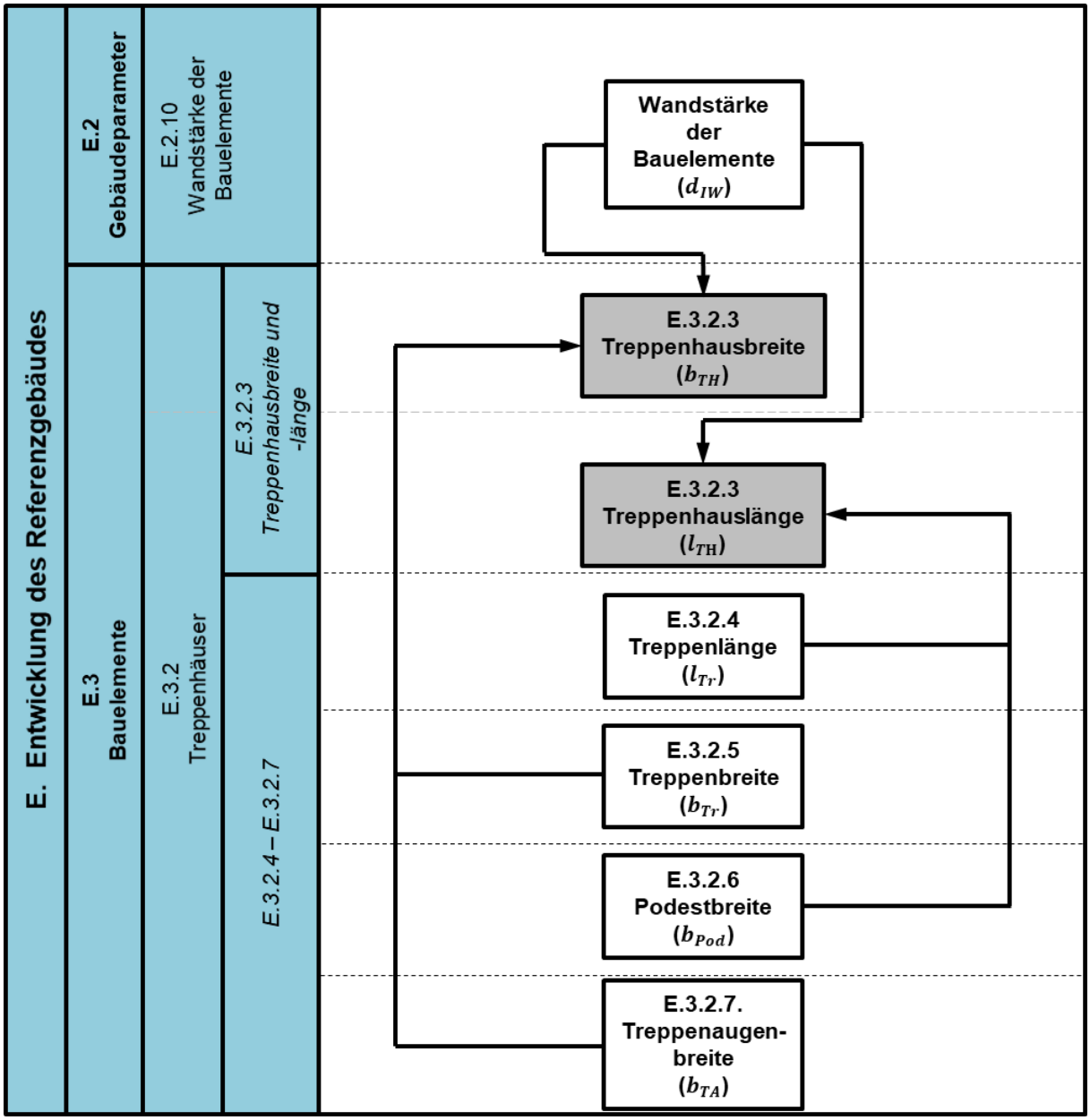


Abb. 127: Ermittlung der Treppenhausbreite und -länge – Ablaufschema[824]

[824] Eigene Darstellung. Anm.: Das dargestellte Ablaufschema gilt für $n_{TH} > 0$.

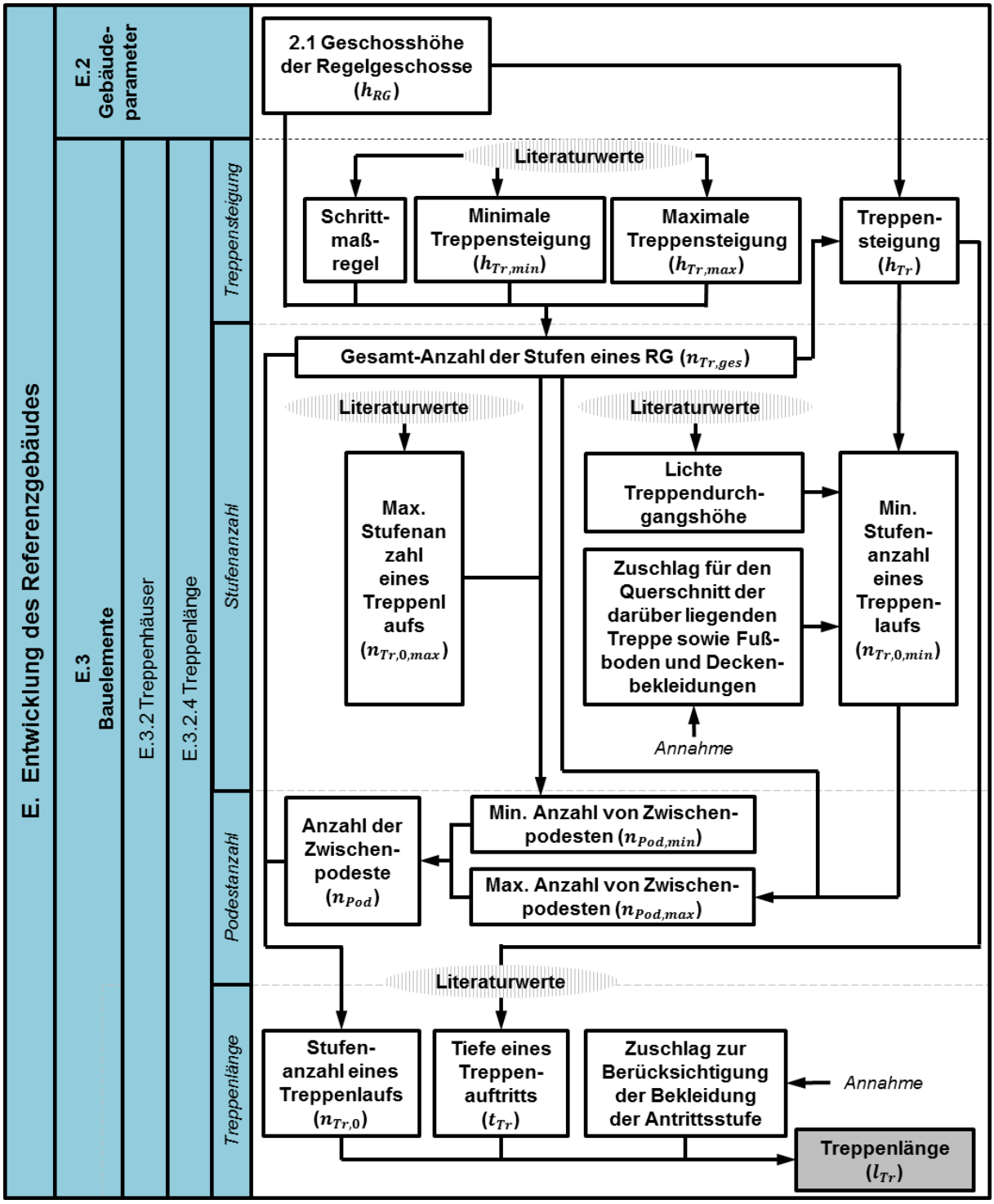


Abb. 128: Ermittlung der Treppenlänge – Ablaufschema[825]

[825] Eigene Darstellung. Anm.: Das dargestellte Ablaufschema gilt für $n_{TH} > 0$.

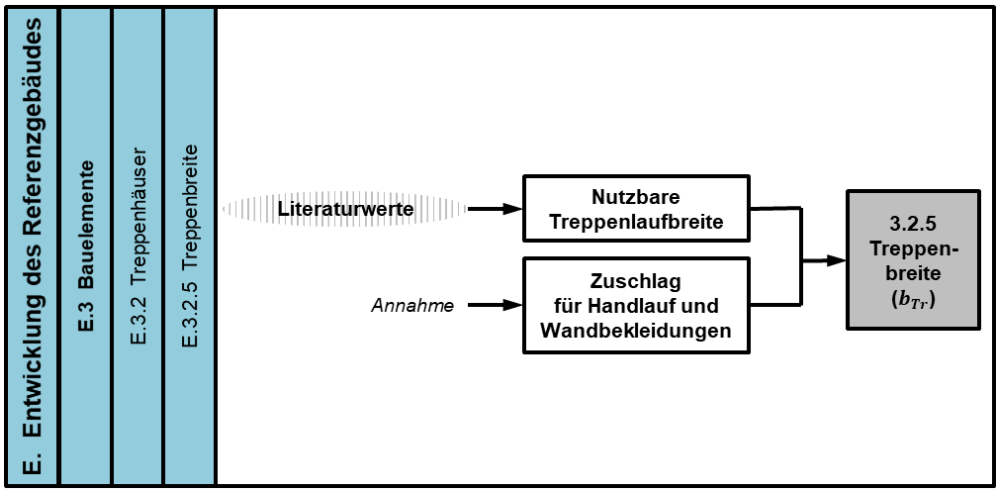


Abb. 129: Ermittlung der Treppenbreite – Ablaufschema[826]

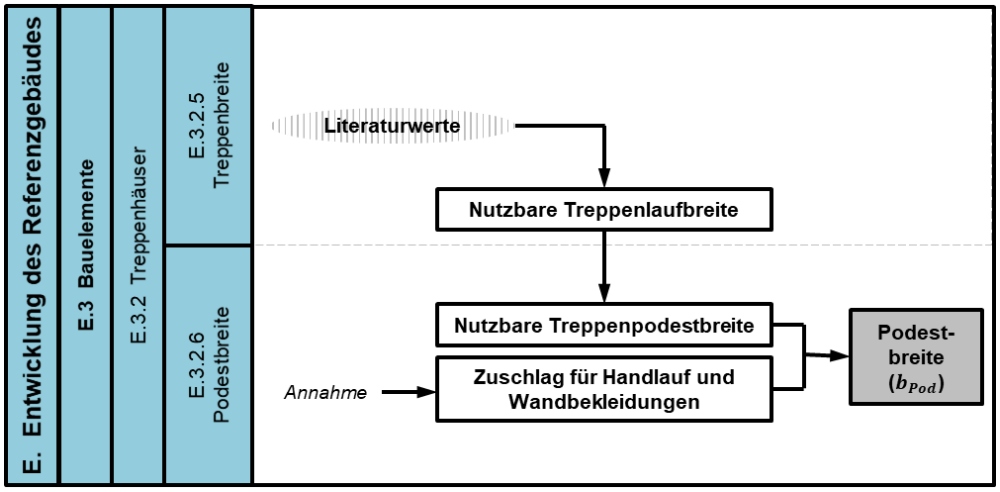


Abb. 130: Ermittlung der Podestbreite – Ablaufschema[827]

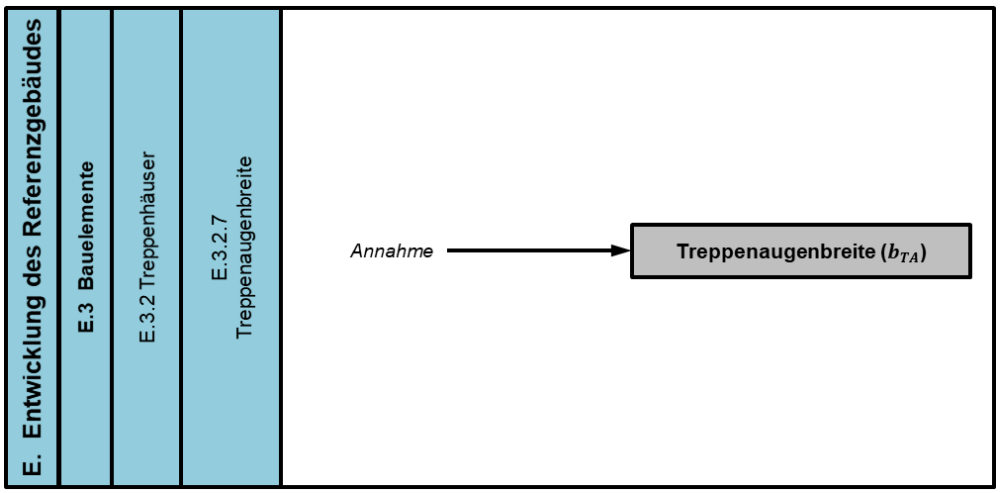


Abb. 131: Ermittlung der Treppenaugenbreite – Ablaufschema[828]

[826] Eigene Darstellung. Anm.: Das dargestellte Ablaufschema gilt für $n_{TH} > 0$.

[827] Eigene Darstellung. Anm.: Das dargestellte Ablaufschema gilt für $n_{TH} > 0$.

[828] Eigene Darstellung. Anm.: Das dargestellte Ablaufschema gilt für $n_{TH} > 0$.

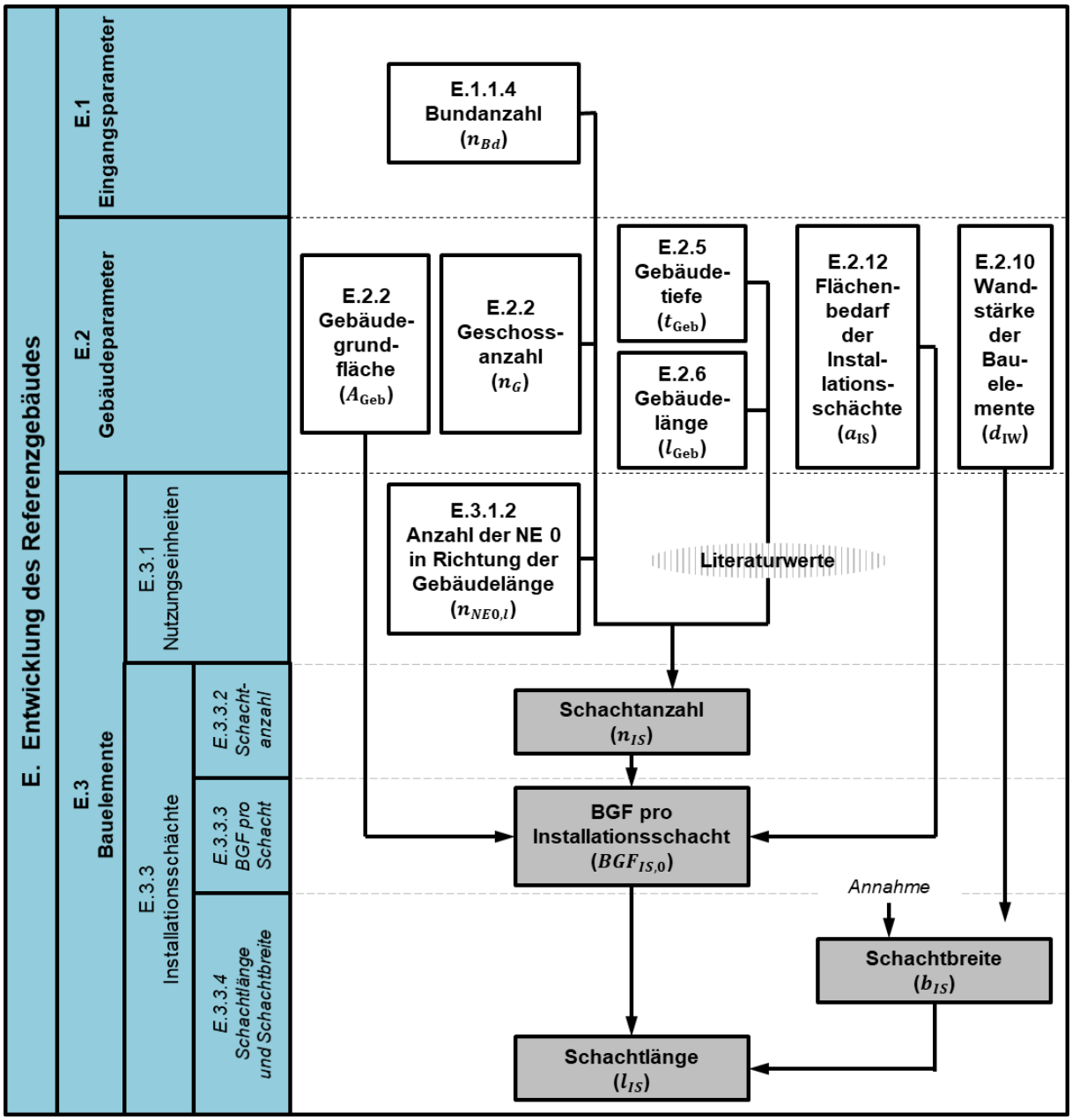


Abb. 132: Ermittlung der Anzahl und Geometrie der Installationsschächte– Ablaufschema[829]

[829] Eigene Darstellung. Anm.: Das dargestellte Ablaufschema gilt für eingeschossige Referenzgebäude (d.h. $n_{TH} = 0$). Für mehrgeschossige Gebäude gilt: $n_{IS} = n_{TH}$.

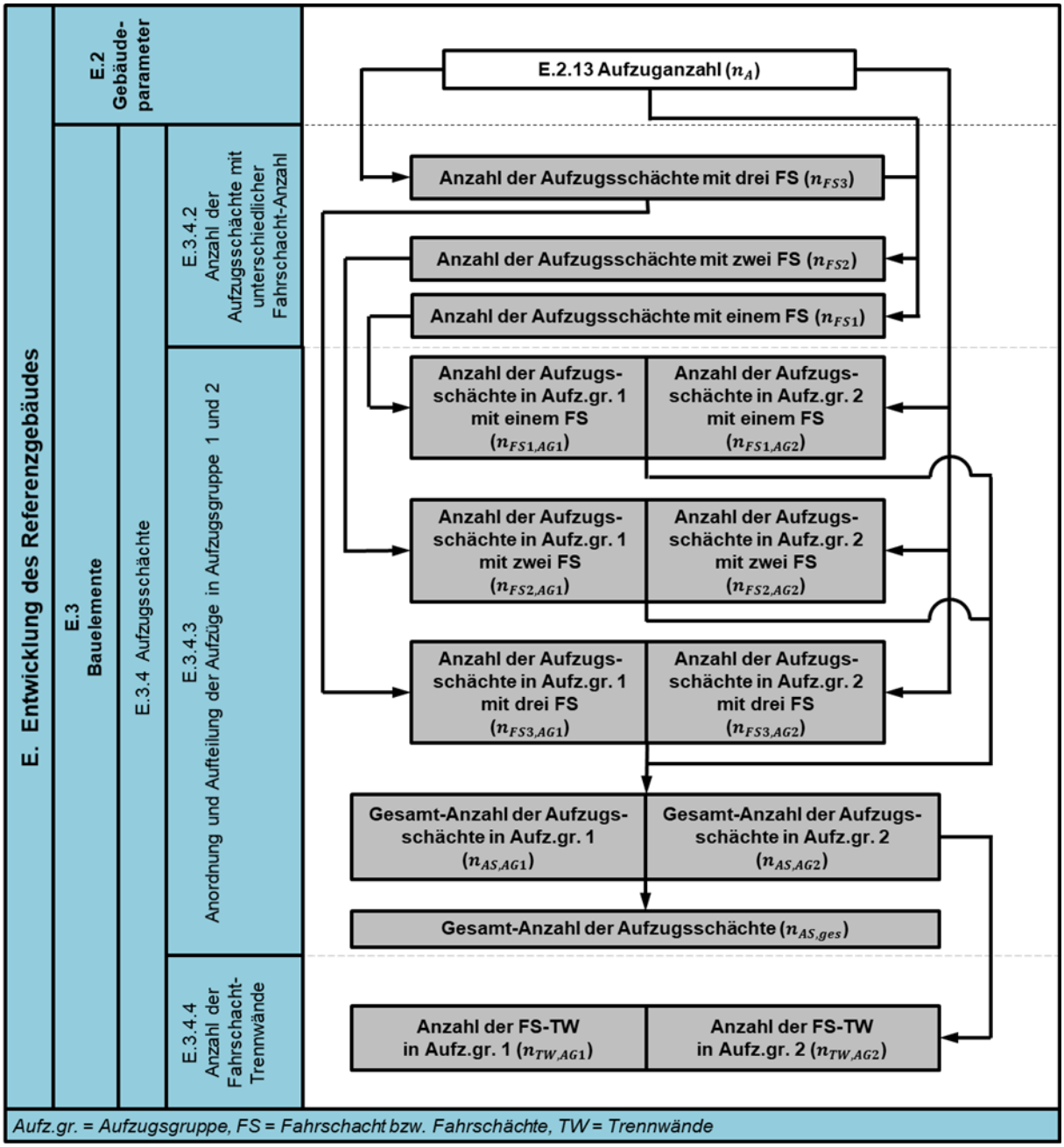


Abb. 133: Ermittlung der Anzahl der Aufzugsschächte und Fahrschacht-Trennwände – Ablaufschema[830]

[830] Eigene Darstellung.

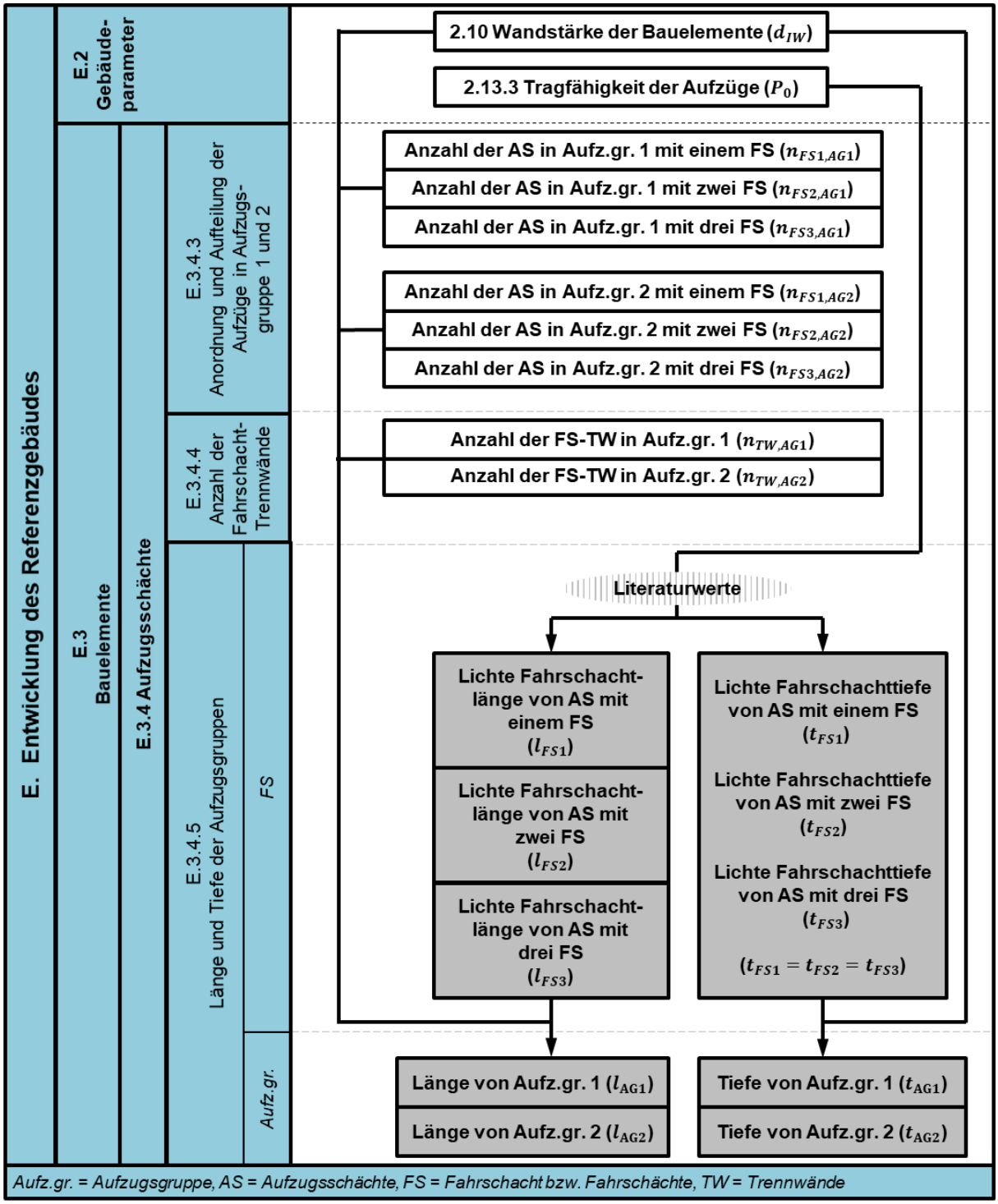


Abb. 134: Ermittlung der Länge und Tiefe von Aufzugsgruppe 1 und 2 – Ablaufschema[831]

[831] Eigene Darstellung. Anm.: Das dargestellte Ablaufschema gilt für $n_{AS,AG1} > 0$ und $n_{AS,AG2} > 0$.

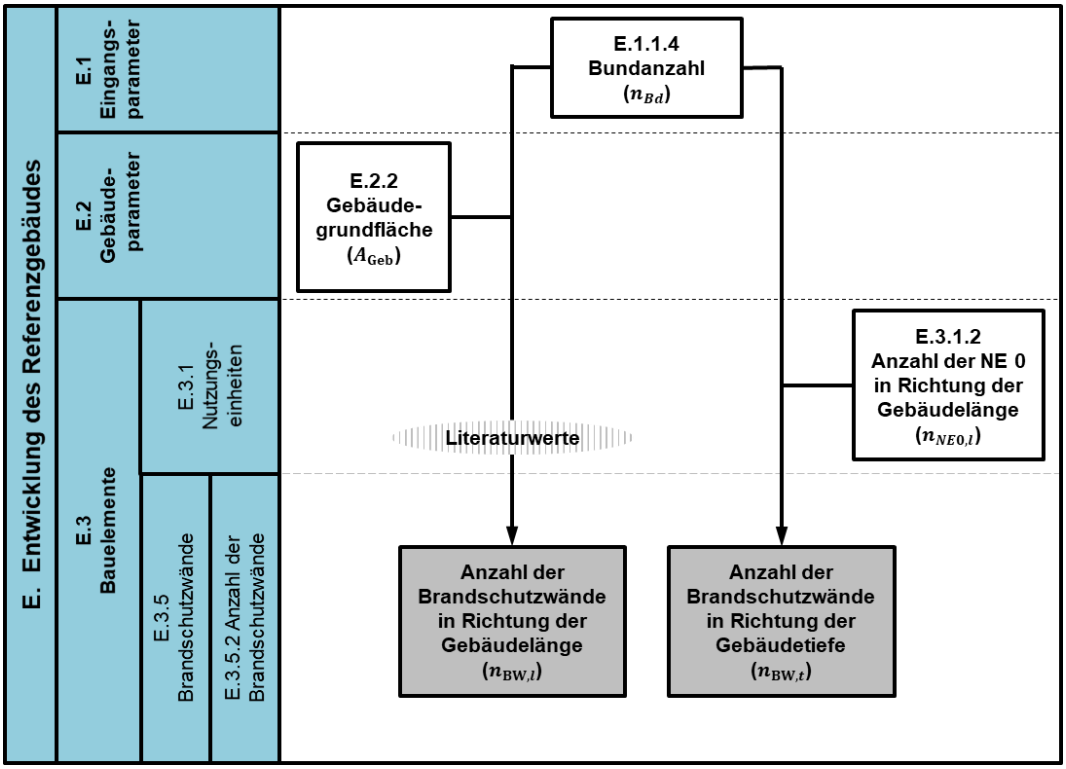


Abb. 135: Ermittlung der Anzahl der Brandschutzwände – Ablaufschema[832]

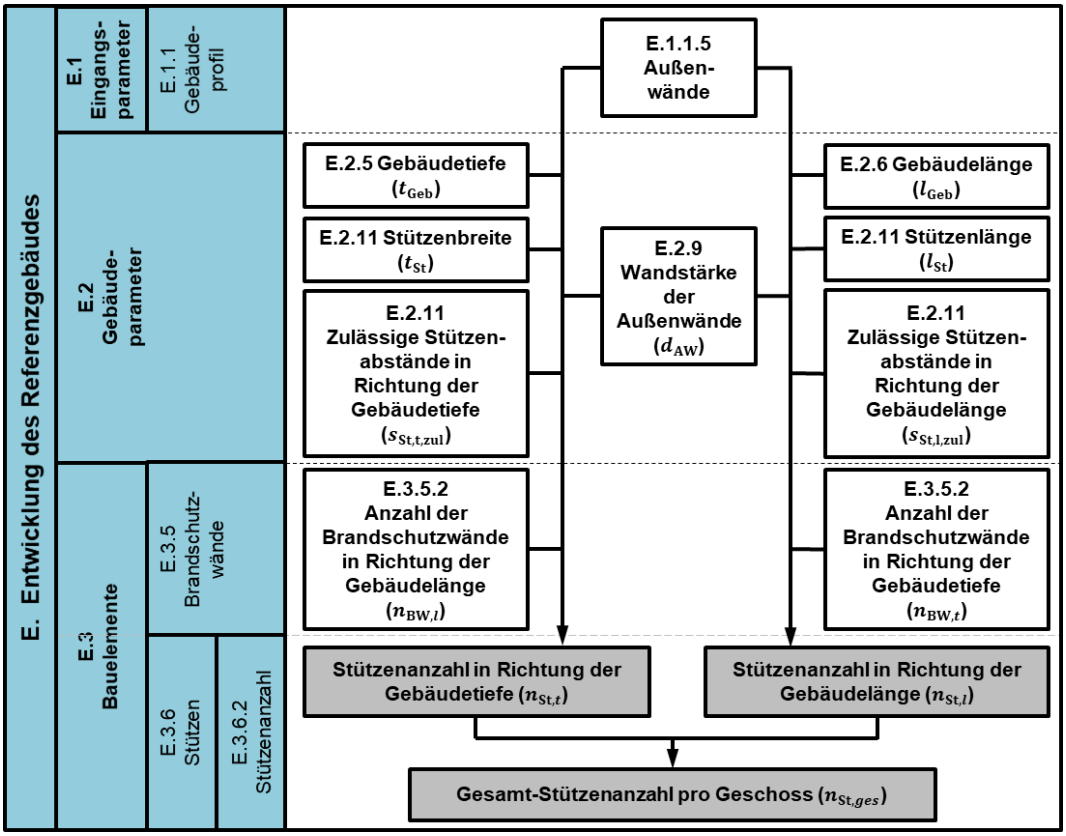


Abb. 136: Ermittlung der Stützenanzahl – Ablaufschema[833]

[832] Eigene Darstellung.

[833] Eigene Darstellung.

L.2.2 Ableitung von Parametern aus Literaturangaben

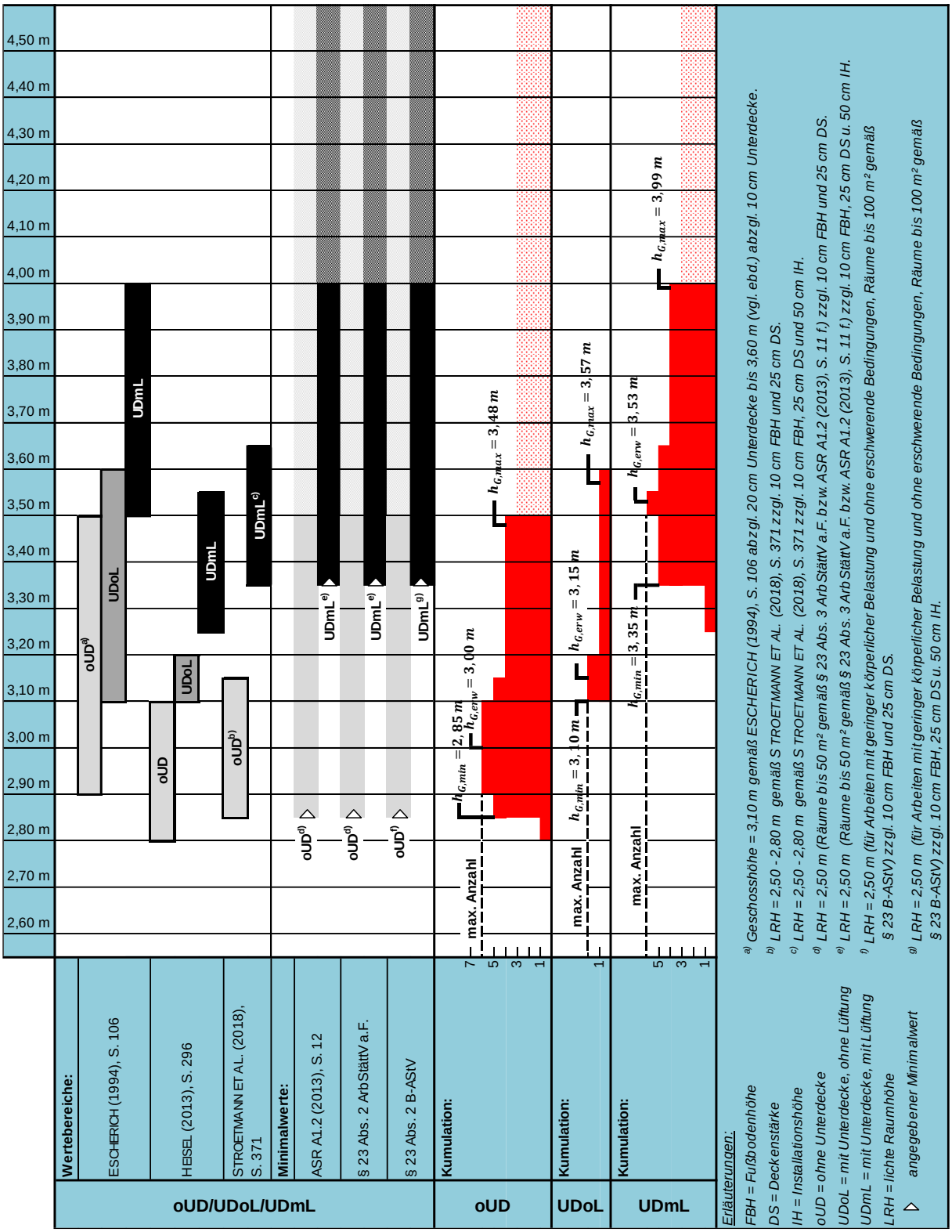


Abb. 137: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Geschosshöhe – Zellenbüros[834]

[834] Eigene Darstellung.

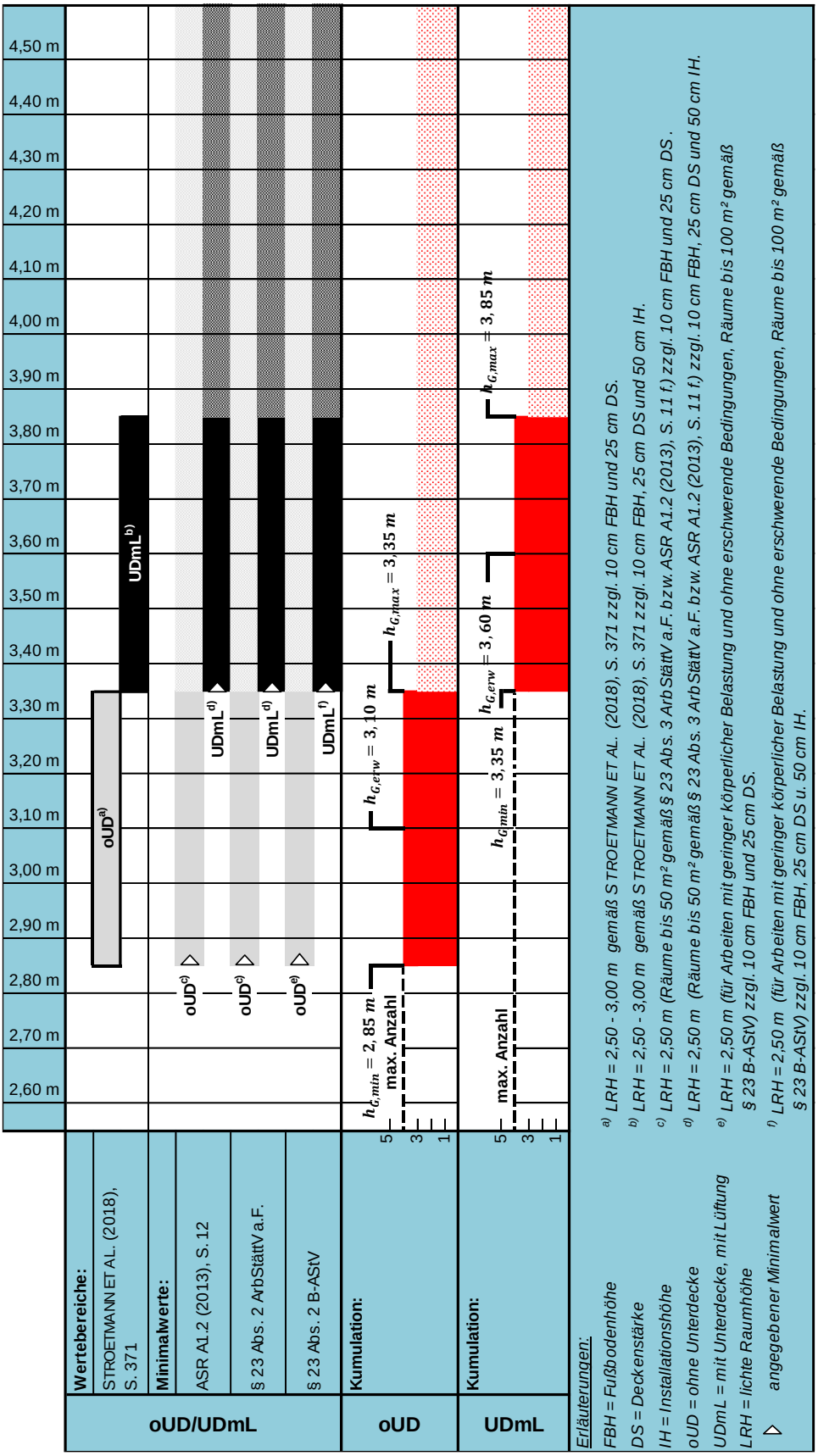


Abb. 138: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Geschosshöhe – Kombibüros[835]

[835] Eigene Darstellung.

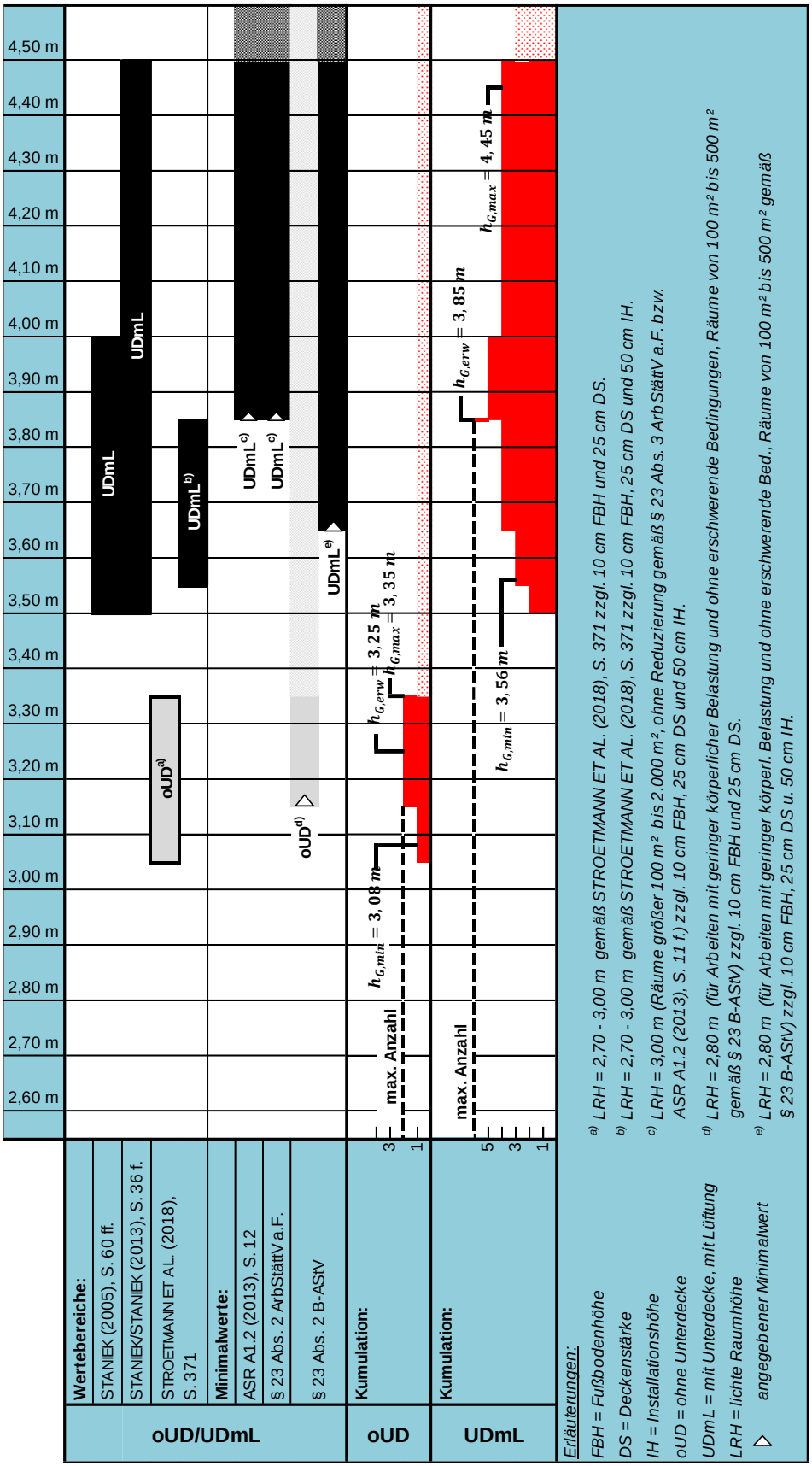


Abb. 139: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Geschosshöhe – Gruppenbüros[836]

836 Eigene Darstellung.

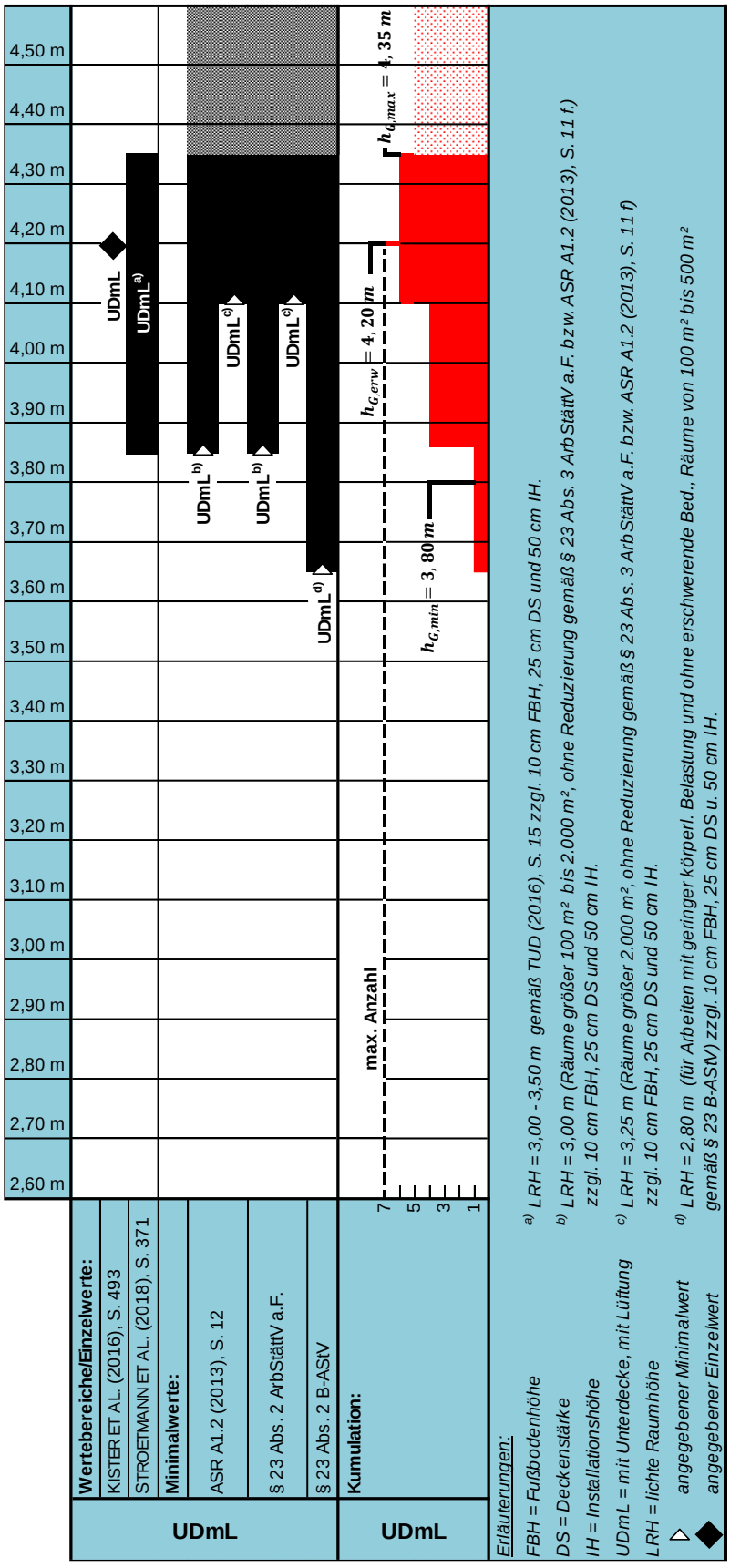


Abb. 140: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Geschosshöhe – Großraumbüros[837]

[837] Eigene Darstellung.

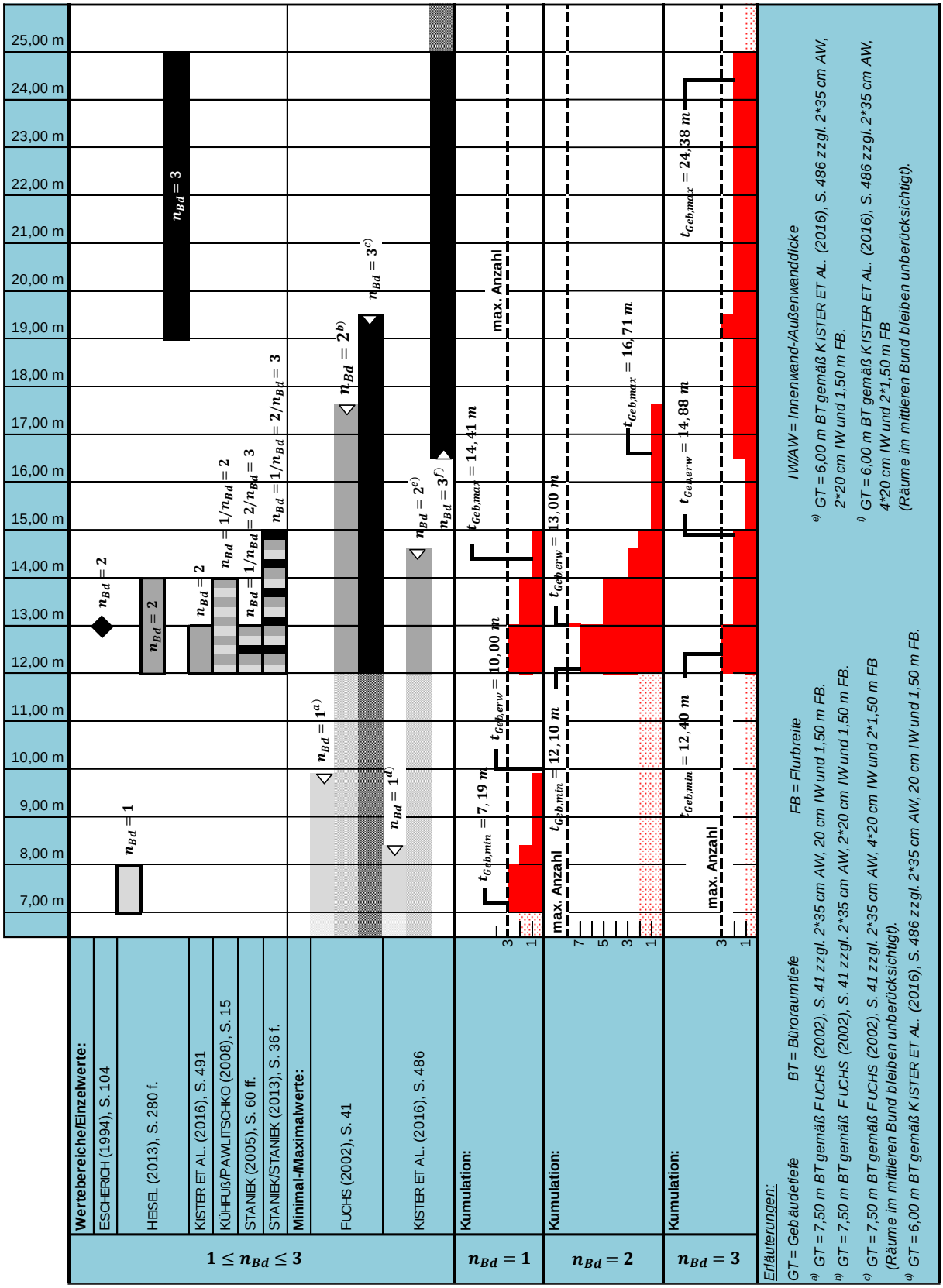


Abb. 141: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefe – Zellenbüros[838]

[838] Eigene Darstellung.

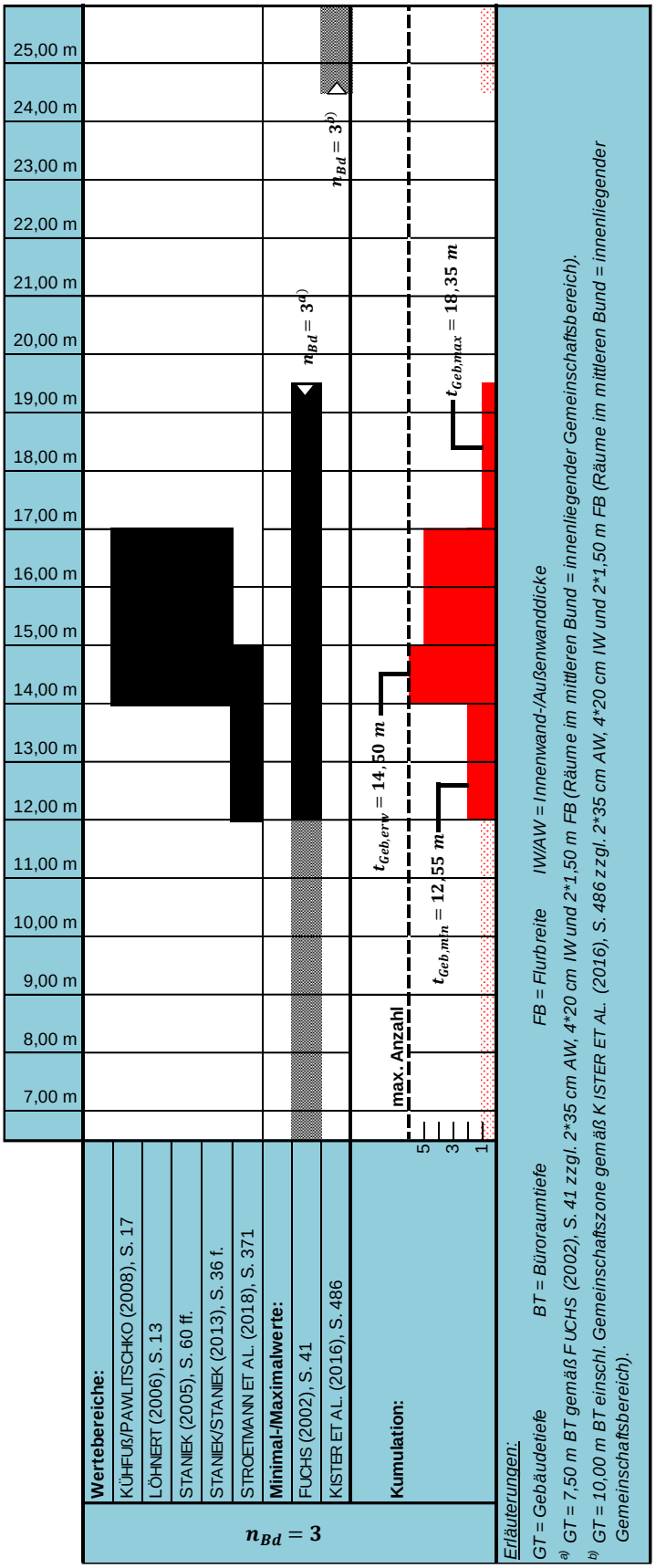


Abb. 142: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefe – Kombibüros[839]

[839] Eigene Darstellung.

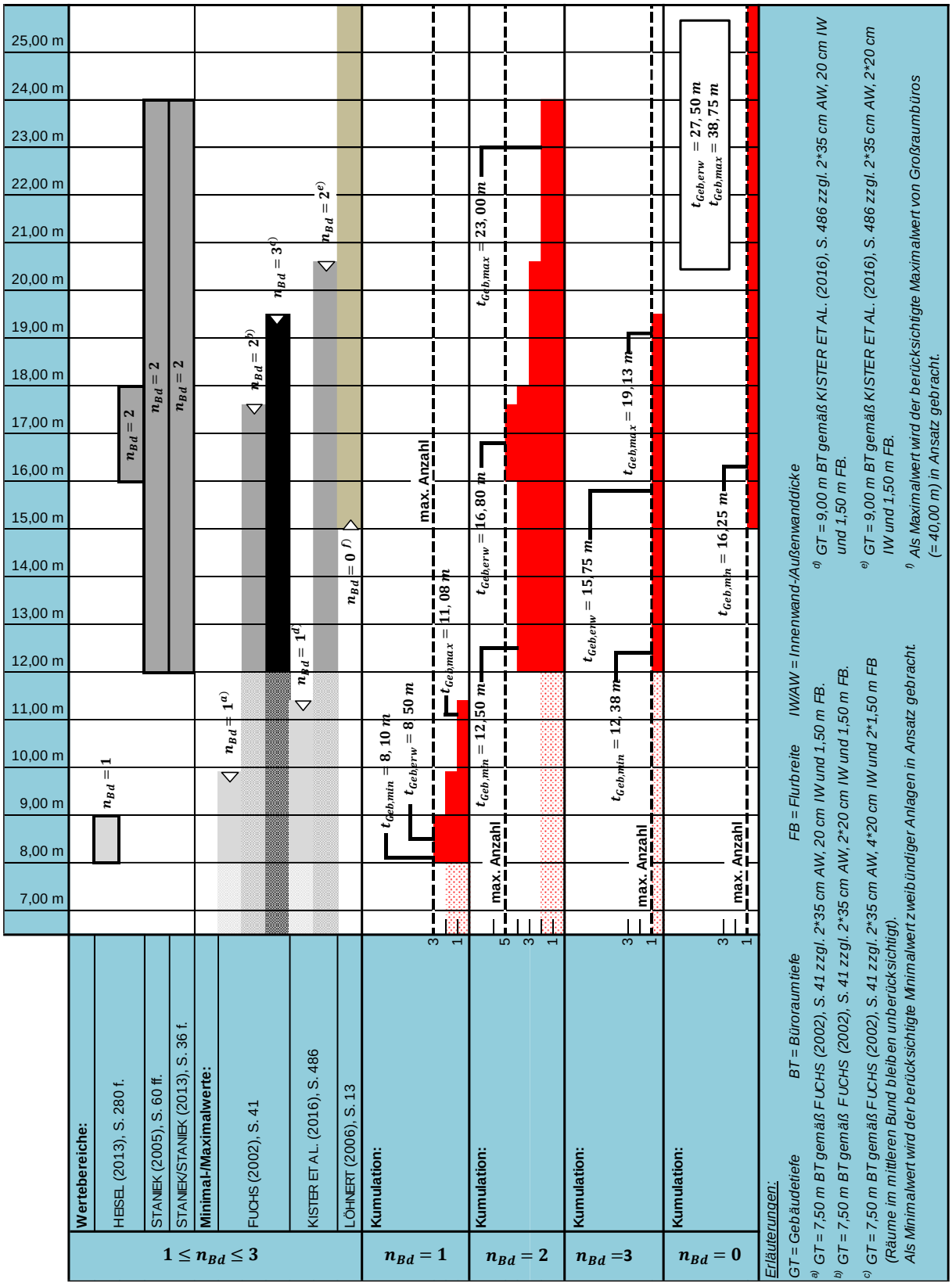


Abb. 143: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefe – Gruppenbüros[840]

[840] Eigene Darstellung.

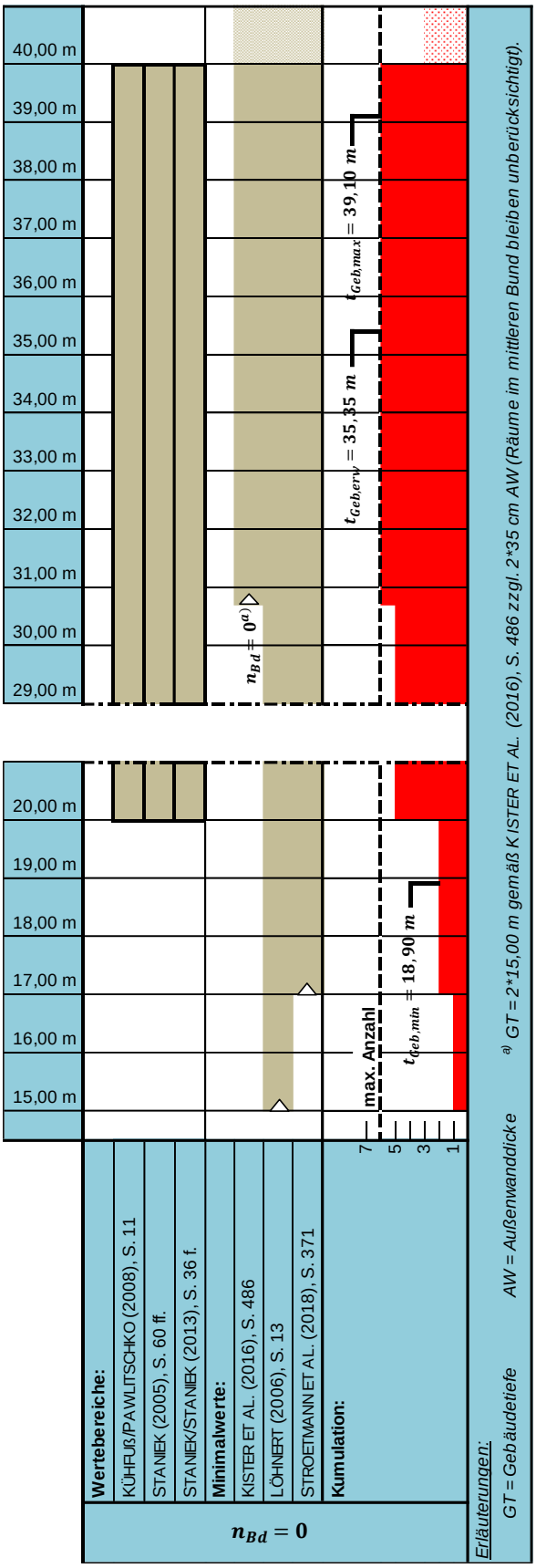


Abb. 144: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Gebäudetiefe – Großraumbüros[841]

[841] Eigene Darstellung.

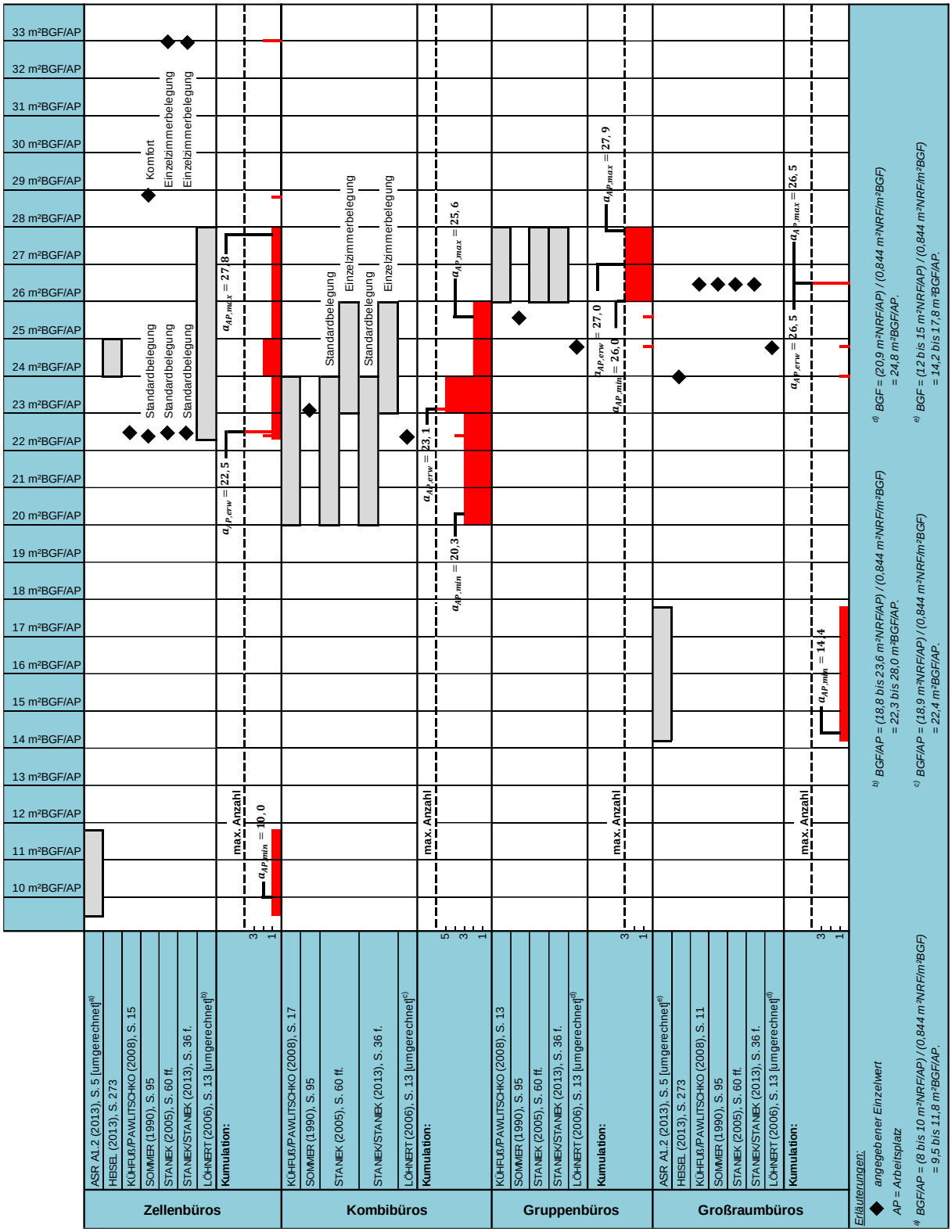


Abb. 145: Ermittlung des minimalen, erwarteten und maximalen BGF-Bedarfs pro Arbeitsplatz[842]

[842] Eigene Darstellung. Die Ermittlung des mittleren Verhältnisses zwischen der NRF und BGF bzw. der verwendete Umrechnungsfaktor von 0,844 m²NRF pro m²BGF resultiert aus Abb. 146.

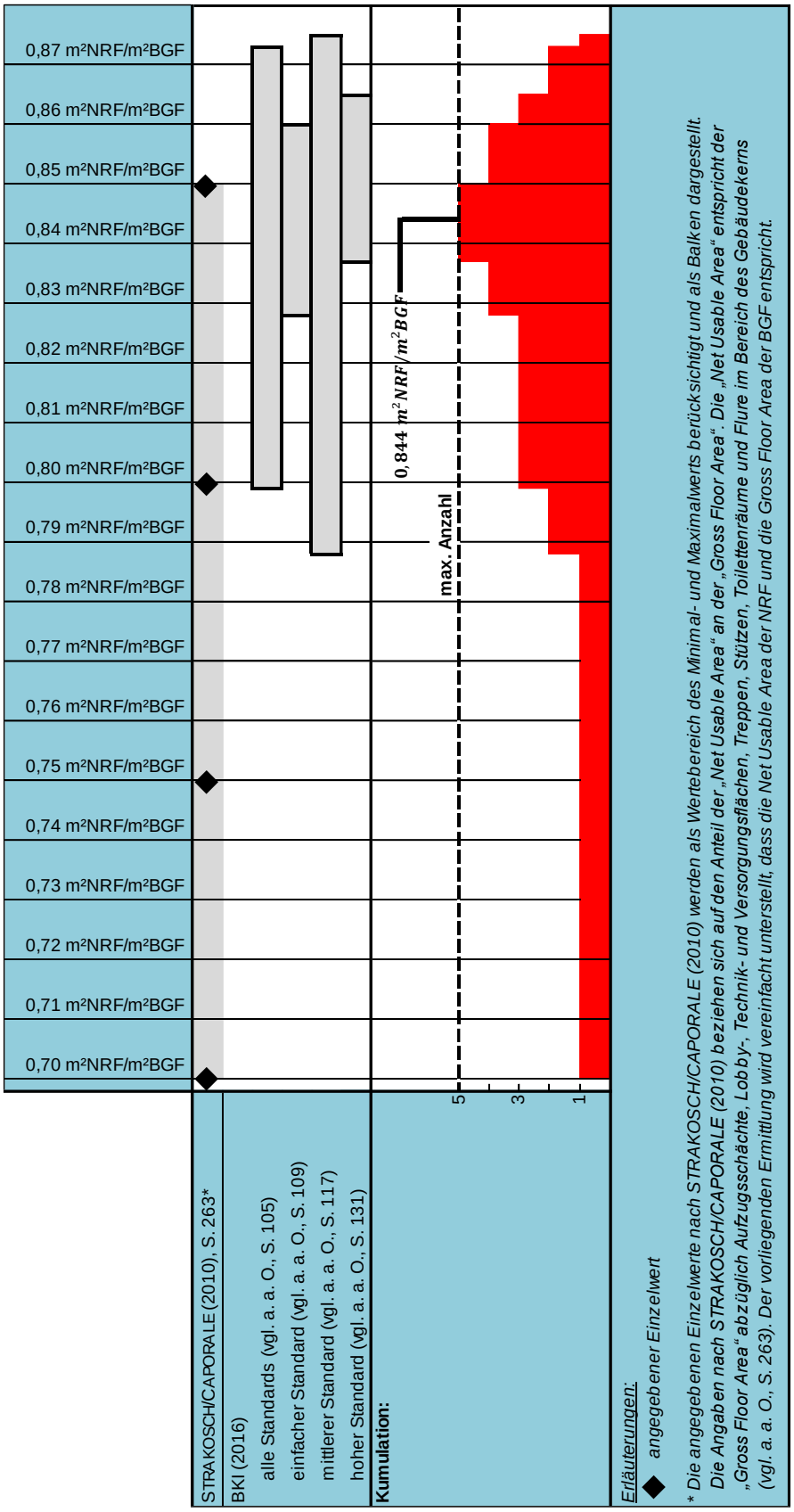


Abb. 146: Ermittlung des Verhältnisses der NRF zur BGF[843]

[843] Eigene Darstellung.

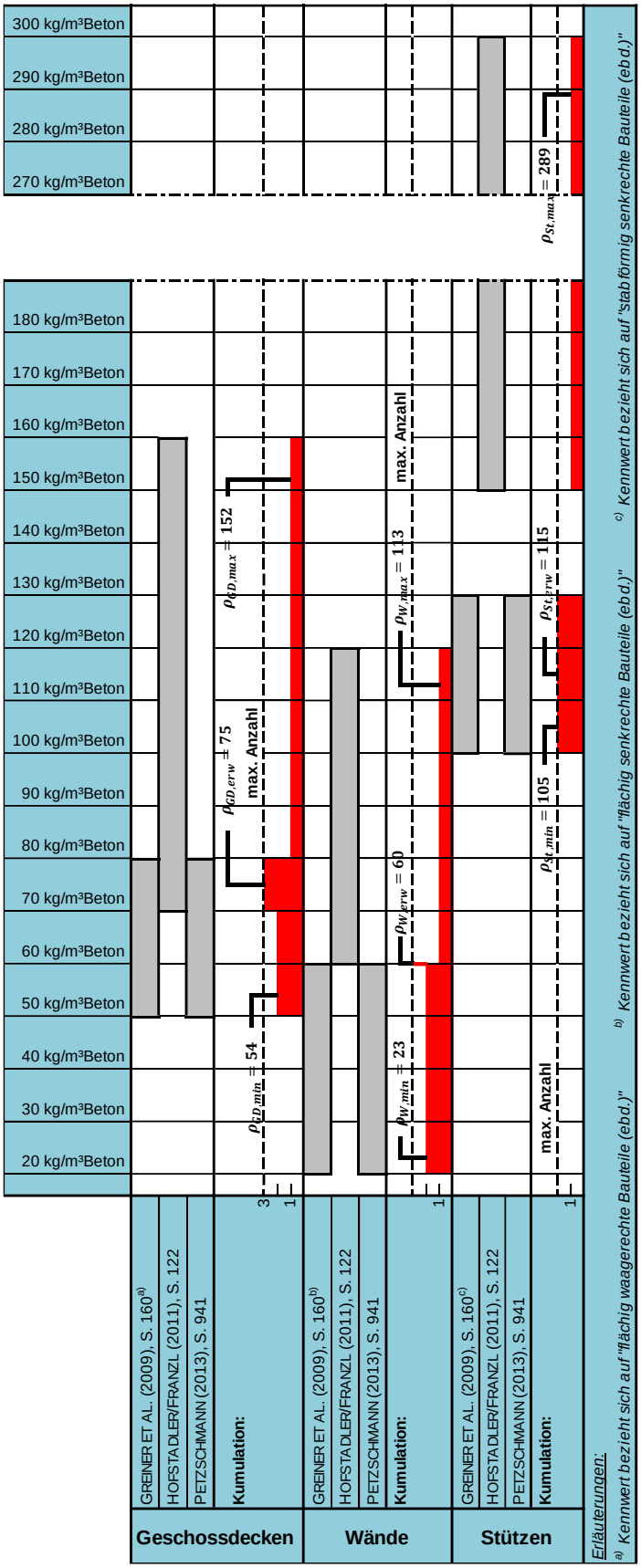


Abb. 147: Ermittlung der minimalen, erwarteten und maximalen Bewehrungsanteile[844]

[844] Eigene Darstellung.

L.3 Plausibilitätsprüfung der berechneten Taktzeiten (Kap. G)

Die Plausibilitätsprüfung der berechneten Taktzeiten kann durch den Vergleich der vorhandenen Arbeitsflächen und –längen $\alpha_{AK,i,j,Ist}$ eines Taktes i im Geschoss j (vgl. Kap. L.3.2) mit den (zulässigen) Mindestarbeitsflächen und -längen ($\alpha_{AK,i,zul,min}$, $\alpha_{AK,i,zul,erw}$ u. $\alpha_{AK,i,zul,max}$) (vgl. Kap. L.3.1) erfolgen, die zur Erreichung der „Normal-Produktivität“ einer AK notwendig sind. Die zulässigen und vorhandenen Mindestarbeitsflächen und -längen werden in der entwickelten Arbeitshilfe zwar angegeben, dienen allerdings lediglich der Information für Verfahrensanwender. Bei der Festlegung der Anzahl an AK (vgl. Kap. G.1) und Plausibilitätsprüfung der ermittelten Bauzeiten (vgl. Kap. I.5) werden diese hingegen nicht weiter berücksichtigt.

L.3.1 (Zulässige) Mindestarbeitsflächen und -längen

Die Mindestarbeitsfläche wird wie folgt definiert:

> *„Die Mindestarbeitsfläche ist jene Fläche, die eine Arbeitskraft durchschnittlich benötigt, um die ‚Normal-Produktivität‘ zu erzielen. Die Mindestarbeitsfläche wird auf die Arbeitsfläche [gemessen im Grundriss; Anm. d. Verf.] bezogen, die einer Arbeitskraft durchschnittlich an einem Arbeitstag in einem Fertigungsabschnitt für die Ausführung der geplanten Tätigkeit zur Verfügung steht.“* [845]

Die Definition der Mindestarbeitslänge ergibt sich analog, bezieht sich jedoch auf die Wandlänge.[846] Entsprechend beziehen sich Mindestarbeitsflächen auf horizontale Bauteile und Mindestarbeitslängen auf vertikale Bauteile.

Durch die Überschreitung von Mindestarbeitsflächen und -längen entstehen unübliche Behinderungen durch andere AK im gleichen Fertigungsabschnitt, die zu Produktivitätsverlusten führen,[847] was es bei der Ermittlung wirtschaftlicher Bauzeiten zu vermeiden gilt.

---

[845] HOFSTADLER (2014), S. 68.

[846] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 70. Anm.: Beim Referenzgebäude werden gleiche Wandlängen im Bereich der Aufstandsfläche der Schalung und Wandkrone unterstellt. Eine Unterscheidung der Bezugsebenen für unterschiedliche Prozesse, wie von HOFSTADLER (2014) vorgesehen (vgl. a. a. O., S. 70), ist somit nicht notwendig. Die mittlere Wandlänge kann entsprechend näherungsweise aus den Betonvolumina der vertikalen Bauteile eines Geschosses berechnet werden.

[847] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 68, 70.

In HOFSTADLER (2014) findet sich eine umfangreiche Zusammenfassung von Literaturansätzen zu Mindestarbeitsflächen und -längen, die für horizontale und vertikale Bauteile und die zu betrachtenden Prozesse in Tab. 59 und Tab. 60 zusammengefasst sind.[848]

Tab. 59: Zulässige Mindestarbeitsflächen (vertikale Bauteile)[849]

			Mindestarbeitsfläche [m²/(AK*AT)]					
			HRUSCHKA (1968)[a]	KRAMPERT (1986)[b]	LANG (1988)[c]	JAAFARI (1988)[d]	BAUER (2007)[e]	HOFSTADLER (2014)[f]
Hochbau (allgemein)			k. A.				15	k. A.
Horizontale Bauteile	**Schalung u. Randschalung**	Decken, Schalarbeiten (allgemein)	14	15	15	25	k. A.	29
		Flachdecken, Trägerschalung	k. A.					29
		Unterzugsdecken, Trägerschalung						25
	Bewehrung	Decken, Stab- und Mattenstahl	k. A.			50	k. A.	37
		Flachdecken, Stabstahl	k. A.					36
		Flachdecken, Mattenstahl						44
		Unterzugsdecken, Stabstahl						31
		Unterzugsdecken, Mattenstahl						38
	Beton	Flachdecken	k. A.					44
		Unterzugsdecken						40

Erläuterungen:
[a] Vgl. HRUSCHKA (1968), S. 132.
[b] Vgl. KRAMPERT (1986), S. 126.
[c] Vgl. LANG (1988), S. 105. Anm.: Von LANG (1988) übernommen aus KRAMPERT (1986).
[d] Vgl. JAAFARI (1988), S. 2601.
[e] Vgl. BAUER (2007), S. 763 f.
[f] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 193, 195,197.

Tab. 60: Zulässige Mindestarbeitslängen (horizontale Bauteile)[850]

			Mindestarbeitslänge $\left[\frac{m}{AK \cdot AT}\right]$ HOFSTADLER (2014)*
Vertikale Bauteile	**Schalung**	Wände, h = 2,50 m	4,30
		Wände, h = 5,00 m	3,10
	Bewehrung	Wände, h = 2,50 m	4,70
		Wände, h = 5,00 m	3,20
	Betonagearbeiten		4,50

** Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 200, 217, 225, 461.*

[848] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 65 ff., 119 ff.

[849] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 460.

[850] Vgl. HOFSTADLER (2014), S. 461.

Die angegebene Mindestarbeitsfläche von 29 m²/AK nach HOFSTADLER (2014) gilt sowohl für Trägerschalungen von Flachdecken als auch für Deckenschalungen unabhängig vom Schalungssystem, weshalb dieser als erwarteter und maximaler Wert für die Mindestarbeitsfläche der zugrunde gelegten Fertigteildecken übernommen wird. Als Minimalwert wird die Vorgabe gemäß HRUSCHKA (1968) angesetzt.

Der minimale, erwartete und maximale Wert der zulässigen Mindestarbeitsfläche von Takt 4 ($\alpha_{AK,T4,zul,min}$, $\alpha_{AK,T4,zul,erw}$ u. $\alpha_{AK,T4,zul,max}$) d. h. für die Schalung der horizontalen Bauteile und Deckenrandschalung, beträgt somit:

$$\alpha_{AK,T4,zul,min}\left[\frac{m^2}{AK \cdot AT}\right] = 14 \tag{L.49}$$

$$\alpha_{AK,T4,zul,erw}\left[\frac{m^2}{AK \cdot AT}\right] = \alpha_{AK,T4,zul,max}\left[\frac{m^2}{AK \cdot AT}\right] = 29 \tag{L.50}$$

Die Minimal- und Maximalwerte der zulässigen Mindestarbeitsflächen von Takt 5 ($\alpha_{AK,T5,zul,min}$ u. $\alpha_{AK,T5,zul,max}$), d. h. für die Bewehrungsarbeiten der horizontalen Bauteile, ergeben sich aus Tab. 59 zu:

$$\alpha_{AK,T5,zul,min}\left[\frac{m^2}{AK \cdot AT}\right] = 31 \tag{L.51}$$

$$\alpha_{AK,T5,zul,erw}\left[\frac{m^2}{AK \cdot AT}\right] = 37 \tag{L.52}$$

$$\alpha_{AK,T5,zul,max}\left[\frac{m^2}{AK \cdot AT}\right] = 50 \tag{L.53}$$

Für die Festlegung der Minimal- und Maximalwerte der zulässigen Mindestarbeitsfläche von Takt 6 ($\alpha_{AK,T6,zul,min}$ u. $\alpha_{AK,T6,zul,max}$), d. h. für die Betonagearbeiten der horizontalen Bauteile, liegen ausschließlich die erhobenen Werte für Flach- und Unterzugsdecken nach HOFSTADLER (2014) vor (vgl. Tab. 59). Als erwartete zulässige Mindestarbeitsfläche ($\alpha_{AK,T6,zul,erw}$) wird der zugehörige Mittelwert in Ansatz gebracht:

$$\alpha_{AK,T6,zul,min}\left[\frac{m^2}{AK \cdot AT}\right] = 40 \tag{L.54}$$

$$\alpha_{AK,T6,zul,erw}\left[\frac{m^2}{AK \cdot AT}\right] = 42 \tag{L.55}$$

$$\alpha_{AK,T6,zul,max}\left[\frac{m^2}{AK \cdot AT}\right] = 44 \tag{L.56}$$

Die Mindestarbeitslängen in Tab. 60 gelten ausschließlich für die Schalung, Bewehrung und Betonage von Wänden, da eine Festlegung von Mindestarbeitslängen für Stützen aufgrund

der angegebenen Definition nicht zweckmäßig ist. Dennoch werden Wände und Stützen bei der Ermittlung der Anzahl an AK als vertikale Bauteile zusammengefasst betrachtet.

Während für Betonagearbeiten lediglich ein Einzelwert angegeben ist, sind für Schal- und Bewehrungsarbeiten unterschiedliche Mindestarbeitslängen in Abhängigkeit von der Wandhöhe angegeben (vgl. Tab. 60). Die ermittelten RG-Höhen (vgl. Kap. E.2.1.2) liegen ausnahmslos innerhalb der angegebenen Wandhöhen von 2,50 und 5,00 m in Tab. 60, weshalb die angegebenen Mindestarbeitslängen als Minimal- und Maximalwert übernommen werden.[851] Die erwartete Arbeitslänge wird jeweils als zugehöriger Mittelwert angesetzt – eine Interpolation wird nicht vorgesehen.

Die minimalen, erwarteten und maximalen Werte der zulässigen Mindestarbeitsfläche von Takt 1 ($\alpha_{AK,T1,zul,min}$, $\alpha_{AK,T1,zul,erw}$ u. $\alpha_{AK,T1,zul,max}$), d. h. für die Schalarbeiten der vertikalen Bauteile, Takt 2 ($\alpha_{AK,T2,zul,min}$, $\alpha_{AK,T2,zul,erw}$ u. $\alpha_{AK,T2,zul,max}$), d. h. für die Bewehrungsarbeiten der vertikalen Bauteile, und Takt 3 ($\alpha_{AK,T3,zul,min}$, $\alpha_{AK,T3,zul,erw}$ u. $\alpha_{AK,T3,zul,max}$), d. h. für die Betonagearbeiten der vertikalen Bauteile, resultieren somit aus Tab. 60 zu:

$$\alpha_{AK,T1,zul,min}\left[\frac{m}{AK \cdot AT}\right] = 3{,}10 \tag{L.57}$$

$$\alpha_{AK,T1,zul,erw}\left[\frac{m}{AK \cdot AT}\right] = 3{,}70 \tag{L.58}$$

$$\alpha_{AK,T1,zul,max}\left[\frac{m}{AK \cdot AT}\right] = 4{,}30 \tag{L.59}$$

$$\alpha_{AK,T2,zul,min}\left[\frac{m}{AK \cdot AT}\right] = 3{,}20 \tag{L.60}$$

$$\alpha_{AK,T2,zul,erw}\left[\frac{m}{AK \cdot AT}\right] = 3{,}95 \tag{L.61}$$

$$\alpha_{AK,T2,zul,max}\left[\frac{m}{AK \cdot AT}\right] = 4{,}70 \tag{L.62}$$

$$\alpha_{AK,T3,zul,min}\left[\frac{m}{AK \cdot AT}\right] = \alpha_{AK,T3,zul,erw}\left[\frac{m}{AK \cdot AT}\right] = \alpha_{AK,T3,zul,max}\left[\frac{m}{AK \cdot AT}\right] = 4{,}50 \tag{L.63}$$

L.3.2 Vorhandene Arbeitsflächen und –längen

Die Bestimmung der vorhandenen Arbeitsflächen und –längen erfolgt anhand der Grundfläche bzw. Wandlänge, der Taktzeit sowie der vorhandenen Kolonnenanzahl und -stärke der einzelnen Takte pro Fertigungsabschnitt und ist in Tab. 61 zusammengefasst.

[851] Auf die Berücksichtigung der Mindestarbeitslängen von 7,00 m Wandhöhe (vgl. HOFSTADLER (2014), S. 200) wird aufgrund der ermittelten zweckmäßigen RG-Höhen verzichtet.

Tab. 61: Berechnung der vorhandenen Arbeitsflächen und -längen[852]

	Takt-Nr.	Bauprozess	Berechnung	
EG	1	Einschalen vert. Bauteile	$\alpha_{AK,T1,EG} = \frac{l_{FA}}{D_{T,EG} \cdot n_{(Kol/FA),T1,EG} \cdot n_{AK/Kol,S,vert}}$	(L.64)
	2	Bewehrung vert. Bauteile	$\alpha_{AK,T2,EG} = \frac{l_{FA}}{D_{T,EG} \cdot n_{(Kol/FA),T2,EG} \cdot n_{AK/Kol,Bew,vert}}$	(L.65)
	3	Betonage vert. Bauteile*	$\alpha_{AK,T3,EG} = \frac{l_{FA}}{n_{(Kol/FA),T3,EG} \cdot n_{AK/Kol,B,vert}}$	(L.66)
	4	Einschalen hor. Bauteile Randschalung hor. Bauteile Ausschalen vert. Bauteile	$\alpha_{AK,T4,EG} = \frac{A_{FA}}{D_{T,EG} \cdot n_{(Kol/FA),T4,EG} \cdot n_{AK/Kol,S,hor}}$	(L.67)
	5	Bewehrung hor. Bauteile	$\alpha_{AK,T5,EG} = \frac{A_{FA}}{D_{T,EG} \cdot n_{(Kol/FA),T5,EG} \cdot n_{AK/Kol,Bew,hor}}$	(L.68)
	6	Betonage hor. Bauteile*	$\alpha_{AK,T6,EG} = \frac{A_{FA}}{n_{(Kol/FA),T6,EG} \cdot n_{AK/Kol,B,hor}}$	(L.69)
RG	1	Einschalen vert. Bauteile	$\alpha_{AK,T1,RG} = \frac{l_{FA}}{D_{T,RG} \cdot n_{(Kol/FA),T1,RG} \cdot n_{AK/Kol,S,vert}}$	(L.70)
	2	Bewehrung vert. Bauteile	$\alpha_{AK,T2,RG} = \frac{l_{FA}}{D_{T,RG} \cdot n_{(Kol/FA),T2,RG} \cdot n_{AK/Kol,Bew,vert}}$	(L.71)
	3	Betonage vert. Bauteile	$\alpha_{AK,T3,RG} = \frac{l_{FA}}{n_{(Kol/FA),T3,RG} \cdot n_{AK/Kol,B,vert}}$	(L.72)
	4	Einschalen hor. Bauteile Randschalung hor. Bauteile Ausschalen vert. Bauteile	$\alpha_{AK,T4,RG} = \frac{A_{FA}}{D_{T,RG} \cdot n_{(Kol/FA),T4,RG} \cdot n_{AK/Kol,S,hor}}$	(L.73)
	5	Bewehrung hor. Bauteile	$\alpha_{AK,T5,RG} = \frac{A_{FA}}{D_{T,RG} \cdot n_{(Kol/FA),T5,RG} \cdot n_{AK/Kol,Bew,hor}}$	(L.74)
	6	Betonage hor. Bauteile	$\alpha_{AK,T6,RG} = \frac{A_{FA}}{n_{(Kol/FA),T6,RG} \cdot n_{AK/Kol,B,hor}}$	(L.75)

Erläuterungen:
** Betonagedauer = 1 AT.*
*$\alpha_{AK,S,vert,i}$ jeweils in m/(AK*AT), $\alpha_{AK,S,vert,i}$ in m²/(AK*AT), l_{FA} in m, A_{FA} in m², $D_{T,EG}$ in AT sowie $n_{(Kol/FA),i}$ und $n_{AK/Kol,i}$ ohne Einheit.*

Die Grundfläche eines Fertigungsabschnitts A_{FA} kann anhand der Gebäudegrundfläche und Anzahl der Fertigungsabschnitte bestimmt werden zu:

$$A_{FA}\,[m^2] = \frac{A_{Geb}}{n_{FA,0}} \qquad \text{(L.76)}$$

[852] Eigene Darstellung.

Die mittlere Wandlänge pro Fertigungsabschnitt l_{FA} wird auf Grundlage des Betonvolumens der vertikalen Bauteile bestimmt.[853] Da für alle Geschosse identische Grundrisse unterstellt werden, ergeben sich für die Fertigungsabschnitte im EG und (sofern vorhanden) in den RG, in Abhängigkeit von den Außenwänden, identische Wandlängen:[854]

$$l_{FA}\,[m] = \begin{cases} \dfrac{\dfrac{1}{h_{EG} - d_{GD}} \cdot \left(\dfrac{V_{B,IW,EG} + V_{B,St,EG}}{d_{IW}}\right)}{n_{FA,0}} & wenn: Außenwände = nicht\ tragend \\ \dfrac{\dfrac{1}{h_{EG} - d_{GD}} \cdot \left(\dfrac{V_{B,AW,EG}}{d_{AW}} + \dfrac{V_{B,IW,EG} + V_{B,St,EG}}{d_{IW}}\right)}{n_{FA,0}} & wenn: Außenwände = tragend \end{cases} \tag{L.77}$$

Die Ermittlung der vorhandenen Kolonnenanzahl pro Fertigungsabschnitt der einzelnen Takte $n_{(Kol/FA),T,i,EG}$ und $n_{(Kol/FA),T,i,RG}$ erfolgt auf Grundlage der Taktzeiten $D_{T,EG}$ und $D_{T,RG}$.und ist in Tab. 62 zusammengefasst. Da die Festlegung der Anzahl der Fertigungsabschnitte auf Grundlage der Tagesleistungen einer einzelnen Betonierkolonne festgelegt wird, erfolgt hierfür keine erneute Berechnung.

[853] Hierbei wird auch das Betonvolumen der Stützen bezogen auf die Innenwanddicke berücksichtigt.

[854] Da auch eingeschossige Referenzgebäude möglich sind, erfolgt die Bestimmung der mittleren Wandlänge pro Fertigungsabschnitt ausschließlich auf Grundlage der Fertigungsmengen des EG.

Tab. 62: Berechnung der vorhandenen Kolonnenanzahl pro Fertigungsabschnitt der einzelnen Takte[855]

	Takt-Nr.	Bauprozess	Berechnung	
EG	1	Einschalen vert. Bauteile	$n_{(Kol/FA),T1,EG} = \left\lceil \frac{W_{ES,vert,EG}}{D_{Ah/AT} \cdot D_{T,EG} \cdot n_{AK/Kol,S,vert}} \right\rceil$	(L.78)
	2	Bewehrung vert. Bauteile	$n_{(Kol/FA),T2,EG} = \left\lceil \frac{W_{Bew,vert,EG}}{D_{Ah/AT} \cdot D_{T,EG} \cdot n_{AK/Kol,Bew,vert}} \right\rceil$	(L.79)
	3	Betonage vert. Bauteile*	$n_{(Kol/FA),T3,EG} = \left\lceil \frac{W_{B,vert,EG}}{D_{Ah/AT} \cdot D_{T,EG} \cdot n_{AK/Kol,B,vert}} \right\rceil$	(L.80)
	4	Einschalen hor. Bauteile Randschalung hor. Bauteile Ausschalen vert. Bauteile	$n_{(Kol/FA),T4,EG} = \left\lceil \frac{W_{S,hor,EG} + W_{RS,EG} + W_{AS,vert,EG}}{D_{Ah/AT} \cdot D_{T,EG} \cdot n_{AK/Kol,S,hor}} \right\rceil$	(L.81)
	5	Bewehrung hor. Bauteile	$n_{(Kol/FA),T5,EG} = \left\lceil \frac{W_{Bew,hor,EG}}{D_{Ah/AT} \cdot D_{T,EG} \cdot n_{AK/Kol,Bew,hor}} \right\rceil$	(L.82)
	6	Betonage hor. Bauteile*	$n_{(Kol/FA),T6,EG} = \left\lceil \frac{W_{B,hor,EG}}{D_{Ah/AT} \cdot D_{T,EG} \cdot n_{AK/Kol,B,hor}} \right\rceil$	(L.83)
RG	1	Einschalen vert. Bauteile	$n_{(Kol/FA),T1,RG} = \left\lceil \frac{W_{ES,vert,RG}}{D_{Ah/AT} \cdot D_{T,RG} \cdot n_{AK/Kol,S,vert}} \right\rceil$	(L.84)
	2	Bewehrung vert. Bauteile	$n_{(Kol/FA),T2,RG} = \left\lceil \frac{W_{Bew,vert,RG}}{D_{Ah/AT} \cdot D_{T,RG} \cdot n_{AK/Kol,Bew,vert}} \right\rceil$	(L.85)
	3	Betonage vert. Bauteile*	$n_{(Kol/FA),T3,RG} = \left\lceil \frac{W_{B,vert,RG}}{D_{Ah/AT} \cdot D_{T,RG} \cdot n_{AK/Kol,B,vert}} \right\rceil$	(L.86)
	4	Einschalen hor. Bauteile Randschalung hor. Bauteile Ausschalen vert. Bauteile	$n_{(Kol/FA),T4,RG} = \left\lceil \frac{W_{S,hor,RG} + W_{RS,RG} + W_{AS,vert,RG}}{D_{Ah/AT} \cdot D_{T,RG} \cdot n_{AK/Kol,S,hor}} \right\rceil$	(L.87)
	5	Bewehrung hor. Bauteile	$n_{(Kol/FA),T5,RG} = \left\lceil \frac{W_{Bew,hor,RG}}{D_{Ah/AT} \cdot D_{T,RG} \cdot n_{AK/Kol,Bew,hor}} \right\rceil$	(L.88)
	6	Betonage hor. Bauteile*	$n_{(Kol/FA),T6,RG} = \left\lceil \frac{W_{B,hor,RG}}{D_{Ah/AT} \cdot D_{T,RG} \cdot n_{AK/Kol,B,hor}} \right\rceil$	(L.89)

Erläuterungen:
** Grundannahme bei der Bestimmung der Anzahl der Fertigungsabschnitte: Kolonnenanzahl für Betonagearbeiten = 1.*
$n_{(Kol/FA),i}$ und $n_{AK/Kol,i}$ jeweils ohne Einheit, W_i in Ah, $D_{Ah/AT}$ in Ah/AT und $D_{T,i}$ in AT.

[855] Eigene Darstellung.

L.4 Validierung und Sensitivitätsanalyse (Kap. I)

L.4.1 Stufe 1: Analyse der Soll-0-Gebäudeparameter

L.4.1.1 Eingangsparameter zur Ermittlung der Soll-0-Gebäudeparameter

Tab. 63: Eingangsparameter zur Ermittlung der Soll-0-Gebäudeparameter, Bauobjekt 1[856]

		Bezeichnung	Berechnungs-grundlage
Bauobjekt 1	Gebäudeprofil	Flächenbedarf des Nutzers (optional)	2.442,00
		Bürotyp	Zellenbüros
		Unterdecke	nein
		Installationsgrad	ohne Lüftungstechnik
		Bundanzahl	2
		Außenwände	tragend
		Anzahl Arbeitsplätze (optional)	-
	Maß der baulichen Nutzung	Baugrundstücksfläche	-
		Zulässige Grundfläche der baulichen Anlage	-
		GRZ	-
		GFZ	-
		Zulässige Anzahl von Vollgeschossen	6
		Zulässige Höhe der baulichen Anlage	-

Tab. 64: Eingangsparameter zur Ermittlung der Soll-0-Gebäudeparameter, Bauobjekt 2[857]

		Bezeichnung	Berechnungs-grundlage
Bauobjekt 2	Gebäudeprofil	Flächenbedarf des Nutzers (optional)	3.088,00
		Bürotyp	Zellenbüros
		Unterdecke	nein
		Installationsgrad	ohne Lüftungstechnik
		Bundanzahl	2
		Außenwände	tragend
		Anzahl Arbeitsplätze (optional)	-
	Maß der baulichen Nutzung	Baugrundstücksfläche	-
		Zulässige Grundfläche der baulichen Anlage	-
		GRZ	-
		GFZ	-
		Zulässige Anzahl von Vollgeschossen	7
		Zulässige Höhe der baulichen Anlage	-

[856] Vgl. HACHERER (2019), Anhang (o. S.). Anm.: Festlegung „Außenwände = tragend“ durch den Verfasser.

[857] Vgl. HACHERER (2019), Anhang (o. S.). Anm.: Festlegung „Außenwände = tragend“ durch den Verfasser.

Tab. 65: Eingangsparameter zur Ermittlung der Soll-0-Gebäudeparameter, Bauobjekt 3[858]

		Bezeichnung	Berechnungs-grundlage
Bauobjekt 3	Gebäudeprofil	Flächenbedarf des Nutzers (optional)	9.169,04
		Bürotyp	Zellenbüros
		Unterdecke	ja
		Installationsgrad	mit Lüftungstechnik
		Bundanzahl	2
		Außenwände	nicht tragend
		Anzahl Arbeitsplätze (optional)	-
	Maß der baulichen Nutzung	Baugrundstücksfläche	-
		Zulässige Grundfläche der baulichen Anlage	-
		GRZ	-
		GFZ	-
		Zulässige Anzahl von Vollgeschossen	8
		Zulässige Höhe der baulichen Anlage	-

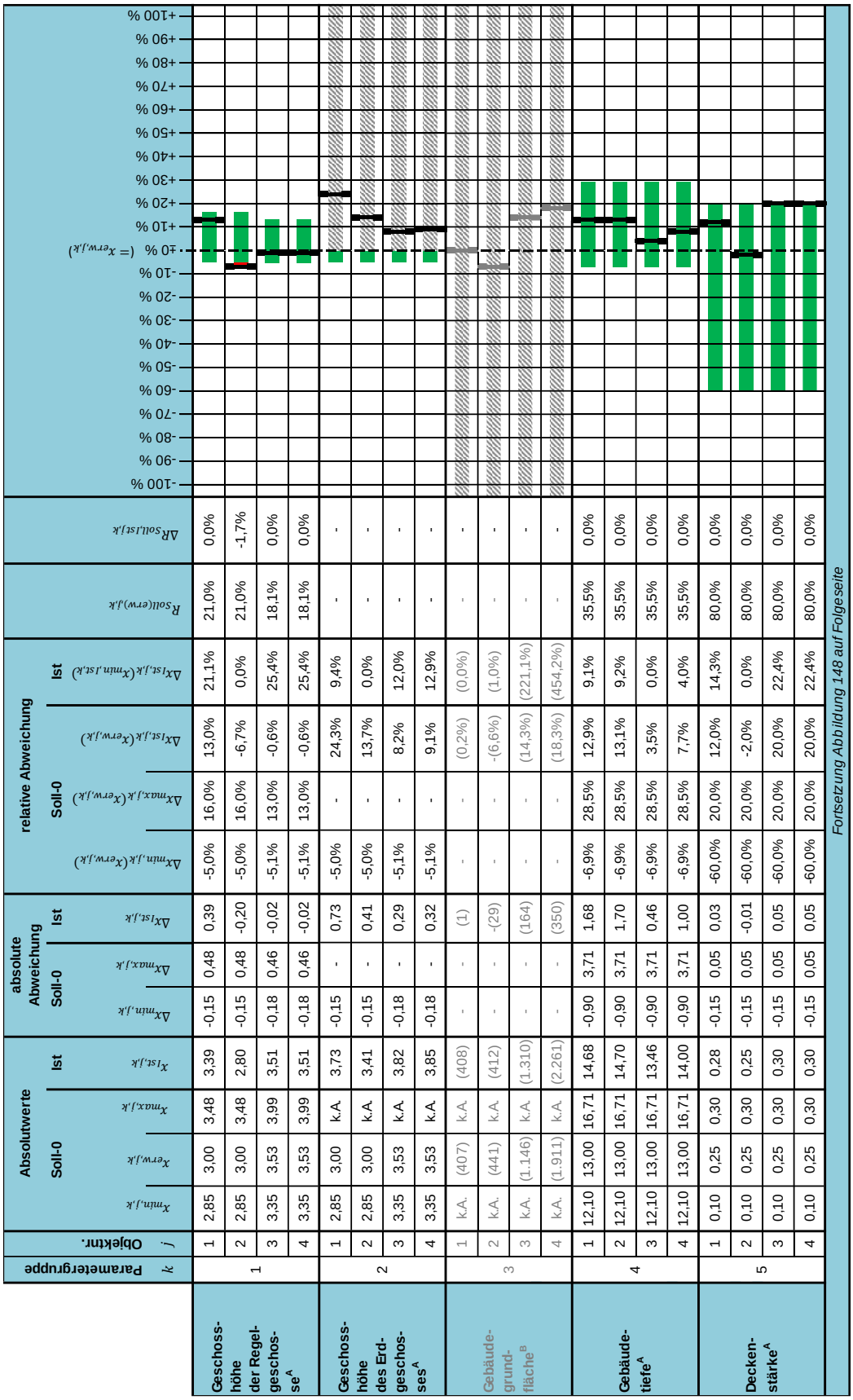
Tab. 66: Eingangsparameter zur Ermittlung der Soll-0-Gebäudeparameter, Bauobjekt 4[859]

		Bezeichnung	Berechnungs-grundlage
Bauobjekt 4	Gebäudeprofil	Flächenbedarf des Nutzers (optional)	11.463,23
		Bürotyp	Zellenbüros
		Unterdecke	ja
		Installationsgrad	mit Lüftungstechnik
		Bundanzahl	2
		Außenwände	nicht tragend
		Anzahl Arbeitsplätze (optional)	-
	Maß der baulichen Nutzung	Baugrundstücksfläche	-
		Zulässige Grundfläche der baulichen Anlage	-
		GRZ	-
		GFZ	-
		Zulässige Anzahl von Vollgeschossen	6
		Zulässige Höhe der baulichen Anlage	-

[858] Vgl. HACHERER (2019), Anhang (o. S.). Anm.: Festlegung „Außenwände = nicht tragend“ durch den Verfasser.

[859] Vgl. HACHERER (2019), Anhang (o. S.). Anm.: Festlegung „Außenwände = nicht tragend“ durch den Verfasser.

L.4.1.2 Graphische Zusammenfassung der Analyse-Ergebnisse



Parameter-gruppe k	Objekt. j	Absolutwerte Soll-0 $x_{min,j,k}$	Absolutwerte Soll-0 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte Soll-0 $x_{max,j,k}$	Absolutwerte Ist $x_{Ist,j,k}$	absolute Abweichung Soll-0 $\Delta x_{min,j,k}$	absolute Abweichung Soll-0 $\Delta x_{max,j,k}$	absolute Abweichung Ist $\Delta x_{Ist,j,k}$	relative Abweichung Soll-0 $\Delta x_{min,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Soll-0 $\Delta x_{max,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{Ist,j,k}(x_{min,Ist,k})$	$R_{Soll(erw),j,k}$	$\Delta R_{Soll,Ist,j,k}$
Geschoss-höhe der Regel-geschos-se[A]														
1	1	2,85	3,00	3,48	3,39	-0,15	0,48	0,39	-5,0%	16,0%	13,0%	21,1%	21,0%	0,0%
	2	2,85	3,00	3,48	2,80	-0,15	0,48	-0,20	-5,0%	16,0%	-6,7%	0,0%	21,0%	-1,7%
	3	3,35	3,53	3,99	3,51	-0,18	0,46	-0,02	-5,1%	13,0%	-0,6%	25,4%	18,1%	0,0%
	4	3,35	3,53	3,99	3,51	-0,18	0,46	-0,02	-5,1%	13,0%	-0,6%	25,4%	18,1%	0,0%
Geschoss-höhe des Erd-geschos-ses[A]														
2	1	2,85	3,00	k.A.	3,73	-0,15	-	0,73	-5,0%	-	24,3%	9,4%	-	-
	2	2,85	3,00	k.A.	3,41	-0,15	-	0,41	-5,0%	-	13,7%	0,0%	-	-
	3	3,35	3,53	k.A.	3,82	-0,18	-	0,29	-5,1%	-	8,2%	12,0%	-	-
	4	3,35	3,53	k.A.	3,85	-0,18	-	0,32	-5,1%	-	9,1%	12,9%	-	-
Gebäude-grund-fläche[B]														
3	1	k.A.	(407)	k.A.	(408)	-	-	(1)	-	-	(0,2%)	(0,0%)	-	-
	2	k.A.	(441)	k.A.	(412)	-	-	-(29)	-	-	-(6,6%)	(1,0%)	-	-
	3	k.A.	(1.146)	k.A.	(1.310)	-	-	(164)	-	-	(14,3%)	(221,1%)	-	-
	4	k.A.	(1.911)	k.A.	(2.261)	-	-	(350)	-	-	(18,3%)	(454,2%)	-	-
Gebäude-tiefe[A]														
4	1	12,10	13,00	16,71	14,68	-0,90	3,71	1,68	-6,9%	28,5%	12,9%	9,1%	35,5%	0,0%
	2	12,10	13,00	16,71	14,70	-0,90	3,71	1,70	-6,9%	28,5%	13,1%	9,2%	35,5%	0,0%
	3	12,10	13,00	16,71	13,46	-0,90	3,71	0,46	-6,9%	28,5%	3,5%	0,0%	35,5%	0,0%
	4	12,10	13,00	16,71	14,00	-0,90	3,71	1,00	-6,9%	28,5%	7,7%	4,0%	35,5%	0,0%
Decken-stärke[A]														
5	1	0,10	0,25	0,30	0,28	-0,15	0,05	0,03	-60,0%	20,0%	12,0%	14,3%	80,0%	0,0%
	2	0,10	0,25	0,30	0,25	-0,15	0,05	-0,01	-60,0%	20,0%	-2,0%	0,0%	80,0%	0,0%
	3	0,10	0,25	0,30	0,30	-0,15	0,05	0,05	-60,0%	20,0%	20,0%	22,4%	80,0%	0,0%
	4	0,10	0,25	0,30	0,30	-0,15	0,05	0,05	-60,0%	20,0%	20,0%	22,4%	80,0%	0,0%

Fortsetzung Abbildung 148 auf Folgeseite

Fortsetzung Abbildung 148

			Absolutwerte				absolute Abweichung			relative Abweichung						
			Soll-0			lst	Soll-0		lst	Soll-0			lst			
	k	j	$x_{min,j,k}$	$x_{erw,j,k}$	$x_{max,j,k}$	$x_{Ist,j,k}$	$\Delta x_{min,j,k}$	$\Delta x_{max,j,k}$	$\Delta x_{Ist,j,k}$	$\Delta x_{min,j,k}(x_{erw,j,k})$	$\Delta x_{max,j,k}(x_{erw,j,k})$	$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{min,Ist,k})$	$R_{soll(erw),j,k}$	$\Delta R_{Soll,Ist,j,k}$	
Wandstärke der Außenwände[A]	6	1	0,18	0,24	0,35	0,35	-0,07	0,11	0,11	-27,1%	45,8%	47,2%	0,0%	72,9%	1,4%	
		2	0,18	0,24	0,35	0,36	-0,07	0,11	0,12	-27,1%	45,8%	48,9%	1,2%	72,9%	3,1%	
		3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Wandstärke der Bauelemente[A]	7	1	0,20	0,24	0,30	0,26	-0,04	0,06	0,02	-16,7%	25,0%	6,3%	15,9%	41,7%	0,0%	
		2	0,20	0,24	0,30	0,28	-0,04	0,06	0,04	-16,7%	25,0%	16,7%	27,3%	41,7%	0,0%	
		3	0,20	0,24	0,30	0,22	-0,04	0,06	-0,02	-16,7%	25,0%	-8,3%	0,0%	41,7%	0,0%	
		4	0,20	0,24	0,30	0,24	-0,04	0,06	0,00	-16,7%	25,0%	0,0%	9,1%	41,7%	0,0%	
Stützenbreite[A]	8	1	(0,20)	(0,35)	(0,50)	(0,50)	(-0,15)	(0,15)	(0,15)	(-42,9%)	(42,9%)	(42,9%)	(78,6%)	(85,7%)	(0,0%)	
		2	(0,20)	(0,35)	(0,50)	(0,28)	(-0,15)	(0,15)	(-0,07)	(-42,9%)	(42,9%)	(-20,0%)	(0,0%)	(85,7%)	(0,0%)	
		3	(0,20)	(0,35)	(0,50)	(0,40)	(-0,15)	(0,15)	(0,05)	(-42,9%)	(42,9%)	(14,3%)	(42,9%)	(85,7%)	(0,0%)	
		4	(0,20)	(0,35)	(0,50)	(0,36)	(-0,15)	(0,15)	(0,01)	(-42,9%)	(42,9%)	(2,9%)	(28,6%)	(85,7%)	(0,0%)	
Stützenlänge[A]	9	1	(0,20)	(0,35)	(0,50)	(0,49)	(-0,15)	(0,15)	(0,14)	(-42,9%)	(42,9%)	(40,0%)	(32,4%)	(85,7%)	(0,0%)	
		2	(0,20)	(0,35)	(0,50)	(0,43)	(-0,15)	(0,15)	(0,08)	(-42,9%)	(42,9%)	(22,9%)	(16,2%)	(85,7%)	(0,0%)	
		3	(0,20)	(0,35)	(0,50)	(0,40)	(-0,15)	(0,15)	(0,05)	(-42,9%)	(42,9%)	(14,3%)	(8,1%)	(85,7%)	(0,0%)	
		4	(0,20)	(0,35)	(0,50)	(0,37)	(-0,15)	(0,15)	(0,02)	(-42,9%)	(42,9%)	(5,7%)	(0,0%)	(85,7%)	(0,0%)	
Maximaler Stützenabstand in Richtung Gebäudetiefe[A]	10	1	(4,50)	(6,50)	(6,50)	(5,74)	(-2,00)	(0,00)	(-0,76)	(-30,8%)	(0,0%)	(-11,7%)	(18,8%)	(30,8%)	(0,0%)	
		2	(4,50)	(6,50)	(6,50)	(4,83)	(-2,00)	(0,00)	(-1,67)	(-30,8%)	(0,0%)	(-25,7%)	(0,0%)	(30,8%)	(0,0%)	
		3	(4,50)	(6,50)	(6,50)	(5,50)	(-2,00)	(0,00)	(-1,00)	(-30,8%)	(0,0%)	(-15,4%)	(13,9%)	(30,8%)	(0,0%)	
		4	(4,50)	(6,50)	(6,50)	(5,70)	(-2,00)	(0,00)	(-0,80)	(-30,8%)	(0,0%)	(-12,3%)	(18,0%)	(30,8%)	(0,0%)	

Fortsetzung Abbildung 148 auf Folgeseite

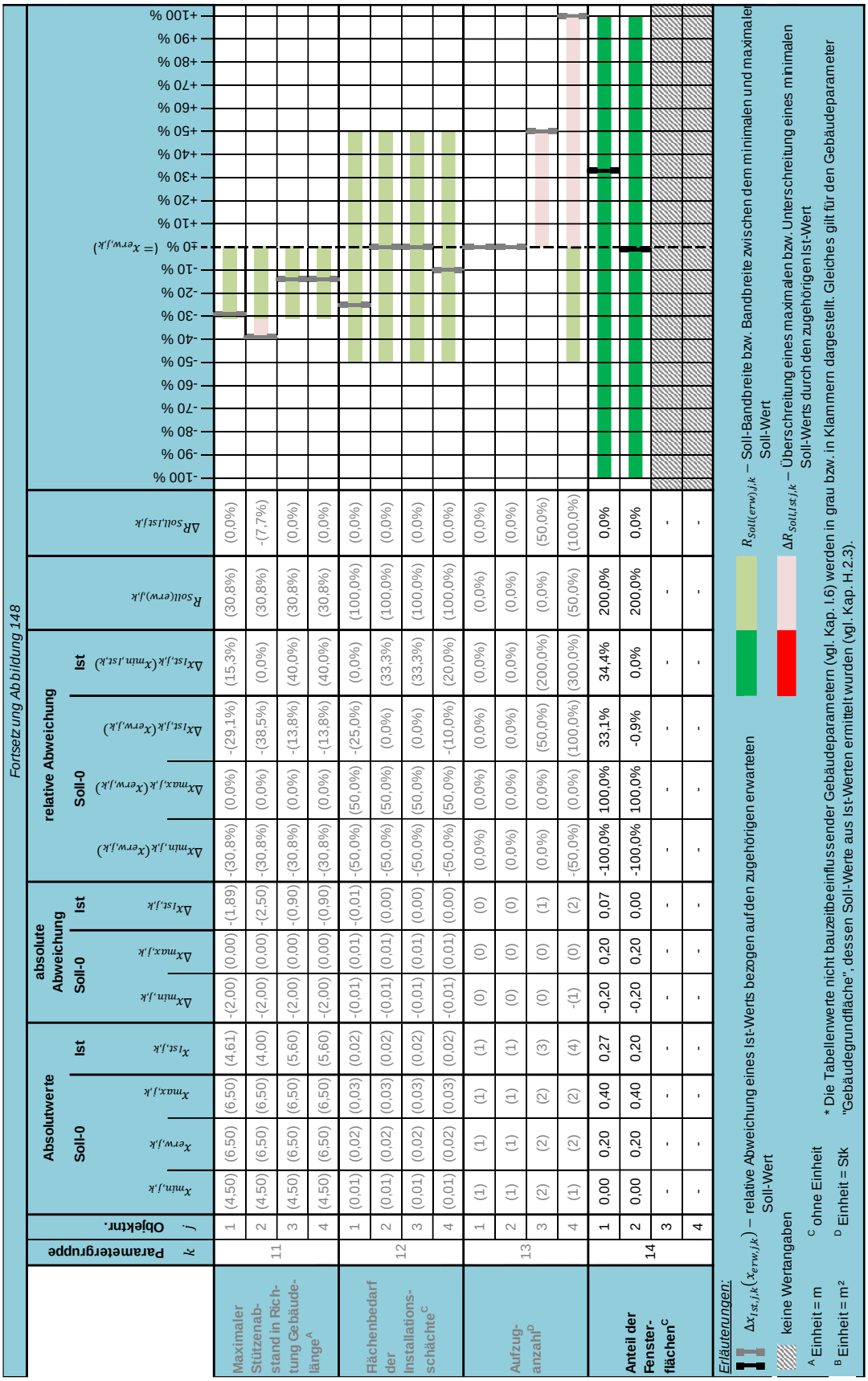
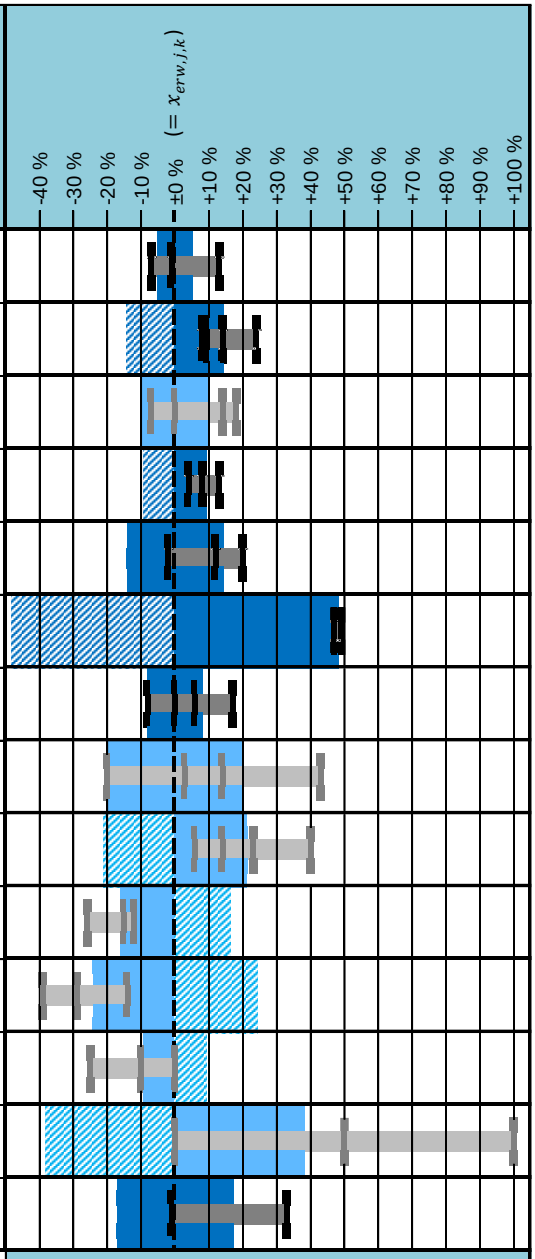


Abb. 148: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – alle Gebäudeparameter (Einzelwerte)[860]

[860] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5.

	$R_{Ist(erw),k}$	$R_{Ist(min),k}$	$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$	$\Delta d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$
Geschosshöhe der Regelgeschosse	19,7%	25,4%	±5,2%	±0,4%
Geschosshöhe des Erdgeschosses	16,1%	12,9%	±13,8%	-
Gebäudegrundfläche	(24,9%)	(454,2%)	(±9,9%)	-
Gebäudetiefe	9,5%	9,2%	±9,3%	±0%
Deckenstärke	22,0%	22,4%	±13,5%	±0%
Wandstärke der Außenwände	1,7%	1,2%	±48,1%	±2,2%
Wandstärke der Bauelemente	25,0%	27,3%	±7,8%	±0%
Stützenbreite	(62,9%)	(78,6%)	(±20%)	(±0%)
Stützenlänge	(34,3%)	(32,4%)	(±20,7%)	(±0%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudetiefe	(14%)	(18,8%)	(±16,3%)	(±0%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudelänge	(24,6%)	(40%)	(±23,8%)	(±1,9%)
Flächenbedarf der Installationsschächte	(25%)	(33,3%)	(±8,8%)	(±0%)
Aufzuganzahl	(100%)	(300%)	(±37,5%)	(±37,5%)
Anteil der Fensterflächen	34,1%	34,4%	±17%	±0%
Mittelwerte (bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter):	18,3%	19,0%	±16,4%	±0,4%



Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen erwarteten Soll-Wert

$R_{Ist(erw),k}$ - Soll-Intervall einer Parametergruppe

$d_{\bar{x},Soll,Ist,k}$ - Mittlere lineare Abweichung der Ist-Werte von den zugehörigen erwarteten Soll-Werten (schraffierte Bereiche, wenn ausschließlich positive bzw. negative $\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ vorliegen)

* Die Tabellenwerte nicht bauzeitbeeinflussender Gebäudeparametern (vgl. Kap. I.6) werden in grau bzw. in Klammern dargestellt. Gleiches gilt für den Gebäudeparameter "Gebäudegrundfläche", dessen Soll-Werte aus Ist-Werten ermittelt wurden (vgl. Kap. H.2.3).

Abb. 149: Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – alle Gebäudeparameter (Zusammenfassung)[861]

[861] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5. Die im Rahmen der Berechnung verwendeten Parameter resultieren aus Abb. 148.

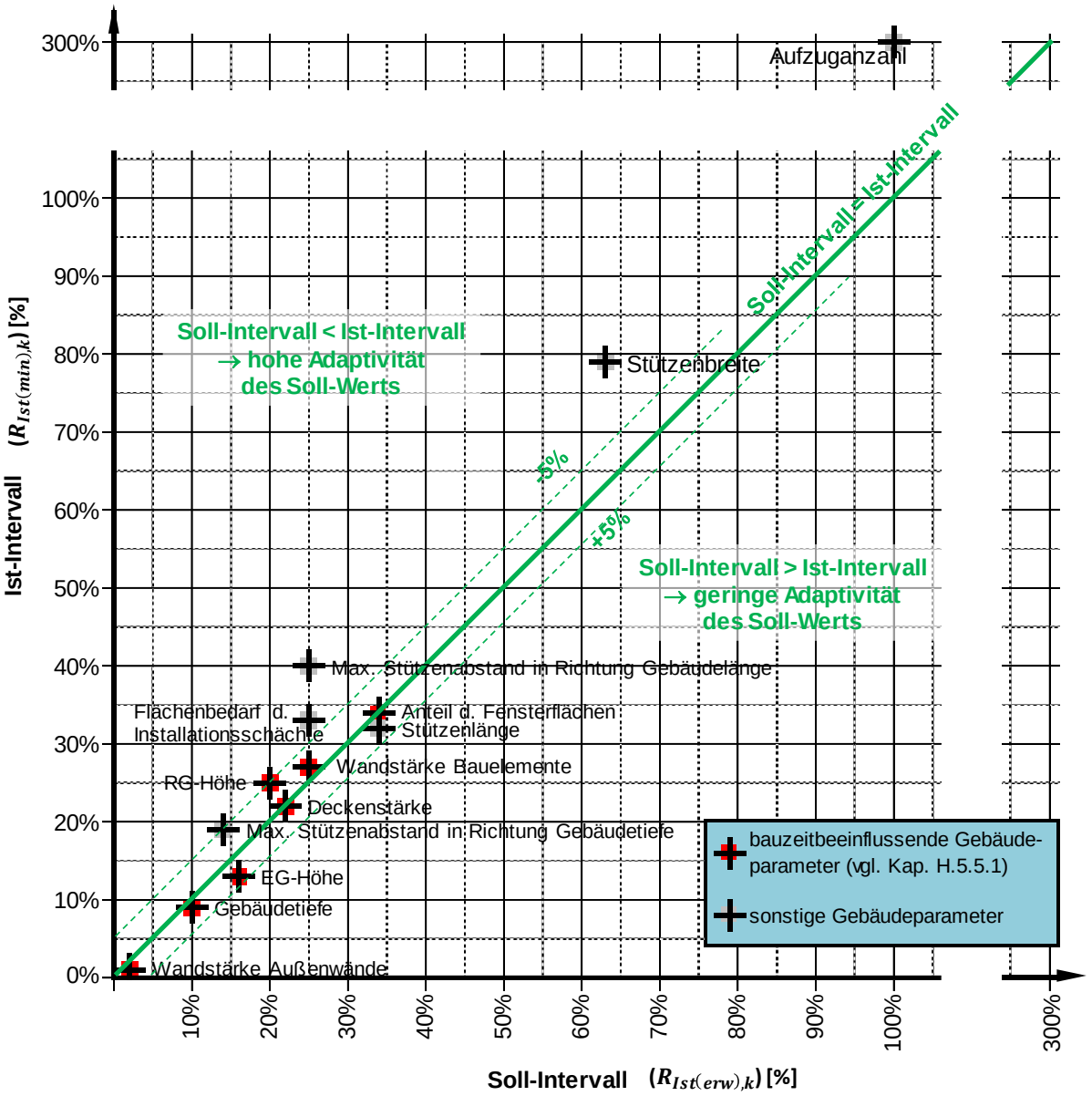


Abb. 150: Soll-0- und Ist-Intervalle der Gebäudeparameter[862]

L.4.1.3 Detailbetrachtung „Geschosshöhe der Regelgeschosse“

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Zwischen den Bauzeiten, die aus dem Soll-0- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ resultieren, sind lediglich für Bauobjekt 1 Differenzen feststellbar.

[862] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Parameter resultieren aus Abb. 149.

Bauobjekt 1:

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 1 zu ermitteln, sind in Tab. 67 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-0- und Ist-Werts des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ ergeben.

Tab. 67: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – RG-Höhe, Bauobjekt 1[863]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Ist-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschosshöhe der Regelgeschosse [m]		3,00	3,39	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.017	1.070	+5,2%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	799	804	+0,6%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	6.042	6.492	+7,4%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	70	73	+4,3%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	468	512	+9,4%
	Randschalung [Ah]	280	281	+0,4%
	Schalung [Ah]	974	1.042	+7,0%
	Bewehrung [Ah]	1.299	1.367	+5,2%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	70	72	+2,9%

Bezüglich der Krananzahl, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 67 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +2,9 % ist auf die zusätzlichen Fertigungsmengen zurückzuführen (hier: Betonvolumen vertikale Bauteile), aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss resultieren (vgl. Tab. 67). Aufgrund des zugrunde liegenden Netzplans (vgl. Kap. G.2.4) resultiert aus dem zusätzlichen Fertigungsabschnitt eine Bauzeitverlängerung, deren Dauer der Taktzeit entspricht.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten Soll- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Geschoss-

[863] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

höhe der Regelgeschosse“ von Bauobjekt 1, durch den Ansatz identischer Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Soll-Bandbreiten:

Zwischen den Bauzeiten, die aus dem erwarteten sowie minimalen und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ resultieren, sind lediglich für Bauobjekt 1 und 2 Differenzen feststellbar.

Bauobjekt 1 (maximaler Soll-Wert):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 1 zu ermitteln, sind in Tab. 68 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten und maximalen Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ ergeben.

Tab. 68: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – RG-Höhe, Bauobjekt 1[864]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschosshöhe der Regelgeschosse [m]		3,00	3,48	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.017	1.082	+6,4%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	799	805	+0,8%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	6.042	6.596	+9,2%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	70	74	+5,7%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	468	522	+11,5%
	Randschalung [Ah]	280	282	+0,7%
	Schalung [Ah]	974	1.057	+8,5%
	Bewehrung [Ah]	1.299	1.383	+6,5%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	70	72	+2,9%

Bezüglich der Krananzahl, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 68 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +2,9 % ist auf die zu-

[864] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

sätzlichen Fertigungsmengen zurückzuführen (hier: Betonvolumen vertikale Bauteile), aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss resultieren (vgl. Tab. 68). Aufgrund des zugrunde liegenden Netzplans (vgl. Kap. G.2.4) resultiert aus dem zusätzlichen Fertigungsabschnitt eine Bauzeitverlängerung, deren Dauer der Taktzeit entspricht.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ von Bauobjekt 1, durch den Ansatz identischer Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Bauobjekt 2 (maximaler Soll-Wert):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 2 zu ermitteln, sind in Tab. 69 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten und maximalen Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ ergeben.

Tab. 69: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – RG-Höhe, Bauobjekt 2[865]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschosshöhe der Regelgeschosse [m]		3,00	3,48	
Fertigungsmengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.268	1.350	+6,5%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	984	991	+0,7%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	7.486	8.181	+9,3%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	87	92	+5,7%
Arbeitsaufwand	Betonage [Ah]	577	643	+11,4%
	Randschalung [Ah]	344	347	+0,9%
	Schalung [Ah]	1.209	1.313	+8,6%
	Bewehrung [Ah]	1.621	1.727	+6,5%
Ressourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	81	83	+2,5%

[865] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

Bezüglich der Krananzahl, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 69 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +2,5 % ist auf die zusätzlichen Fertigungsmengen zurückzuführen (hier: Betonvolumen vertikale Bauteile), aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss resultieren (vgl. Tab. 69). Aufgrund des zugrunde liegenden Netzplans (vgl. Kap. G.2.4) resultiert aus dem zusätzlichen Fertigungsabschnitt eine Bauzeitverlängerung, deren Dauer der Taktzeit entspricht.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse“ von Bauobjekt 2, durch den Ansatz identischer Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

L.4.1.4 Detailbetrachtung „Geschosshöhe des Erdgeschosses“

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Zwischen den Bauzeiten, die aus dem Soll-0- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses“ resultieren, sind lediglich für Bauobjekt 1 und 2 Differenzen feststellbar.

Bauobjekt 1:

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 1 zu ermitteln, sind in Tab. 70 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-0- und Ist-Werts des Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses“ ergeben.

Bezüglich der Krananzahl, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 70 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +2,9 % ist auf die zusätzlichen Fertigungsmengen zurückzuführen (hier: Betonvolumen vertikale Bauteile), aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss resultieren (vgl. Tab. 70). Aufgrund des zugrunde liegenden Netzplans (vgl. Kap. G.2.4) resultiert aus dem zusätzlichen Fertigungsabschnitt eine Bauzeitverlängerung, deren Dauer der Taktzeit entspricht.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten Soll- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses“ von Bauobjekt 1, durch den Ansatz identischer Anzahlen

der Fertigungsabschnitte pro Geschoss in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Tab. 70: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – EG-Höhe, Bauobjekt 1[866]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Ist-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschosshöhe des Erdgeschosses [m]		3,00	3,73	
Fertigungsmengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.017	1.037	+2,0%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	799	799	±0%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	6.042	6.209	+2,8%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	70	71	+1,4%
Arbeitsaufwand	Betonage [Ah]	468	484	+3,4%
	Randschalung [Ah]	280	280	±0%
	Schalung [Ah]	974	999	+2,6%
	Bewehrung [Ah]	1.299	1.324	+1,9%
Ressourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	70	72	+2,9%

Bauobjekt 2:

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 2 zu ermitteln, sind in Tab. 71 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-0- und Ist-Werts des Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses“ ergeben.

Bezüglich der Krananzahl, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 71 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +2,5 % ist auf die zusätzlichen Fertigungsmengen zurückzuführen (hier: Betonvolumen vertikale Bauteile), aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss resultieren (vgl. Tab. 71). Aufgrund des zugrunde liegenden Netzplans (vgl. Kap. G.2.4) resultiert aus dem zusätzlichen Fertigungsabschnitt eine Bauzeitverlängerung, deren Dauer der Taktzeit entspricht.

[866] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

Tab. 71: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – EG-Höhe, Bauobjekt 2[867]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Ist-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschosshöhe des Erdgeschosses [m]		3,00	3,41	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.268	1.280	+0,9%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	984	984	±0%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	7.486	7.584	+1,3%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	87	88	+1,1%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	577	586	+1,6%
	Randschalung [Ah]	344	344	±0%
	Schalung [Ah]	1.209	1.224	+1,2%
	Bewehrung [Ah]	1.621	1.636	+0,9%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	81	83	+2,5%

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten Soll- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses“ von Bauobjekt 2, durch den Ansatz identischer Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Soll-Bandbreiten:

Zwischen den Bauzeiten, die aus dem erwarteten und minimalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses“ resultieren, bestehen keine Unterschiede. Da aufgrund fehlender Vorgaben zum Maß der baulichen Nutzung des Weiteren keine maximalen Soll-Werte angegeben werden, wird auf eine detaillierte Auswertung verzichtet wird.

[867] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

L.4.1.5 Detailbetrachtung „Gebäudetiefe“

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Zwischen den Bauzeiten, die aus dem Soll-0- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Gebäudetiefe“ resultieren, bestehen keine Unterschiede, weshalb auf eine detaillierte Auswertung verzichtet wird.

Soll-Bandbreiten:

Zwischen den Bauzeiten, die aus dem erwarteten sowie minimalen und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Gebäudetiefe“ resultieren, sind lediglich für Bauobjekt 1 und 3 Differenzen feststellbar.

Bauobjekt 1 (maximaler Soll-Wert):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 1 zu ermitteln, sind in Tab. 72 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten und maximalen Soll-Werts des Gebäudeparameters „Gebäudetiefe“ ergeben.

Bezüglich der Krananzahl, Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss und maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ergeben sich aus Tab. 72 keine Unterschiede. Obwohl für die Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände lediglich geringfügige Abweichungen von maximal -5,0 % resultieren, kann die Bauzeitänderung von -45,7 % dennoch auf die reduzierten Fertigungsmengen zurückgeführt werden, da hieraus eine reduzierte Taktzeit folgt (vgl. Tab. 72).

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz des erwarteten Soll-Werts Takt 4 maßgebend, da hieraus die maximale Vorgangsdauer (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von 1,52 AT bzw. 2 AT (gerundet) resultiert (vgl. Tab. 72). Im Gegensatz dazu betragen die Vorgangsdauern der übrigen Takte gerundet 1 AT.

Für den maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Gebäudetiefe“ reduziert sich die Vorgangsdauer von Takt 4 auf 1,49 AT bzw. 1 AT (gerundet). Da auch die Vorgangsdauer der übrigen Takte maximal 1 AT beträgt (vgl. Tab. 72), reduziert sich die Taktzeit auf 1 AT, wodurch die Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit deutlich reduziert wird.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Gebäudetiefe“ von Bauobjekt 1, durch den Ansatz identischer Vorgangsdauern für Takt 4 von 1 AT bzw. 2 AT in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Tab. 72: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Gebäudetiefe, Bauobjekt 1[868]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Gebäudetiefe [m]		13,00	16,71	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.017	1.013	-0,4%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	799	760	-4,9%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	6.042	6.017	-0,4%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	70	70	±0%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	468	465	-0,6%
	Randschalung [Ah]	280	266	-5,0%
	Schalung [Ah]	974	970	-0,4%
	Bewehrung [Ah]	1.299	1.296	-0,2%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	3	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	13	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	1	-50,0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	0,66 (= 1 AT)	0,65 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,01 (= 1 AT)	1,01 (=1 AT)	±0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	1,52 (= 2 AT)	1,49 (= 1 AT)	-50,0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	1,49 (= 1 AT)	1,49 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	6	-45,5%
	Bauzeit [AT]	70	38	-45,7%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Dies verdeutlicht, dass bei der Festlegung der Taktzeit eine Überprüfung der zugrunde gelegten Ansätze durch den Verfahrensanwender notwendig ist, da die Taktzeit – selbst bei geringfügigen Anpassungen – die resultierende Bauzeit enorm beeinflusst.

Bauobjekt 3 (minimaler Soll-Wert):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 3 zu ermitteln, sind in Tab. 73 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten und minimalen Soll-Werts des Gebäudeparameters „Gebäudetiefe“ ergeben.

[868] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

Tab. 73: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und minimalen Soll-0-Gebäudeparameter – Gebäudetiefe, Bauobjekt 3[869]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Minimaler Soll-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Gebäudetiefe [m]		13,00	12,10	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	2.762	2.755	-0,3%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	2.289	2.380	+4,0%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	13.939	13.907	-0,2%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	205	205	±0%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	881	875	-0,7%
	Randschalung [Ah]	801	833	+4,0%
	Schalung [Ah]	2.352	2.347	-0,2%
	Bewehrung [Ah]	3.631	3.633	+0,1%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	3	+50,0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	3	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	20	+53,8%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	4	2	-50,0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	21	11	-47,6%
	Bauzeit [AT]	176	92	-47,7%

Für die Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände resultieren aus Tab. 73 lediglich geringfügige Abweichungen von maximal +4,0 %. Die deutliche Bauzeitänderung von -45,7 % ist auf die geänderte Grundriss-Geometrie des Referenzgebäudes zurückzuführen, aus der unterschiedliche Krananzahlen resultieren, die sich auf die maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt und damit auf die Takt- und Bauzeit auswirkt (vgl. Tab. 73).

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten und minimalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Gebäudetiefe“ von Bauobjekt 3, durch den Ansatz identischer Krananzahlen in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

L.4.1.6 Detailbetrachtung „Deckenstärke“

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Zwischen den Bauzeiten, die aus dem Soll-0- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ resultieren, sind lediglich für Bauobjekt 3 und 4 Differenzen feststellbar.

[869] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

Bauobjekt 3:

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 3 zu ermitteln, sind in Tab. 74 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-0- und Ist-Werts des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ ergeben.

Tab. 74: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Deckenstärke, Bauobjekt 3[870]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Ist-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Deckenstärke [m]		0,25	0,30	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	2.762	3.188	+15,4%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	2.289	2.289	±0%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	13.939	13.859	-0,6%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	205	237	+15,6%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	881	957	+8,6%
	Randschalung [Ah]	801	801	±0%
	Schalung [Ah]	2.352	2.340	-0,5%
	Bewehrung [Ah]	3.631	4.168	+14,8%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	3	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	13	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	4	5	+25,0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	21	26	+23,8%
	Bauzeit [AT]	176	218	+23,9%

Bezüglich der Krananzahl, der Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss und der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ergeben sich aus Tab. 74 keine Unterschiede. Die deutliche Bauzeitänderung von +23,9 % ist auf die deutlichen Differenzen der Fertigungsmengen zurückzuführen, aus denen unterschiedliche Taktzeiten und Dauern zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts resultieren.

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist für Bauobjekt 3 jeweils Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile) maßgebend (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)). Für den erwarteten Soll-Wert des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ ergibt sich für Takt 5 im EG und in den RG eine minimale Taktzeit von 4 AT, wohingegen für den Ist-Wert des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ eine minimale Taktzeit von 5 AT resultiert.

[870] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten Soll- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ von Bauobjekt 3, durch den Ansatz identischer Vorgangsdauern für Takt 5 von 4 AT bzw. 5 AT in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Bauobjekt 4:

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 4 zu ermitteln, sind in Tab. 75 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-0- und Ist-Werts des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ ergeben.

Tab. 75: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Deckenstärke, Bauobjekt 4[871]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Ist-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Deckenstärke [m]		0,25	0,30	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	3.429	3.969	+15,7%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	2.586	2.586	±0%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	17.059	16.967	-0,5%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	255	295	+15,7%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	1.062	1.159	+9,1%
	Randschalung [Ah]	905	905	±0%
	Schalung [Ah]	2.889	2.876	-0,4%
	Bewehrung [Ah]	4.500	5.180	+15,1%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	3	3	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	5	5	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	12	12	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	7	9	+28,6%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	36	46	+27,8%
	Bauzeit [AT]	244	312	+27,9%

Ebenso wie für Bauobjekt 3 festgestellt, ist auch die ermittelte deutliche Bauzeitänderung von Bauobjekt 4 von +27,9 % auf die deutlichen Differenzen der Fertigungsmengen zurückzuführen, aus denen unterschiedliche Taktzeiten und Dauern zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts resultieren.

Auch für Bauobjekt 4 ist jeweils Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile) für die Bestimmung der Taktzeit maßgebend (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)).

[871] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten Soll- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ von Bauobjekt 4, durch den Ansatz identischer Vorgangsdauern für Takt 5 von 7 AT bzw. 9 AT in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Soll-Bandbreiten:

Zwischen den Bauzeiten, die aus dem erwarteten sowie minimalen und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ resultieren, sind lediglich für Bauobjekt 3 und 4 Differenzen feststellbar.

Bauobjekt 1 und Bauobjekt 2:

Anders als zuvor für Bauobjekt 3 und Bauobjekt 4 ermittelt (vgl. Tab. 74 und Tab. 75), haben Änderungen der Deckenstärken und die daraus resultierenden abweichenden Bewehrungsmengen keinen Einfluss auf die Takt- und Bauzeiten von Bauobjekt 1 und Bauobjekt 2. Dies ist darauf zurückzuführen, dass innerhalb der Soll-Bandbreiten des Gebäudeparameters „Deckenstärke“, anders als zuvor, nicht Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile), sondern Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung und Ausschalen vertikale Bauteile) für die Bestimmung der Taktzeit maßgebend ist (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)).

Bauobjekt 3 (minimaler und maximaler Soll-Wert):

Die Auswirkungen auf die Bauzeit von Bauobjekt 3, die aus einer Anpassung der Deckenstärke von 0,25 m auf 0,30 m resultieren, ergeben sich aus der vorangegangen Detailbetrachtung der Abweichungen zwischen dem erwarteten Soll-0- und Ist-Wert (vgl. Tab. 74; hier: Erhöhung der Taktzeit von (gerundet) 4 AT auf 5 AT).

Eine Reduzierung des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ auf den minimalen Soll-Wert von 0,10 m bewirkt eine Verlagerung der maßgebenden Taktzeit von Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile; Reduzierung von (gerundet) 4 AT auf 2 AT) zu Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung und Ausschalen vertikale Bauteile; (gerundet) 3 AT), woraus wiederum eine Bauzeitabweichung von -23,9 % resultiert.

Bauobjekt 4 (minimaler und maximaler Soll-Wert):

Die Auswirkungen auf die Bauzeit von Bauobjekt 4, die aus einer Anpassung der Deckenstärke von 0,25 m auf 0,30 m resultieren, ergeben sich aus der vorangegangen Detailbetrachtung der Abweichungen zwischen dem erwarteten Soll-0- und Ist-Wert (vgl. Tab. 75; Erhöhung der Taktzeit von (gerundet) 7 AT auf 9 AT).

Eine Reduzierung des Gebäudeparameters „Deckenstärke“ auf den minimalen Soll-Wert von 0,10 m bewirkt eine Verlagerung der maßgebenden Taktzeit von Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile; Reduzierung von (gerundet) 7 AT auf 3 AT) zu Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung und Ausschalen vertikale Bauteile; (gerundet) 6 AT), woraus wiederum eine Bauzeitabweichung von -13,9 % resultiert.

L.4.1.7 Detailbetrachtung „Wandstärke der Außenwände“

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Da Bauobjekt 3 und 4 als Gebäude ohne tragende Außenwände eingestuft wurden (vgl. Kap. H.4.3), sind zwischen den Bauzeiten, die aus dem Soll-0- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Wandstärke der Außenwände“ resultieren, lediglich für Bauobjekt 1 und 2 Differenzen feststellbar.

Bauobjekt 1:

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 1 zu ermitteln, sind in Tab. 76 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-0- und Ist-Werts des Gebäudeparameters „Wandstärke der Außenwände“ ergeben.

Bezüglich der Krananzahl, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 76 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +2,9 % ist auf die zusätzlichen Fertigungsmengen zurückzuführen (hier: Betonvolumen vertikale Bauteile), aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss resultieren (vgl. Tab. 76). Aufgrund des zugrunde liegenden Netzplans (vgl. Kap. G.2.4) resultiert aus dem zusätzlichen Fertigungsabschnitt eine Bauzeitverlängerung, deren Dauer der Taktzeit entspricht.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten Soll- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Wandstärke der Außenwände“ von Bauobjekt 1, durch den Ansatz identischer Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Tab. 76: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände, Bauobjekt 1[872]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Ist-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Wandstärke der Außenwände [m]		0,24	0,35	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.017	1.146	+12,7%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	799	799	±0%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	6.042	6.042	±0%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	70	78	+11,4%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	468	571	+22,0%
	Randschalung [Ah]	280	280	±0%
	Schalung [Ah]	974	974	±0%
	Bewehrung [Ah]	1.299	1.463	+12,6%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	70	72	+2,9%

Bauobjekt 2:

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 2 zu ermitteln, sind in Tab. 77 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-0- und Ist-Werts des Gebäudeparameters „Wandstärke der Außenwände“ ergeben.

Bezüglich der Krananzahl, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 77 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +2,5 % ist auf die zusätzlichen Fertigungsmengen zurückzuführen (hier: Betonvolumen vertikale Bauteile), aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss resultieren (vgl. Tab. 77). Aufgrund des zugrunde liegenden Netzplans (vgl. Kap. G.2.4) resultiert aus dem zusätzlichen Fertigungsabschnitt eine Bauzeitverlängerung, deren Dauer der Taktzeit entspricht.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten Soll- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Wand-

[872] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

stärke der Außenwände“ von Bauobjekt 2, durch den Ansatz identischer Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Tab. 77: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten Soll-0- und Ist-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände, Bauobjekt 2[873]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Ist-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Wandstärke der Außenwände [m]		0,24	0,36	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.268	1.442	+13,7%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	984	984	±0%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	7.486	7.486	±0%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	87	98	+12,6%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	577	715	+23,9%
	Randschalung [Ah]	344	344	±0%
	Schalung [Ah]	1.209	1.209	±0%
	Bewehrung [Ah]	1.621	1.843	+13,7%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	81	83	+2,5%

Soll-Bandbreiten:

Da Bauobjekt 3 und 4 als Gebäude ohne tragende Außenwände eingestuft wurden (vgl. Kap. H.4.3), sind zwischen den Bauzeiten, die aus dem erwarteten sowie minimalen und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Wandstärke der Außenwände“ resultieren, lediglich für Bauobjekt 1 und 2 Differenzen feststellbar.

Bauobjekt 1 (maximaler Soll-Wert):

Da zwischen dem maximalen Soll- und Ist-Wert keine Abweichung besteht (vgl. Tab. 36 u. Tab. 37), sind die zuvor ermittelten Ergebnisse der Untersuchung des Ist-Werts von Bauobjekt 1 auf den maximalen Soll-Wert übertragbar.

[873] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

Bauobjekt 2 (maximaler Soll-Wert):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 2 zu ermitteln, sind in Tab. 78 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten und maximalen Soll-Werts des Gebäudeparameters „Wandstärke der Außenwände“ ergeben.

Tab. 78: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Wandstärke der Außenwände, Bauobjekt 2[874]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Wandstärke der Außenwände [m]		0,24	0,35	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.268	1.427	+12,5%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	984	984	±0%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	7.486	7.486	±0%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	87	97	+11,5%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	577	704	+22,0%
	Randschalung [Ah]	344	344	±0%
	Schalung [Ah]	1.209	1.209	±0%
	Bewehrung [Ah]	1.621	1.824	+12,5%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	81	83	+2,5%

Bezüglich der Krananzahl, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 78 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +2,5 % ist auf die zusätzlichen Fertigungsmengen zurückzuführen (hier: Betonvolumen vertikale Bauteile), aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss resultieren (vgl. Tab. 78). Aufgrund des zugrunde liegenden Netzplans (vgl. Kap. G.2.4) resultiert aus dem zusätzlichen Fertigungsabschnitt eine Bauzeitverlängerung, deren Dauer der Taktzeit entspricht.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters

[874] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

„Wandstärke der Außenwände“ von Bauobjekt 2, durch den Ansatz identischer Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

L.4.1.8 Detailbetrachtung „Wandstärke der Bauelemente“

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Zwischen den Bauzeiten, die aus dem Soll-0- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Wandstärke der Bauelemente“ resultieren, bestehen keine Unterschiede, weshalb auf eine detaillierte Auswertung verzichtet wird.

Soll-Bandbreiten:

Zwischen den Bauzeiten, die aus dem erwarteten sowie minimalen und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Wandstärke der Bauelemente“ resultieren, sind lediglich für Bauobjekt 2 und 3 Differenzen feststellbar.

Bauobjekt 2 (maximaler Soll-Wert):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 2 zu ermitteln, sind in Tab. 79 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten und maximalen Soll-Werts des Gebäudeparameters „Wandstärke der Bauelemente“ ergeben.

Bezüglich der Krananzahl, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 79 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +2,5 % ist auf die zusätzlichen Fertigungsmengen zurückzuführen (hier: Betonvolumen vertikale Bauteile), aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss resultieren (vgl. Tab. 79). Aufgrund des zugrunde liegenden Netzplans (vgl. Kap. G.2.4) resultiert aus dem zusätzlichen Fertigungsabschnitt eine Bauzeitverlängerung, deren Dauer der Taktzeit entspricht.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Wandstärke der Bauelemente“ von Bauobjekt 2, durch den Ansatz identischer Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Tab. 79: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Wandstärke der Bauelemente, Bauobjekt 2[875]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Wandstärke der Bauelemente [m]		0,24	0,30	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.268	1.316	+3,8%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	984	975	-0,9%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	7.486	7.478	-0,1%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	87	90	+3,4%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	577	614	+6,4%
	Randschalung [Ah]	344	341	-0,9%
	Schalung [Ah]	1.209	1.208	-0,1%
	Bewehrung [Ah]	1.621	1.682	+3,8%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	81	83	+2,5%

Bauobjekt 3 (maximaler Soll-Wert):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 3 zu ermitteln, sind in Tab. 80 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten und maximalen Soll-Werts des Gebäudeparameters „Wandstärke der Bauelemente“ ergeben.

Bezüglich der Krananzahl ergeben sich aus Tab. 80 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +26,7 % ist auf die abweichenden Fertigungsmengen zurückzuführen, aus denen einerseits eine erhöhte Taktzeit und andererseits eine erhöhte Anzahl an Fertigungsabschnitten pro Geschoss (hier: Betonvolumen vertikale Bauteile) resultiert (vgl. Tab. 80).

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz des erwarteten Soll-Werts Takt 5 maßgebend, da hieraus die maximale Vorgangsdauer (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von 4,29 AT bzw. 4 AT (gerundet) resultiert (vgl. Tab. 80).

Für den maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Wandstärke der Bauelemente“ bleibt die Vorgangsdauer von Takt 5 unverändert, wohingegen die Vorgangsdauer von Takt 4 von

[875] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

3 AT auf 5 AT ansteigt und Takt 4 damit den maßgebenden Vorgang bei der Bestimmung der Taktzeit darstellt (vgl. Tab. 80). Hieraus resultiert ein deutlicher Anstieg der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit.

Tab. 80: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Wandstärke der Bauelemente, Bauobjekt 3[876]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Wandstärke der Bauelemente [m]		0,24	0,30	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	2.762	2.873	+4,0%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	2.289	2.268	-0,9%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	13.939	13.889	-0,4%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	205	211	+2,9%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	881	968	+9,9%
	Randschalung [Ah]	801	794	-0,9%
	Schalung [Ah]	2.352	2.345	-0,3%
	Bewehrung [Ah]	3.631	3.773	+3,9%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	4	5	+25,0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	0,68 (= 1 AT)	0,81 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,15 (= 1 AT)	1,60 (=2 AT)	+100,0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	3,42 (= 3 AT)	4,55 (= 5 AT)	+66,7%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	4,29 (= 4 AT)	4,30 (= 4 AT)	±0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	21	26	+23,8%
	Bauzeit [AT]	176	223	+26,7%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Darüber hinaus resultiert aus der abweichenden Anzahl an Fertigungsabschnitten, aufgrund des zugrunde liegenden Netzplans (vgl. Kap. G.2.4), eine zusätzliche Bauzeitverlängerung, deren Dauer der Taktzeit entspricht.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters

[876] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

„Wandstärke der Bauelemente“ von Bauobjekt 3, durch den Ansatz identischer Vorgangsdauern für Takt 4 von 5 AT und identischer Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Dies verdeutlicht, dass bei der Festlegung der Taktzeit eine Überprüfung der zugrunde gelegten Ansätze durch den Verfahrensanwender notwendig ist, da die Taktzeit – selbst bei geringfügigen Anpassungen – die resultierende Bauzeit enorm beeinflusst.

L.4.1.9 Detailbetrachtung „Anteil der Fensterflächen“

Abweichungen zwischen erwarteten Soll-0- und Ist-Werten:

Zwischen den Bauzeiten, die aus dem Soll-0- und Ist-Wert des Gebäudeparameters „Anteil der Fensterflächen“ resultieren, bestehen keine Unterschiede, weshalb auf eine detaillierte Auswertung verzichtet wird.

Soll-Bandbreiten:

Da Bauobjekt 3 und 4 als Gebäude ohne tragende Außenwände eingestuft wurden (vgl. Kap. H.4.3), sind zwischen den Bauzeiten, die aus dem erwarteten sowie minimalen und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Anteil der Fensterflächen“ resultieren, lediglich für Bauobjekt 1 und 2 Differenzen feststellbar.

Bauobjekt 1 (minimaler Soll-Wert):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 1 zu ermitteln, sind in Tab. 81 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten und minimalen Soll-Werts des Gebäudeparameters „Anteil der Fensterflächen“ ergeben.

Bezüglich der Krananzahl, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 81 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +2,9 % ist auf die zusätzlichen Fertigungsmengen zurückzuführen (hier: Betonvolumen vertikale Bauteile), aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss resultieren (vgl. Tab. 81). Aufgrund des zugrunde liegenden Netzplans (vgl. Kap. G.2.4) resultiert aus dem zusätzlichen Fertigungsabschnitt eine Bauzeitverlängerung, deren Dauer der Taktzeit entspricht.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Anteil der Fensterflächen“ von Bauobjekt 1, durch den Ansatz identischer Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Tab. 81: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und minimalen Soll-0-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen, Bauobjekt 1[877]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Minimaler Soll-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Anteil der Fensterflächen [-]		0,20	0,00	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.017	1.087	+6,9%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	799	799	±0%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	6.042	6.627	+9,7%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	70	74	+5,7%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	468	525	+12,2%
	Randschalung [Ah]	280	280	±0%
	Schalung [Ah]	974	1.062	+9,0%
	Bewehrung [Ah]	1.299	1.388	+6,9%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	70	72	+2,9%

Bauobjekt 1 (maximaler Soll-Wert):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 1 zu ermitteln, sind in Tab. 82 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten und maximalen Soll-Werts des Gebäudeparameters „Anteil der Fensterflächen“ ergeben.

Bezüglich der Krananzahl, Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss und maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ergeben sich aus Tab. 82 keine Unterschiede. Obwohl für die Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände lediglich geringfügige Abweichungen von maximal -12,0 % resultieren, kann die Bauzeitänderung von -45,7 % dennoch auf die reduzierten Fertigungsmengen zurückgeführt werden, da hieraus eine reduzierte Taktzeit folgt (vgl. Tab. 82).

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz des erwarteten Soll-Werts Takt 4 maßgebend, da hieraus die maximale Vorgangsdauer (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von 1,52 AT bzw. 2 AT (gerundet) resultiert (vgl. Tab. 82). Im Gegensatz dazu betragen die Vorgangsdauern der übrigen Takte gerundet 1 AT.

[877] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

Tab. 82: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und maximalen Soll-0-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen, Bauobjekt 1[878]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Maximaler Soll-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Anteil der Fensterflächen [-]		0,20	0,40	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.017	947	-6,9%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	799	799	±0%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	6.042	5.457	-9,7%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	70	66	-5,7%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	468	412	-12,0%
	Randschalung [Ah]	280	280	±0%
	Schalung [Ah]	974	887	-8,9%
	Bewehrung [Ah]	1.299	1.209	-6,9%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	3	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	13	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	1	-50,0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	0,66 (= 1 AT)	0,55 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,01 (= 1 AT)	0,86 (=1 AT)	±0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	1,52 (= 2 AT)	1,47 (= 1 AT)	-50,0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	1,49 (= 1 AT)	1,49 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	6	-45,5%
	Bauzeit [AT]	70	38	-45,7%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Für den maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Anteil der Fensterflächen“ reduziert sich die Vorgangsdauer von Takt 4 auf 1,47 AT bzw. 1 AT (gerundet). Da auch die Vorgangsdauer der übrigen Takte maximal 1 AT beträgt (vgl. Tab. 82), reduziert sich die Taktzeit auf 1 AT, wodurch die Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit deutlich reduziert wird.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten und maximalen Soll-Wert des Gebäudeparameters

[878] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

„Anteil der Fensterflächen“ von Bauobjekt 1, durch den Ansatz identischer Vorgangsdauern für Takt 4 von 1 AT bzw. 2 AT in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

Dies verdeutlicht, dass bei der Festlegung der Taktzeit eine Überprüfung der zugrunde gelegten Ansätze durch den Verfahrensanwender notwendig ist, da die Taktzeit – selbst bei geringfügigen Anpassungen – die resultierende Bauzeit enorm beeinflusst.

Bauobjekt 2 (minimaler Soll-Wert):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 2 zu ermitteln, sind in Tab. 83 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten und minimalen Soll-Werts des Gebäudeparameters „Anteil der Fensterflächen“ ergeben.

Tab. 83: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und minimalen Soll-0-Gebäudeparameter – Anteil der Fensterflächen, Bauobjekt 2[879]

		Erwarteter Soll-0-Wert	Minimaler Soll-Wert	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Anteil der Fensterflächen [-]		0,20	0,00	
Fertigungsmengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.268	1.355	+6,9%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	984	984	±0%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	7.486	8.209	+9,7%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	87	93	+6,9%
Arbeitsaufwand	Betonage [Ah]	577	646	+12,0%
	Randschalung [Ah]	344	344	±0%
	Schalung [Ah]	1.209	1.318	+9,0%
	Bewehrung [Ah]	1.621	1.732	+6,8%
Ressourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	81	83	+2,5%

Bezüglich der Krananzahl, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 83 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +2,5 % ist auf die zusätzlichen Fertigungsmengen zurückzuführen (hier: Betonvolumen vertikale Bauteile), aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss resultieren (vgl.

[879] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

Tab. 83). Aufgrund des zugrunde liegenden Netzplans (vgl. Kap. G.2.4) resultiert aus dem zusätzlichen Fertigungsabschnitt eine Bauzeitverlängerung, deren Dauer der Taktzeit entspricht.

Diese Feststellungen werden auch dadurch bestätigt, dass die die festgestellten Bauzeitabweichungen zwischen dem erwarteten und minimalen Soll-Wert des Gebäudeparameters „Anteil der Fensterflächen“ von Bauobjekt 2, durch den Ansatz identischer Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss in der Arbeitshilfe, vollständig eliminiert werden können.

L.4.1.10 Detailbetrachtung „Geschossanzahl“

Um die Auswirkungen von Anpassungen des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ auf die resultierenden Bauzeiten zu bewerten, werden die angegebenen erwarteten Soll-0-Werte des Gebäudeparameters pauschal um ein Geschoss reduziert bzw. erhöht (vgl. Kap. H.4.3 u. Kap. I.1.8).

Bauobjekt 1 (Reduzierung des erwarteten Soll-Werts):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 1 zu ermitteln, sind in Tab. 84 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Reduzierung ergeben.

Für die Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände resultieren aus Tab. 84 lediglich geringfügige Abweichungen von maximal -8,9 %. Bezüglich der Krananzahl, Anzahl der Fertigungsabschnitte, maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt sowie der Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 84 keine Unterschiede.

Die Bauzeitänderung von -15,7 % (= 11 AT) ist einzig auf die reduzierte Geschossanzahl zurückzuführen, wie die Gegenüberstellung der FAZ und FEZ der Fertigungsabschnitte der einzelnen Geschosse für den erwarteten Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Reduzierung zeigt (vgl. Tab. 85).

Bis zum fünften Geschoss (= 4. RG) ergeben sich aus Tab. 85 bezüglich der FAZ und FEZ keine Unterschiede. Die Herstellung des sechsten Geschosses (= 5. RG) bei Ansatz des erwarteten Soll-0-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ beginnt 11 AT (= Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts) nach Beginn des fünften Geschosses, was zu einer um 11 AT verlängerten Bauzeit führt.

Tab. 84: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 1[880]

		Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}	$x_{erw} - 1$	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschossanzahl [-] (zugehörige Gebäudegrundfläche)		6 (407 m²)	5 (488 m²)	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.017	988	-2,9%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	799	728	-8,9%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	6.042	5.769	-4,5%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	70	68	-2,9%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	468	440	-6,0%
	Randschalung [Ah]	280	255	-8,9%
	Schalung [Ah]	974	934	-4,1%
	Bewehrung [Ah]	1.299	1.262	-2,8%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	3	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	13	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	70	59	-15,7%

Tab. 85: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 1[881]

Geschoss	Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}						$x_{erw} - 1$					
	1. FA		2. FA		3. FA		1. FA		2. FA		3. FA	
	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ
EG	0	11	2	13	4	15	0	11	2	13	4	15
1. RG	11	22	13	24	15	26	11	22	13	24	15	26
2. RG	22	33	24	35	26	37	22	33	24	35	26	37
3. RG	33	44	35	46	37	48	33	44	35	46	37	48
4. RG	44	55	46	57	48	59	44	55	46	57	48	59
5. RG	55	66	57	68	59	70	-	-	-	-	-	-

Bauobjekt 1 (Erhöhung des erwarteten Soll-Werts):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 1 zu ermitteln, sind in Tab. 86 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den An-

[880] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

[881] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

satz des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Erhöhung ergeben.

Tab. 86: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 1[882]

		Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}	$x_{erw} + 1$	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschossanzahl [-] (zugehörige Gebäudegrundfläche)		6 (407 m²)	7 (349 m²)	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.017	998	-1,9%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	799	772	-3,4%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	6.042	5.851	-3,2%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	70	69	-1,4%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	468	447	-4,5%
	Randschalung [Ah]	280	270	-3,6%
	Schalung [Ah]	974	947	-2,8%
	Bewehrung [Ah]	1.299	1.278	-1,6%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	3	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	13	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	1	-50,0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	0,66 (= 1 AT)	0,53 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,01 (= 1 AT)	0,82 (=1 AT)	±0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	1,52 (= 2 AT)	1,28 (= 1 AT)	-50,0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	1,49 (= 1 AT)	1,30 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	6	-45,5%
	Bauzeit [AT]	70	44	-37,1%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Für die Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände resultieren aus Tab. 86 lediglich geringfügige Abweichungen von maximal -4,5 %. Bezüglich der Krananzahl, Anzahl der Fertigungsabschnitte und maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ergeben sich aus Tab. 86 keine Unterschiede.

[882] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

Die Bauzeitänderung von -37,1 % ist, neben der erhöhten Geschossanzahl, auf die abweichenden Fertigungsmengen zurückzuführen, aus denen eine verringerte Taktzeit resultiert (vgl. Tab. 80).

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz des erwarteten Soll-Werts Takt 4 maßgebend, da hieraus die maximale Vorgangsdauer (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von 1,52 AT bzw. 2 AT (gerundet) resultiert (vgl. Tab. 80). Im Gegensatz dazu betragen die Vorgangsdauern der übrigen Takte gerundet 1 AT.

Durch die Erhöhung des Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ reduziert sich die Vorgangsdauer von Takt 4 auf 1,28 AT bzw. 1 AT (gerundet). Da auch die Vorgangsdauer der übrigen Takte maximal 1 AT beträgt (vgl. Tab. 80), reduziert sich die Taktzeit auf 1 AT, wodurch die Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit deutlich reduziert wird.

Dass die Bauzeitänderung von -37,1 % (= 26 AT), neben der reduzierten Taktzeit, auch im Zusammenhang mit der erhöhten Geschossanzahl steht, verdeutlicht die Gegenüberstellung der FAZ und FEZ der Fertigungsabschnitte der einzelnen Geschosse für den erwarteten Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Erhöhung in Tab. 87.

Tab. 87: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 1[883]

Geschoss	Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}						$x_{erw}+1$					
	1. FA		2. FA		3. FA		1. FA		2. FA		3. FA	
	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ
EG	0	11	2	13	4	15	0	6	1	7	2	8
1. RG	11	22	13	24	15	26	6	12	7	13	8	14
2. RG	22	33	24	35	26	37	12	18	13	19	14	20
3. RG	33	44	35	46	37	48	18	24	19	25	20	26
4. RG	44	55	46	57	48	59	24	30	25	31	26	32
5. RG	55	66	57	68	59	70	30	36	31	37	32	38
6. RG	-	-	-	-	-	-	36	42	37	43	38	44

Aufgrund der reduzierten Taktzeit bzw. Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts erfolgt die Fertigstellung des sechsten Geschosses (= 5. RG) statt nach 70 AT bereits nach 38 AT (vgl. Tab. 87). Die Herstellung des siebten Geschosses (= 6. RG) bei Ansatz des erhöhten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ beginnt 6 AT (= Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts) nach Beginn des sechsten Geschosses, was zu einer Bauzeit von 44 AT führt.

[883] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Dies verdeutlicht, dass bei der Festlegung der Taktzeit eine Überprüfung der zugrunde gelegten Ansätze durch den Verfahrensanwender notwendig ist, da die Taktzeit – selbst bei geringfügigen Anpassungen – die resultierende Bauzeit enorm beeinflusst.

Bauobjekt 2 (Reduzierung des erwarteten Soll-Werts):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 2 zu ermitteln, sind in Tab. 88 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Reduzierung ergeben.

Tab. 88: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 2[884]

		Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}	$x_{erw} - 1$	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschossanzahl [-] (zugehörige Gebäudegrundfläche)		7 (441 m²)	6 (515 m²)	
Fertigungsmengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.268	1.239	-2,3%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	984	913	-7,2%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	7.486	7.212	-3,7%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	87	86	-1,1%
Arbeitsaufwand	Betonage [Ah]	577	549	-4,9%
	Randschalung [Ah]	344	320	-7,0%
	Schalung [Ah]	1.209	1.169	-3,3%
	Bewehrung [Ah]	1.621	1.584	-2,3%
Ressourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	81	72	-11,1%

Für die Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände resultieren aus Tab. 88 lediglich geringfügige Abweichungen von maximal -7,2 %. Bezüglich der Krananzahl sowie der Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 88 keine Unterschiede. Jedoch ergeben sich Differenzen bei der Anzahl der Fertigungsabschnitte und maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt.

[884] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

Die Bauzeitänderung von -11,1 % ist, neben der reduzierten Geschossanzahl, auf die geänderte Gebäudegrundfläche und die abweichenden Fertigungsmengen (im Speziellen dem Betonvolumen pro Geschoss) zurückzuführen, aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte resultieren (vgl. Tab. 88).

Dass die Bauzeitänderung von -11,1 % (= 9 AT), neben der abweichenden Anzahl der Fertigungsabschnitte, auch im Zusammenhang mit der reduzierten Geschossanzahl steht, verdeutlicht die Gegenüberstellung der FAZ und FEZ der Fertigungsabschnitte der einzelnen Geschosse für den erwarteten Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Reduzierung in Tab. 89.

Tab. 89: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 2[885]

Geschoss	Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}						$x_{erw} - 1$							
	1. FA		2. FA		3. FA		1. FA		2. FA		3. FA		4. FA	
	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ
EG	0	11	2	13	4	15	0	11	2	13	4	15	6	17
1. RG	11	22	13	24	15	26	11	22	13	24	15	26	17	28
2. RG	22	33	24	35	26	37	22	33	24	35	26	37	28	39
3. RG	33	44	35	46	37	48	33	44	35	46	37	48	39	50
4. RG	44	55	46	57	48	59	44	55	46	57	48	59	50	61
5. RG	55	66	57	68	59	70	55	66	57	68	59	70	61	72
6. RG	66	77	68	79	70	81	-	-	-	-	-	-	-	-

Bis zum sechsten Geschoss (= 5. RG) ergeben sich für die Fertigungsabschnitte 1 bis 3 aus Tab. 89 bezüglich der FAZ und FEZ keine Unterschiede. Die Herstellung von Fertigungsabschnitt 4 bei Ansatz des reduzierten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ kann in den einzelnen Geschossen jeweils 2 AT nach Beginn des dritten Fertigungsabschnitts beginnen, was insgesamt zu einer Bauzeit von 72 AT führt.

Bauobjekt 2 (Erhöhung des erwarteten Soll-Werts):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 2 zu ermitteln, sind in Tab. 90 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Erhöhung ergeben.

Für die Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände resultieren aus Tab. 90 lediglich geringfügige Abweichungen von maximal +7,3 %. Trotz der Erhöhung der Fertigungsmengen ergibt sich eine Bauzeitreduzierung um -38,3 %. Bezüglich der Krananzahl, Anzahl der Fertigungs-

[885] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

abschnitte und maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ergeben sich aus Tab. 90 keine Unterschiede.

Tab. 90: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 2[886]

		Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}	$x_{erw} + 1$	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschossanzahl [-] (zugehörige Gebäudegrundfläche)		7 (441 m²)	8 (386 m²)	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	1.268	1.297	+2,3%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	984	1.054	+7,1%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	7.486	7.752	+3,6%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	87	89	+2,3%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	577	604	+4,7%
	Randschalung [Ah]	344	369	+7,3%
	Schalung [Ah]	1.209	1.248	+3,2%
	Bewehrung [Ah]	1.621	1.656	+2,2%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	3	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	13	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	1	-50,0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	0,69 (= 1 AT)	0,64 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,06 (= 1 AT)	0,99 (=1 AT)	±0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	1,63 (= 2 AT)	1,47 (= 1 AT)	-50,0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	1,62 (= 2 AT)	1,40 (= 1 AT)	-50,0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	6	-45,5%
	Bauzeit [AT]	81	50	-38,3%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Die Bauzeitänderung von -38,3 % ist, neben der reduzierten Geschossanzahl, auf die geänderte Gebäudegrundfläche und die abweichenden Fertigungsmengen pro Geschoss (im Speziellen von Takt 4 und 5) zurückzuführen, aus denen unterschiedliche Taktzeiten resultieren (vgl. Tab. 90).

[886] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz des erwarteten Soll-Werts Takt 4 und 5 maßgebend, da hieraus die maximalen Vorgangsdauern (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von 1,63 AT und 1,62 AT bzw. 2 AT (gerundet) resultieren (vgl. Tab. 90). Im Gegensatz dazu betragen die Vorgangsdauern der übrigen Takte gerundet 1 AT.

Durch die Erhöhung des Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ reduzieren sich die Vorgangsdauern von Takt 4 und 5 auf 1,47 AT und 1,40 AT bzw. 1 AT (gerundet). Da auch die Vorgangsdauern der übrigen Takte maximal 1 AT betragen (vgl. Tab. 90), reduziert sich die Taktzeit auf 1 AT, wodurch die Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit deutlich reduziert wird.

Dass die Bauzeitänderung von -38,3 % (= 31 AT), neben der reduzierten Taktzeit, auch im Zusammenhang mit der erhöhten Geschossanzahl steht, verdeutlicht die Gegenüberstellung der FAZ und FEZ der Fertigungsabschnitte der einzelnen Geschosse für den erwarteten Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Erhöhung in Tab. 91.

Tab. 91: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 2[887]

Geschoss	Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}						$x_{erw}+1$					
	1. FA		2. FA		3. FA		1. FA		2. FA		3. FA	
	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ
EG	0	11	2	13	4	15	0	6	1	7	2	8
1. RG	11	22	13	24	15	26	6	12	7	13	8	14
2. RG	22	33	24	35	26	37	12	18	13	19	14	20
3. RG	33	44	35	46	37	48	18	24	19	25	20	26
4. RG	44	55	46	57	48	59	24	30	25	31	26	32
5. RG	55	66	57	68	59	70	30	36	31	37	32	38
6. RG	66	77	68	79	70	81	36	42	37	43	38	44
7. RG	-	-	-	-	-	-	42	48	43	49	44	50

Aufgrund der reduzierten Taktzeit bzw. Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts erfolgt die Fertigstellung des siebten Geschosses (= 6. RG) statt nach 81 AT bereits nach 44 AT (vgl. Tab. 91). Die Herstellung des achten Geschosses (= 7. RG) bei Ansatz des erhöhten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ beginnt 6 AT (= Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts) nach Beginn des siebten Geschosses, was zu einer Bauzeit von 50 AT führt.

Dies verdeutlicht, dass bei der Festlegung der Taktzeit eine Überprüfung der zugrunde gelegten Ansätze durch den Verfahrensanwender notwendig ist, da die Taktzeit – selbst bei geringfügigen Anpassungen – die resultierende Bauzeit enorm beeinflusst.

[887] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Bauobjekt 3 (Reduzierung des erwarteten Soll-Werts):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 3 zu ermitteln, sind in Tab. 92 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Reduzierung ergeben.

Tab. 92: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 3[888]

		Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}	$x_{erw} - 1$	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschossanzahl [-] (zugehörige Gebäudegrundfläche)		8 (1.146 m²)	7 (1.310 m²)	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	2.762	2.731	-1,1%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	2.289	2.194	-4,2%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	13.939	13.632	-2,2%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	205	203	-1,0%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	881	849	-3,6%
	Randschalung [Ah]	801	768	-4,1%
	Schalung [Ah]	2.352	2.308	-1,9%
	Bewehrung [Ah]	3.631	3.594	-1,0%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	3	+50,0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	3	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	20	+53,8%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	4	3	-25,0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	0,68 (= 1 AT)	0,43 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,15 (= 1 AT)	0,74 (=1 AT)	±0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	3,42 (= 3 AT)	2,57 (= 3 AT)	±0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	4,29 (= 4 AT)	2,47 (= 2 AT)	-50,0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	21	16	-23,8%
	Bauzeit [AT]	176	118	-33,0%

Für die Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände resultieren aus Tab. 92 lediglich geringfügige Abweichungen von maximal -4,2 %. Bezüglich der Anzahl der Fertigungsabschnitte ergeben sich aus Tab. 92 keine Unterschiede. Jedoch ergeben sich Differenzen bei der Krananz-

[888] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

ahl, maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts.

Die Bauzeitänderung von -33,0 % ist, neben der reduzierten Geschossanzahl, auf die geänderte Gebäudegrundfläche und die abweichenden Fertigungsmengen (im Speziellen von Takt 5) zurückzuführen, aus denen unterschiedliche Krananzahlen, maximale Anzahlen an AK pro Fertigungsabschnitt und Taktzeiten resultieren (vgl. Tab. 92).

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz des erwarteten Soll-Werts Takt 5 maßgebend, da hieraus die maximale Vorgangsdauer (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von 4,29 AT bzw. 4 AT (gerundet) resultiert (vgl. Tab. 92). Im Gegensatz dazu beträgt die Vorgangsdauer von Takt 4 gerundet 3 AT und die Vorgangsdauer der übrigen Takte gerundet 1 AT.

Durch die Erhöhung des Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ reduziert sich die Vorgangsdauer von Takt 5 auf 2,47 AT bzw. 2 AT (gerundet). Die Vorgangsdauern der übrigen Takte bleiben hingegen gerundet unverändert bei 1 AT bzw. 3 AT (vgl. Tab. 92), weshalb sich die Taktzeit auf 3 AT reduziert. Die reduzierte Taktzeit und erhöhte Krananzahl, aus der eine erhöhte maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt resultiert, führt zu einer Reduzierung der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit.

Dass die Bauzeitänderung von -33,0 % (= 58 AT), neben der reduzierten Taktzeit und erhöhten Krananzahl, auch im Zusammenhang mit der reduzierten Geschossanzahl steht, verdeutlicht die Gegenüberstellung der FAZ und FEZ der Fertigungsabschnitte der einzelnen Geschosse für den erwarteten Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Reduzierung in Tab. 93.

Tab. 93: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 3[889]

Geschoss	Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}						$x_{erw} - 1$					
	1. FA		2. FA		3. FA		1. FA		2. FA		3. FA	
	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ
EG	0	21	4	25	8	29	0	16	3	19	6	22
1. RG	21	42	25	46	29	50	16	32	19	35	22	38
2. RG	42	63	46	67	50	71	32	48	35	51	38	54
3. RG	63	84	67	88	71	92	48	64	51	67	54	70
4. RG	84	105	88	109	92	113	64	80	67	83	70	86
5. RG	105	126	109	130	113	134	80	96	83	99	86	102
6. RG	126	147	130	151	134	155	96	112	99	115	102	118
7. RG	147	168	151	172	155	176	-	-	-	-	-	-

[889] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Aufgrund der reduzierten Taktzeit bzw. Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts erfolgt die Fertigstellung des siebten Geschosses (= 6. RG) statt nach 155 AT bereits nach 118 AT (vgl. Tab. 93). Die Herstellung des achten Geschosses (= 7. RG) bei Ansatz des erwarteten Soll-0-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ beginnt 21 AT (= Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts) nach Beginn des siebten Geschosses, was zu einer Bauzeit von 176 AT führt.

Dies verdeutlicht unter anderem, dass bei der Festlegung der Taktzeit eine Überprüfung der zugrunde gelegten Ansätze durch den Verfahrensanwender notwendig ist, da die Taktzeit – selbst bei geringfügigen Anpassungen – die resultierende Bauzeit enorm beeinflusst. Auch die zweckmäßige Krananzahl ist einer Prüfung zu unterziehen und hinsichtlich sinnvoller alternativer Ansätze zu analysieren.

Bauobjekt 3 (Erhöhung des erwarteten Soll-Werts):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 3 zu ermitteln, sind in Tab. 94 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Erhöhung ergeben.

Für die Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände resultieren aus Tab. 94 lediglich geringfügige Abweichungen von maximal -1,7 %. Bezüglich der Krananzahl, Anzahl der Fertigungsabschnitte, maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt sowie der Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts ergeben sich aus Tab. 94 keine Unterschiede.

Die Bauzeitänderung von +11,9 % (= 21 AT) ist einzig auf die erhöhte Geschossanzahl zurückzuführen, wie die Gegenüberstellung der FAZ und FEZ der Fertigungsabschnitte der einzelnen Geschosse für den erwarteten Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Erhöhung zeigt (vgl. Tab. 95).

Bis zum achten Geschoss (= 7. RG) ergeben sich aus Tab. 95 bezüglich der FAZ und FEZ keine Unterschiede. Die Herstellung des neunten Geschosses (= 8. RG) bei Ansatz des erhöhten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ beginnt 21 AT (= Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts) nach Beginn des achten Geschosses, was zu einer um 21 AT verlängerten Bauzeit führt.

Tab. 94: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 3[890]

		Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}	$x_{erw}+1$	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschossanzahl [-] (zugehörige Gebäudegrundfläche)		8 (1.146 m²)	9 (1.019 m²)	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	2.762	2.776	+0,5%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	2.289	2.250	-1,7%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	13.939	14.018	+0,6%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	205	206	+0,5%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	881	886	+0,6%
	Randschalung [Ah]	801	787	-1,7%
	Schalung [Ah]	2.352	2.365	+0,6%
	Bewehrung [Ah]	3.631	3.654	+0,6%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	3	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	13	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	4	4	±0%
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	21	21	±0%
	Bauzeit [AT]	176	197	+11,9%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Tab. 95: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 3[891]

Geschoss	Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}						$x_{erw}+1$					
	1. FA		2. FA		3. FA		1. FA		2. FA		3. FA	
	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ
EG	0	21	4	25	8	29	0	21	4	25	8	29
1. RG	21	42	25	46	29	50	21	42	25	46	29	50
2. RG	42	63	46	67	50	71	42	63	46	67	50	71
3. RG	63	84	67	88	71	92	63	84	67	88	71	92
4. RG	84	105	88	109	92	113	84	105	88	109	92	113
5. RG	105	126	109	130	113	134	105	126	109	130	113	134
6. RG	126	147	130	151	134	155	126	147	130	151	134	155
7. RG	147	168	151	172	155	176	147	168	151	172	155	176
8. RG	-	-	-	-	-	-	168	189	172	193	176	197

[890] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

[891] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Bauobjekt 4 (Reduzierung des erwarteten Soll-Werts):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 4 zu ermitteln, sind in Tab. 96 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Reduzierung ergeben.

Tab. 96: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 4[892]

		Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}	$x_{erw} - 1$	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschossanzahl [-] (zugehörige Gebäudegrundfläche)		6 (1.911 m²)	5 (2.293 m²)	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	3.429	3.458	+0,8%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	2.586	2.468	-4,6%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	17.059	17.218	+0,9%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	255	256	+0,4%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	1.062	1.076	+1,3%
	Randschalung [Ah]	905	864	-4,5%
	Schalung [Ah]	2.889	2.915	+0,9%
	Bewehrung [Ah]	4.500	4.532	+0,7%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	3	3	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	5	5	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	12	12	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	7	9	+28,6%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	1,05 (= 1 AT)	1,28 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,77 (= 2 AT)	2,15 (= 2 AT)	±0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	5,54 (= 6 AT)	6,60 (= 7 AT)	+16,7%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	7,25 (= 7 AT)	8,75 (= 9 AT)	+28,6%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	36	46	+27,8%
	Bauzeit [AT]	244	266	+9,0%

Für die Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände resultieren aus Tab. 96 lediglich geringfügige Abweichungen von maximal -4,6 %. Bezüglich der Krananzahl, Anzahl der Fertigungsabschnitte und maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ergeben sich aus Tab. 96

[892] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

keine Unterschiede. Jedoch ergeben sich Differenzen bei der Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts.

Die Bauzeitänderung von +9,0 % ist, neben der reduzierten Geschossanzahl, auf die geänderte Gebäudegrundfläche und die abweichenden Fertigungsmengen (im Speziellen von Takt 5) zurückzuführen, aus denen unterschiedliche Taktzeiten resultieren (vgl. Tab. 96).

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz des erwarteten Soll-Werts Takt 5 maßgebend, da hieraus die maximale Vorgangsdauer (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von 7,25 AT bzw. 7 AT (gerundet) resultiert (vgl. Tab. 96). Im Gegensatz dazu beträgt die Vorgangsdauer von Takt 4 gerundet 6 AT und von Takt 2 gerundet 2 AT sowie die Vorgangsdauer der übrigen Takte gerundet 1 AT.

Durch die Reduzierung des Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ erhöht sich die Vorgangsdauer von Takt 5 auf 8,75 AT bzw. 9 AT (gerundet). Die Vorgangsdauer von Takt 4 erhöht sich von 6 AT auf 7 AT. Die Vorgangsdauern der übrigen Takte bleiben hingegen gerundet unverändert bei 1 AT (vgl. Tab. 96), weshalb sich die Taktzeit auf 9 AT erhöht. Die erhöhte Taktzeit führt zu einer Erhöhung der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit.

Dass die Bauzeitänderung von+9,0 % (= 22 AT), neben der erhöhten Taktzeit, auch im Zusammenhang mit der reduzierten Geschossanzahl steht, verdeutlicht die Gegenüberstellung der FAZ und FEZ der Fertigungsabschnitte der einzelnen Geschosse für den erwarteten Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Reduzierung in Tab. 97.

Tab. 97: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und reduzierten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 4[893]

Geschoss	Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}						$x_{erw} - 1$					
	1. FA		2. FA		...	5. FA	1. FA		2. FA		...	5. FA	
	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	...	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	...	FAZ	FEZ
EG	0	36	7	43	...	28	64	0	46	9	55	...	36	82
1. RG	36	72	43	79	...	64	100	46	92	55	101	...	82	128
2. RG	72	108	79	115	...	100	136	92	138	101	147	...	128	174
3. RG	108	144	115	151	...	136	172	138	184	147	193	...	174	220
4. RG	144	180	151	187	...	172	208	184	230	193	239	...	220	266
5. RG	180	216	187	223	...	208	244	-	-	-	-	...	-	-

Aufgrund der erhöhten Taktzeit bzw. Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts erfolgt die Fertigstellung des fünften Geschosses (= 4. RG) statt nach 208 AT erst nach 266 AT (vgl. Tab. 97). Die Herstellung des sechsten Geschosses (= 5. RG) bei Ansatz des erwarte-

[893] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

ten Soll-0-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ beginnt 36 AT (= Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts) nach Beginn des fünften Geschosses, was zu einer Bauzeit von 244 AT führt.

Dies verdeutlicht, dass bei der Festlegung der Taktzeit eine Überprüfung der zugrunde gelegten Ansätze durch den Verfahrensanwender notwendig ist, da die Taktzeit – selbst bei geringfügigen Anpassungen – die resultierende Bauzeit enorm beeinflusst.

Bauobjekt 4 (Erhöhung des erwarteten Soll-Werts):

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 4 zu ermitteln, sind in Tab. 98 diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Erhöhung ergeben.

Für die Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände resultieren aus Tab. 98 lediglich geringfügige Abweichungen von maximal +2,3 %. Bezüglich der Krananzahl ergeben sich aus Tab. 98 keine Unterschiede. Jedoch ergeben sich Differenzen bei der Anzahl der Fertigungsabschnitte, maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, Taktzeit und Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts.

Die Bauzeitänderung von -34,8 % ist, neben der erhöhten Geschossanzahl, auf die geänderte Gebäudegrundfläche und die abweichenden Fertigungsmengen (im Speziellen von Takt 4 und 5) zurückzuführen, aus denen unterschiedliche Anzahl der Fertigungsabschnitte, maximale Anzahlen an AK pro Fertigungsabschnitt und Taktzeiten resultieren (vgl. Tab. 98).

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz des erwarteten Soll-Werts Takt 5 maßgebend, da hieraus die maximale Vorgangsdauer (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von 7,25 AT bzw. 7 AT (gerundet) resultiert (vgl. Tab. 98). Im Gegensatz dazu beträgt die Vorgangsdauer von Takt 4 gerundet 6 AT und von Takt 2 gerundet 2 AT sowie die Vorgangsdauer der übrigen Takte gerundet 1 AT.

Durch die Erhöhung des Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ reduziert sich die Vorgangsdauer von Takt 4 und 5 auf jeweils 4 AT (gerundet). Die Vorgangsdauer von Takt 2 reduziert sich von 2 AT auf 1 AT. Die Vorgangsdauern der übrigen Takte bleiben hingegen gerundet unverändert bei 1 AT (vgl. Tab. 98), weshalb sich die Taktzeit auf 4 AT reduziert. Die reduzierte Taktzeit und Anzahl der Fertigungsabschnitte führen zu einer Reduzierung der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit.

Tab. 98: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 4[894]

		Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}	$x_{erw} + 1$	Änderung bezogen auf erwartete Soll-0-Werte
Geschossanzahl [-] (zugehörige Gebäudegrundfläche)		6 (1.911 m²)	7 (1.638 m²)	
Fertigungs-mengen	Gesamt-Betonvolumen [m³]	3.429	3.460	+0,9%
	Gesamt-Randschalungslänge [m]	2.586	2.600	+0,5%
	Gesamt-Schalungsfläche [m²]	17.059	17.306	+1,4%
	Gesamt-Bewehrungsmenge [t]	255	256	+0,4%
Arbeits-aufwand	Betonage [Ah]	1.062	1.086	+2,3%
	Randschalung [Ah]	905	910	+0,6%
	Schalung [Ah]	2.889	2.927	+1,3%
	Bewehrung [Ah]	4.500	4.538	+0,8%
Res-sourcen	Krananzahl [-]	3	3	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	5	4	-20,0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	12	15	+25,0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	7	4	-42,9%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	1,05 (= 1 AT)	0,80 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,77 (= 2 AT)	1,35 (= 1 AT)	-50,0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	5,54 (= 6 AT)	3,82 (= 4 AT)	-33,3%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	7,25 (= 7 AT)	4,14 (= 4 AT)	-42,9%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	36	21	-41,7%
	Bauzeit [AT]	244	159	-34,8%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Dass die Bauzeitänderung von -34,8 % (= 85 AT), neben der reduzierten Taktzeit und Anzahl der Fertigungsabschnitte, auch im Zusammenhang mit der erhöhten Geschossanzahl steht, verdeutlicht die Gegenüberstellung der FAZ und FEZ der Fertigungsabschnitte der einzelnen Geschosse für den erwarteten Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ und dessen Erhöhung in Tab. 99.

Aufgrund der reduzierten Taktzeit bzw. Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und reduzierten Anzahl der Fertigungsabschnitte erfolgt die Fertigstellung des sechsten Ge-

[894] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt und sind z. T. gerundet.

schosses (= 5. RG) statt nach 244 AT bereits nach 138 AT (vgl. Tab. 99). Die Herstellung des siebten Geschosses (= 6. RG) bei Ansatz des erhöhten Soll-Werts des Gebäudeparameters „Geschossanzahl“ beginnt 21 AT (= Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts) nach Beginn des sechsten Geschosses, was zu einer Bauzeit von 159 AT führt.

Tab. 99: Netzplanberechnungen bei Ansatz der erwarteten und erhöhten Soll-0-Gebäudeparameter – Geschossanzahl, Bauobjekt 4[895]

Geschoss	Erwarteter Soll-0-Wert x_{erw}							$x_{erw}+1$						
	1. FA		2. FA		...	5. FA		1. FA		2. FA		...	4. FA	
	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	...	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	...	FAZ	FEZ
EG	0	36	7	43	...	28	64	0	21	4	25	...	12	33
1. RG	36	72	43	79	...	64	100	21	42	25	46	...	33	54
2. RG	72	108	79	115	...	100	136	42	63	46	67	...	54	75
3. RG	108	144	115	151	...	136	172	63	84	67	88	...	75	96
4. RG	144	180	151	187	...	172	208	84	105	88	109	...	96	117
5. RG	180	216	187	223	...	208	244	105	126	109	130	...	117	138
6. RG	-	-	-	-	...	-	-	126	147	130	151	...	138	159

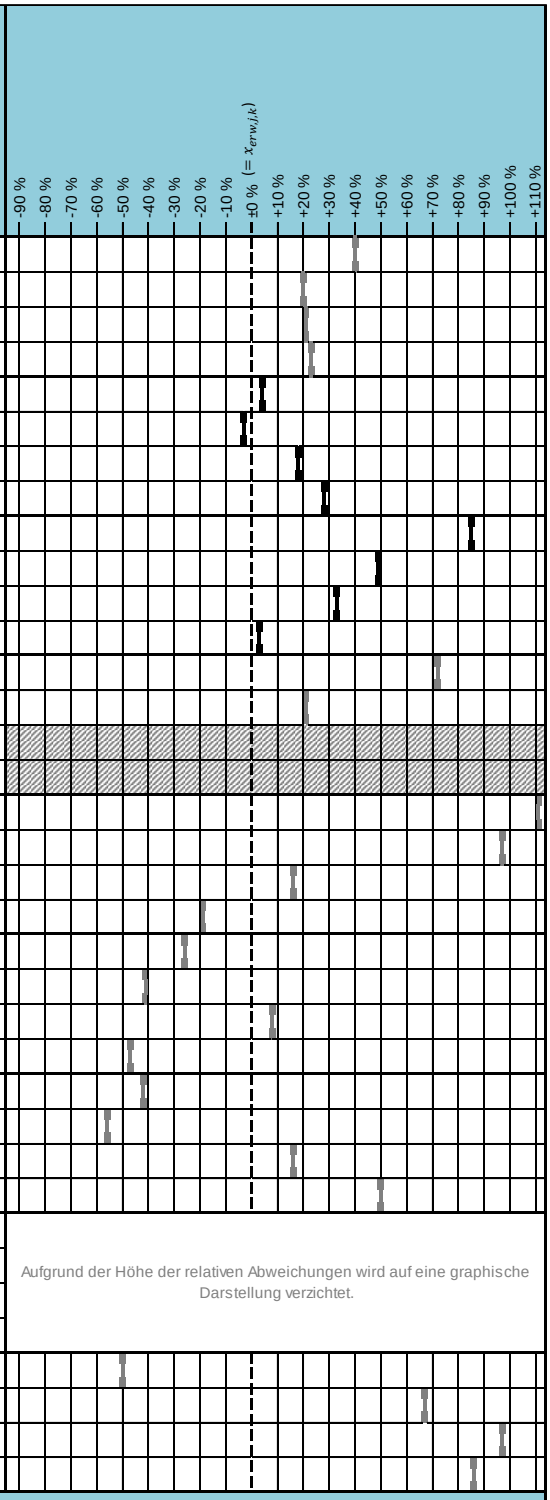
Dies verdeutlicht unter anderem, dass bei der Festlegung der Taktzeit eine Überprüfung der zugrunde gelegten Ansätze durch den Verfahrensanwender notwendig ist, da die Taktzeit – selbst bei geringfügigen Anpassungen – die resultierende Bauzeit enorm beeinflusst. Auch die zweckmäßige Anzahl der Fertigungsabschnitte ist einer Prüfung zu unterziehen und hinsichtlich sinnvoller alternativer Ansätze zu analysieren.

[895] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

L.4.2 Stufe 2: Analyse der Soll-0-Fertigungsmengen

L.4.2.1 Graphische Zusammenfassung der Analyse-Ergebnisse

Parametergruppe k	Objektnr. j	Absolutwerte[A] [m³] Soll-0 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte[A] [m³] Ist $x_{Ist,j,k}$	absolute Abweichung [m³] Ist $\Delta x_{Ist,j,k}$	relative Abweichung Soll-0 $\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{Ist,j,k}(x_{min,Ist,k})$
Gesamt-Betonvolumen (vertikale und horizontale Bauteile)	1	(1.017)	(1.419)	(402)	(39,5%)	(0%)
	2	(1.268)	(1.517)	(249)	(19,6%)	(6,9%)
	3	(2.762)	(3.348)	(586)	(21,2%)	(135,9%)
	4	(3.429)	(4.207)	(778)	(22,7%)	(196,5%)
Gesamt-Betonvolumen Geschossdecken (horizontale Bauteile)	2	566	586	20	3,5%	0,0%
		718	698	-20	-2,8%	19,1%
		2.177	2.573	396	18,2%	339,1%
		2.755	3.516	761	27,6%	500,0%
Gesamt-Betonvolumen Wände und Stützen (vertikale Bauteile)	3	451	832	381	84,5%	20,6%
		550	819	269	48,9%	18,7%
		585	775	190	32,5%	12,3%
		673	690	17	2,5%	0,0%
Gesamt-Betonvolumen Außenwände	4	(281)	(483)	(202)	(71,9%)	(15%)
		(347)	(420)	(73)	(21%)	(0%)
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
Gesamt-Betonvolumen Innenwände	5	(164)	(346)	(182)	(111%)	(0%)
		(194)	(383)	(189)	(97,4%)	(10,7%)
		(469)	(546)	(77)	(16,4%)	(57,8%)
		(536)	(434)	(-102)	(-19%)	(25,4%)
Betonvolumen Treppenhäuser und Installationsschächte	6	(120)	(89)	(-31)	(-25,8%)	(4,7%)
		(143)	(85)	(-58)	(-40,6%)	(0%)
		(337)	(363)	(26)	(7,7%)	(327,1%)
		(362)	(193)	(-169)	(-46,7%)	(127,1%)
Betonvolumen Aufzugsschächte	7	(33)	(19)	(-14)	(-42,4%)	(11,8%)
		(39)	(17)	(-22)	(-56,4%)	(0%)
		(67)	(78)	(11)	(16,4%)	(358,8%)
		(50)	(75)	(25)	(50%)	(341,2%)
Betonvolumen Brandschutzwände	8	(11)	(238)	(227)	(2063,6%)	(128,8%)
		(12)	(279)	(267)	(2225%)	(168,3%)
		(64)	(104)	(40)	(62,5%)	(0%)
		(124)	(165)	(41)	(33,1%)	(58,7%)
Betonvolumen Stützen	9	(6)	(3)	(-3)	(-50%)	(0%)
		(9)	(15)	(6)	(66,7%)	(400%)
		(116)	(229)	(113)	(97,4%)	(7533,3%)
		(137)	(255)	(118)	(86,1%)	(8400%)



Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-0-Wert

keine Wertangaben

[A] Absolutwerte auf ganze Zahlen gerundet

* Tabellenwerte in grau bzw. in Klammern bleiben unberücksichtigt, da bei der prozessorientierten Bauzeitermittlung lediglich horizontale und vertikale Bauteile differenziert werden.

Abb. 151: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina (Einzelwerte)[896]

[896] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5.

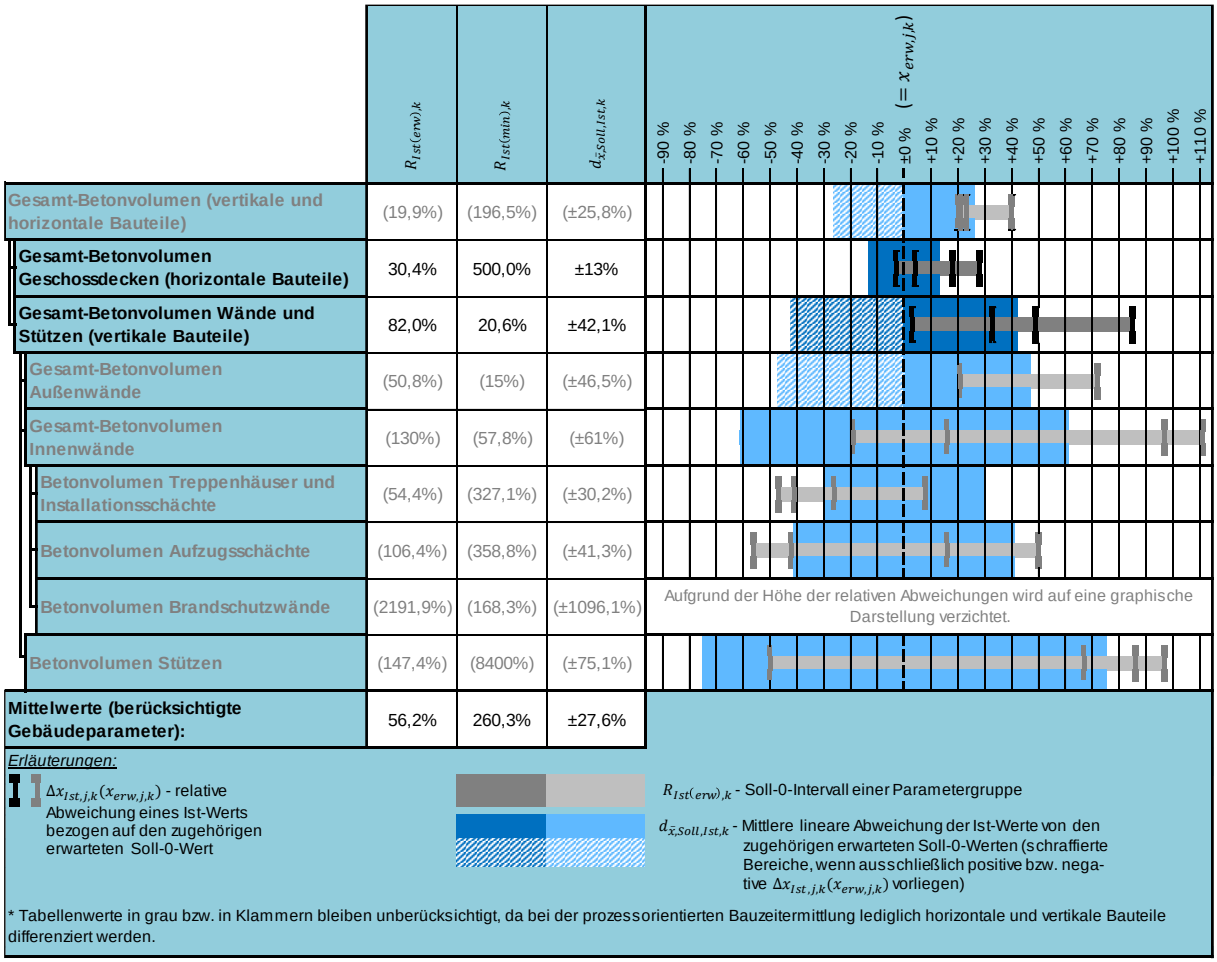


Abb. 152: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina (Zusammenfassung)[897]

[897] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5. Die im Rahmen der Berechnung verwendeten Parameter resultieren aus Abb. 151.

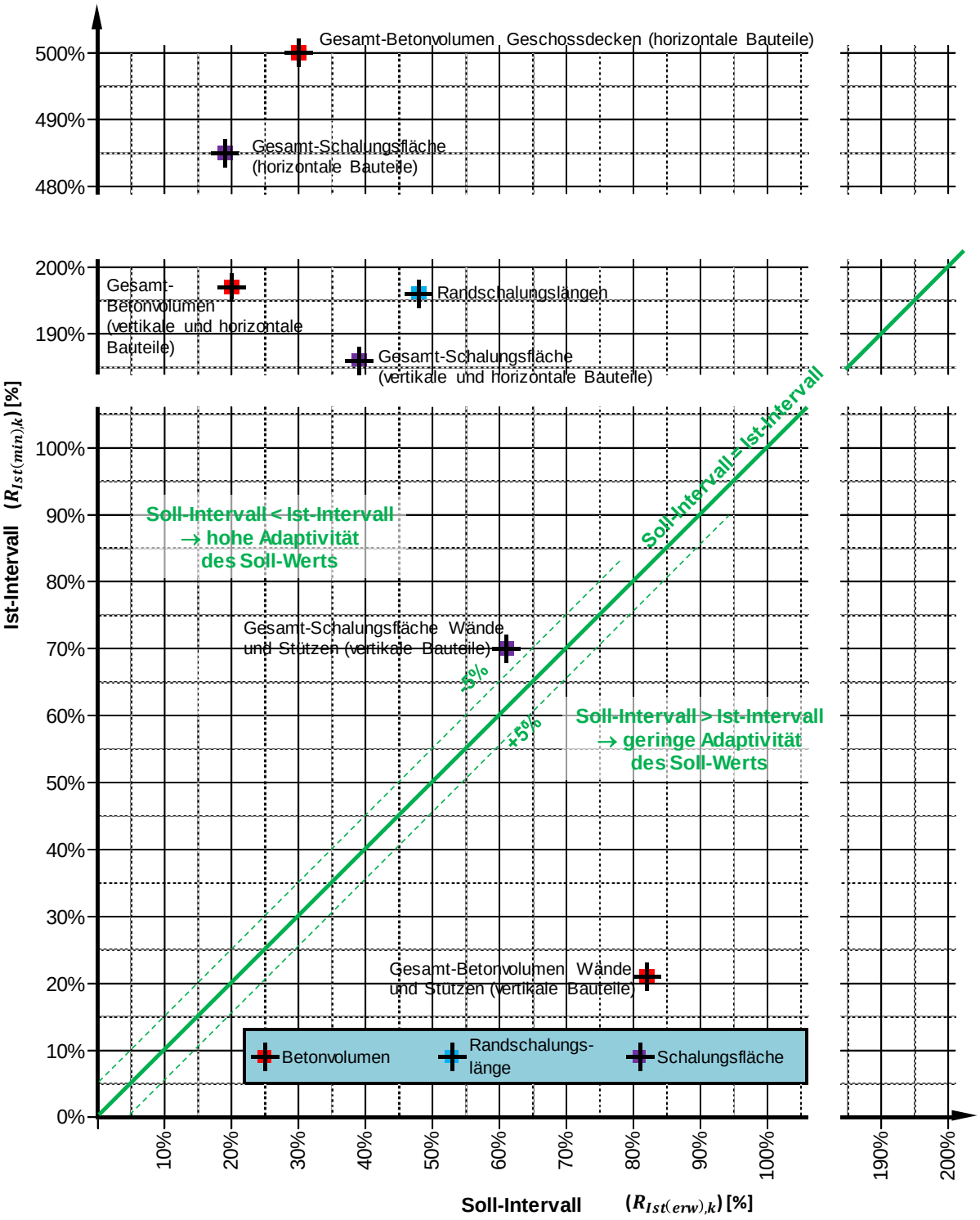
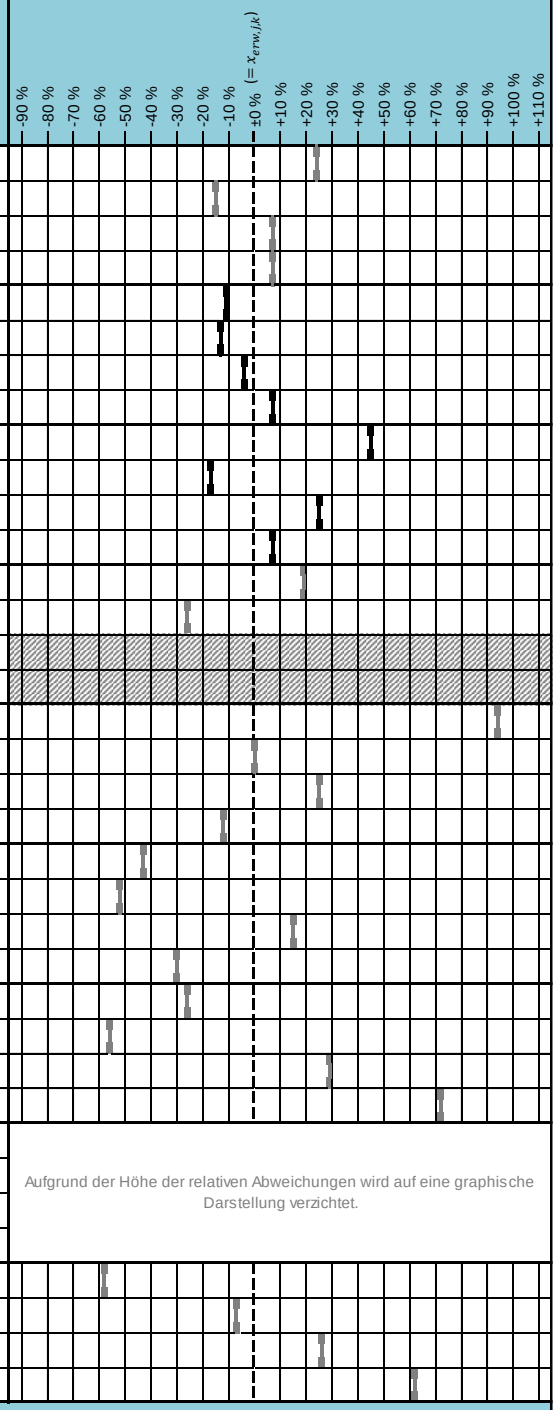


Abb. 153: Soll-0- und Ist-Intervalle der Fertigungsmengen[898]

[898] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Parameter resultieren aus Abb. 152.

	Parametergruppe k	Objektnr. j	Absolutwerte[A] [m²] Soll-0 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte[A] [m²] Ist $x_{ist,j,k}$	absolute Abweichung [m²] Ist $\Delta x_{ist,j,k}$	relative Abweichung Soll-0 $\Delta x_{ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{ist,j,k}(x_{min\,ist,k})$
Gesamt-Schalungsfläche (vertikale und horizontale Bauteile)	1	1	(6.042)	(7.466)	(1.424)	(23,6%)	(17,4%)
		2	(7.486)	(6.362)	(-1124)	(-15%)	(0%)
		3	(13.939)	(14.905)	(967)	(6,9%)	(134,3%)
		4	(17.059)	(18.222)	(1.164)	(6,8%)	(186,4%)
Gesamt-Schalungsfläche Geschossdecken (horizontale Bauteile)	2	1	2.265	2.007	-258	-11,4%	0,0%
		2	2.873	2.514	-358	-12,5%	25,3%
		3	8.709	8.371	-338	-3,9%	317,1%
		4	11.021	11.734	714	6,5%	484,7%
Gesamt-Schalungsfläche Wände und Stützen (vertikale Bauteile)	3	1	3.777	5.459	1.683	44,5%	41,9%
		2	4.613	3.848	-764	-16,6%	0,0%
		3	5.230	6.534	1.305	24,9%	69,8%
		4	6.038	6.487	450	7,4%	68,6%
Gesamt-Schalungsfläche Außenwände	4	1	(2.339)	(2.773)	(434)	(18,6%)	(30,2%)
		2	(2.891)	(2.129)	(-762)	(-26,4%)	(0%)
		3	-	-	-	-	-
		4	-	-	-	-	-
Gesamt-Schalungsfläche Innenwände	5	1	(1.368)	(2.656)	(1.288)	(94,2%)	(64,3%)
		2	(1.614)	(1.617)	(3)	(0,2%)	(0%)
		3	(3.907)	(4.863)	(956)	(24,5%)	(200,7%)
		4	(4.467)	(3.951)	(-516)	(-11,6%)	(144,3%)
Schalungsfläche Treppenhäuser und Installationsschächte	6	1	(1.003)	(568)	(-435)	(-43,4%)	(0%)
		2	(1.188)	(574)	(-614)	(-51,7%)	(1,1%)
		3	(2.811)	(3.226)	(416)	(14,8%)	(468%)
		4	(3.014)	(2.100)	(-914)	(-30,3%)	(269,7%)
Schalungsfläche Aufzugsschächte	7	1	(277)	(206)	(-71)	(-25,6%)	(45,1%)
		2	(323)	(142)	(-181)	(-56%)	(0%)
		3	(560)	(722)	(162)	(28,9%)	(408,5%)
		4	(420)	(722)	(302)	(71,9%)	(408,5%)
Schalungsfläche Brandschutzwände	8	1	(89)	(1.881)	(1.792)	(2013,5%)	(109,2%)
		2	(104)	(899)	(796)	(764,4%)	(0%)
		3	(536)	(914)	(379)	(70,5%)	(1,7%)
		4	(1.033)	(1.128)	(96)	(9,2%)	(25,5%)
Schalungsfläche Stützen	9	1	(69)	(29)	(-40)	(-58%)	(0%)
		2	(108)	(101)	(-7)	(-6,5%)	(248,3%)
		3	(1.323)	(1.670)	(348)	(26,2%)	(5658,6%)
		4	(1.570)	(2.535)	(965)	(61,5%)	(8641,4%)



Aufgrund der Höhe der relativen Abweichungen wird auf eine graphische Darstellung verzichtet.

Erläuterungen:

$\Delta x_{ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-0-Wert

keine Wertangaben

[A] Absolutwerte auf ganze Zahlen gerundet

* Tabellenwerte in grau bzw. in Klammern bleiben unberücksichtigt, da bei der prozessorientierten Bauzeitermittlung lediglich horizontale und vertikale Bauteile differenziert werden.

Abb. 154: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen (Einzelwerte)[899]

[899] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5.

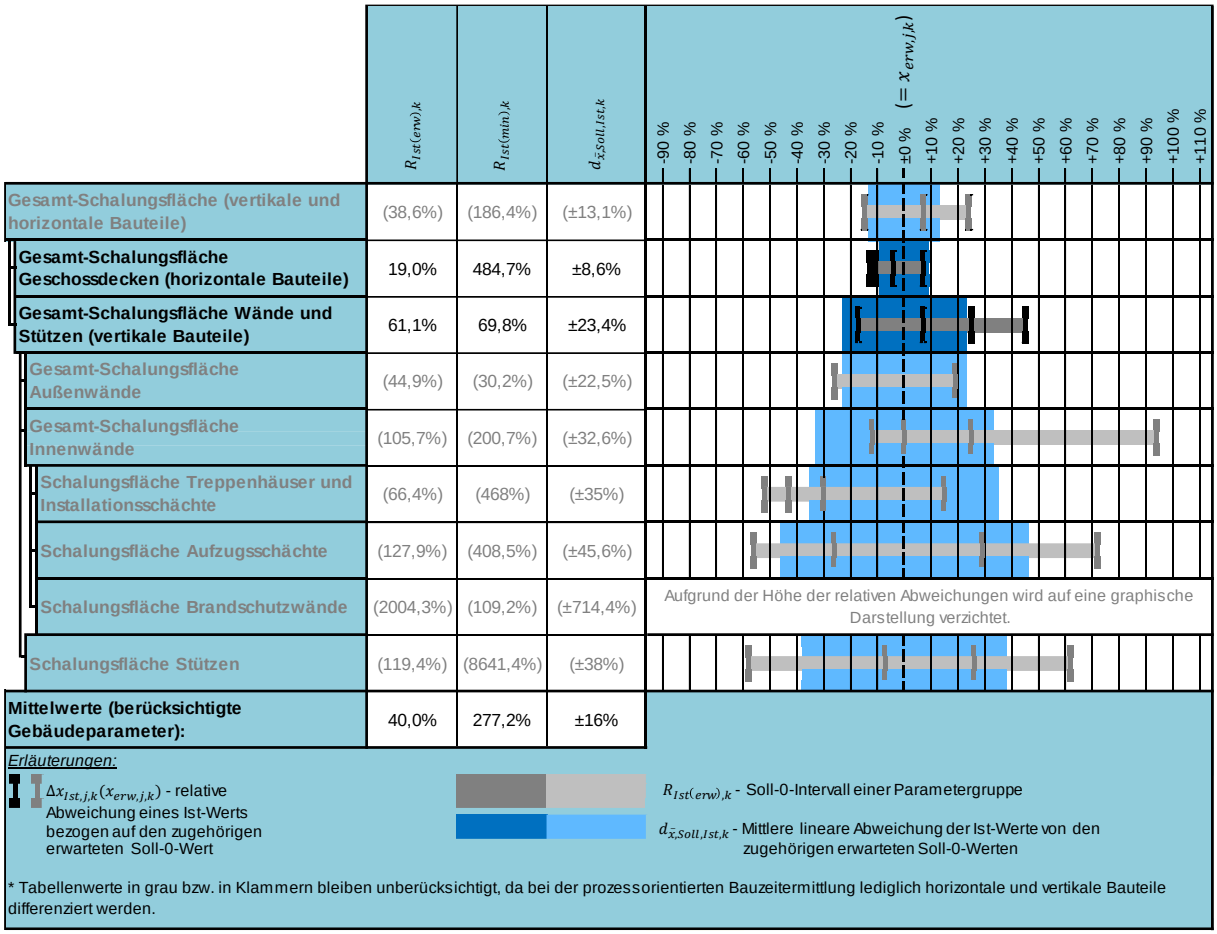


Abb. 155: Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen (Zusammenfassung)[900]

[900] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5. Die im Rahmen der Berechnung verwendeten Parameter resultieren aus Abb. 154.

L.4.2.2 Detailbetrachtung „Bauobjekt 1“

In Tab. 100 sind die Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen sowie die daraus jeweils resultierenden Arbeitsaufwände und Bauzeiten von Bauobjekt 1 gegenübergestellt.

Tab. 100: Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 1[901]

	Soll-0-Werte		**Soll-2-Werte**		
	Fertigungsmengen gesamt (pro Geschoss)	**Arbeitsaufwand** gesamt (pro Geschoss)	**Fertigungsmengen** gesamt[A] (pro Geschoss)[B]	**resultierender Arbeitsaufwand[C]** gesamt (pro Geschoss)	**Abweichung** bezogen auf Soll-0-Werte
Betonage, hor. Bauteile	566,28 m³ (94,38 m³)	108 Ah (18 Ah)	586 m³ (97,67 m³)	111 Ah (19 Ah)	+3,5%
Betonage, vert. Bauteile	450,99 m³ (75,16 m³)	361 Ah (60 Ah)	832 m³ (138,67 m³)	666 Ah (111 Ah)	+84,5%
Randschalung	799,13 m (133,19 m)	280 Ah (47 Ah)	614 m (102,33 m)	215 Ah (36 Ah)	-23,2%
Schalung, hor. Bauteile	2.265,14 m² (377,52 m²)	408 Ah (68 Ah)	2.007 m² (334,50 m²)	361 Ah (60 Ah)	-11,4%
Schalung, vert. Bauteile	3.777,00 m² (629,50 m²)	567 Ah (94 Ah)	5.459 m² (909,83 m²)	819 Ah (136 Ah)	+44,5%
Bewehrung, hor. Bauteile	42,47 t (7,08 t)	715 Ah (119 Ah)	43,95 t* (7,33 t)	740 Ah (123 Ah)	+3,5%
Bewehrung, vert. Bauteile	27,39 t (4,57 t)	584 Ah (97 Ah)	50,54 t* (8,42 t)	1.077 Ah (179 Ah)	+84,5%
	Soll-0-Bauzeit		**Soll-2-Bauzeit** (Abweichung bezogen auf Soll-0-Bauzeit)		
	70 AT		108 AT (+54,3%)		

[A] Vgl. HACHERER (2019) (vgl. Kap. H.4.1).
[B] Idealisiert berechnet aus Ist-Fertigungsmengen (gesamt) / Geschossanzahl.
[C] Berechnet aus Ist-Fertigungsmengen und zugehörigen erwarteten Aufwandswerten (vgl. Kap. G.1.1).
** Idealisiert proportional zur Änderung des Betonvolumens berechnet (z. B. Faktor hor. Bauteile = 1 + (586-566,28)/566,28 = 1,035).*

Wie Tab. 100 zeigt, führen die ermittelten Abweichungen der Fertigungsmengen (mittlere lineare Abweichung = ±36,4 %) zu einer um 54,3 % verlängerten Bauzeit.

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 1 zu ermitteln, sind in Tab. 101 diverse Parameter der Ermittlung der Soll-0- und Soll-2-Bauzeit gegenübergestellt.

Bezüglich der Krananzahl ergeben sich aus Tab. 101 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +54,3 % ist auf die abweichenden Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände zurückzuführen, aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss, maximale Anzahlen an AK pro Fertigungsabschnitt und Taktzeiten resultieren (vgl. Tab. 101).

[901] Eigene Darstellung. Anm.: Die Soll-0-Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten sind auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Da die Arbeitsaufwände jeweils aus der Multiplikation der Fertigungsmenge und dem zugehörigen Aufwandswert resultieren, beziehen sich die angegebenen Abweichungen jeweils auf die Fertigungsmenge und den Arbeitsaufwand. Die angegebenen Arbeitsaufwände sind gerundet.

Tab. 101: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 1[902]

		Soll-0-Werte	Soll-2-Werte	Änderung bezogen auf Soll-0-Werte
Ressourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	5	+66,7%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	8	-38,5%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	3	+50,0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	0,66 (= 1 AT)	1,42 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,01 (= 1 AT)	2,80 (= 3 AT)	+200,0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	1,52 (= 2 AT)	2,95 (= 3 AT)	+50,0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	1,49 (= 1 AT)	3,08 (= 3 AT)	+200,0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	16	+45,5%
	Bauzeit [AT]	70	108	+54,3%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz der Soll-0-Fertigungsmengen Takt 4 maßgebend, da hieraus die maximale Vorgangsdauer (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von 1,52 AT bzw. 2 AT (gerundet) resultiert (vgl. Tab. 101). Im Gegensatz dazu beträgt die Vorgangsdauer der übrigen Takte gerundet jeweils 1 AT.

Für die Soll-2-Werte erhöhen sich die Vorgangsdauern von Takt 2, Takt 4 und Takt 5 auf jeweils 3 AT (gerundet). Die Vorgangsdauern der übrigen Takte bleiben hingegen gerundet unverändert bei 1 AT (vgl. Tab. 101), weshalb sich die Taktzeit auf 3 AT erhöht. Die erhöhte Taktzeit und Anzahl der Fertigungsabschnitte führen zu einer Erhöhung der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit.

In Tab. 102 sind die Vorgangsdauern der einzelnen Takte und die daraus resultierenden Taktzeiten gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen ergeben, wobei im Gegensatz zu Tab. 101 identische Anzahlen an Fertigungsabschnitten zugrunde gelegt werden, um den Takt zu ermitteln, der zu der festgestellten Bauzeitänderung führt.

Tab. 102 zeigt, dass die Bauzeitänderung von +54,3 % (vgl. Tab. 101) nur mittelbar auf die geänderten Vorgangsdauern der Takte zurückgeführt werden kann, was insbesondere die im Endergebnis gleichen Bauzeiten bei identischer Anzahl der Fertigungsabschnitte in Tab. 102 zeigen.

[902] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Tab. 102: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen bei identischer Anzahl an Fertigungsabschnitten – Bauobjekt 1[903]

		Soll-0-Werte	aus Ist-Fertigungs-mengen	Änderung bezogen auf Soll-0-Werte
Res-sour-cen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	3	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	13	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	0,66 (= 1 AT)	0,95 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,01 (= 1 AT)	1,87 (= 2 AT)	+100,0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	> 1 AT**	k. A.
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	1,52 (= 2 AT)	1,47 (= 1 AT)	-50,0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	1,49 (= 1 AT)	1,54 (= 2 AT)	+100,0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	70	70	±0%

** bezogen auf gerundeten Wert*
*** durch die hier zugrunde gelegte Reduzierung der Anzahl der Fertigungsabschnitte erhöht sich die Dauer zur Betonage eines Fertigungsabschnitts, aufgrund des gesteigerten Betonvolumens vertikaler Bauteile (dem Verfahren liegt die Annahme zugrunde, dass die Betonage eines Fertigungsabschnitts durch eine einzelne Kolonne innerhalb eines AT erfolgen können muss (vgl. Kap. D.3)).*

Die Ist-Bewehrungsmengen horizontaler Bauteile überschreiten die Soll-Fertigungsmengen zwar lediglich um +3,5 % (vgl. Tab. 100), führen aber zu einer Verlängerung der Vorgangsdauer von Takt 5 von 1,49 AT (gerundet = 1 AT) auf 1,54 AT (gerundet = 2 AT). Die Ist-Bewehrungsmengen vertikaler Bauteile überschreiten die Soll-Fertigungsmengen hingegen um +84,5 % (vgl. Tab. 100), woraus eine Verlängerung der Vorgangsdauer von Takt 2 von gerundet 1 AT auf 2 AT resultiert. Die Vorgangsdauer von Takt 4 wird gleichzeitig von 1,52 AT (gerundet = 2 AT) auf 1,47 AT (gerundet = 1 AT) reduziert, was auf Reduzierungen der Schalungsflächen horizontaler Bauteile um -11,4 % und der Randschalungslänge um -23,2 %, bei gleichzeitiger Erhöhung der auszuschalenden Flächen vertikaler Bauteile, zurückgeführt werden kann (vgl. Tab. 100).

Dies zeigt, dass die festgestellte Bauzeitänderung auf die Abweichungen der Soll- und Ist-Fertigungsmengen und die geänderte Anzahl der Fertigungsabschnitte zurückgeführt werden kann. Die höhere Anzahl der Fertigungsabschnitte bei Ansatz der Ist-Fertigungsmengen ergibt sich aus dem gesteigerten Ist-Betonvolumen vertikaler Bauteile (vgl. Eq. (G.102)) von +84,5 % (vgl. Tab. 100).[904]

[903] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

[904] Dies ergibt sich aus der Anwendung des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe.

L.4.2.3 Detailbetrachtung „Bauobjekt 2“

In Tab. 103 sind die Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen sowie die daraus jeweils resultierenden Arbeitsaufwände und Bauzeiten von Bauobjekt 2 gegenübergestellt.

Tab. 103: Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 2[905]

	Soll-0-Werte		**Soll-2-Werte**		
	Fertigungsmengen gesamt (pro Geschoss)	**Arbeitsaufwand** gesamt (pro Geschoss)	**Fertigungsmengen** gesamt[A] (pro Geschoss)[B]	**resultierender Arbeitsaufwand[C]** gesamt (pro Geschoss)	**Abweichung** bezogen auf Soll-0-Werte
Betonage, hor. Bauteile	718,25 m³ (102,61 m³)	136 Ah (20 Ah)	698 m³ (99,71 m³)	133 Ah (19 Ah)	-2,8%
Betonage, vert. Bauteile	550,06 m³ (78,58 m³)	440 Ah (63 Ah)	819 m³ (117,00 m³)	655 Ah (94 Ah)	+48,9%
Randschalung	983,54 m (140,51 m)	344 Ah (49 Ah)	1.098 m (156,86 m)	384 Ah (55 Ah)	+11,6%
Schalung, hor. Bauteile	2.873,00 m² (410,43 m²)	517 Ah (74 Ah)	2.514 m² (359,14 m²)	453 Ah (65 Ah)	-12,5%
Schalung, vert. Bauteile	4.612,99 m² (659,00 m²)	692 Ah (99 Ah)	3.848 m² (549,71 m²)	577 Ah (82 Ah)	-16,6%
Bewehrung, hor. Bauteile	53,87 t (7,70 t)	907 Ah (130 Ah)	52,35 t* (7,48 t)	881 Ah (126 Ah)	-2,8%
Bewehrung, vert. Bauteile	33,52 t (4,79 t)	714 Ah (102 Ah)	49,91 t* (7,13 t)	1.064 Ah (152 Ah)	+48,9%
	Soll-0-Bauzeit		**Soll-2-Bauzeit** (Abweichung bezogen auf Soll-0-Bauzeit)		
	81 AT		124 AT (+53,1%)		

[A] Vgl. HACHERER (2019) (vgl. Kap. H.4.1).
[B] Idealisiert berechnet aus Ist-Fertigungsmengen (gesamt) / Geschossanzahl.
[C] Berechnet aus Ist-Fertigungsmengen und zugehörigen erwarteten Aufwandswerten (vgl. Kap. G.1.1).
** Idealisiert proportional zur Änderung des Betonvolumens berechnet (z. B. Faktor hor. Bauteile = 1 + (698-718,25)/698 = 0,972).*

Wie Tab. 103 zeigt, führen die ermittelten Abweichungen der Fertigungsmengen (mittlere lineare Abweichung = ±20,6 %) zu einer um 53,1 % verlängerten Bauzeit.

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 2 zu ermitteln, sind in Tab. 104 diverse Parameter der Ermittlung der Soll-0- und Soll-2-Bauzeit gegenübergestellt.

Bezüglich der Krananzahl ergeben sich aus Tab. 104 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +53,1 % ist auf die abweichenden Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände zurückzuführen, aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss, maximale Anzahlen an AK pro Fertigungsabschnitt und Taktzeiten resultieren (vgl. Tab. 104).

[905] Eigene Darstellung. Anm.: Die Soll-0-Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten sind auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Da die Arbeitsaufwände jeweils aus der Multiplikation der Fertigungsmenge und dem zugehörigen Aufwandswert resultieren, beziehen sich die angegebenen Abweichungen jeweils auf die Fertigungsmenge und den Arbeitsaufwand. Die angegebenen Arbeitsaufwände sind gerundet.

Tab. 104: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 2[906]

		Soll-0-Werte	Soll-2-Werte	Änderung bezogen auf Soll-0-Werte
Ressourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	5	+66,7%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	8	-38,5%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	3	+50,0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	0,69 (= 1 AT)	0,86 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,06 (= 1 AT)	2,37(= 2 AT)	+100,0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	1,63 (= 2 AT)	3,06 (= 3 AT)	+50,0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	1,62 (= 2 AT)	3,15 (= 3 AT)	+50,0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	16	+45,5%
	Bauzeit [AT]	81	124	+53,1%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Bei der Bestimmung der Taktzeit sind bei Ansatz der Soll-0-Fertigungsmengen Takt 4 und Takt 5 maßgebend, da hieraus die maximalen Vorgangsdauern (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von 1,63 AT und 1,62 AT bzw. 2 AT (gerundet) resultieren (vgl. Tab. 104). Im Gegensatz dazu beträgt die Vorgangsdauer der übrigen Takte gerundet jeweils 1 AT.

Für die Soll-2-Werte erhöhen sich die Vorgangsdauern von Takt 4 und Takt 5 auf 3,06 AT und 3,15 AT bzw. 3 AT (gerundet). Die Vorgangsdauer von Takt 2 erhöht sich von 1 AT auf 2 AT. Die Vorgangsdauern der übrigen Takte bleiben hingegen gerundet unverändert bei 1 AT (vgl. Tab. 104), weshalb sich die Taktzeit auf 3 AT erhöht. Die erhöhte Taktzeit und Anzahl der Fertigungsabschnitte führen zu einer Erhöhung der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit.

In Tab. 105 sind die Vorgangsdauern der einzelnen Takte und die daraus resultierenden Taktzeiten gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen ergeben, wobei im Gegensatz zu Tab. 104 identische Anzahlen an Fertigungsabschnitten zugrunde gelegt werden, um den Takt zu ermitteln, der zu der festgestellten Bauzeitänderung führt.

Tab. 105 zeigt, dass die Bauzeitänderung von +53,1 % (vgl. Tab. 104) nur mittelbar auf die geänderten Vorgangsdauern der Takte zurückgeführt werden kann, was insbesondere die im

[906] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Endergebnis gleichen Bauzeiten bei identischer Anzahl der Fertigungsabschnitte in Tab. 105 zeigen.

Tab. 105: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen bei identischer Anzahl an Fertigungsabschnitten – Bauobjekt 2[907]

		Soll-0-Werte	aus Ist-Fertigungs-mengen	Änderung bezogen auf Soll-0-Werte
Res-sour-cen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	3	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	13	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	2	2	±0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	0,69 (= 1 AT)	0,57 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,06 (= 1 AT)	1,58 (= 2 AT)	+100,0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	> 1 AT**	k. A.
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	1,63 (= 2 AT)	1,53 (= 2 AT)	±0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	1,62 (= 2 AT)	1,57 (= 2 AT)	±0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	11	11	±0%
	Bauzeit [AT]	81	81	±0%

** bezogen auf gerundeten Wert*
*** durch die hier zugrunde gelegte Reduzierung der Anzahl der Fertigungsabschnitte erhöht sich die Dauer zur Betonage eines Fertigungsabschnitts, aufgrund des gesteigerten Betonvolumens vertikaler Bauteile (dem Verfahren liegt die Annahme zugrunde, dass die Betonage eines Fertigungsabschnitts durch eine einzelne Kolonne innerhalb eines AT erfolgen können muss (vgl. Kap. D.3)).*

Die Ist-Bewehrungsmengen vertikaler Bauteile überschreiten die Soll-Fertigungsmengen um +48,9 % (vgl. Tab. 103) und führen zu einer Verlängerung der Vorgangsdauer von Takt 2 von 1,06 AT (gerundet = 1 AT) auf 1,58 AT (gerundet = 2 AT). Die Vorgangsdauern von Takt 4 und Takt 5 betragen für die Soll- und Ist-Fertigungsmengen gerundet jeweils 2 AT (vgl. Tab. 105), was auf die Reduzierungen der auszuschalenden Flächen vertikaler Bauteile um -16,6 % und Schalungsflächen horizontaler Bauteile um -12,5 %, bei gleichzeitiger Erhöhung der Randschalungslängen um +11,6 %, zurückgeführt werden kann (vgl. Tab. 103).

Dies zeigt, dass die festgestellte Bauzeitänderung auf die Abweichungen der Soll- und Ist-Fertigungsmengen und die geänderte Anzahl der Fertigungsabschnitte zurückgeführt werden kann. Die höhere Anzahl der Fertigungsabschnitte bei Ansatz der Ist-Fertigungsmengen ergibt sich aus dem gesteigerten Ist-Betonvolumen vertikaler Bauteile (vgl. Eq. (G.102)) von +48,9 % (vgl. Tab. 103).[908]

[907] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

[908] Dies ergibt sich aus der Anwendung des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe.

L.4.2.4 Detailbetrachtung „Bauobjekt 3“

In Tab. 106 sind die Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen sowie die daraus jeweils resultierenden Arbeitsaufwände und Bauzeiten von Bauobjekt 3 gegenübergestellt.

Tab. 106: Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 3[909]

	Soll-0-Werte		**Soll-2-Werte**		
	Fertigungsmengen gesamt (pro Geschoss)	**Arbeitsaufwand** gesamt (pro Geschoss)	**Fertigungsmengen** gesamt[A] (pro Geschoss)[B]	**resultierender Arbeitsaufwand[C]** gesamt (pro Geschoss)	**Abweichung** bezogen auf Soll-0-Werte
Betonage, hor. Bauteile	2.177,32 m³ (584,56 m³)	414 Ah (52 Ah)	2.573 m³ (321,63 m³)	489 Ah (61 Ah)	+18,2%
Betonage, vert. Bauteile	584,56 m³ (73,07 m³)	468 Ah (58 Ah)	775 m³ (96,88 m³)	620 Ah (78 Ah)	+32,6%
Randschalung	2.289,20 m (286,15 m)	801 Ah (100 Ah)	1.468 m (183,50 m)	514 Ah (64 Ah)	-35,9%
Schalung, hor. Bauteile	8.709,30 m² (1.088,66 m²)	1.568 Ah (196 Ah)	8.371 m² (1.046,38 m²)	1.507 Ah (188 Ah)	-3,9%
Schalung, vert. Bauteile	5.229,54 m² (653,69 m²)	784 Ah (98 Ah)	6.534 m² (816,75 m²)	980 Ah (123 Ah)	+24,9%
Bewehrung, hor. Bauteile	163,30 t (20,41 t)	2.748 Ah (344 Ah)	192,98 t* (24,12 t)	3.248 Ah (406 Ah)	+18,2%
Bewehrung, vert. Bauteile	41,44 t (5,18 t)	883 Ah (110 Ah)	54,94 t* (6,87 t)	1.171 Ah (146 Ah)	+32,6%
	Soll-0-Bauzeit		**Soll-2-Bauzeit** (Abweichung bezogen auf Soll-0-Bauzeit)		
	176 AT		223 AT (+26,7%)		

[A] Vgl. HACHERER (2019) (vgl. Kap. H.4.1).
[B] Idealisiert berechnet aus Ist-Fertigungsmengen (gesamt) / Geschossanzahl.
[C] Berechnet aus Ist-Fertigungsmengen und zugehörigen erwarteten Aufwandswerten (vgl. Kap. G.1.1).
** Idealisiert proportional zur Änderung des Betonvolumens berechnet (z. B. Faktor hor. Bauteile = 1 + (2.573-2.177,32)/2.177,32 = 1,181).*

Wie Tab. 106 zeigt, führen die ermittelten Abweichungen der Fertigungsmengen (mittlere lineare Abweichung = ±23,7 %) zu einer um 26,7 % verlängerten Bauzeit.

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 3 zu ermitteln, sind in Tab. 107 diverse Parameter der Ermittlung der Soll-0- und Soll-2-Bauzeit gegenübergestellt.

Bezüglich der Krananzahl ergeben sich aus Tab. 107 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +26,7 % ist auf die abweichenden Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände zurückzuführen, aus denen unterschiedliche Anzahlen der Fertigungsabschnitte pro Geschoss, maximale Anzahlen an AK pro Fertigungsabschnitt und Taktzeiten resultieren (vgl. Tab. 107).

[909] Eigene Darstellung. Anm.: Die Soll-0-Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten sind auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Da die Arbeitsaufwände jeweils aus der Multiplikation der Fertigungsmenge und dem zugehörigen Aufwandswert resultieren, beziehen sich die angegebenen Abweichungen jeweils auf die Fertigungsmenge und den Arbeitsaufwand. Die angegebenen Arbeitsaufwände sind gerundet.

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz der Soll-0-Fertigungsmengen Takt 5 maßgebend, da hieraus die maximale Vorgangsdauer (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von 4,29 AT bzw. 4 AT (gerundet) resultiert (vgl. Tab. 107). Im Gegensatz dazu beträgt die Vorgangsdauer von Takt 4 gerundet 3 AT und die Vorgangsdauer der übrigen Takte gerundet 1 AT.

Tab. 107: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 3[910]

		Soll-0-Werte	Soll-2-Werte	Änderung bezogen auf Soll-0-Werte
Ressourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	4	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	10	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	4	5	+25,0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	0,68 (= 1 AT)	1,02 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,15 (= 1 AT)	1,83 (=2 AT)	+100,0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	3,42 (= 3 AT)	4,08 (= 4 AT)	+33,3%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	4,29 (= 4 AT)	5,07 (= 5 AT)	+25,0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	21	26	+23,8%
	Bauzeit [AT]	176	223	+26,7%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Für die Soll-2-Werte erhöht sich die Vorgangsdauer von Takt 5 auf 5,07 AT bzw. 5 AT (gerundet). Die Vorgangsdauer von Takt 2 erhöht sich von 1 AT auf 2 AT und von Takt 4 von 3 AT auf 4 AT. Die Vorgangsdauern der übrigen Takte bleiben hingegen gerundet unverändert bei 1 AT (vgl. Tab. 107), weshalb sich die Taktzeit auf 5 AT erhöht. Die erhöhte Taktzeit und Anzahl der Fertigungsabschnitte führen zu einer Erhöhung der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit.

In Tab. 108 sind die Vorgangsdauern der einzelnen Takte und die daraus resultierenden Taktzeiten gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen ergeben, wobei im Gegensatz zu Tab. 107 identische Anzahlen an Fertigungsabschnitten zugrunde gelegt werden, um den Takt zu ermitteln, der zu der festgestellten Bauzeitänderung führt.

Tab. 108 zeigt, dass die erhöhte Taktzeit einerseits aus der gesteigerten Vorgangsdauer von Takt 5 resultiert, weshalb die Bauzeiterhöhung unter anderem auf die Abweichung der Bewehrungsmengen horizontaler Bauteile von +18,2 % (vgl. Tab. 106) zurückgeführt werden

[910] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

kann. Andererseits resultiert die festgestellte Bauzeitabweichung aus den unterschiedlichen Anzahlen der Fertigungsabschnitte, die in der Mengenabweichung des Betonvolums vertikaler Bauteile begründet ist.[911]

Tab. 108: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Ist-Fertigungsmengen bei identischer Anzahl an Fertigungsabschnitten – Bauobjekt 3[912]

		Soll-0-Werte	aus Ist-Fertigungs-mengen	Änderung bezogen auf Soll-0-Werte
Res-sour-cen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	3	3	+33,3%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	13	13	-23,1%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	4	5	+25,0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	0,68 (= 1 AT)	0,85 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,15 (= 1 AT)	1,52 (=2 AT)	+100,0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	> 1 AT**	k. A.
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	3,42 (= 3 AT)	3,06 (= 3 AT)	±0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	4,29 (= 4 AT)	5,07 (= 5 AT)	+25,0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	21	26	+23,8%
	Bauzeit [AT]	176	218	+23,9%

** bezogen auf gerundeten Wert*
*** durch die hier zugrunde gelegte Reduzierung der Anzahl der Fertigungsabschnitte erhöht sich die Dauer zur Betonage eines Fertigungsabschnitts, aufgrund des gesteigerten Betonvolumens vertikaler Bauteile (dem Verfahren liegt die Annahme zugrunde, dass die Betonage eines Fertigungsabschnitts durch eine einzelne Kolonne innerhalb eines AT erfolgen können muss (vgl. Kap. D.3)).*

L.4.2.5 Detailbetrachtung „Bauobjekt 4“

In Tab. 109 sind die Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen sowie die daraus jeweils resultierenden Arbeitsaufwände und Bauzeiten von Bauobjekt 4 gegenübergestellt.

Wie Tab. 109 zeigt, führen die ermittelten Abweichungen der Fertigungsmengen (mittlere lineare Abweichung = ±14,8 %) zu einer um 27,9 % verlängerten Bauzeit.

Um die Ursache der festgestellten Bauzeitänderungen von Bauobjekt 4 zu ermitteln, sind in Tab. 110 diverse Parameter der Ermittlung der Soll-0- und Soll-2-Bauzeit gegenübergestellt.

Bezüglich der Krananzahl, der Anzahl der Fertigungsabschnitte, der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ergeben sich aus Tab. 110 keine Unterschiede. Die Bauzeitänderung von +27,9 % ist auf die abweichenden Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände zurückzuführen, aus denen unterschiedliche Taktzeiten resultieren (vgl. Tab. 110).

---

[911] Dies ergibt sich aus der Anwendung des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe.

[912] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Tab. 109: Fertigungsmengen und Arbeitsaufwände durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 4[913]

	Soll-0-Werte		Soll-2-Werte		
	Fertigungs-mengen gesamt (pro Geschoss)	**Arbeitsauf-wand** gesamt (pro Geschoss)	**Fertigungs-mengen** gesamt[A] (pro Geschoss)[B]	**resultierender Arbeitsauf-wand[C]** gesamt (pro Geschoss)	**Ab-weichung** bezogen auf Soll-0-Werte
Betonage, hor. Bauteile	2.755,20 m³ (459,20 m³)	523 Ah (87 Ah)	3.516 m³ (586,00 m³)	668 Ah (111 Ah)	+27,6%
Betonage, vert. Bauteile	673,49 m³ (112,25 m³)	539 Ah (90 Ah)	690 m³ (115,00 m³)	552 Ah (92 Ah)	+2,4%
Randschalung	2.585,55 m (430,93 m)	905 Ah (151 Ah)	1.820 m (303,33 m³)	637 Ah (106 Ah)	-29,6%
Schalung, hor. Bauteile	11.020,81 m² (1.836,80 m²)	1.984 Ah (331 Ah)	11.734 m² (1.955,67 m²)	2.112 Ah (352 Ah)	+6,5%
Schalung, vert. Bauteile	6.037,75 m² (1.006,29 m²)	906 Ah (151 Ah)	6.487 m² (1.081,17 m²)	973 Ah (162 Ah)	+7,4%
Bewehrung, hor. Bauteile	206,64 t (34,44 t)	3.478 Ah (580 Ah)	263,70 t* (43,95 t)	4.438 Ah (740 Ah)	+27,6%
Bewehrung, vert. Bauteile	47,97 t (7,99 t)	1.022 Ah (170 Ah)	49,14 t* (8,19 t)	1.047 Ah (175 Ah)	+2,5%
	Soll-0-Bauzeit		**Soll-2-Bauzeit** (Abweichung bezogen auf Soll-0-Bauzeit)		
	244 AT		312 AT (+27,9%)		

[A] Vgl. HACHERER (2019) (vgl. Kap. H.4.1).
[B] Idealisiert berechnet aus Ist-Fertigungsmengen (gesamt) / Geschossanzahl.
[C] Berechnet aus Ist-Fertigungsmengen und zugehörigen erwarteten Aufwandswerten (vgl. Kap. G.1.1).
** Idealisiert proportional zur Änderung des Betonvolumens berechnet (z. B. Faktor hor. Bauteile = 1 + (3.516-2.755,20)/2.755,20 = 1,276).*

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz der Soll-0-Fertigungsmengen Takt 5 maßgebend, da hieraus die maximale Vorgangsdauer (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von 7,25 AT bzw. 7 AT (gerundet) resultiert (vgl. Tab. 110). Im Gegensatz dazu beträgt die Vorgangsdauer von Takt 4 gerundet 6 AT, von Takt 2 gerundet 2 AT und die Vorgangsdauer der übrigen Takte gerundet 1 AT.

Für die Soll-2-Werte erhöht sich die Vorgangsdauer von Takt 5 auf 9,25 AT bzw. 9 AT (gerundet). Die Vorgangsdauer von Takt 4 reduziert sich von 6 AT auf 5 AT. Die Vorgangsdauern der übrigen Takte bleiben hingegen gerundet unverändert bei 1 AT (vgl. Tab. 110), weshalb sich die Taktzeit auf 9 AT erhöht. Die erhöhte Taktzeit führt zu einer Erhöhung der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit.

Da die erhöhte Taktzeit aus der gesteigerten Vorgangsdauer von Takt 5 resultiert, kann die Bauzeiterhöhung insbesondere auf die Abweichung der Bewehrungsmengen horizontaler Bauteile von +27,6 % (vgl. Tab. 109) zurückgeführt werden.

[913] Eigene Darstellung. Anm.: Die Soll-0-Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten sind auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Da die Arbeitsaufwände jeweils aus der Multiplikation der Fertigungsmenge und dem zugehörigen Aufwandswert resultieren, beziehen sich die angegebenen Abweichungen jeweils auf die Fertigungsmenge und den Arbeitsaufwand. Die angegebenen Arbeitsaufwände sind gerundet.

Tab. 110: Bauzeitermittlungsparameter durch Ansatz der Soll-0- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 4[914]

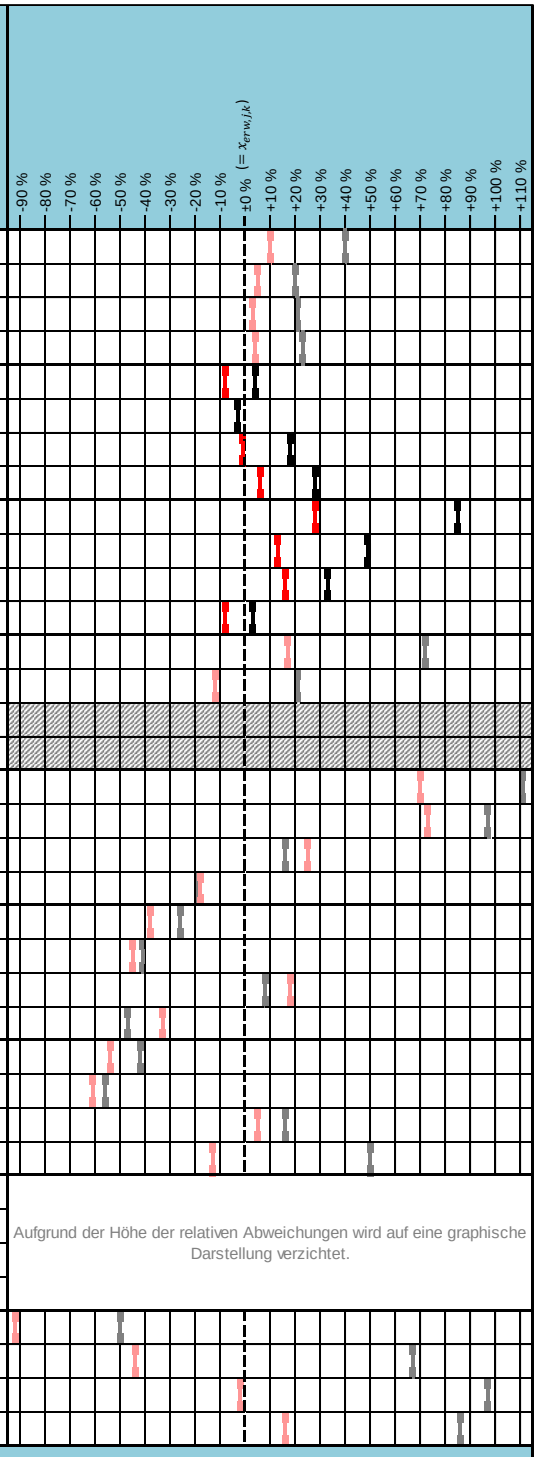
		Soll-0-Werte	Soll-2-Werte	Änderung bezogen auf Soll-0-Werte
Ressourcen	Krananzahl [-]	3	3	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	5	5	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	12	12	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	7	9	+28,6%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	1,05 (= 1 AT)	1,13 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	1,77 (= 2 AT)	1,82 (= 2 AT)	±0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	5,54 (= 6 AT)	5,34 (= 5 AT)	-16,7%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	7,25 (= 7 AT)	9,25 (= 9 AT)	+28,6%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	36	46	+27,8%
	Bauzeit [AT]	244	312	+27,9%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

[914] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

L.4.3 Stufe 3: Analyse der Soll-1-Fertigungsmengen

L.4.3.1 Graphische Zusammenfassung der Analyse-Ergebnisse

	Parametergruppe k	Objektnr. j	Absolutwerte[A] [m³] Soll-1 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte[A] [m³] Ist $x_{Ist,j,k}$	absolute Abweichung [m³] Ist $\Delta x_{Ist,j,k}$	relative Abweichung Soll-1 $\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Ist $\Delta x_{Ist,j,k}(x_{min,Ist,k})$
Gesamt-Betonvolumen (vertikale und horizontale Bauteile)	1	1	(1.287)	(1.419)	(132)	(10,3%)	(0%)
		2	(1.446)	(1.517)	(71)	(4,9%)	(6,9%)
		3	(3.266)	(3.348)	(82)	(2,5%)	(135,9%)
		4	(4.056)	(4.207)	(151)	(3,7%)	(196,5%)
Gesamt-Betonvolumen Geschossdecken (horizontale Bauteile)	2	1	635	586	-49	-7,7%	0,0%
		2	722	698	-24	-3,3%	19,1%
		3	2.597	2.573	-24	-0,9%	339,1%
		4	3.309	3.516	207	6,3%	500,0%
Gesamt-Betonvolumen Wände und Stützen (vertikale Bauteile)	3	1	652	832	180	27,6%	20,6%
		2	724	819	95	13,1%	18,7%
		3	669	775	106	15,8%	12,3%
		4	747	690	-57	-7,6%	0,0%
Gesamt-Betonvolumen Außenwände	4	1	(412)	(483)	(71)	(17,2%)	(15%)
		2	(475)	(420)	(-55)	(-11,6%)	(0%)
		3	-	-	-	-	-
		4	-	-	-	-	-
Gesamt-Betonvolumen Innenwände	5	1	(203)	(346)	(143)	(70,4%)	(0%)
		2	(222)	(383)	(161)	(72,5%)	(10,7%)
		3	(436)	(546)	(110)	(25,2%)	(57,8%)
		4	(527)	(434)	(-93)	(-17,6%)	(25,4%)
Betonvolumen Treppenhäuser und Installationsschächte	6	1	(143)	(89)	(-54)	(-37,8%)	(4,7%)
		2	(154)	(85)	(-69)	(-44,8%)	(0%)
		3	(308)	(363)	(55)	(17,9%)	(327,1%)
		4	(289)	(193)	(-96)	(-33,2%)	(127,1%)
Betonvolumen Aufzugsschächte	7	1	(41)	(19)	(-22)	(-53,7%)	(11,8%)
		2	(44)	(17)	(-27)	(-61,4%)	(0%)
		3	(74)	(78)	(4)	(5,4%)	(358,8%)
		4	(86)	(75)	(-11)	(-12,8%)	(341,2%)
Betonvolumen Brandschutzwände	8	1	(20)	(238)	(218)	(1090%)	(128,8%)
		2	(24)	(279)	(255)	(1062,5%)	(168,3%)
		3	(54)	(104)	(50)	(92,6%)	(0%)
		4	(153)	(165)	(12)	(7,8%)	(58,7%)
Betonvolumen Stützen	9	1	(37)	(3)	(-34)	(-91,9%)	(0%)
		2	(27)	(15)	(-12)	(-44,4%)	(400%)
		3	(233)	(229)	(-4)	(-1,7%)	(7533,3%)
		4	(219)	(255)	(36)	(16,4%)	(8400%)



Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-1-Wert

relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-0-Wert

keine Wertangaben

[A] Absolutwerte auf ganze Zahlen gerundet

* Tabellenwerte in grau bzw. in Klammern bleiben unberücksichtigt, da bei der prozessorientierten Bauzeitermittlung lediglich horizontale und vertikale Bauteile differenziert werden.

Abb. 156: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina (Einzelwerte)[915]

[915] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5.

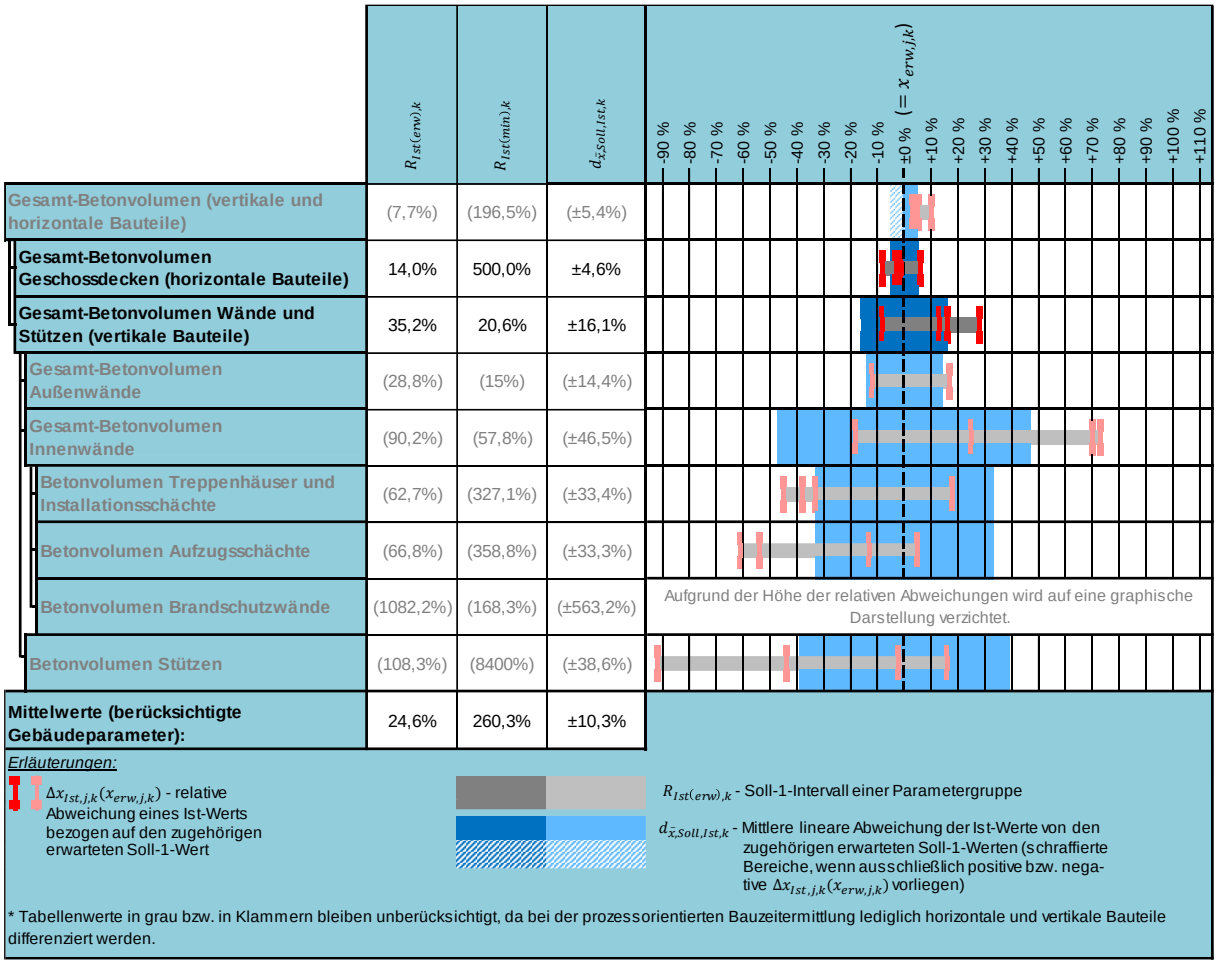


Abb. 157: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Betonvolumina (Zusammenfassung)[916]

[916] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5. Die im Rahmen der Berechnung verwendeten Parameter resultieren aus Abb. 156.

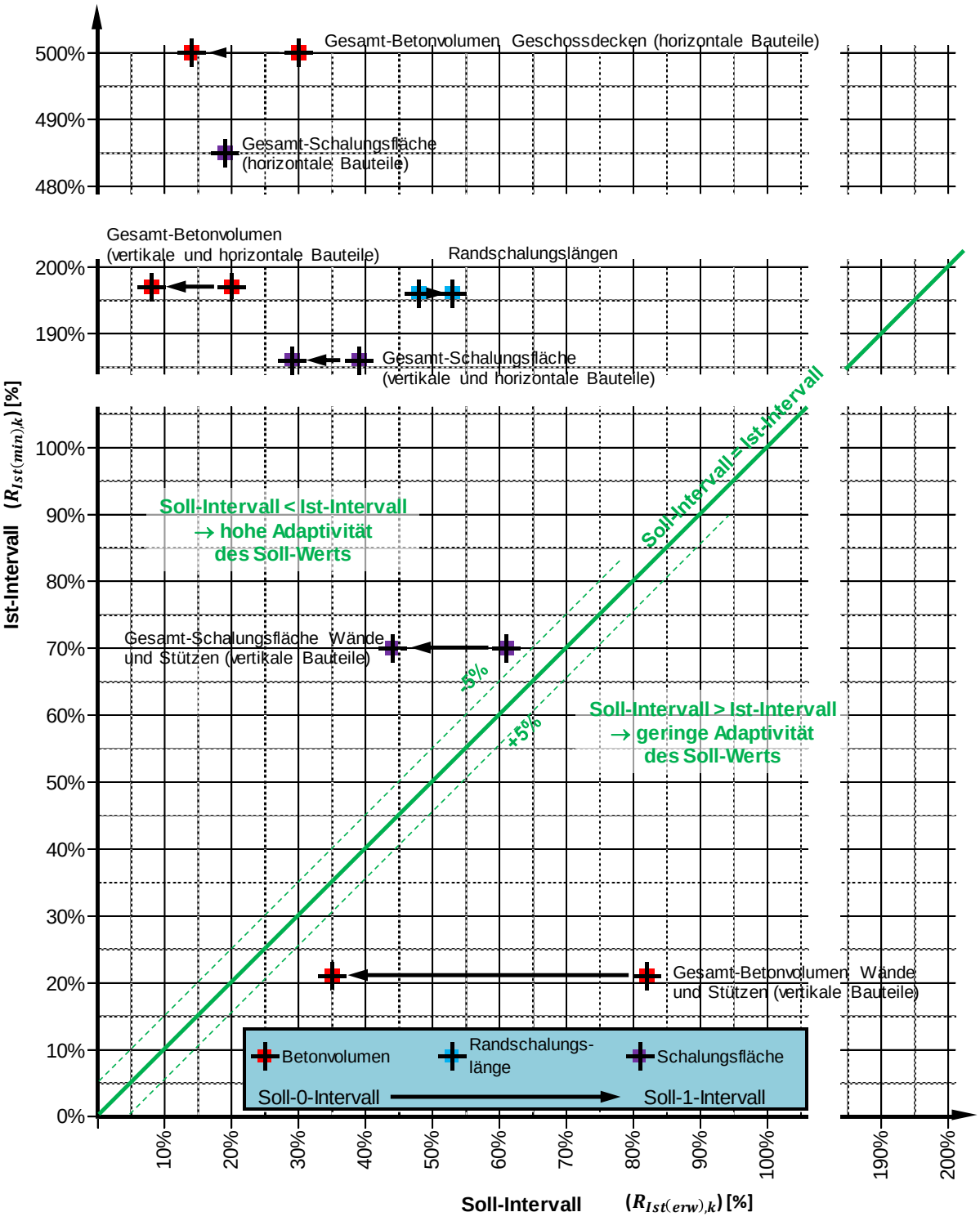
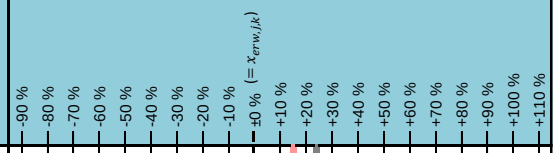


Abb. 158: Soll-1- und Ist-Intervalle der Fertigungsmengen[917]

[917] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Parameter resultieren aus Abb. 153 und Abb. 157.

	Parametergruppe	Objektnr.	Absolutwerte[A] [m²] Soll-1	Absolutwerte[A] [m²] Ist	absolute Abweichung [m²] Ist	relative Abweichung Soll-1	relative Abweichung Ist
	k	j	$x_{erw,j,k}$	$x_{ist,j,k}$	$\Delta x_{ist,j,k}$	$\Delta x_{ist,j,k}(x_{erw,j,k})$	$\Delta x_{ist,j,k}(x_{min\,Ist,k})$
Gesamt-Schalungsfläche (vertikale und horizontale Bauteile)	1	1	(6.515)	(7.466)	(951)	(14,6%)	(17,4%)
		2	(7.430)	(6.362)	(-1068	(-14,4%)	(0%)
		3	(14.950)	(14.905)	(-45)	(-0,3%)	(134,3%)
		4	(17.830)	(18.222)	(392)	(2,2%)	(186,4%)
Gesamt-Schalungsfläche Geschossdecken (horizontale Bauteile)	2	1	2.267	2.007	-260	-11,5%	0,0%
		2	2.888	2.514	-374	-13,0%	25,3%
		3	8.658	8.371	-287	-3,3%	317,1%
		4	11.032	11.734	702	6,4%	484,7%
Gesamt-Schalungsfläche Wände und Stützen (vertikale Bauteile)	3	1	4.247	5.459	1.212	28,5%	41,9%
		2	4.542	3.848	-694	-15,3%	0,0%
		3	6.293	6.534	241	3,8%	69,8%
		4	6.798	6.487	-311	-4,6%	68,6%
Gesamt-Schalungsfläche Außenwände	4	1	(2.353)	(2.773)	(420)	(17,8%)	(30,2%)
		2	(2.641)	(2.129)	(-512)	(-19,4%)	(0%)
		3	-	-	-	-	-
		4	-	-	-	-	-
Gesamt-Schalungsfläche Innenwände	5	1	(1.594)	(2.656)	(1.062)	(66,6%)	(64,3%)
		2	(1.586)	(1.617)	(31)	(2%)	(0%)
		3	(3.964)	(4.863)	(899)	(22,7%)	(200,7%)
		4	(4.394)	(3.951)	(-443)	(-10,1%)	(144,3%)
Schalungsfläche Treppenhäuser und Installationsschächte	6	1	(1.119)	(568)	(-551)	(-49,2%)	(0%)
		2	(1.102)	(574)	(-528)	(-47,9%)	(1,1%)
		3	(2.803)	(3.226)	(423)	(15,1%)	(468%)
		4	(2.406)	(2.100)	(-306)	(-12,7%)	(269,7%)
Schalungsfläche Aufzugsschächte	7	1	(320)	(206)	(-114)	(-35,6%)	(45,1%)
		2	(312)	(142)	(-170)	(-54,5%)	(0%)
		3	(673)	(722)	(49)	(7,3%)	(408,5%)
		4	(714)	(722)	(8)	(1,1%)	(408,5%)
Schalungsfläche Brandschutzwände	8	1	(155)	(1.881)	(1.726)	(1113,5%)	(109,2%)
		2	(172)	(899)	(727)	(422,7%)	(0%)
		3	(488)	(914)	(426)	(87,3%)	(1,7%)
		4	(1.274)	(1.128)	(-146)	(-11,5%)	(25,5%)
Schalungsfläche Stützen	9	1	(301)	(29)	(-272)	(-90,4%)	(0%)
		2	(315)	(101)	(-214)	(-67,9%)	(248,3%)
		3	(2.329)	(1.670)	(-659)	(-28,3%)	(5658,6%)
		4	(2.404)	(2.535)	(131)	(5,4%)	(8641,4%)



Aufgrund der Höhe der relativen Abweichungen wird auf eine graphische Darstellung verzichtet.

Erläuterungen:

$\Delta x_{Ist,j,k}(x_{erw,j,k})$ - relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-1-Wert

relative Abweichung eines Ist-Werts bezogen auf den zugehörigen Soll-0-Wert

keine Wertangaben

[A] Absolutwerte auf ganze Zahlen gerundet

* Tabellenwerte in grau bzw. in Klammern bleiben unberücksichtigt, da bei der prozessorientierten Bauzeitermittlung lediglich horizontale und vertikale Bauteile differenziert werden.

Abb. 159: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen (Einzelwerte)[918]

[918] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5.

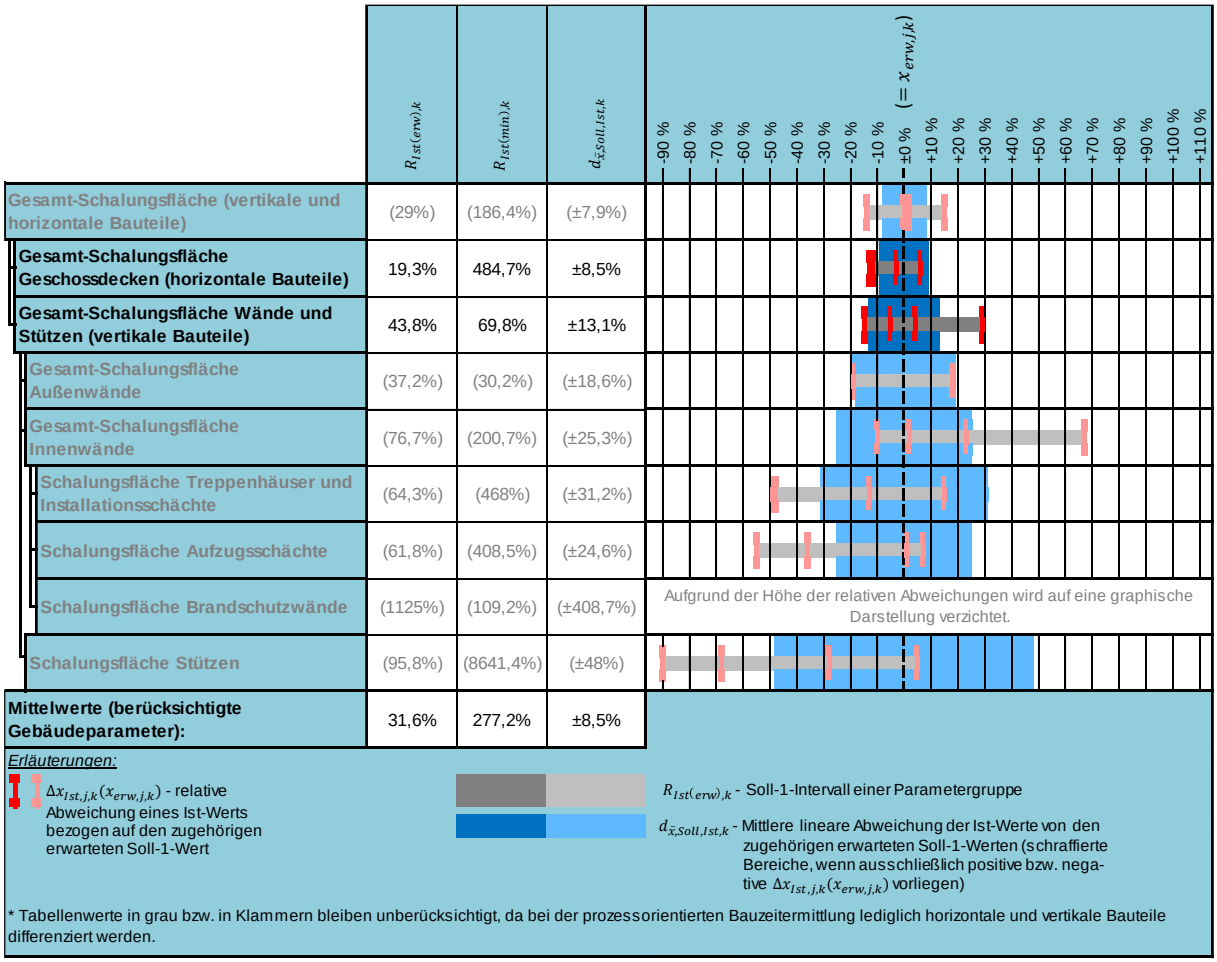


Abb. 160: Soll-1- und Ist-Fertigungsmengen – Schalungsflächen (Zusammenfassung)[919]

[919] Eigene Darstellung. Anm.: Die Berechnungen der Parameter ergeben sich aus Kapitel H.5. Die im Rahmen der Berechnung verwendeten Parameter resultieren aus Abb. 159.

L.4.3.2 Detailbetrachtung „Bauobjekt 1“

In Tab. 111 sind die Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen sowie die daraus jeweils resultierenden Arbeitsaufwände und Bauzeiten von Bauobjekt 1 gegenübergestellt.

Tab. 111: Resultierende Abweichungen der Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 1[920]

	Soll-1-Werte		**Soll-2-Werte**		
	Fertigungs-mengen gesamt (pro Geschoss)	**Arbeitsauf-wand** gesamt (pro Ge-schoss)	**Fertigungs-mengen** gesamt[A] (pro Ge-schoss)[B]	**resultierender Arbeitsauf-wand[C]** gesamt (pro Geschoss)	**Abweichung** bezogen auf Soll-1-Werte
Betonage, hor. Bauteile	634,87 m³ (105,81 m³)	121 Ah (20 Ah)	586 m³ (97,67 m³)	111 Ah (19 Ah)	-7,7%
Betonage, vert. Bauteile	652,17 (EG: 118,42 m³; RG: 106,75 m³)	522 Ah (EG: 95 Ah; RG: 85 Ah)	832 m³ (138,67 m³)	666 Ah (111 Ah)	+27,6% (EG: +17,1%; RG: +29,9%)
Randschalung	765,71 m (127,62 m)	268 Ah (45 Ah)	614 m (102,33 m)	215 Ah (36 Ah)	-19,8%
Schalung, hor. Bauteile	2.267,38 m² (377,90 m²)	408 Ah (68 Ah)	2.007 m² (334,50 m²)	361 Ah (60 Ah)	-11,5%
Schalung, vert. Bauteile	4.247,42 m² (EG: 771,24 m²; RG: 695,23 m²)	637 Ah (EG: 116 Ah; RG: 104 Ah)	5.459 m² (909,83 m²)	819 Ah (136 Ah)	+28,5% (EG: +18,0%; RG: +30,9%)
Bewehrung, hor. Bauteile	47,62 t (7,94 t)	801 Ah (134 Ah)	43,95 t* (7,32 t)	740 Ah (123 Ah)	-7,7%
Bewehrung, vert. Bauteile	41,18 t (EG: 7,48 t; RG: 6,74 t)	878 Ah (EG: 159 Ah; RG: 144 Ah)	52,53 t* (8,76 t)	1.119 Ah (187 Ah)	+27,6% (EG: +17,1%; RG: +29,9%)
	Soll-1-Bauzeit		**Soll-2-Bauzeit** (Abweichung bezogen auf Soll-1-Bauzeit)		
	108 AT		108 AT (±0%)		

[A] Vgl. HACHERER (2019) (vgl. Kap. H.4.1).
[B] Idealisiert berechnet aus Ist-Fertigungsmengen (gesamt) / Geschossanzahl.
[C] Berechnet aus Fertigungsmengen und zugehörigen erwarteten Aufwandswerten (vgl. Kap. G.1.1).
** Idealisiert proportional zur Änderung des Betonvolumens berechnet (z. B. Faktor hor. Bauteile = 1 + (586-634,87)/634,87 = 0,923).*

Wie Tab. 111 zeigt, führen die ermittelten Abweichungen der Fertigungsmengen (mittlere lineare Abweichung = ±18,6 %) zu keiner veränderten Bauzeit.

Obwohl sich keine Bauzeitänderungen ergeben, sind in Tab. 112 weiterhin diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen und der daraus resultierenden Arbeitsaufwände ergeben, um die Auswirkungen auf die einzelnen Vorgangsdauern und Taktzeiten zu bewerten.

[920] Eigene Darstellung. Anm.: Die Soll-1-Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten sind auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Da die Arbeitsaufwände jeweils aus der Multiplikation der Fertigungsmenge und dem zugehörigen Aufwandswert resultieren, beziehen sich die angegebenen Abweichungen jeweils auf die Fertigungsmenge und den Arbeitsaufwand. Die angegebenen Arbeitsaufwände sind gerundet.

Tab. 112: Gegenüberstellung diverser resultierender Parameter der Bauzeitermittlung durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 1[921]

		Soll-1-Werte	Soll-2-Werte	Änderung bezogen auf Soll-1-Werte
Ressour-cen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	5	5	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	8	8	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	3	3	±0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	EG: 1,21 (= 1 AT) RG: 1,09 (= 1 AT)	1,42 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	EG: 2,49 (= 2 AT) RG: 2,24 (= 2 AT)	2,92 (= 3 AT)	+50,0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	EG: 3,15 (= 3 AT) RG: 3,07 (= 3 AT)	2,95 (= 3 AT)	±0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	3,34 (= 3 AT)	3,08 (= 3 AT)	±0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	16	16	±0%
	Bauzeit [AT]	108	108	±0%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Bezüglich der Krananzahl, der Anzahl der Fertigungsabschnitte, der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, der Taktzeit sowie der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit ergeben sich aus Tab. 112 keine Unterschiede.

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz der Soll-1-Fertigungsmengen Takt 4 und Takt 5 maßgebend, da hieraus die maximalen Vorgangsdauern (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von gerundet 3 AT resultieren (vgl. Tab. 112). Im Gegensatz dazu beträgt die Vorgangsdauer von Takt 2 gerundet 2 AT und die Vorgangsdauer der übrigen Takte gerundet 1 AT.

Für die Soll-2-Werte erhöht sich die Vorgangsdauer von Takt 2 auf 3 AT (gerundet), was auf die Abweichungen zwischen den Soll-1- und Soll-2-Bewehrungsmengen vertikaler Bauteile zurückzuführen ist (vgl. Tab. 111). Die Vorgangsdauern der übrigen Takte bleiben hingegen gerundet unverändert (vgl. Tab. 112), weshalb die Taktzeit auch für die Soll-2-Fertigungsmengen 3 AT beträgt.

Die durchgeführte Detailbetrachtung zeigt, dass die Genauigkeit der ermittelten Soll-1-Fertigungsmengen auf Grundlage des entwickelten Verfahrens ausreicht, um für Bauobjekt 1 eine hinreichend genaue Bauzeitermittlung zu ermöglichen.

[921] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

L.4.3.3 Detailbetrachtung „Bauobjekt 2“

In Tab. 113 sind die Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen sowie die daraus jeweils resultierenden Arbeitsaufwände und Bauzeiten von Bauobjekt 2 gegenübergestellt.

Tab. 113: Resultierende Abweichungen der Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 2[922]

	Soll-1-Werte		**Soll-2-Werte**		
	Fertigungs-mengen gesamt (pro Geschoss)	**Arbeitsauf-wand** gesamt (pro Ge-schoss)	**Fertigungs-mengen** gesamt[A] (pro Ge-schoss)[B]	**resultierender Arbeitsauf-wand[C]** gesamt (pro Geschoss)	**Abweichung** bezogen auf Soll-1-Werte
Betonage, hor. Bauteile	721,97 m³ (103,14 m³)	137 Ah (20 Ah)	698 m³ (99,71 m³)	133 Ah (19 Ah)	-3,3%
Betonage, vert. Bauteile	724,18 m³ (EG: 123,97 m³; RG: 100,04 m³)	579 Ah (EG: 99 Ah; RG: 80 Ah)	819 m³ (117,00 m³)	655 Ah (94 Ah)	+13,1% (EG: -5,6%; RG: +17,0%)
Randschalung	936,57 m (133,80 m)	328 Ah (47 Ah)	1.098 m (156,86 m)	384 Ah (55 Ah)	+17,2%
Schalung, hor. Bauteile	2.887,88 m² (412,55 m²)	520 Ah (74 Ah)	2.514 m² (359,14 m²)	453 Ah (65 Ah)	-12,9%
Schalung, vert. Bauteile	4.542,14 m² (EG: 777,53 m²; RG: 627,44 m²)	681 Ah (EG: 117 Ah; RG: 94 Ah)	3.848 m² (549,71 m²)	577 Ah (82 Ah)	-15,3% (EG: -29,3%; RG: -12,4%)
Bewehrung, hor. Bauteile	54,15 t (7,74 t)	911 Ah (130 Ah)	52,35 t* (7,48 t)	881 Ah (126 Ah)	-3,3%
Bewehrung, vert. Bauteile	44,92 t (EG: 7,69 t; RG: 6,21 t)	957 Ah (EG: 164 Ah; RG: 132 Ah)	50,80 t* (7,26 t)	1.083 Ah (155 Ah)	+13,1% (EG: -5,6%; RG: +17,0%)
	Soll-1-Bauzeit		**Soll-2-Bauzeit** (Abweichung bezogen auf Soll-1-Bauzeit)		
	124 AT		124 AT (±0%)		

[A] Vgl. HACHERER (2019) (vgl. Kap. H.4.1).
[B] Idealisiert berechnet aus Ist-Fertigungsmengen (gesamt) / Geschossanzahl.
[C] Berechnet aus Fertigungsmengen und zugehörigen erwarteten Aufwandswerten (vgl. Kap. G.1.1).
** Idealisiert proportional zur Änderung des Betonvolumens berechnet (z. B. Faktor hor. Bauteile = 1 + (698-721,97)/721,97 = 0,967).*

Wie Tab. 113 zeigt, führen die ermittelten Abweichungen der Fertigungsmengen (mittlere lineare Abweichung = ±11,2 %) zu keiner veränderten Bauzeit.

Obwohl sich keine Bauzeitänderungen ergeben, sind in Tab. 114 weiterhin diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen und der daraus resultierenden Arbeitsaufwände ergeben, um die Auswirkungen auf die einzelnen Vorgangsdauern und Taktzeiten zu bewerten.

[922] Eigene Darstellung. Anm.: Die Soll-1-Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten sind auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Da die Arbeitsaufwände jeweils aus der Multiplikation der Fertigungsmenge und dem zugehörigen Aufwandswert resultieren, beziehen sich die angegebenen Abweichungen jeweils auf die Fertigungsmenge und den Arbeitsaufwand. Die angegebenen Arbeitsaufwände sind gerundet.

Tab. 114: Gegenüberstellung diverser resultierender Parameter der Bauzeitermittlung durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 2[923]

		Soll-1-Werte	Soll-2-Werte	Änderung bezogen auf Soll-1-Werte
Ressourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	5	5	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	8	8	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	3	3	±0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	EG: 1,21 (= 1 AT) RG: 0,98 (= 1 AT)	0,86 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	EG: 2,56 (= 3 AT) RG: 2,07 (= 2 AT)	2,41 (= 2 AT)	EG: -33,3%* RG: ±0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	EG: 3,33 (= 3 AT) RG: 3,18 (= 3 AT)	3,06 (= 3 AT)	±0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	3,25 (= 3 AT)	3,15 (= 3 AT)	±0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	16	16	±0%
	Bauzeit [AT]	124	124	±0%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Bezüglich der Krananzahl, der Anzahl der Fertigungsabschnitte, der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, der Taktzeit sowie der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit ergeben sich aus Tab. 114 keine Unterschiede.

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz der Soll-1-Fertigungsmengen Takt 2, Takt 4 und Takt 5 maßgebend, da hieraus die maximalen Vorgangsdauern (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von gerundet 3 AT resultieren (vgl. Tab. 114). Im Gegensatz dazu beträgt die Vorgangsdauer der übrigen Takte gerundet 1 AT.

Für die Soll-2-Werte reduziert sich die Vorgangsdauer von Takt 2 bezogen auf das Erdgeschoss auf 2 AT (gerundet), was auf die Abweichungen zwischen den Soll-1- und Soll-2-Bewehrungsmengen vertikaler Bauteile im EG zurückzuführen ist (Tab. 113). Die Vorgangsdauern der übrigen Takte bleiben hingegen gerundet unverändert (vgl. Tab. 114), weshalb die Taktzeit auch für die Soll-2-Fertigungsmengen 3 AT beträgt. Bezogen auf die Regelgeschosse ergeben sich für die einzelnen Takte hingegen keine unterschiedlichen Vorgangsdauern.

Die durchgeführte Detailbetrachtung zeigt, dass die Genauigkeit der ermittelten Soll-1-Fertigungsmengen auf Grundlage des entwickelten Verfahrens ausreicht, um für Bauobjekt 2 eine hinreichend genaue Bauzeitermittlung zu ermöglichen.

[923] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

L.4.3.4 Detailbetrachtung „Bauobjekt 3“

In Tab. 115 sind die Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen sowie die daraus jeweils resultierenden Arbeitsaufwände und Bauzeiten von Bauobjekt 3 gegenübergestellt.

Tab. 115: Resultierende Abweichungen der Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 3[924]

	Soll-1-Werte		**Soll-2-Werte**		
	Fertigungs-mengen gesamt (pro Geschoss)	**Arbeitsauf-wand** gesamt (pro Ge-schoss)	**Fertigungs-mengen** gesamt[A] (pro Ge-schoss)[B]	**resultierender Arbeitsauf-wand[C]** gesamt (pro Geschoss)	**Abweichung** bezogen auf Soll-1-Werte
Betonage, hor. Bauteile	2.597,33 m³ (324,67 m³)	493 Ah (62 Ah)	2.573 m³ (321,63 m³)	489 Ah (61 Ah)	-0,9%
Betonage, vert. Bauteile	668,90 m³ (EG: 90,59 m³; RG: 82,62 m³)	535 Ah (EG: 72 Ah; RG: 66 Ah)	775 m³ (96,88 m³)	620 Ah (78 Ah)	+15,9% (EG: +6,9%; RG: +17,3%)
Randschalung	2.289,09 m (286,14 m)	801 Ah (100 Ah)	1.468 m (183,50 m)	514 Ah (64 Ah)	-35,9%
Schalung, hor. Bauteile	8.657,77 m² (1.082,22 m²)	1.558 Ah (195 Ah)	8.371 m² (1.046,38 m²)	1.507 Ah (188 Ah)	-3,3%
Schalung, vert. Bauteile	6.292,62 m² (EG: 852,25m²; RG: 777,20 m²)	944 Ah (EG: 128 Ah; RG: 117 Ah)	6.534 m² (816,75 m²)	980 Ah (123 Ah)	+3,8% (EG: -4,2%; RG: +5,1%)
Bewehrung, hor. Bauteile	194,80 t (24,35 t)	3.278 Ah (410 Ah)	192,98 t* (24,12 t)	3.248 Ah (406 Ah)	-0,9%
Bewehrung, vert. Bauteile	52,94 t (EG: 7,17 t; RG: 6,54 t)	1.128 Ah (EG: 153 Ah; RG: 139 Ah)	61,34 t* (7,67 t)	1.307 Ah (163 Ah)	+15,9% (EG: +6,9%; RG: +17,3%)
	Soll-1-Bauzeit		**Soll-2-Bauzeit** (Abweichung bezogen auf Soll-1-Bauzeit)		
	223 AT		223 AT (±0%)		

[A] Vgl. HACHERER (2019) (vgl. Kap. H.4.1).
[B] Idealisiert berechnet aus Ist-Fertigungsmengen (gesamt) / Geschossanzahl.
[C] Berechnet aus Fertigungsmengen und zugehörigen erwarteten Aufwandswerten (vgl. Kap. G.1.1).
** Idealisiert proportional zur Änderung des Betonvolumens berechnet (z. B. Faktor hor. Bauteile = 1 + (2.573-2.597,33)/2.597,33 = 0,991).*

Wie Tab. 115 zeigt, führen die ermittelten Abweichungen der Fertigungsmengen (mittlere lineare Abweichung = ±10,9 %) zu keiner veränderten Bauzeit.

Obwohl sich keine Bauzeitänderungen ergeben, sind in Tab. 116 weiterhin diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen und der daraus resultierenden Arbeitsaufwände ergeben, um die Auswirkungen auf die einzelnen Vorgangsdauern und Taktzeiten zu bewerten.

[924] Eigene Darstellung. Anm.: Die Soll-1-Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten sind auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Da die Arbeitsaufwände jeweils aus der Multiplikation der Fertigungsmenge und dem zugehörigen Aufwandswert resultieren, beziehen sich die angegebenen Abweichungen jeweils auf die Fertigungsmenge und den Arbeitsaufwand. Die angegebenen Arbeitsaufwände sind gerundet.

Tab. 116: Gegenüberstellung diverser resultierender Parameter der Bauzeitermittlung durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 3[925]

		Soll-1-Werte	Soll-2-Werte	Änderung bezogen auf Soll-1-Werte
Ressourcen	Krananzahl [-]	2	2	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	4	4	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	10	10	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	5	5	±0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	EG: 1,07 (= 1 AT) RG: 0,97 (= 1 AT)	1,02 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	EG: 1,91 (=2 AT) RG: 1,74 (=2 AT)	2,04 (=2 AT)	±0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	EG: 4,69 (= 5 AT) RG: 4,64 (= 5 AT)	4,08 (= 4 AT)	-20,0%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	5,12 (= 5 AT)	5,07 (= 5 AT)	±0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	26	26	±0%
	Bauzeit [AT]	223	223	±0%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Bezüglich der Krananzahl, der Anzahl der Fertigungsabschnitte, der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, der Taktzeit sowie der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit ergeben sich aus Tab. 116 keine Unterschiede.

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz der Soll-1-Fertigungsmengen Takt 4 und Takt 5 maßgebend, da hieraus die maximalen Vorgangsdauern (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von gerundet 5 AT resultieren (vgl. Tab. 116). Im Gegensatz dazu beträgt die Vorgangsdauer von Takt 2 gerundet 2 AT und die Vorgangsdauer der übrigen Takte gerundet 1 AT.

Für die Soll-2-Werte reduziert sich die Vorgangsdauer von Takt 4 auf 4 AT (gerundet), was auf die Reduzierung der Randschalungslängen und Schalungsflächen horizontaler Bauteile, bei gleichzeitiger Erhöhung der Gesamtmenge der auszuschalenden Flächen vertikaler Bauteile, zurückgeführt werden kann (vgl. Tab. 115).

Die durchgeführte Detailbetrachtung zeigt, dass die Genauigkeit der ermittelten Soll-1-Fertigungsmengen auf Grundlage des entwickelten Verfahrens ausreicht, um für Bauobjekt 3 eine hinreichend genaue Bauzeitermittlung zu ermöglichen.

[925] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

L.4.3.5 Detailbetrachtung „Bauobjekt 4“

In Tab. 117 sind die Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen sowie die daraus jeweils resultierenden Arbeitsaufwände und Bauzeiten von Bauobjekt 4 gegenübergestellt.

Tab. 117: Resultierende Abweichungen der Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 4[926]

	Soll-1-Werte		**Soll-2-Werte**		
	Fertigungs-mengen gesamt (pro Geschoss)	**Arbeitsauf-wand** gesamt (pro Ge-schoss)	**Fertigungs-mengen** gesamt[A] (pro Ge-schoss)[B]	**resultierender Arbeitsauf-wand[C]** gesamt (pro Geschoss)	**Abweichung** bezogen auf Soll-1-Werte
Betonage, hor. Bauteile	3.309,48 m³ (551,58 m³)	629 Ah (105 Ah)	3.516 m³ (586,00 m³)	668 Ah (111 Ah)	+6,2%
Betonage, vert. Bauteile	746,60 m³ (EG: 135,23 m³; RG: 122,28 m³)	597 Ah (EG: 108 Ah; RG: 98 Ah)	690 m³ (115,00 m³)	552 Ah (92 Ah)	-7,6% (EG: -15,0%; RG: -6,0%)
Randschalung	2.435,67 m (405,94 m)	852 Ah (142 Ah)	1.820 m (303,33 m³)	637 Ah (106 Ah)	-25,3%
Schalung, hor. Bauteile	11.031,59 m² (1.838,60 m²)	1.986 Ah (331 Ah)	11.734 m² (1.955,67 m²)	2.112 Ah (352 Ah)	+6,4%
Schalung, vert. Bauteile	6.797,92 m² (EG: 1.231,26 m²; RG: 1.113,33 m²)	1.020 Ah (EG: 185 Ah; RG: 167 Ah)	6.487 m² (1.081,17 m²)	973 Ah (162 Ah)	-4,6% (EG: -12,2%; RG: -2,9%)
Bewehrung, hor. Bauteile	248,21 t (41,37 t)	4.177 Ah (696 Ah)	263,70 t* (43,95 t)	4.438 Ah (740 Ah)	+6,2%
Bewehrung, vert. Bauteile	56,86 t (EG: 10,30 t; RG: 9,31 t)	1.212 Ah (EG: 219 Ah; RG: 198 Ah)	52,55 t* (8,76 t)	1.120 Ah (187 Ah)	-7,6% (EG: -15,0%; RG: -6,0%)
	Soll-1-Bauzeit		**Soll-2-Bauzeit** (Abweichung bezogen auf Soll-1-Bauzeit)		
	312 AT		312 AT (±0%)		

[A] Vgl. HACHERER (2019) (vgl. Kap. H.4.1).
[B] Idealisiert berechnet aus Ist-Fertigungsmengen (gesamt) / Geschossanzahl.
[C] Berechnet aus Fertigungsmengen und zugehörigen erwarteten Aufwandswerten (vgl. Kap. G.1.1).
** Idealisiert proportional zur Änderung des Betonvolumens berechnet (z. B. Faktor hor. Bauteile = 1 + (3.516-3.309,48)/3.309,48 = 1,062).*

Wie Tab. 117 zeigt, führen die ermittelten Abweichungen der Fertigungsmengen (mittlere lineare Abweichung = ±9,1 %) zu keiner veränderten Bauzeit.

Obwohl sich keine Bauzeitänderungen ergeben, sind in Tab. 118 weiterhin diverse Parameter der Bauzeitermittlung gegenübergestellt, die sich durch den Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen und der daraus resultierenden Arbeitsaufwände ergeben, um die Auswirkungen auf die einzelnen Vorgangsdauern und Taktzeiten zu bewerten.

[926] Eigene Darstellung. Anm.: Die Soll-1-Fertigungsmengen, Arbeitsaufwände und Bauzeiten sind auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt. Da die Arbeitsaufwände jeweils aus der Multiplikation der Fertigungsmenge und dem zugehörigen Aufwandswert resultieren, beziehen sich die angegebenen Abweichungen jeweils auf die Fertigungsmenge und den Arbeitsaufwand. Die angegebenen Arbeitsaufwände sind gerundet.

Tab. 118: Gegenüberstellung diverser resultierender Parameter der Bauzeitermittlung durch Ansatz der Soll-1- und Soll-2-Fertigungsmengen – Bauobjekt 4[927]

		Soll-1-Werte	Soll-2-Werte	Änderung bezogen auf Soll-1-Werte
Ressourcen	Krananzahl [-]	3	3	±0%
	Anzahl Fertigungsabschnitte pro Geschoss [-]	5	5	±0%
	Max. Anzahl an AK pro FA [-]	12	12	±0%
Bauzeit	Taktzeit (EG u. RG) [AT]	9	9	±0%
	Takt 1 (Einschalen vertikale Bauteile)	EG: 1,28 (= 1 AT) RG: 1,16 (= 1 AT)	1,13 (= 1 AT)	±0%*
	Takt 2 (Bewehrung vertikale Bauteile)	EG: 2,29 (= 2 AT) RG: 2,07 (= 2 AT)	1,94 (= 2 AT)	±0%*
	Takt 3 (Betonage vertikale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung, Ausschalen vert. Bauteile)	EG: 5,57 (= 6 AT) RG: 5,51 (= 6 AT)	5,34 (= 5 AT)	-16,7%*
	Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile)	8,70 (= 9 AT)	9,25 (= 9 AT)	±0%*
	Takt 6 (Betonage horizontale Bauteile)	1 AT	1 AT	±0%*
	Dauer zur Erstellung eines FA [AT]	46	46	±0%
	Bauzeit [AT]	312	312	±0%
** bezogen auf gerundeten Wert*				

Bezüglich der Krananzahl, der Anzahl der Fertigungsabschnitte, der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, der Taktzeit sowie der Dauer zur Erstellung eines Fertigungsabschnitts und Bauzeit ergeben sich aus Tab. 118 keine Unterschiede.

Bei der Bestimmung der Taktzeit ist bei Ansatz der Soll-1-Fertigungsmengen Takt 5 maßgebend, da hieraus die maximale Vorgangsdauer (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13)) von gerundet 9 AT resultiert (vgl. Tab. 118). Im Gegensatz dazu beträgt die Vorgangsdauer von Takt 4 gerundet 6 AT, von Takt 2 gerundet 2 AT und die Vorgangsdauer der übrigen Takte gerundet 1 AT.

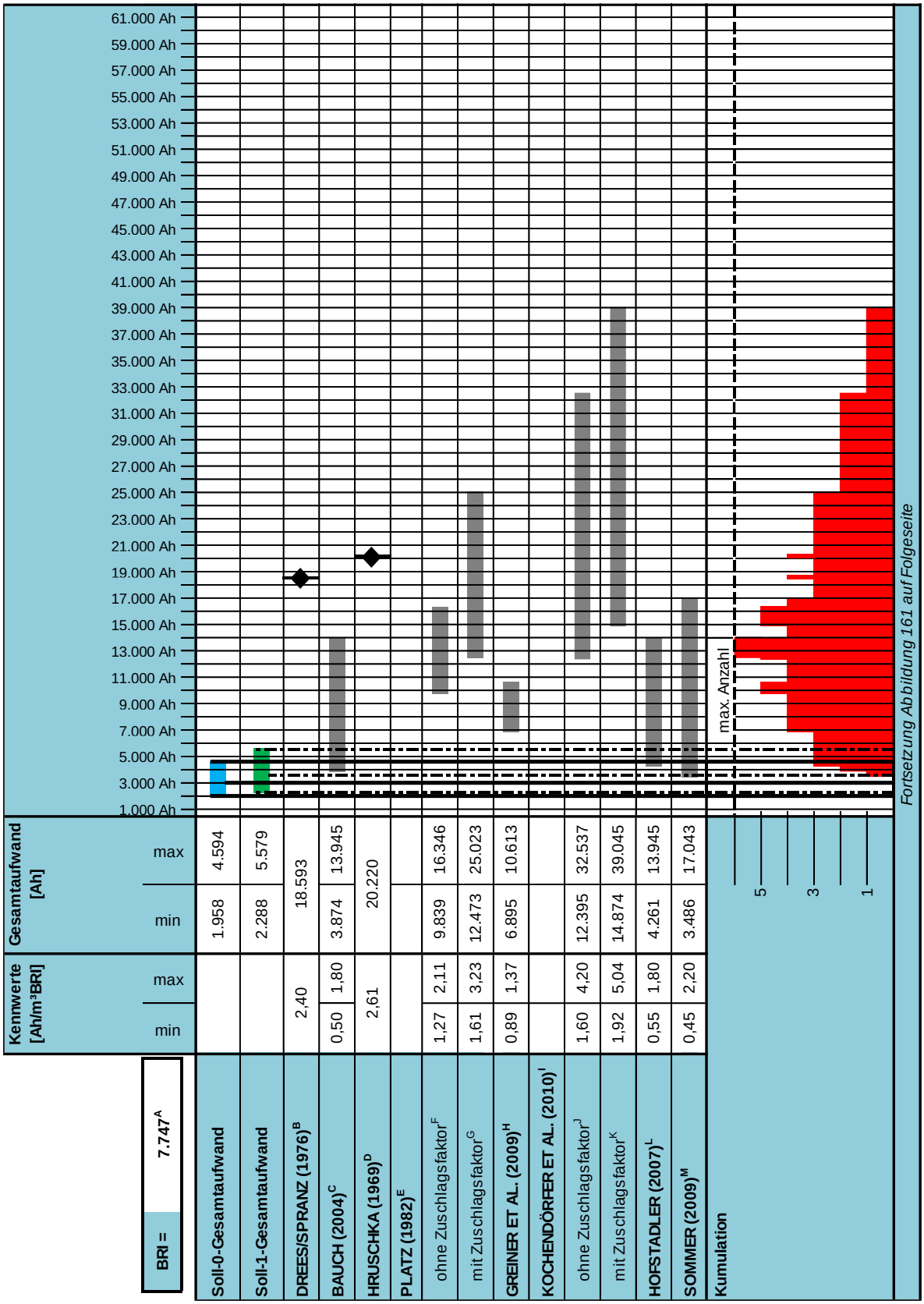
Für die Soll-2-Werte reduziert sich lediglich die Vorgangsdauer von Takt 4 auf 5 AT (gerundet), was auf die Reduzierung der Randschalungslängen und auszuschalenden Flächen vertikaler Bauteile, bei gleichzeitiger Erhöhung Schalungsflächen horizontaler Bauteile, zurückgeführt werden kann (vgl. Tab. 117).

Die durchgeführte Detailbetrachtung zeigt, dass die Genauigkeit der ermittelten Soll-1-Fertigungsmengen auf Grundlage des entwickelten Verfahrens ausreicht, um für Bauobjekt 4 eine hinreichend genaue Bauzeitermittlung zu ermöglichen.

[927] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

L.4.4 Stufe 4: Analyse der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände

L.4.4.1 Graphische Zusammenfassung der Analyse-Ergebnisse



BRI = 7.747[A]

	Kennwerte [Ah/m³BRI] max	Kennwerte [Ah/m³BRI] min	Gesamtaufwand [Ah] max	Gesamtaufwand [Ah] min
Soll-0-Gesamtaufwand			4.594	1.958
Soll-1-Gesamtaufwand			5.579	2.288
DREES/SPRANZ (1976)[B]	2,40		18.593	
BAUCH (2004)[C]	1,80	0,50	13.945	3.874
HRUSCHKA (1969)[D]	2,61		20.220	
PLATZ (1982)[E]				
ohne Zuschlagsfaktor[F]	2,11	1,27	16.346	9.839
mit Zuschlagsfaktor[G]	3,23	1,61	25.023	12.473
GREINER ET AL. (2009)[H]	1,37	0,89	10.613	6.895
KOCHENDÖRFER ET AL. (2010)[I]				
ohne Zuschlagsfaktor[J]	4,20	1,60	32.537	12.395
mit Zuschlagsfaktor[K]	5,04	1,92	39.045	14.874
HOFSTADLER (2007)[L]	1,80	0,55	13.945	4.261
SOMMER (2009)[M]	2,20	0,45	17.043	3.486
Kumulation				

Fortsetzung Abbildung 161

Erläuterungen:

Soll-0-Gesamtaufwand (min) = 1.958 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und minimalen Aufwandswerte.
Soll-0-Gesamtaufwand (erw) = 3.021 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und erwarteten Aufwandswerte.
Soll-0-Gesamtaufwand (max) = 4.594 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und maximalen Aufwandswerte.
Soll-1-Gesamtaufwand (min) = 2.288 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und minimalen Aufwandswerte.
Soll-1-Gesamtaufwand (erw) = 3.634 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und erwarteten Aufwandswerte.
Soll-1-Gesamtaufwand (max) = 5.579 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und maximalen Aufwandswerte.
Gesamtaufwand nach Verfahren anderer Autoren (Bandbreite)
Gesamtaufwand nach Verfahren anderer Autoren (Einzelwert)

[A] Ermittlung des Brutto-Rauminhalts näherungsweise über Summe der BGF der einzelnen Geschosse und den zugehörigen Geschosshöhen.

[B] Kennzahl nach DREES/SPRANZ (1976), S. 87 *"Geschäftshaus"* (vgl. Kap. L.1.2.1).

[C] Kennzahlen nach BAUCH (2004), S. 78 (vgl. Kap. L.1.2.1).

[D] Kennzahl nach HRUSCHKA (1969), Abschn. 3.32 (vgl. Kap. L.1.2.2).

[E] Kennzahlen berechnet aus vereinfachter Aufwandsfunktion nach PLATZ (1982), S. 97 (vgl. Kap. L.1.2.2, Eq. (L.46)). Feststoffanteil gemäß PLATZ (1982) *"Geschosse über Erdreich"* mit mittlerer Brutto-Geschosshöhe berechnet aus HACHERER (2019) mit EG-Höhe = 3,73 m, RG-Höhe = 3,39 m und Geschossanzahl = 6 sowie Bandbreite ±2 % (vgl. PLATZ (1982), S. 98 u. HACHERER (2019), S. 48). Minimaler und maximaler Wert des Schalungsanteils gemäß PLATZ (1982) = 4 bzw. 8 m²Schalung pro m³Beton (vgl. a. a. O., S. 97).

[F] Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Baustelleneinrichtung, Baustellenräumung und sonstiger Arbeiten: Minimalwert = 1,27 Ah/m³BRI und Maximalwert = 1,40 Ah/m³BRI nach PLATZ (1982), S. 97.

[G] Zuschlagsfaktor = 1,0.

[H] Kennzahlen berechnet aus vereinfachter Aufwandsfunktion nach GREINER ET AL. (2009), S. 156 (vgl. Kap. L.1.2.2, Eq. (L.47)). Minimaler und maximaler Wert des Schalungsanteils gemäß GREINER ET AL. (2009) = 4 bzw. 8 m²Schalung/m³Beton (vgl. a. a. O., S. 155).

[I] Kennzahlen aus Diagramm nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 120 extrapoliert (vgl. Abb. 101, Anlage). Mittlere Geschosshöhe und mittlere lichte Geschosshöhe berechnet aus BHI (2009) mit EG-Höhe = 3,73 m, RG-Höhe = 3,39 m und Geschossanzahl = 6 sowie lichte Erdgeschosshöhe = 3,47 m und lichte Regelgeschosshöhe = 3,18 m. KGF und BGF gemäß BHI (2009A). Minimaler und maximaler Wert des Schalungsanteils = 1 bzw. 7 m²Schalung pro m³Beton (Annahme).

[J] Zuschlagsfaktor = 1,0 (vgl. KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 120).

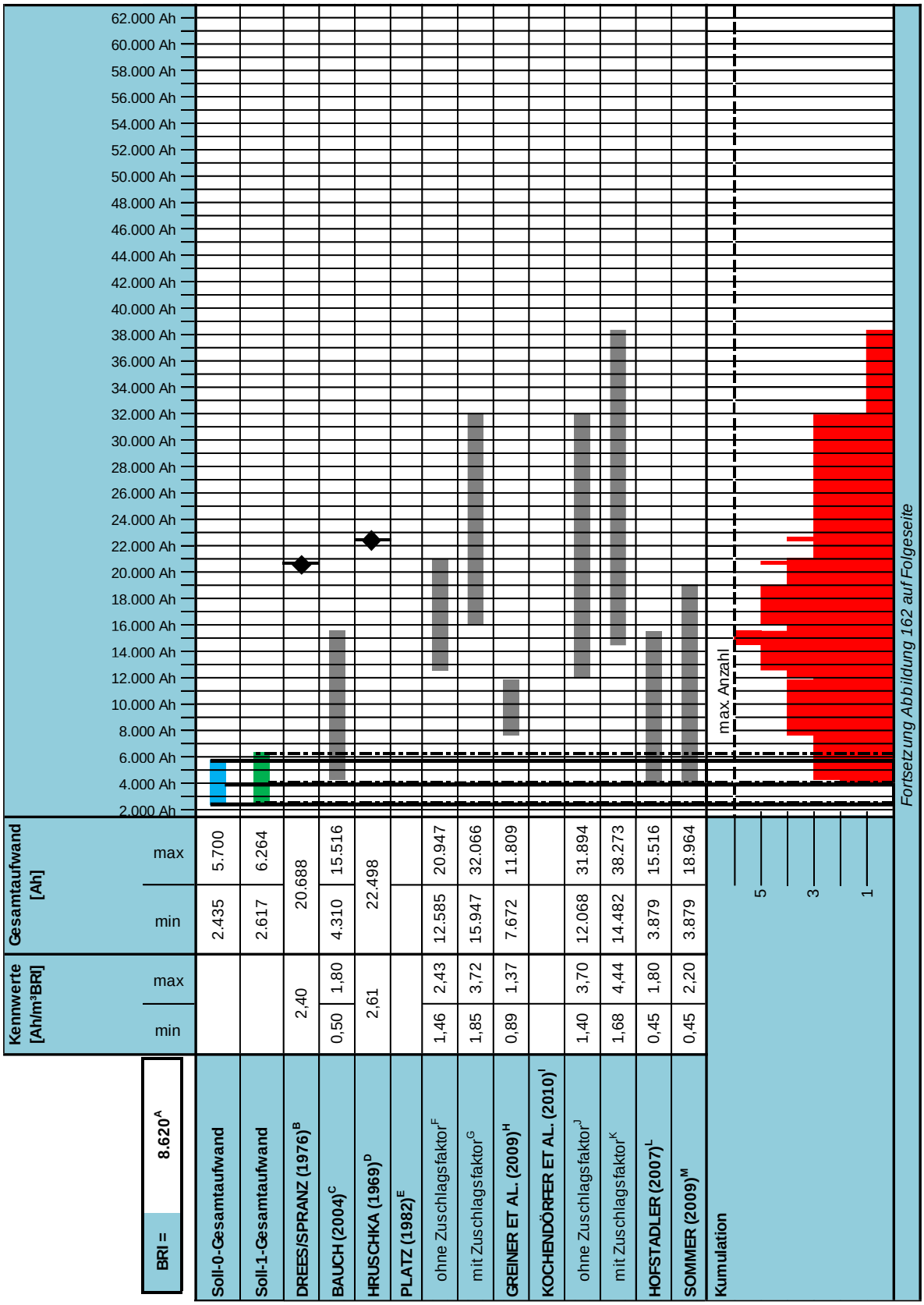
[K] Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Baustelleneinrichtung und Baustellenräumung = 1,2 (Baustelleneinrichtung mit separaten Vorgängen ausgewiesen) nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 119.

[L] Kennzahlen aus Diagramm nach HOFSTADLER (2007), S. 220 (vgl. Abb. 102, Anlage). Minimalwert = 0,55 Ah/m³BRI und Maximalwert = 1,80 Ah/m³BRI abgeleitet aus Schnittpunkten des BRI (Ordinate) und der angegebenen Kurven des Gesamtaufwands im IV. Quadranten.

[M] Kennzahlen aus Diagramm nach SOMMER (2009), S. 110 *"Obergeschosse"* (vgl. Kap. L.1.2.3). Der Minimalwert entspricht dem Schwierigkeitsgrad *"einfach"* und der Maximalwert dem Schwierigkeitsgrad *"sehr schwer"* (vgl. Abb. 104, Anlage).

Abb. 161: Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände sowie Gesamtaufwände nach Verfahren diverser Autoren – Bauobjekt 1[928]

[928] Eigene Darstellung. Anm.: Erläuterungen zur Darstellung ergeben sich auch aus Kapitel C.2.1.



BRI = 8.620[A]

	Kennwerte [Ah/m³BRI] max	Kennwerte [Ah/m³BRI] min	Gesamtaufwand [Ah] max	Gesamtaufwand [Ah] min
Soll-0-Gesamtaufwand			5.700	2.435
Soll-1-Gesamtaufwand			6.264	2.617
DREES/SPRANZ (1976)[B]	2,40		20.688	
BAUCH (2004)[C]	1,80	0,50	15.516	4.310
HRUSCHKA (1969)[D]	2,61		22.498	
PLATZ (1982)[E]				
ohne Zuschlagsfaktor[F]	2,43	1,46	20.947	12.585
mit Zuschlagsfaktor[G]	3,72	1,85	32.066	15.947
GREINER ET AL. (2009)[H]	1,37	0,89	11.809	7.672
KOCHENDÖRFER ET AL. (2010)[I]				
ohne Zuschlagsfaktor[J]	3,70	1,40	31.894	12.068
mit Zuschlagsfaktor[K]	4,44	1,68	38.273	14.482
HOFSTADLER (2007)[L]	1,80	0,45	15.516	3.879
SOMMER (2009)[M]	2,20	0,45	18.964	3.879
Kumulation				

Fortsetzung Abbildung 162

Erläuterungen:

Soll-0-Gesamtaufwand (min) = 2.435 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und minimalen Aufwandswerte.
Soll-0-Gesamtaufwand (erw) = 3.751 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und erwarteten Aufwandswerte.
Soll-0-Gesamtaufwand (max) = 5.700 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und maximalen Aufwandswerte.
Soll-1-Gesamtaufwand (min) = 2.617 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und minimalen Aufwandswerte.
Soll-1-Gesamtaufwand (erw) = 4.114 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und erwarteten Aufwandswerte.
Soll-1-Gesamtaufwand (max) = 6.264 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und maximalen Aufwandswerte.
Gesamtaufwand nach Verfahren anderer Autoren (Bandbreite)
Gesamtaufwand nach Verfahren anderer Autoren (Einzelwert)

[A] Ermittlung des Brutto-Rauminhalts näherungsweise über Summe der BGF der einzelnen Geschosse und den zugehörigen Geschosshöhen.

[B] Kennzahl nach DREES/SPRANZ (1976), S. 87 *"Geschäftshaus"* (vgl. Kap. L.1.2.1).

[C] Kennzahlen nach BAUCH (2004), S. 78 (vgl. Kap. L.1.2.1).

[D] Kennzahl nach HRUSCHKA (1969), Abschn. 3.32 (vgl. Kap. L.1.2.2).

[E] Kennzahlen berechnet aus vereinfachter Aufwandsfunktion nach PLATZ (1982), S. 97 (vgl. Kap. L.1.2.2, Eq. (L.46)). Feststoffanteil gemäß PLATZ (1982) *"Geschosse über Erdreich"* mit mittlerer Brutto-Geschosshöhe berechnet aus HACHERER (2019) mit EG-Höhe = 3,41 m, RG-Höhe = 2,80 m und Geschossanzahl = 7 sowie Bandbreite ±2 % (vgl. PLATZ (1982), S. 98 u. HACHERER (2019), S. 47). Minimaler und maximaler Wert des Schalungsanteils gemäß PLATZ (1982) = 4 bzw. 8 m²Schalung pro m³Beton (vgl. a. a. O., S. 97).

[F] Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Baustelleneinrichtung, Baustellenräumung und sonstiger Arbeiten: Minimalwert = 1,27 Ah/m³BRI und Maximalwert = 1,40 Ah/m³BRI nach PLATZ (1982), S. 97.

[G] Zuschlagsfaktor = 1,0.

[H] Kennzahlen berechnet aus vereinfachter Aufwandsfunktion nach GREINER ET AL. (2009), S. 156 (vgl. Kap. L.1.2.2, Eq. (L.47)). Minimaler und maximaler Wert des Schalungsanteils gemäß GREINER ET AL. (2009) = 4 bzw. 8 m²Schalung/m³Beton (vgl. a. a. O., S. 155).

[I] Kennzahlen aus Diagramm nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 120 extrapoliert (vgl. Abb. 101, Anlage). Mittlere Geschosshöhe und mittlere lichte Geschosshöhe berechnet aus BHI (2009) mit EG-Höhe = 3,41 m, RG-Höhe = 2,80 m und Geschossanzahl = 7 sowie lichte Erdgeschosshöhe = 3,16 m und lichte Regelgeschosshöhe = 2,56 m. KGF und BGF gemäß BHI (2009B). Minimaler und maximaler Wert des Schalungsanteils = 1 bzw. 7 m²Schalung pro m³Beton (Annahme).

[J] Zuschlagsfaktor = 1,0 (vgl. KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 120).

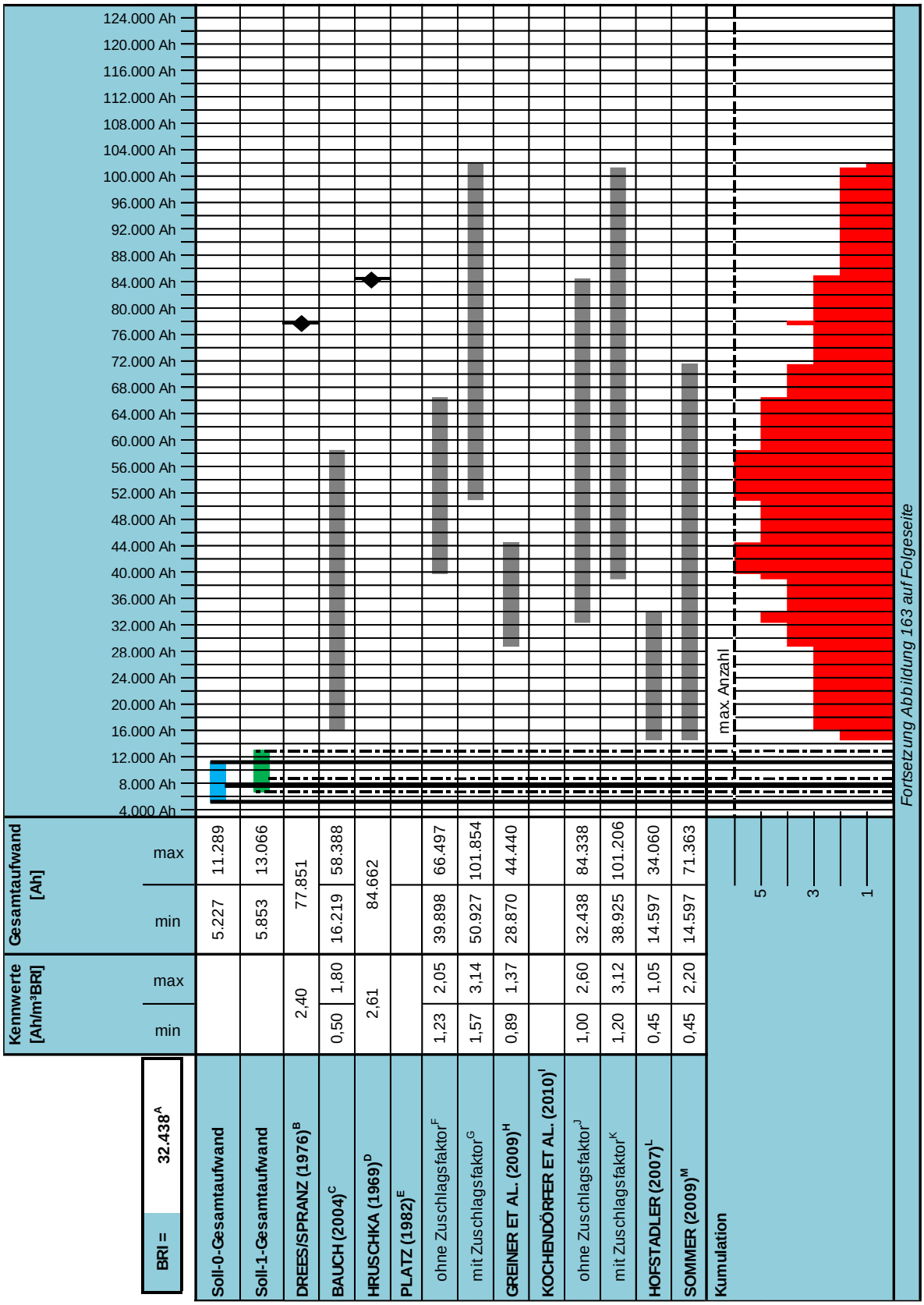
[K] Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Baustelleneinrichtung und Baustellenräumung = 1,2 (Baustelleneinrichtung mit separaten Vorgängen ausgewiesen) nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 119.

[L] Kennzahlen aus Diagramm nach HOFSTADLER (2007), S. 220 (vgl. Abb. 102, Anlage). Minimalwert = 0,45 Ah/m³BRI und Maximalwert = 1,80 Ah/m³BRI abgeleitet aus Schnittpunkten des BRI (Ordinate) und der angegebenen Kurven des Gesamtaufwands im IV. Quadranten.

[M] Kennzahlen aus Diagramm nach SOMMER (2009), S. 110 *"Obergeschosse"* (vgl. Kap.L.1.2.3). Der Minimalwert entspricht dem Schwierigkeitsgrad *"einfach"* und der Maximalwert dem Schwierigkeitsgrad *"sehr schwer"* (vgl. Abb. 104, Anlage).

Abb. 162: Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände sowie Gesamtaufwände nach Verfahren diverser Autoren – Bauobjekt 2[929]

[929] Eigene Darstellung. Anm.: Erläuterungen zur Darstellung ergeben sich auch aus Kapitel C.2.1.



Fortsetzung Abbildung 163 auf Folgeseite

Fortsetzung Abbildung 163

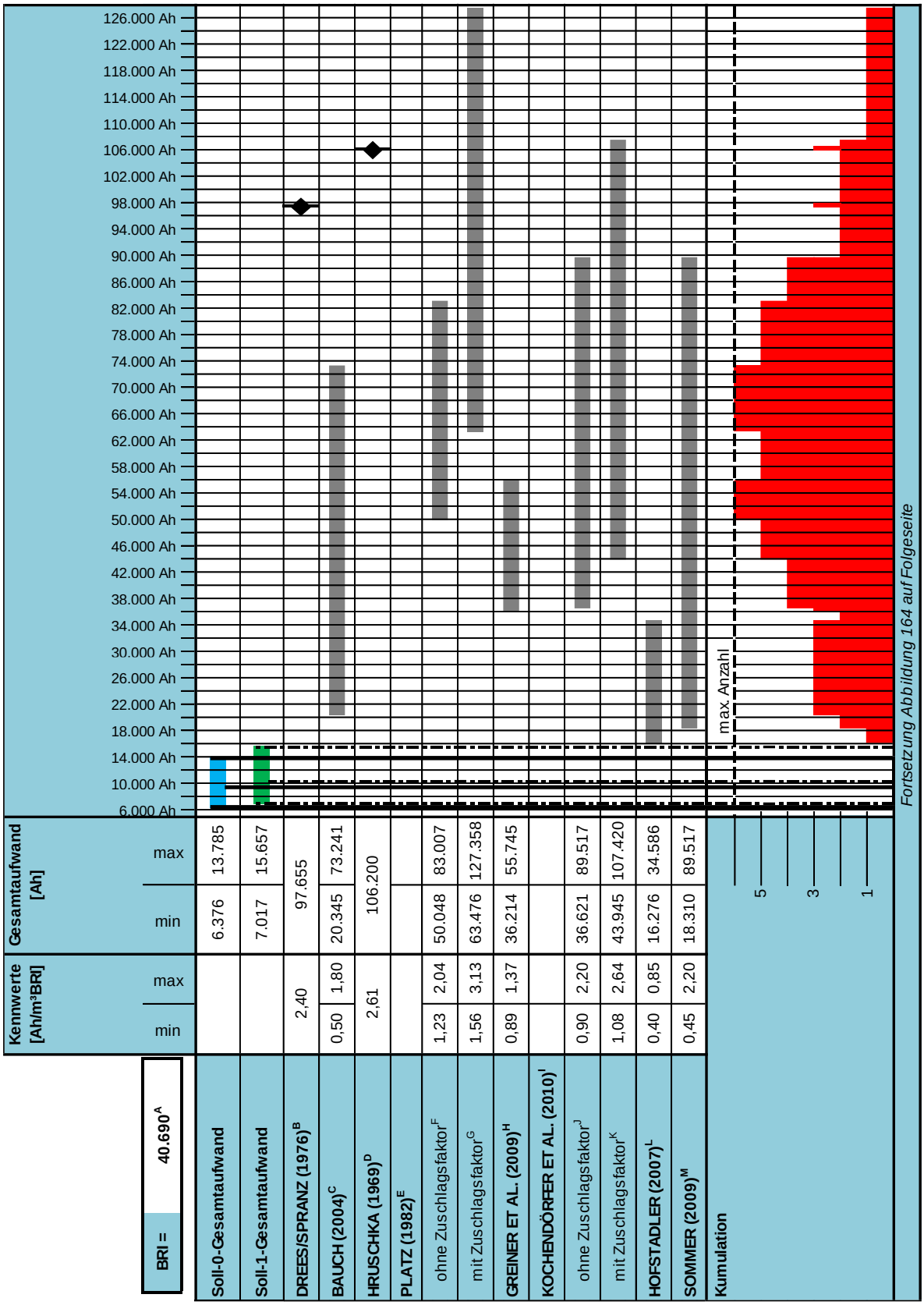
Erläuterungen:

Soll-0-Gesamtaufwand (min) = 5.227 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und minimalen Aufwandswerte.
Soll-0-Gesamtaufwand (enw) = 7.666 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und erwarteten Aufwandswerte.
Soll-0-Gesamtaufwand (max) = 11.289 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und maximalen Aufwandswerte.
Soll-1-Gesamtaufwand (min) = 5.853 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und minimalen Aufwandswerte.
Soll-1-Gesamtaufwand (enw) = 8.739 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und erwarteten Aufwandswerte.
Soll-1-Gesamtaufwand (max) = 13.066 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und maximalen Aufwandswerte.
Gesamtaufwand nach Verfahren anderer Autoren (Bandbreite)
Gesamtaufwand nach Verfahren anderer Autoren (Einzelwert)

[A] Ermittlung des Brutto-Rauminhalts näherungsweise über Summe der BGF der einzelnen Geschosse und den zugehörigen Geschosshöhen.
[B] Kennzahl nach DREES/SPRANZ (1976), S. 87 *"Geschäftshaus"* (vgl. Kap. L.1.2.1).
[C] Kennzahlen nach BAUCH (2004), S. 78 (vgl. Kap. L.1.2.1).
[D] Kennzahl nach HRUSCHKA (1969), Abschn. 3.32 (vgl. Kap. L.1.2.2).
[E] Kennzahlen berechnet aus vereinfachter Aufwandsfunktion nach PLATZ (1982), S. 97 (vgl. Kap. L.1.2.2, Eq. (L.46)). Feststoffanteil gemäß PLATZ (1982) *"Geschosse über Erdreich"* mit mittlerer Brutto-Geschosshöhe berechnet aus HACHERER (2019) mit EG-Höhe = 3,82 m, RG-Höhe = 3,51 m und Geschossanzahl = 8 sowie Bandbreite ±2 % (vgl. PLATZ (1982), S. 98 u. HACHERER (2019), S. 49). Minimaler und maximaler Wert des Schalungsanteils gemäß PLATZ (1982) = 4 bzw. 8 m²Schalung pro m³Beton (vgl. a. a. O., S. 97).
[F] Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Baustelleneinrichtung, Baustellenräumung und sonstiger Arbeiten: Minimalwert = 1,27 Ah/m³BRI und Maximalwert = 1,40 Ah/m³BRI nach PLATZ (1982), S. 97.
[G] Zuschlagsfaktor = 1,0.
[H] Kennzahlen berechnet aus vereinfachter Aufwandsfunktion nach GREINER ET AL. (2009), S. 156 (vgl. Kap. L.1.2.2, Eq. (L.47)). Minimaler und maximaler Wert des Schalungsanteils gemäß GREINER ET AL. (2009) = 4 bzw. 8 m²Schalung pro m³Beton (vgl. a. a. O., S. 155).
[I] Kennzahlen aus Diagramm nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 120 (vgl. Abb. 101, Anlage). Mittlere Geschosshöhe und mittlere lichte Geschosshöhe berechnet aus BHI (2009) mit EG-Höhe = 3,82 m, RG-Höhe = 3,51 m und Geschossanzahl = 8 sowie lichte Erdgeschosshöhe = 3,52 m und lichte Regelgeschosshöhe = 3,21 m. KGF und BGF gemäß BHI (2009C). Minimaler und maximaler Wert des Schalungsanteils = 1 bzw. 7 m²Schalung pro m³Beton (Annahme).
[J] Zuschlagsfaktor = 1,0 (vgl. KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 120).
[K] Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Baustelleneinrichtung und Baustellenräumung = 1,2 (Baustelleneinrichtung mit separaten Vorgängen ausgewiesen) nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 119.
[L] Kennzahlen aus Diagramm nach HOFSTADLER (2007), S. 220 (vgl. Abb. 102, Anlage). Minimalwert = 0,45 Ah/m³BRI und Maximalwert = 1,05 Ah/m³BRI abgeleitet aus Schnittpunkten des BRI (Ordinate) und der angegebenen Kurven des Gesamtaufwands im IV. Quadranten.
[M] Kennzahlen aus Diagramm nach SOMMER (2009), S. 110 *"Obergeschosse"* (vgl. Kap.L.1.2.3). Der Minimalwert entspricht dem Schwierigkeitsgrad *"einfach"* und der Maximalwert dem Schwierigkeitsgrad *"sehr schwer"* (vgl. Abb. 104, Anlage).

Abb. 163: Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände sowie Gesamtaufwände nach Verfahren diverser Autoren – Bauobjekt 3[930]

[930] Eigene Darstellung. Anm.: Erläuterungen zur Darstellung ergeben sich auch aus Kapitel C.2.1.



BRI = 40.690[A]	Kennwerte [Ah/m³BRI] max	Kennwerte [Ah/m³BRI] min	Gesamtaufwand [Ah] max	Gesamtaufwand [Ah] min
Soll-0-Gesamtaufwand			13.785	6.376
Soll-1-Gesamtaufwand			15.657	7.017
DREES/SPRANZ (1976)[B]	2,40		97.655	
BAUCH (2004)[C]	1,80	0,50	73.241	20.345
HRUSCHKA (1969)[D]	2,61		106.200	
PLATZ (1982)[E]				
ohne Zuschlagsfaktor[F]	2,04	1,23	83.007	50.048
mit Zuschlagsfaktor[G]	3,13	1,56	127.358	63.476
GREINER ET AL. (2009)[H]	1,37	0,89	55.745	36.214
KOCHENDÖRFER ET AL. (2010)[I]				
ohne Zuschlagsfaktor[J]	2,20	0,90	89.517	36.621
mit Zuschlagsfaktor[K]	2,64	1,08	107.420	43.945
HOFSTADLER (2007)[L]	0,85	0,40	34.586	16.276
SOMMER (2009)[M]	2,20	0,45	89.517	18.310
Kumulation				

Fortsetzung Abbildung 164

Erläuterungen:

Soll-0-Gesamtaufwand (min) = 6.376 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und minimalen Aufwandswerte.
Soll-0-Gesamtaufwand (erw) = 9.357 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und erwarteten Aufwandswerte.
Soll-0-Gesamtaufwand (max) = 13.785 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-0-Gebäudeparameter und maximalen Aufwandswerte.
Soll-1-Gesamtaufwand (min) = 7.017 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und minimalen Aufwandswerte.
Soll-1-Gesamtaufwand (erw) = 10.473 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und erwarteten Aufwandswerte.
Soll-1-Gesamtaufwand (max) = 15.657 Ah: Gesamtaufwand auf Grundlage der Soll-1-Gebäudeparameter und maximalen Aufwandswerte.
Gesamtaufwand nach Verfahren anderer Autoren (Bandbreite)
Gesamtaufwand nach Verfahren anderer Autoren (Einzelwert)

[A] Ermittlung des Brutto-Rauminhalts näherungsweise über Summe der BGF der einzelnen Geschosse und den zugehörigen Geschosshöhen.

[B] Kennzahl nach DREES/SPRANZ (1976), S. 87 *"Geschäftshaus"* (vgl. Kap. L.1.2.1).

[C] Kennzahlen nach BAUCH (2004), S. 78 (vgl. Kap. L.1.2.1).

[D] Kennzahl nach HRUSCHKA (1969), Abschn. 3.32 (vgl. Kap. L.1.2.2).

[E] Kennzahlen berechnet aus vereinfachter Aufwandsfunktion nach PLATZ (1982), S. 97 (vgl. Kap. L.1.2.2, Eq. (L.46)). Feststoffanteil gemäß PLATZ (1982) *"Geschosse über Erdreich"* mit mittlerer Brutto-Geschosshöhe berechnet aus HACHERER (2019) mit EG-Höhe = 3,85 m, RG-Höhe = 3,51 m und Geschossanzahl = 6 sowie Bandbreite ±2 % (vgl. PLATZ (1982), S. 98 u. HACHERER (2019), S. 50). Minimaler und maximaler Wert des Schalungsanteils gemäß PLATZ (1982) = 4 bzw. 8 m²Schalung pro m³Beton (vgl. a. a. O., S. 97).

[F] Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Baustelleneinrichtung, Baustellenräumung und sonstiger Arbeiten: Minimalwert = 1,27 Ah/m³BRI und Maximalwert = 1,40 Ah/m³BRI nach PLATZ (1982), S. 97.

[G] Zuschlagsfaktor = 1,0.

[H] Kennzahlen berechnet aus vereinfachter Aufwandsfunktion nach GREINER ET AL. (2009), S. 156 (vgl. Kap. L.1.2.2, Eq. (L.47)). Minimaler und maximaler Wert des Schalungsanteils gemäß GREINER ET AL. (2009) = 4 bzw. 8 m²Schalung pro m³Beton (vgl. a. a. O., S. 155).

[I] Kennzahlen aus Diagramm nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 120 (vgl. Abb. 101, Anlage). Mittlere Geschosshöhe und mittlere lichte Geschosshöhe berechnet aus BHI (2009) mit EG-Höhe = 3,85 m, RG-Höhe = 3,51 m und Geschossanzahl = 6 sowie lichte Erdgeschosshöhe = 3,55 m und lichte Regelgeschosshöhe = 3,21 m. KGF und BGF gemäß BHI (2009D). Minimaler und maximaler Wert des Schalungsanteils = 1 bzw. 7 m²Schalung pro m³Beton (Annahme).

[J] Zuschlagsfaktor = 1,0 (vgl. KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 120).

[K] Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Baustelleneinrichtung und Baustellenräumung = 1,2 (Baustelleneinrichtung mit separaten Vorgängen ausgewiesen) nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010), S. 119.

[L] Kennzahlen aus Diagramm nach HOFSTADLER (2007), S. 220 (vgl. Abb. 102, Anlage). Minimalwert = 0,45 Ah/m³BRI und Maximalwert = 0,85 Ah/m³BRI abgeleitet aus Schnittpunkten des BRI (Ordinate) und der angegebenen Kurven des Gesamtaufwands im IV. Quadranten.

[M] Kennzahlen aus Diagramm nach SOMMER (2009), S. 110 *"Obergeschosse"* (vgl. Kap.L.1.2.3). Der Minimalwert entspricht dem Schwierigkeitsgrad *"einfach"* und der Maximalwert dem Schwierigkeitsgrad *"sehr schwer"* (vgl. Abb. 104, Anlage).

Abb. 164: Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände sowie Gesamtaufwände nach Verfahren diverser Autoren – Bauobjekt 4[931]

[931] Eigene Darstellung. Anm.: Erläuterungen zur Darstellung ergeben sich auch aus Kapitel C.2.1.

L.4.4.2 Detailbetrachtung „Bauobjekt 1“

In Abb. 161 (vgl. Kap. L.4.4.1) ist der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwand von Bauobjekt 1 den Gesamtaufwänden gegenübergestellt, die aus der Anwendung von insgesamt zehn sonstigen Bauzeitermittlungsverfahren anderer Autoren (vgl. Kap. L.1.2) resultieren.

Aus Abb. 161 ergibt sich, dass der minimale Gesamtaufwand aus sonstigen Verfahren 3.486 Ah beträgt (Verfahren nach SOMMER (2009)). Der maximale Gesamtaufwand aus sonstigen Verfahren beträgt 39.045 Ah (Verfahren nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010) mit Zuschlagsfaktor).

Insgesamt lässt sich eine sehr große Bandbreite aller Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren von 1.020 % feststellen.[932] Die größte Bandbreite bei der Betrachtung eines einzelnen sonstigen Verfahrens ergibt sich bezogen auf den Minimalwert zu 163 % (Verfahren nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010)).[933] Aus der Anwendung des entwickelten Verfahren resultiert eine Bandbreite von 135 % (Soll-0) bzw. 144 % (Soll-1).[934]

Der Soll-0-Gesamtaufwand (min) von 1.958 Ah und der Soll-0-Gesamtaufwand (erw) von 3.021 Ah unterschreiten alle Bandbreiten der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren. Lediglich der Soll-0-Gesamtaufwand (max) von 4.594 Ah liegt innerhalb der Bandbreiten der Gesamtaufwände nach BAUCH (2004), HOFSTADLER (2007) und SOMMER (2009).

Der Soll-1-Gesamtaufwand (min) von 2.288 Ah unterschreitet alle Bandbreiten der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren. Der Soll-1-Gesamtaufwand (erw) von 3.634 Ah liegt innerhalb der Bandbreite des Gesamtaufwands nach SOMMER (2009). Der Soll-1-Gesamtaufwand (max) von 5.579 Ah liegt innerhalb der Bandbreiten der Gesamtaufwände nach BAUCH (2004), HOFSTADLER (2007) und SOMMER (2009).

Die Kumulation in Abb. 161 zeigt, dass der Modalwert der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren im Wertebereich von ca. 12.500 Ah bis ca. 14.000 Ah liegt und die ermittelten Bandbreiten der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände damit deutlich überschreitet.

---

[932] Bezogen auf den minimalen Gesamtaufwand aller betrachteten sonstigen Verfahren (vgl. Abb. 161): (39.045 Ah – 3.486 Ah)/3.486 Ah = 1.020 %.

[933] Bezogen auf den minimalen Gesamtaufwand gemäß des Verfahrens nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010) (vgl. Abb. 161): (32.537 Ah – 12.395 Ah)/ 12.395 Ah = 163 % bzw. (39.045 Ah – 14.874 Ah)/ 14.874 Ah = 163 %.

[934] Bezogen auf den minimalen Gesamtaufwand des entwickelten Verfahrens (vgl. Abb. 161): (4.594 Ah – 1.958 Ah)/ 1.958 Ah = 135 % (Soll-0) bzw. (5.579 Ah – 2.288 Ah)/ 2.288 Ah = 144 % (Soll-1).

L.4.4.3 Detailbetrachtung „Bauobjekt 2“

In Abb. 162 (vgl. Kap. L.4.4.1) ist der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwand von Bauobjekt 2 den Gesamtaufwänden gegenübergestellt, die aus der Anwendung von insgesamt zehn sonstigen Bauzeitermittlungsverfahren anderer Autoren (vgl. Kap. L.1.2) resultieren.

Aus Abb. 162 ergibt sich, dass der minimale Gesamtaufwand aus sonstigen Verfahren 3.879 Ah beträgt (Verfahren nach HOFSTADLER (2007) und SOMMER (2009)). Der maximale Gesamtaufwand aus sonstigen Verfahren beträgt 38.273 Ah (Verfahren nach KOCHENDÖRFER ET AL. (2010) mit Zuschlagsfaktor).

Insgesamt lässt sich eine sehr große Bandbreite aller Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren von 887 % feststellen.[935] Die größte Bandbreite bei der Betrachtung eines einzelnen sonstigen Verfahrens ergibt sich bezogen auf den Minimalwert zu 389 % (Verfahren nach SOMMER (2009)).[936] Aus der Anwendung des entwickelten Verfahren resultiert eine Bandbreite von 134 % (Soll-0) bzw. 139 % (Soll-1).[937]

Der Soll-0-Gesamtaufwand (min) von 2.435 Ah und der Soll-0-Gesamtaufwand (erw) von 3.751 Ah unterschreiten alle Bandbreiten der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren. Lediglich der Soll-0-Gesamtaufwand (max) von 5.700 Ah liegt innerhalb der Bandbreiten der Gesamtaufwände nach BAUCH (2004), HOFSTADLER (2007) und SOMMER (2009).

Der Soll-1-Gesamtaufwand (min) von 2.617 Ah unterschreitet alle Bandbreiten der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren. Der Soll-1-Gesamtaufwand (erw) von 4.114 Ah liegt innerhalb der Bandbreiten der Gesamtaufwände nach HOFSTADLER (2007) und SOMMER (2009). Der Soll-1-Gesamtaufwand (max) von 6.264 Ah liegt innerhalb der Bandbreiten der Gesamtaufwände nach BAUCH (2004), HOFSTADLER (2007) und SOMMER (2009).

Die Kumulation in Abb. 162 zeigt, dass der Modalwert der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren im Wertebereich von ca. 14.500 Ah bis ca. 15.500 Ah liegt und die ermittelten Bandbreiten der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände damit deutlich überschreitet.

---

[935] Bezogen auf den minimalen Gesamtaufwand aller betrachteten sonstigen Verfahren (vgl. Abb. 162): (38.273 Ah – 3.879 Ah)/3.879 Ah = 887 %.

[936] Bezogen auf den minimalen Gesamtaufwand gemäß des Verfahrens nach SOMMER (2009) (vgl. Abb. 162): (18.964 Ah – 3.879 Ah)/ 3.879 Ah = 389 %.

[937] Bezogen auf den minimalen Gesamtaufwand des entwickelten Verfahrens (vgl. Abb. 162): (5.700 Ah – 2.435 Ah)/ 2.435 Ah = 134 % (Soll-0) bzw. (6.264 Ah – 2.617 Ah)/ 2.617 Ah = 139 % (Soll-1).

L.4.4.4 Detailbetrachtung „Bauobjekt 3“

In Abb. 163 (vgl. Kap. L.4.4.1) ist der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwand von Bauobjekt 3 den Gesamtaufwänden gegenübergestellt, die aus der Anwendung von insgesamt zehn sonstigen Bauzeitermittlungsverfahren anderer Autoren (vgl. Kap. L.1.2) resultieren.

Aus Abb. 163 ergibt sich, dass der minimale Gesamtaufwand aus sonstigen Verfahren 14.597 Ah beträgt (Verfahren nach HOFSTADLER (2007) und SOMMER (2009)). Der maximale Gesamtaufwand aus sonstigen Verfahren beträgt 101.854 Ah (Verfahren nach PLATZ (1982) mit Zuschlagsfaktor).

Insgesamt lässt sich eine sehr große Bandbreite aller Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren von 598 % feststellen.[938] Die größte Bandbreite bei der Betrachtung eines einzelnen sonstigen Verfahrens ergibt sich bezogen auf den Minimalwert zu 389 % (Verfahren nach SOMMER (2009)).[939] Aus der Anwendung des entwickelten Verfahren resultiert eine Bandbreite von 116 % (Soll-0) bzw. 123 % (Soll-1).[940]

Der Soll-0-Gesamtaufwand (min) von 5.227 Ah, der Soll-0-Gesamtaufwand (erw) von 7.666 Ah und der Soll-0-Gesamtaufwand (max) von 11.289 Ah unterschreiten alle Bandbreiten der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren.

Auch der Soll-1-Gesamtaufwand (min) von 5.853 Ah, der Soll-1-Gesamtaufwand (erw) von 8.739 Ah und der Soll-1-Gesamtaufwand (max) von 13.066 Ah unterschreiten alle Bandbreiten der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren.

Die Kumulation in Abb. 163 zeigt, dass die Modalwerte der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren in den Wertebereichen von ca. 39.900 Ah bis ca. 44.400 Ah und ca. 50.900 Ah bis ca. 58.400 Ah liegen und die ermittelten Bandbreiten der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände damit jeweils deutlich überschreiten.

L.4.4.5 Detailbetrachtung „Bauobjekt 4“

In Abb. 164 (vgl. Kap. L.4.4.1) ist der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwand von Bauobjekt 4 den Gesamtaufwänden gegenübergestellt, die aus der Anwendung von insgesamt zehn sonstigen Bauzeitermittlungsverfahren anderer Autoren (vgl. Kap. L.1.2) resultieren.

---

[938] Bezogen auf den minimalen Gesamtaufwand aller betrachteten sonstigen Verfahren (vgl. Abb. 163): (101.854 Ah – 14.597 Ah)/14.597 Ah = 598 %.

[939] Bezogen auf den minimalen Gesamtaufwand gemäß des Verfahrens nach SOMMER (2009) (vgl. Abb. 163): (71.363 Ah – 14.597 Ah)/ 14.597 Ah = 389 %.

[940] Bezogen auf den minimalen Gesamtaufwand des entwickelten Verfahrens (vgl. Abb. 163): (11.289 Ah – 5.227 Ah)/ 5.227 Ah = 116 % (Soll-0) bzw. (13.066 Ah – 5.853 Ah)/ 5.853 Ah = 123 % (Soll-1).

Aus Abb. 164 ergibt sich, dass der minimale Gesamtaufwand aus sonstigen Verfahren 16.276 Ah beträgt (Verfahren nach HOFSTADLER (2007)). Der maximale Gesamtaufwand aus sonstigen Verfahren beträgt 127.358 Ah (Verfahren nach PLATZ (1982) mit Zuschlagsfaktor).

Insgesamt lässt sich eine sehr große Bandbreite aller Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren von 682 % feststellen.[941] Die größte Bandbreite bei der Betrachtung eines einzelnen sonstigen Verfahrens ergibt sich bezogen auf den Minimalwert zu 389 % (Verfahren nach SOMMER (2009)).[942] Aus der Anwendung des entwickelten Verfahren resultiert eine Bandbreite von 116 % (Soll-0) bzw. 123 % (Soll-1).[943]

Der Soll-0-Gesamtaufwand (min) von 6.376 Ah, der Soll-0-Gesamtaufwand (erw) von 9.357 Ah und der Soll-0-Gesamtaufwand (max) von 13.785 Ah unterschreiten alle Bandbreiten der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren.

Auch der Soll-1-Gesamtaufwand (min) von 7.017 Ah, der Soll-1-Gesamtaufwand (erw) von 10.473 Ah und der Soll-1-Gesamtaufwand (max) von 15.657 Ah unterschreiten alle Bandbreiten der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren.

Die Kumulation in Abb. 164 zeigt, dass die Modalwerte der Gesamtaufwände aus sonstigen Verfahren in den Wertebereichen von ca. 50.000 Ah bis ca. 55.700 Ah und ca. 63.500 Ah bis ca. 73.200 Ah liegen und die ermittelten Bandbreiten der Soll-0- und Soll-1-Gesamtaufwände damit jeweils deutlich überschreiten.

L.4.5 Stufe 5: Analyse der Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten

L.4.5.1 Detailbetrachtung „Bauobjekt 1“

In Abb. 165 ist der Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ($n_{(AK,max/FA)}$) (vgl. Kap. G.1.3.2) und den daraus resultierenden Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten von Bauobjekt 1 dargestellt.

Bezüglich der Krananzahlen ergeben sich bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit für Bauobjekt 1 keine Unterschiede. Jedoch sind Abweichungen bei der Anzahl der Fertigungsabschnitte feststellbar (vgl. Tab. 43), aus denen unterschiedliche Soll-Werte der maxi-

[941] Bezogen auf den minimalen Gesamtaufwand aller betrachteten sonstigen Verfahren (vgl. Abb. 164): (127.358 Ah – 16.276 Ah)/16.276 Ah = 682 %.

[942] Bezogen auf den minimalen Gesamtaufwand gemäß des Verfahrens nach SOMMER (2009) (vgl. Abb. 164): (89.517 Ah – 18.310 Ah)/ 18.310 Ah = 389 %.

[943] Bezogen auf den minimalen Gesamtaufwand des entwickelten Verfahrens (vgl. Abb. 164): (13.785 Ah – 6.376 Ah)/ 6.376 Ah = 116 % (Soll-0) bzw. (15.657 Ah – 7.017 Ah)/ 7.017 Ah = 123 % (Soll-1).

malen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit resultieren (vgl. Abb. 165).

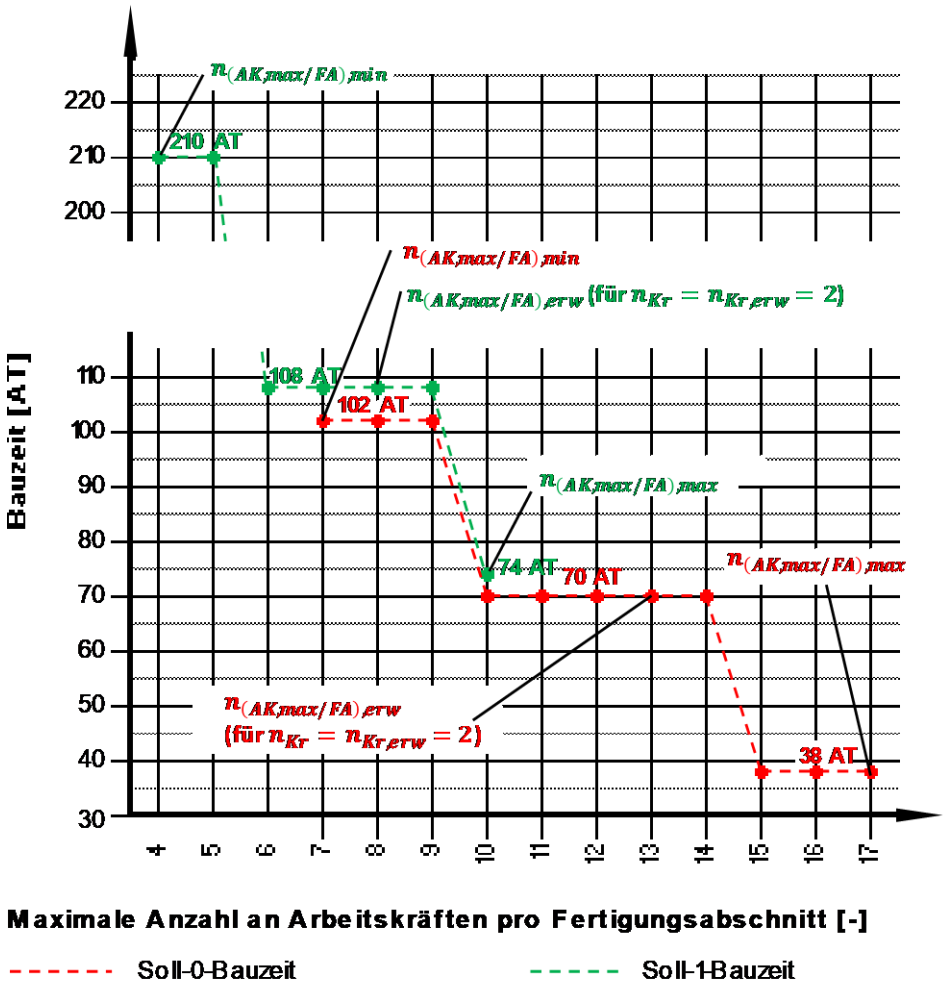


Abb. 165: Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an Arbeitskräften pro Fertigungsabschnitt und der Soll-0- bzw. Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 1[944]

Abb. 165 zeigt, dass die Anpassung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, innerhalb der Soll-Bandbreiten von $n_{(AK,max/FA),min} = 7$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 17$ (bezogen auf die Soll-0-Bauzeiten) bzw. $n_{(AK,max/FA),min} = 4$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 10$ (bezogen auf die Soll-1-Bauzeiten), zu Soll-0-Bauzeiten von 102 AT, 70 AT und 38 AT sowie Soll-1-Bauzeiten von 210 AT, 108 AT und 74 AT führen. Bei identischer Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt sind zwischen den jeweils ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten lediglich geringfügige Differenzen von 2 AT bzw. 6 AT feststellbar.

Aus der erwarteten Krananzahl ($n_{Kr,erw} = 2$) und dem zugehörigen Erwartungswert der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von $n_{(AK,max/FA),erw} = 13$ (bezogen auf die

[944] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte sind auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Soll-0-Bauzeit) bzw. $n_{(AK,max/FA),erw} = 8$ (bezogen auf die Soll-1-Bauzeit) resultiert eine erwartete Soll-0-Bauzeit von 70 AT bzw. eine erwartete Soll-1-Bauzeit von 108 AT.

Die Ergebnisse der Netzplanberechnungen bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit von Bauobjekt 1 sind in Tab. 119 zusammengefasst.

Tab. 119: Netzplanberechnungen bei Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 1[945]

Geschoss	Soll-0-Bauzeit						Soll-1-Bauzeit								
	1. FA		2. FA		3. FA		1. FA		2. FA		3. FA		...	5. FA	
	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FAZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	...	FAZ	FEZ
EG	0	11	2	13	4	15	0	16	3	19	6	22	...	12	28
1. RG	11	22	13	24	15	26	16	32	19	35	22	38	...	28	44
2. RG	22	33	24	35	26	37	32	48	35	51	38	54	...	44	60
3. RG	33	44	35	46	37	48	48	64	51	67	54	70	...	60	76
4. RG	44	55	46	57	48	59	64	80	67	83	70	86	...	76	92
5. RG	55	66	57	68	59	70	80	96	83	99	86	102	...	92	108

Für die Soll-0-Bauzeit resultiert aus Tab. 119, dass die Fertigstellung des Erdgeschosses nach 15 AT (ca. 3 Wochen) erfolgt. Die Arbeiten an den darauffolgenden Regelgeschossen beginnen jeweils 11 AT nach dem Beginn am vorangegangenen Geschoss und nehmen ebenfalls 15 AT pro Geschoss in Anspruch. Die Ausführungszeit des obersten Regelgeschosses (5. Regelgeschoss) reicht vom 55. AT bis zum 70. AT (Fertigstellung ohne Ausschalen horizontaler Bauteile). Für die einzelnen Fertigungsabschnitte (Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss = 3) sind jeweils 11 AT in Ansatz gebracht. Die Taktzeit im Erd- und in den Regelgeschossen beträgt jeweils 2 AT.

Für die Soll-1-Bauzeit resultiert aus Tab. 119, dass die Fertigstellung des Erdgeschosses nach 28 AT (ca. 6 Wochen) erfolgt. Die Arbeiten an den darauffolgenden Regelgeschossen beginnen jeweils 16 AT nach dem Beginn am vorangegangenen Geschoss und nehmen ebenfalls 28 AT pro Geschoss in Anspruch. Die Ausführungszeit des obersten Regelgeschosses (5. Regelgeschoss) reicht vom 80. AT bis zum 108. AT (Fertigstellung ohne Ausschalen horizontaler Bauteile). Für die einzelnen Fertigungsabschnitte (Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss = 5) sind jeweils 16 AT in Ansatz gebracht. Die Taktzeit im Erd- und in den Regelgeschossen beträgt jeweils 3 AT.

Die Abweichungen zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit sind nicht alleine auf die angepassten Gebäudeparameter und die daraus resultierenden Abweichungen der Fertigungsmengen und Gesamtaufwände bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit (Soll-1-Gesamtaufwand = 3.634 Ah) im Vergleich zur Soll-0-Bauzeit (Soll-0-

[945] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Gesamtaufwand = 3.021 Ah) zurückzuführen. Bei detaillierter Betrachtung lässt sich erkennen, dass das gesteigerte Betonvolumen der vertikalen Bauteile (für Soll-0 = 451 m³ Beton und für Soll-1 = 652 m³ Beton) zu einer unterschiedlichen Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss führt, was sich auf die jeweilige Taktzeit des Erd- und der Regelgeschosse auswirkt (vgl. Tab. 43). Weiterhin wirkt sich bereits die jeweilige erwartete maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt (vgl. Abb. 165) auf die vorhandenen Kolonnenanzahlen jedes Taktes aus. Dies führt wiederum zu Differenzen zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit.

Bezogen auf die Gebäudegrundfläche des Referenzgebäudes von jeweils ca. 407 m² und die erwartete Krananzahl ($n_{Kr,erw} = 2$), ist die ermittelte erwartete Soll-0-Bauzeit von 70 AT, ebenso wie die Soll-1-Bauzeit von 108 AT, generell plausibel. Auch die dabei zugrundeliegenden Ausführungsdauern pro Geschoss von 15 AT bzw. ca. 3 Wochen (Soll-0-Bauzeit) und 28 AT bzw. ca. 6 Wochen (Soll-1-Bauzeit) sind baupraktisch umsetzbar.

Die dabei zugrunde liegende Taktzeit bei der Ermittlung der Soll-0-Bauzeit von 2 AT zum Einschalen vertikaler Bauteile von Takt 1 (ca. 210 m² Schalung)[946] mit 4 AK und zum Einschalen horizontaler Bauteile, zur Herstellung der Randschalung und zum Ausschalen vertikaler Bauteile von Takt 4 (ca. 126 m² Schalung (horizontale Bauteile), 44 m Randschalung und 210 m²Schalung (vertikale Bauteile)[947] mit 12 AK ist ausreichend dimensioniert.

Gleiches gilt für die Durchführung der Bewehrungsarbeiten vertikaler Bauteile von Takt 2 (ca. 1,5 t)[948] mit 8 AK und horizontaler Bauteile von Takt 5 (ca. 2,4 t)[949] mit 10 AK.

Ebenso sind die vorgesehenen Betonagen der vertikalen Bauteile (Takt 3) von ca. 25 m³ Beton pro Takt[950] mit 6 AK und der horizontalen Bauteile (Takt 6) von ca. 31 m³ Beton pro Takt[951] mit 3 AK wie vorgesehen innerhalb eines AT umsetzbar (vgl. Kap. D.3).

Gleiches ergibt sich auch für die Analyse der zugrunde gelegten Taktzeit und den zugehörigen Fertigungsmengen bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit (= Soll-2-Bauzeit).

[946] Insgesamt ca. 630 m² Schalung pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[947] Insgesamt 378 m² Schalung (horizontale Bauteile), 133 m Randschalung und 630 m² Schalung (vertikale Bauteile) pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[948] Insgesamt ca. 4,6 t pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[949] Insgesamt ca. 7,1 t pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[950] Insgesamt ca. 75 m³ Beton pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[951] Insgesamt ca. 94 m³ Beton pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

L.4.5.2 Detailbetrachtung „Bauobjekt 2“

In Abb. 166 ist der Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ($n_{(AK,max/FA)}$) (vgl. Kap. G.1.3.2) und den daraus resultierenden Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten von Bauobjekt 2 dargestellt.

Bezüglich der Krananzahlen ergeben sich bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit für Bauobjekt 2 keine Unterschiede. Jedoch sind Abweichungen bei der Anzahl der Fertigungsabschnitte feststellbar (vgl. Tab. 43), aus denen unterschiedliche Soll-Werte der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit resultieren (vgl. Abb. 166).

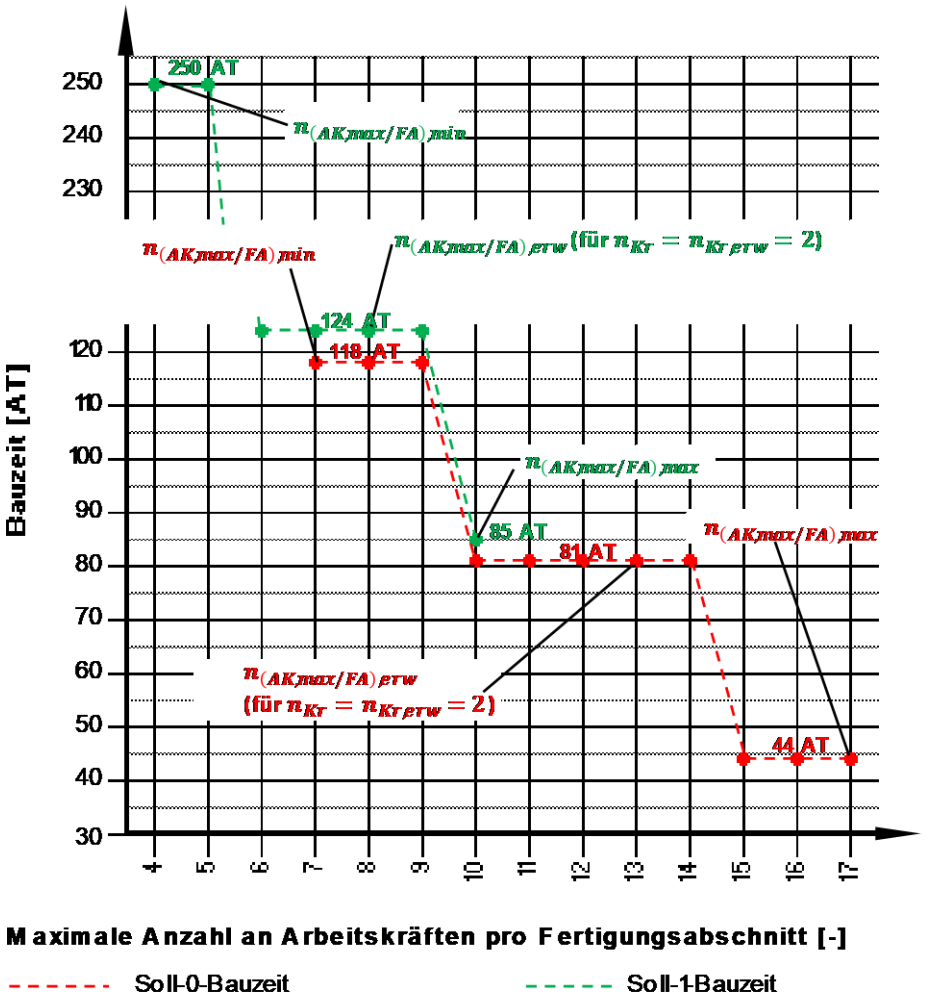


Abb. 166: Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an Arbeitskräften pro Fertigungsabschnitt und der Soll-0- bzw. Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 2[952]

Abb. 166 zeigt, dass die Anpassung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, innerhalb der Soll-Bandbreiten von $n_{(AK,max/FA),min} = 7$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 17$ (bezogen

[952] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte sind auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

auf die Soll-0-Bauzeiten) bzw. $n_{(AK,max/FA),min} = 4$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 10$ (bezogen auf die Soll-1-Bauzeiten), zu Soll-0-Bauzeiten von 118 AT, 81 AT und 44 AT sowie Soll-1-Bauzeiten von 250 AT, 124 AT und 85 AT führen. Bei identischer Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt sind zwischen den jeweils ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten lediglich geringfügige Differenzen von 4 AT bzw. 6 AT feststellbar.

Aus der erwarteten Krananzahl ($n_{Kr,erw} = 2$) und dem zugehörigen Erwartungswert der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von $n_{(AK,max/FA),erw} = 13$ (bezogen auf die Soll-0-Bauzeit) bzw. $n_{(AK,max/FA),erw} = 8$ (bezogen auf die Soll-1-Bauzeit) resultiert eine erwartete Soll-0-Bauzeit von 81 AT bzw. eine erwartete Soll-1-Bauzeit von 124 AT.

Die Ergebnisse der Netzplanberechnungen bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit von Bauobjekt 2 sind in Tab. 120 zusammengefasst.

Tab. 120: Netzplanberechnungen bei Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 2[953]

Geschoss	Soll-0-Bauzeit						Soll-1-Bauzeit								
	1. FA		2. FA		3. FA		1. FA		2. FA		3. FA		...	5. FA	
	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	...	FAZ	FEZ
EG	0	11	2	13	4	15	0	16	3	19	6	22	...	12	28
1. RG	11	22	13	24	15	26	16	32	19	35	22	38	...	28	44
2. RG	22	33	24	35	26	37	32	48	35	51	38	54	...	44	60
3. RG	33	44	35	46	37	48	48	64	51	67	54	70	...	60	76
4. RG	44	55	46	57	48	59	64	80	67	83	70	86	...	76	92
5. RG	55	66	57	68	59	70	80	96	83	99	86	102	...	92	108
6. RG	66	77	68	79	70	81	96	112	99	115	102	118	...	108	124

Für die Soll-0-Bauzeit resultiert aus Tab. 120, dass die Fertigstellung des Erdgeschosses nach 15 AT (ca. 3 Wochen) erfolgt. Die Arbeiten an den darauffolgenden Regelgeschossen beginnen jeweils 11 AT nach dem Beginn am vorangegangenen Geschoss und nehmen ebenfalls 15 AT pro Geschoss in Anspruch. Die Ausführungszeit des obersten Regelgeschosses (6. Regelgeschoss) reicht vom 66. AT bis zum 81. AT (Fertigstellung ohne Ausschalen horizontaler Bauteile). Für die einzelnen Fertigungsabschnitte (Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss = 3) sind jeweils 11 AT in Ansatz gebracht. Die Taktzeit im Erd- und in den Regelgeschossen beträgt jeweils 2 AT.

Für die Soll-1-Bauzeit resultiert aus Tab. 120, dass die Fertigstellung des Erdgeschosses nach 28 AT (ca. 6 Wochen) erfolgt. Die Arbeiten an den darauffolgenden Regelgeschossen beginnen jeweils 16 AT nach dem Beginn am vorangegangenen Geschoss und nehmen ebenfalls 28 AT pro Geschoss in Anspruch. Die Ausführungszeit des obersten Regelge-

[953] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

schosses (6. Regelgeschoss) reicht vom 96. AT bis zum 124. AT (Fertigstellung ohne Ausschalen horizontaler Bauteile). Für die einzelnen Fertigungsabschnitte (Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss = 5) sind jeweils 16 AT in Ansatz gebracht. Die Taktzeit im Erd- und in den Regelgeschossen beträgt jeweils 3 AT.

Die Abweichungen zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit sind nicht alleine auf die angepassten Gebäudeparameter und die daraus resultierenden Abweichungen der Fertigungsmengen und Gesamtaufwände bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit (Soll-1-Gesamtaufwand = 4.114 Ah) im Vergleich zur Soll-0-Bauzeit (Soll-0-Gesamtaufwand = 3.751 Ah) zurückzuführen. Bei detaillierter Betrachtung lässt sich erkennen, dass das gesteigerte Betonvolumen der vertikalen Bauteile (für Soll-0 = 550 m³ Beton und für Soll-1 = 724 m³ Beton) zu einer unterschiedlichen Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss führt, was sich auf die jeweilige Taktzeit des Erd- und der Regelgeschosse auswirkt (vgl. Tab. 43). Weiterhin wirkt sich bereits die jeweilige erwartete maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt (vgl. Abb. 166) auf die vorhandenen Kolonnenanzahlen jedes Taktes aus. Dies führt wiederum zu Differenzen zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit.

Bezogen auf die Gebäudegrundfläche des Referenzgebäudes von jeweils ca. 441 m² und die erwartete Krananzahl ($n_{Kr,erw} = 2$), ist die ermittelte erwartete Soll-0-Bauzeit von 81 AT, ebenso wie die Soll-1-Bauzeit von 124 AT, generell plausibel. Auch die dabei zugrundeliegenden Ausführungsdauern pro Geschoss von 15 AT bzw. ca. 3 Wochen (Soll-0-Bauzeit) und 28 AT bzw. ca. 6 Wochen (Soll-1-Bauzeit) sind baupraktisch umsetzbar.

Die zugrunde liegende Taktzeit bei der Ermittlung der Soll-0-Bauzeit von 2 AT zum Einschalen vertikaler Bauteile von Takt 1 (ca. 220 m² Schalung)[954] mit 6 AK und zum Einschalen horizontaler Bauteile, zur Herstellung der Randschalung und zum Ausschalen vertikaler Bauteile von Takt 4 (ca. 137 m² Schalung (horizontale Bauteile), 47 m Randschalung und 220 m²Schalung (vertikale Bauteile)[955] mit 12 AK ist ausreichend dimensioniert.

Gleiches gilt für die Durchführung der Bewehrungsarbeiten vertikaler Bauteile von Takt 2 (ca. 1,6 t)[956] mit 8 AK und horizontaler Bauteile von Takt 5 (ca. 2,6 t)[957] mit 10 AK.

[954] Insgesamt ca. 659 m² Schalung pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[955] Insgesamt 410 m² Schalung (horizontale Bauteile), 141 m Randschalung und 659 m² Schalung (vertikale Bauteile) pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[956] Insgesamt ca. 4,8 t pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[957] Insgesamt ca. 7,7 t pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

Ebenso sind die vorgesehenen Betonagen der vertikalen Bauteile (Takt 3) von ca. 26 m³ Beton pro Takt[958] mit 6 AK und der horizontalen Bauteile (Takt 6) von ca. 34 m³ Beton pro Takt[959] mit 3 AK wie vorgesehen innerhalb eines AT umsetzbar (vgl. Kap. D.3).

Gleiches ergibt sich auch für die Analyse der zugrunde gelegten Taktzeit und den zugehörigen Fertigungsmengen bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit (= Soll-2-Bauzeit).

L.4.5.3 Detailbetrachtung „Bauobjekt 3“

In Abb. 167 ist der Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ($n_{(AK,max/FA)}$) (vgl. Kap. G.1.3.2) und den daraus resultierenden Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten von Bauobjekt 3 dargestellt.

Bezüglich der Krananzahlen ergeben sich bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit für Bauobjekt 3 keine Unterschiede. Jedoch sind Abweichungen bei der Anzahl der Fertigungsabschnitte feststellbar (vgl. Tab. 43), aus denen unterschiedliche Soll-Werte der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit resultieren (vgl. Abb. 167).

Abb. 167 zeigt, dass die Anpassung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, innerhalb der Soll-Bandbreiten von $n_{(AK,max/FA),min} = 7$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 17$ (bezogen auf die Soll-0-Bauzeiten) bzw. $n_{(AK,max/FA),min} = 5$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 13$ (bezogen auf die Soll-1-Bauzeiten), zu Soll-0-Bauzeiten von 386 AT, 218 AT, 176 AT und 134 AT sowie Soll-1-Bauzeiten von 610 AT, 438 AT und 223 AT führen.

Bei identischer Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt sind zwischen den jeweils ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten für $n_{(AK,max/FA)} = 10$ und $n_{(AK,max/FA)} = 11$ lediglich geringfügige Differenzen von 5 AT feststellbar. Im Gegensatz dazu sind für $n_{(AK,max/FA)} = 7$ bis $n_{(AK,max/FA)} = 9$ sowie für $n_{(AK,max/FA)} = 12$ und $n_{(AK,max/FA)} = 13$ Differenzen zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit von 52 AT bzw. 47 AT feststellbar, die jeweils insbesondere auf die Unterschiede bei der zugrunde gelegten Anzahl der Fertigungsabschnitte sowie Taktzeiten des Erd- und der Regelgeschosse zurückzuführen sind.

[958] Insgesamt ca. 79 m³ Beton pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[959] Insgesamt ca.103 m³ Beton pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

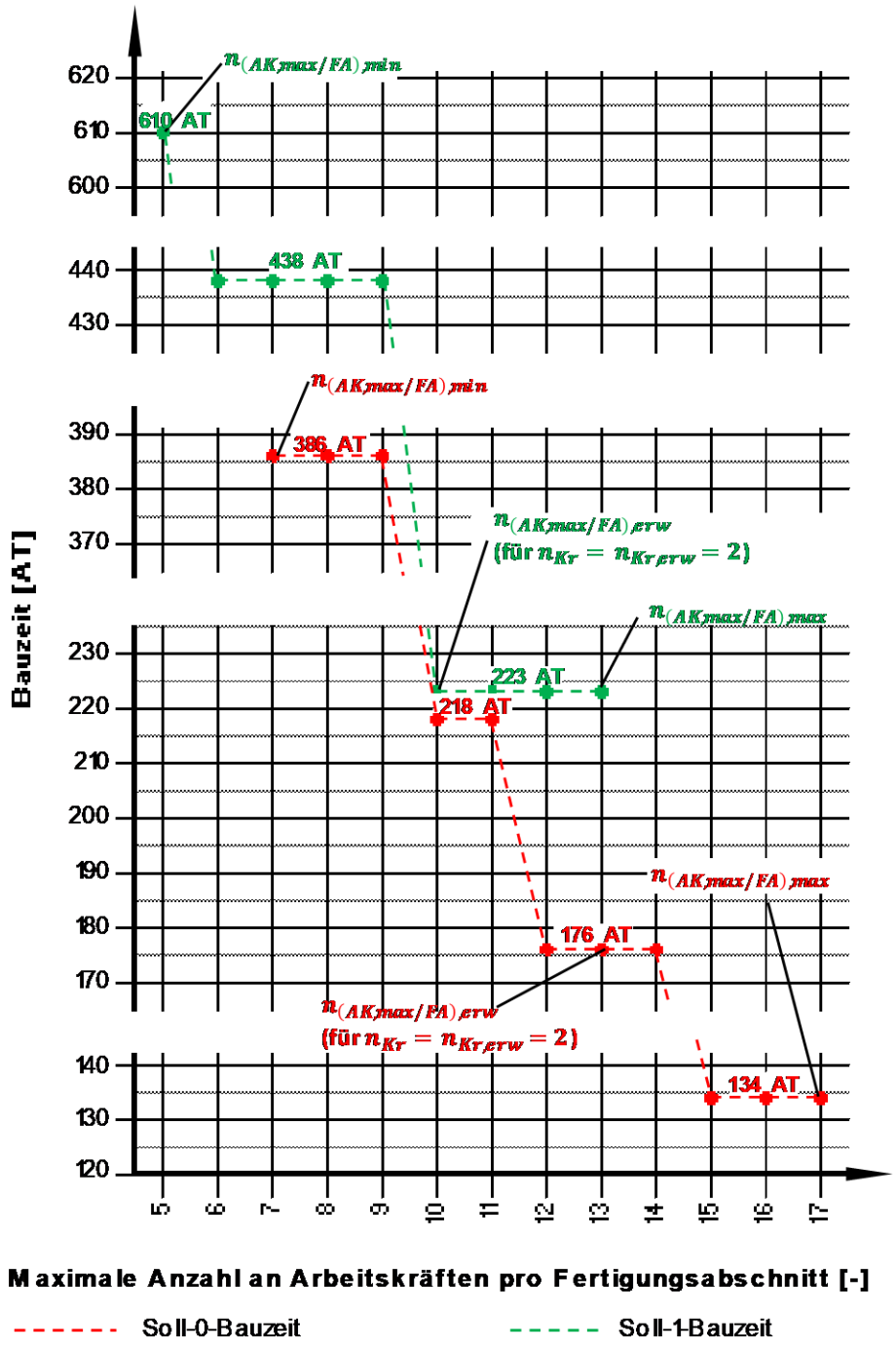


Abb. 167: Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an Arbeitskräften pro Fertigungsabschnitt und der Soll-0- bzw. Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 3[960]

Beispielsweise resultiert aus der Arbeitshilfe für $n_{(AK,max/FA)} = 7$ bis $n_{(AK,max/FA)} = 9$, dass die Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss bei der Ermittlung der Soll-0-Bauzeit $n_{FA,0} = 3$ und bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit $n_{FA,0} = 4$ beträgt (vgl. Tab. 43). Die Takt-

[960] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte sind auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

zeit des Erd- und der Regelgeschosse bei der Ermittlung der Soll-0-Bauzeit beträgt jeweils 9 AT und bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit jeweils 10 AT.[961]

Werden die angegebenen Werte bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit auf die jeweiligen Werte bei der Ermittlung der Soll-0-Bauzeit angepasst, so sind zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit keine Differenzen mehr feststellbar. Gleiches gilt für die Bauzeitdifferenzen im Bereich $n_{(AK,max/FA)} = 12$ und $n_{(AK,max/FA)} = 13$.

Aus der erwarteten Krananzahl ($n_{Kr,erw} = 2$) und dem zugehörigen Erwartungswert der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von $n_{(AK,max/FA),erw} = 13$ (bezogen auf die Soll-0-Bauzeit) bzw. $n_{(AK,max/FA),erw} = 10$ (bezogen auf die Soll-1-Bauzeit) resultiert eine erwartete Soll-0-Bauzeit von 176 AT bzw. eine erwartete Soll-1-Bauzeit von 223 AT (vgl. Tab. 43).

Die Ergebnisse der Netzplanberechnungen bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit von Bauobjekt 3 sind in Tab. 121 zusammengefasst.

Tab. 121: Netzplanberechnungen bei Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 3[962]

Geschoss	Soll-0-Bauzeit						Soll-1-Bauzeit							
	1. FA		2. FA		3. FA		1. FA		2. FA		3. FA		4. FA	
	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FAZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ
EG	0	21	4	25	8	29	0	26	5	31	10	36	15	41
1. RG	21	42	25	46	29	50	26	52	31	57	36	62	41	67
2. RG	42	63	46	67	50	71	52	78	57	83	62	88	67	93
3. RG	63	84	67	88	71	92	78	104	83	109	88	114	93	119
4. RG	84	105	88	109	92	113	104	130	109	135	114	140	119	145
5. RG	105	126	109	130	113	134	130	156	135	161	140	166	145	171
6. RG	126	147	130	151	134	155	156	182	161	187	166	192	171	197
7. RG	147	168	151	172	155	176	182	208	187	213	192	218	197	223

Für die Soll-0-Bauzeit resultiert aus Tab. 121, dass die Fertigstellung des Erdgeschosses nach 29 AT (ca. 6 Wochen) erfolgt. Die Arbeiten an den darauffolgenden Regelgeschossen

[961] Bei der Ermittlung der Soll-0-Bauzeit von Bauobjekt 3 ist für eine maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von 10 und 11 jeweils die Vorgangsdauer von Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung und Ausschalen vertikale Bauteile horizontale Bauteile) und für eine maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von 7 bis 9 und 12 bis 17 jeweils die Vorgangsdauer von Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile) zur Ermittlung der Taktzeit maßgebend (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13), Kap. G.1).

Bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit von Bauobjekt 3 ist für eine maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von 5 die Vorgangsdauer von Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung und Ausschalen vertikale Bauteile horizontale Bauteile) und für eine maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von 6 bis 13 jeweils die Vorgangsdauer von Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile) zur Ermittlung der Taktzeit maßgebend (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13), Kap. G.1).

[962] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

beginnen jeweils 21 AT nach dem Beginn am vorangegangenen Geschoss und nehmen ebenfalls 29 AT pro Geschoss in Anspruch. Die Ausführungszeit des obersten Regelgeschosses (7. Regelgeschoss) reicht vom 147. AT bis zum 176. AT (Fertigstellung ohne Ausschalen horizontaler Bauteile). Für die einzelnen Fertigungsabschnitte (Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss = 3) sind jeweils 21 AT in Ansatz gebracht. Die Taktzeit im Erd- und in den Regelgeschossen beträgt jeweils 4 AT.

Für die Soll-1-Bauzeit resultiert aus Tab. 121, dass die Fertigstellung des Erdgeschosses nach 41 AT (ca. 8 Wochen) erfolgt. Die Arbeiten an den darauffolgenden Regelgeschossen beginnen jeweils 26 AT nach dem Beginn am vorangegangenen Geschoss und nehmen ebenfalls 41 AT pro Geschoss in Anspruch. Die Ausführungszeit des obersten Regelgeschosses (7. Regelgeschoss) reicht vom 182. AT bis zum 223. AT (Fertigstellung ohne Ausschalen horizontaler Bauteile). Für die einzelnen Fertigungsabschnitte (Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss = 4) sind jeweils 26 AT in Ansatz gebracht. Die Taktzeit im Erd- und in den Regelgeschossen beträgt jeweils 5 AT.

Die Abweichungen zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit sind nicht alleine auf die angepassten Gebäudeparameter und die daraus resultierenden Abweichungen der Fertigungsmengen und Gesamtaufwände bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit (Soll-1-Gesamtaufwand = 8.739 Ah) im Vergleich zur Soll-0-Bauzeit (Soll-0-Gesamtaufwand = 7.666 Ah) zurückzuführen. Bei detaillierter Betrachtung lässt sich erkennen, dass das gesteigerte Betonvolumen der vertikalen Bauteile (für Soll-0 = 585 m³ Beton und für Soll-1 = 669 m³ Beton) zu einer unterschiedlichen Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss führt, was sich auf die jeweilige Taktzeit des Erd- und der Regelgeschosse auswirkt (vgl. Tab. 43). Weiterhin wirkt sich bereits die jeweilige erwartete maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt (vgl. Abb. 167) auf die vorhandenen Kolonnenanzahlen jedes Taktes aus. Dies führt wiederum zu Differenzen zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit.

Bezogen auf die Gebäudegrundfläche des Referenzgebäudes von jeweils ca. 1.146 m² und die erwartete Krananzahl ($n_{Kr,erw} = 2$), ist die ermittelte erwartete Soll-0-Bauzeit von 176 AT, ebenso wie die Soll-1-Bauzeit von 223 AT, generell plausibel. Auch die dabei zugrundeliegenden Ausführungsdauern pro Geschoss von 29 AT bzw. ca. 6 Wochen (Soll-0-Bauzeit) und 41 AT bzw. ca. 8 Wochen (Soll-1-Bauzeit) sind baupraktisch umsetzbar.

Die zugrunde liegende Taktzeit bei der Ermittlung der Soll-0-Bauzeit von 4 AT zum Einschalen vertikaler Bauteile von Takt 1 (ca. 218 m² Schalung)[963] mit 4 AK und zum Einschalen horizontaler Bauteile, zur Herstellung der Randschalung und zum Ausschalen vertikaler Bau-

[963] Insgesamt ca. 654 m² Schalung pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

teile von Takt 4 (ca. 363 m² Schalung (horizontale Bauteile), 95 m Randschalung und 218 m² Schalung (vertikale Bauteile)[964] mit 12 AK ist ausreichend dimensioniert.

Gleiches gilt für die Durchführung der Bewehrungsarbeiten vertikaler Bauteile von Takt 2 (ca. 1,7 t)[965] mit 4 AK und horizontaler Bauteile von Takt 5 (ca. 6,8 t)[966] mit 15 AK.

Ebenso sind die vorgesehenen Betonagen der vertikalen Bauteile (Takt 3) von ca. 24 m³ Beton pro Takt[967] und der horizontalen Bauteile (Takt 6) von ca. 91 m³ Beton pro Takt[968] mit jeweils 3 AK wie vorgesehen innerhalb eines AT umsetzbar (vgl. Kap. D.3).

Gleiches ergibt sich auch für die Analyse der zugrunde gelegten Taktzeit und den zugehörigen Fertigungsmengen bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit (= Soll-2-Bauzeit).

L.4.5.4 Detailbetrachtung „Bauobjekt 4“

In Abb. 168 ist der Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ($n_{(AK,max/FA)}$) (vgl. Kap. G.1.3.2) und den daraus resultierenden Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten von Bauobjekt 4 dargestellt. Da sich zwischen der minimalen, erwarteten und maximalen Krananzahl bei der Bestimmung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten z. T. Differenzen ergeben (vgl. Tab. 43), ist weiterhin der hieraus jeweils resultierende Erwartungswert der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt hervorgehoben.

Abb. 168 zeigt, dass die Anpassung der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt, innerhalb der Soll-Bandbreiten von $n_{(AK,max/FA),min} = 4$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 20$ (bezogen auf die Soll-0-Bauzeiten) bzw. $n_{(AK,max/FA),min} = 4$ und $n_{(AK,max/FA),max} = 15$ (bezogen auf die Soll-1-Bauzeiten), zu Soll-0-Bauzeiten von 754 AT, 482 AT, 244 AT, 176 AT und 142 AT sowie Soll-1-Bauzeiten von 754 AT, 584 AT, 312 AT, und 210 AT führen.

[964] Insgesamt 1.089 m² Schalung (horizontale Bauteile), 286 m Randschalung und 654 m² Schalung (vertikale Bauteile) pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[965] Insgesamt ca. 5,2 t pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[966] Insgesamt ca. 20,4 t pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[967] Insgesamt ca. 73 m³ Beton pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

[968] Insgesamt ca.272 m³ Beton pro Geschoss bei drei Fertigungsabschnitten.

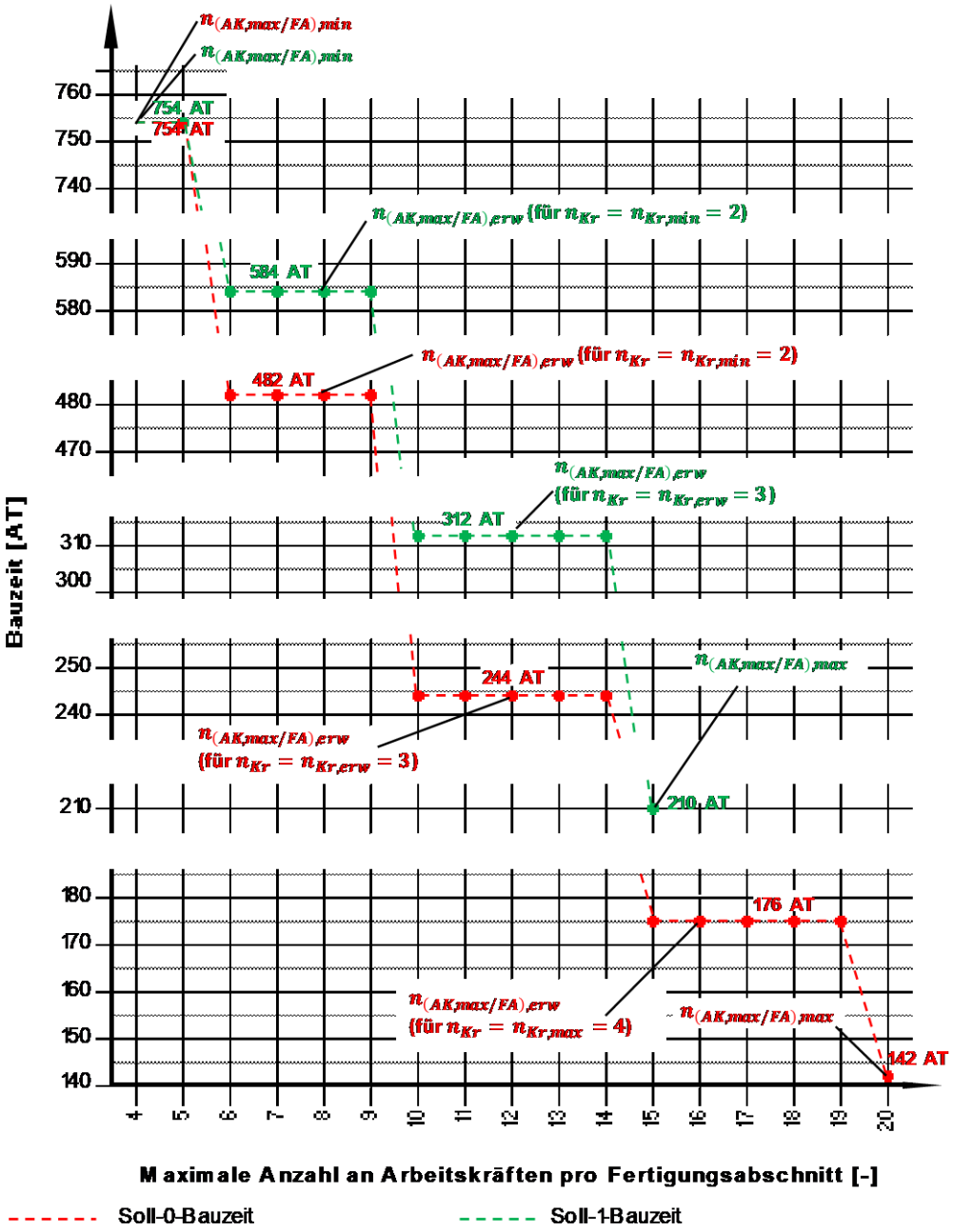


Abb. 168: Zusammenhang zwischen der maximalen Anzahl an Arbeitskräften pro Fertigungsabschnitt und der Soll-0- bzw. Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 4[969]

Bei identischer Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt sind zwischen den jeweils ermittelten Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten für $n_{(AK,max/FA)} = 4$ und $n_{(AK,max/FA)} = 5$ keine Differenzen feststellbar. Im Gegensatz dazu sind für $n_{(AK,max/FA)} = 6$ bis $n_{(AK,max/FA)} = 9$, für $n_{(AK,max/FA)} = 10$ bis $n_{(AK,max/FA)} = 14$ sowie für $n_{(AK,max/FA)} = 15$ Differenzen zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit von 102 AT, 68 AT bzw. 34 AT feststellbar, die jeweils insbesondere auf die

[969] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte sind auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Unterschiede bei den zugrunde gelegten Taktzeiten des Erd- und der Regelgeschosse zurückzuführen sind.[970]

Ähnlich wie bereits für Bauobjekt 3 (vgl. Kap. L.4.5.3) festgestellt, sind zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit keine Differenzen mehr feststellbar, sofern die Taktzeiten des Erd- und der Regelgeschosse aufeinander angepasst werden.[971]

Aus der minimalen Krananzahl ($n_{Kr,min} = 2$) und dem zugehörigen Erwartungswert der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von $n_{(AK,max/FA),erw} = 8$ resultiert eine erwartete Soll-0-Bauzeit von 482 AT bzw. eine erwartete Soll-1-Bauzeit von 584 AT.

Aus der erwarteten Krananzahl ($n_{Kr,erw} = 3$) und dem zugehörigen Erwartungswert der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von $n_{(AK,max/FA),erw} = 12$ resultiert eine erwartete Soll-0-Bauzeit von 244 AT bzw. eine erwartete Soll-1-Bauzeit von 312 AT.

Aus der maximalen Krananzahl ($n_{Kr,min} = 4$) und dem zugehörigen Erwartungswert der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von $n_{(AK,max/FA),erw} = 16$ resultiert eine erwartete Soll-0-Bauzeit von 176 AT.

Die Ergebnisse der Netzplanberechnungen bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit von Bauobjekt 4 sind in Tab. 122 zusammengefasst.

Für die Soll-0-Bauzeit resultiert aus Tab. 122, dass die Fertigstellung des Erdgeschosses nach 64 AT (ca. 13 Wochen) erfolgt. Die Arbeiten an den darauffolgenden Regelgeschossen beginnen jeweils 36 AT nach dem Beginn am vorangegangenen Geschoss und nehmen ebenfalls 64 AT pro Geschoss in Anspruch. Die Ausführungszeit des obersten Regelgeschosses (5. Regelgeschoss) reicht vom 180. AT bis zum 244. AT (Fertigstellung ohne Ausschalen horizontaler Bauteile). Für die einzelnen Fertigungsabschnitte (Anzahl der Ferti-

[970] Im Gegensatz zu Bauobjekt 3 (vgl. Kap. L.4.5.3) bestehen bei Bauobjekt 4 bei der jeweiligen Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss keine Unterschiede bei den Ermittlungen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten (vgl. Tab. 43).

Bei der Ermittlung der Soll-0-Bauzeit von Bauobjekt 4 ist für eine maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von 4, 5, 10, 11 und 20 jeweils die Vorgangsdauer von Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung und Ausschalen vertikale Bauteile horizontale Bauteile) und für eine maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von 6 bis 9 und 12 bis 19 jeweils die Vorgangsdauer von Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile) zur Ermittlung der Taktzeit maßgebend (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13), Kap. G.1).

Bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit von Bauobjekt 4 ist für eine maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von 4 und 5 jeweils die Vorgangsdauer von Takt 4 (Einschalen horizontale Bauteile, Randschalung und Ausschalen vertikale Bauteile horizontale Bauteile) und für eine maximale Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt von 6 bis 15 jeweils die Vorgangsdauer von Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile) zur Ermittlung der Taktzeit maßgebend (vgl. Eq. (G.12) u. Eq. (G.13), Kap. G.1).

[971] Im Gegensatz zu Bauobjekt 3 (vgl. Kap. L.4.5.3) bestehen bei Bauobjekt 4 bei der jeweiligen Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss keine Unterschiede bei den Ermittlungen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeiten (vgl. Tab. 43).

gungsabschnitte pro Geschoss = 5) sind jeweils 36 AT in Ansatz gebracht. Die Taktzeit im Erd- und in den Regelgeschossen beträgt jeweils 7 AT.

Tab. 122: Netzplanberechnungen bei Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit – Bauobjekt 4[972]

Geschoss	Soll-0-Bauzeit							Soll-1-Bauzeit						
	1. FA		2. FA		...	5. FA		1. FA		2. FA		...	5. FA	
	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	...	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	FAZ	FEZ	...	FAZ	FEZ
EG	0	36	7	43	...	28	64	0	46	9	55	...	36	82
1. RG	36	72	43	79	...	64	100	46	92	55	101	...	82	128
2. RG	72	108	79	115	...	100	136	92	138	101	147	...	128	174
3. RG	108	144	115	151	...	136	172	138	184	147	193	...	174	220
4. RG	144	180	151	187	...	172	208	184	230	193	239	...	220	266
5. RG	180	216	187	223	...	208	244	230	276	239	285	...	266	312

Für die Soll-1-Bauzeit resultiert aus Tab. 122, dass die Fertigstellung des Erdgeschosses nach 82 AT (ca. 16 Wochen) erfolgt. Die Arbeiten an den darauffolgenden Regelgeschossen beginnen jeweils 46 AT nach dem Beginn am vorangegangenen Geschoss und nehmen ebenfalls 82 AT pro Geschoss in Anspruch. Die Ausführungszeit des obersten Regelgeschosses (5. Regelgeschoss) reicht vom 230. AT bis zum 312. AT (Fertigstellung ohne Ausschalen horizontaler Bauteile). Für die einzelnen Fertigungsabschnitte (Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss = 5) sind jeweils 46 AT in Ansatz gebracht. Die Taktzeit im Erd- und in den Regelgeschossen beträgt jeweils 9 AT.

Die Abweichungen zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit sind nicht alleine auf die angepassten Gebäudeparameter und die daraus resultierenden Abweichungen der Fertigungsmengen und Gesamtaufwände bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit (Soll-1-Gesamtaufwand = 10.473 Ah) im Vergleich zur Soll-0-Bauzeit (Soll-0-Gesamtaufwand = 9.357 Ah) zurückzuführen. Im Gegensatz zu Bauobjekt 1 bis 3 lassen sich bei der Ermittlung der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit keine Unterschiede zwischen der Anzahl der Fertigungsabschnitte pro Geschoss und dem Erwartungswert der maximalen Anzahl an AK pro Fertigungsabschnitt ausmachen (vgl. Abb. 168 u. Tab. 43). Die Differenz zwischen der Soll-0- und Soll-1-Bauzeit ist vielmehr in den unterschiedlichen Taktzeiten begründet, die wiederum aus Takt 5 (Bewehrung horizontale Bauteile) resultieren, für den jeweils die maßgebende Vorgangsdauer bei der Bestimmung der Taktzeit vorliegt (vgl. Tab. 118).

Bezogen auf die Gebäudegrundfläche des Referenzgebäudes von jeweils ca. 1.911 m² und die erwartete Krananzahl ($n_{Kr,erw} = 3$), ist die ermittelte erwartete Soll-0-Bauzeit von 244 AT, ebenso wie die Soll-1-Bauzeit von 312 AT, generell plausibel. Auch die dabei zugrundelie-

[972] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

genden Ausführungsdauern pro Geschoss von 64 AT bzw. ca. 13 Wochen (Soll-0-Bauzeit) und 82 AT bzw. ca. 16 Wochen (Soll-1-Bauzeit) sind baupraktisch umsetzbar.

Die zugrunde liegende Taktzeit bei der Ermittlung der Soll-0-Bauzeit von 7 AT zum Einschalen vertikaler Bauteile von Takt 1 (ca. 201 m² Schalung)[973] mit 2 AK und zum Einschalen horizontaler Bauteile, zur Herstellung der Randschalung und zum Ausschalen vertikaler Bauteile von Takt 4 (ca. 367 m² Schalung (horizontale Bauteile), 86 m Randschalung und 201 m² Schalung (vertikale Bauteile)[974] mit 12 AK ist ausreichend dimensioniert.

Gleiches gilt für die Durchführung der Bewehrungsarbeiten vertikaler Bauteile von Takt 2 (ca. 1,6 t)[975] mit 4 AK und horizontaler Bauteile von Takt 5 (ca. 6,9 t)[976] mit 15 AK.

Ebenso sind die vorgesehenen Betonagen der vertikalen Bauteile (Takt 3) von ca. 22 m³ Beton pro Takt[977] und der horizontalen Bauteile (Takt 6) von ca. 92 m³ Beton pro Takt[978] mit jeweils 3 AK wie vorgesehen innerhalb eines AT umsetzbar (vgl. Kap. D.3).

Gleiches ergibt sich auch für die Analyse der zugrunde gelegten Taktzeit und den zugehörigen Fertigungsmengen bei der Ermittlung der Soll-1-Bauzeit (= Soll-2-Bauzeit).

[973] Insgesamt ca. 1.006 m² Schalung pro Geschoss bei fünf Fertigungsabschnitten.

[974] Insgesamt 1.837 m² Schalung (horizontale Bauteile), 431 m Randschalung und 1.006 m² Schalung (vertikale Bauteile) pro Geschoss bei fünf Fertigungsabschnitten.

[975] Insgesamt ca. 8,0 t pro Geschoss bei fünf Fertigungsabschnitten.

[976] Insgesamt ca. 34,4 t pro Geschoss bei fünf Fertigungsabschnitten.

[977] Insgesamt ca. 112 m³ Beton pro Geschoss bei fünf Fertigungsabschnitten.

[978] Insgesamt ca.459 m³ Beton pro Geschoss bei fünf Fertigungsabschnitten.

L.4.6 Stufe 6: Bandbreitenanalyse

L.4.6.1 Bauobjekt 1

Tab. 123: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 1, minimale Soll-Werte[979]

	Bauzeit D_{erw} (Bauzeitänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)	**Fertigungsmengen** (Fertigungsmengenänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)						
		Betonvolumen [m³]			Randschalungslänge [m]	Schalungsfläche [m²]		
		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile
Soll-0-Bauzeit (Bezugsbauzeit)	**70 AT**	**1.017**	**566**	**451**	**799**	**6.042**	**2.265**	**3.777**
Geschosshöhe der Regelgeschosse	70 AT (±0%)	997 (-2,0%)	568 (+0,4%)	429 (-4,9%)	793 (-0,8%)	5.868 (-2,9%)	2.273 (+0,4%)	3.595 (-4,8%)
Geschosshöhe des Erdgeschosses	70 AT (±0%)	1.013 (-0,4%)	566 (±0%)	447 (-0,9%)	799 (±0%)	6.008 (-0,6%)	2.265 (±0%)	3.743 (-0,9%)
Gebäudetiefe	70 AT (±0%)	1.025 (+0,8%)	566 (±0%)	459 (+1,8%)	816 (+2,1%)	6.111 (+1,1%)	2.265 (±0%)	3.846 (+1,8%)
Deckenstärke	70 AT (±0%)	702 (-31,0%)	227 (-59,9%)	476 (+5,5%)	799 (±0%)	6.248 (+3,4%)	2.265 (±0%)	3.983 (+5,5%)
Wandstärke der Außenwände	70 AT (±0%)	941 (-7,5%)	566 (±0%)	375 (-16,9%)	799 (±0%)	6.042 (±0%)	2.265 (±0%)	3.777 (±0%)
Wandstärke der Bauelemente	70 AT (±0%)	990 (-2,7%)	566 (±0%)	424 (-6,0%)	804 (+0,6%)	6.048 (+0,1%)	2.263 (-0,1%)	3.785 (+0,2%)
Stützenbreite	70 AT (±0%)	1.015 (-0,2%)	566 (±0%)	448 (-0,7%)	799 (±0%)	6.027 (-0,2%)	2.265 (±0%)	3.762 (-0,4%)
Stützenlänge	70 AT (±0%)	1.015 (-0,2%)	566 (±0%)	448 (-0,7%)	799 (±0%)	6.027 (-0,2%)	2.265 (±0%)	3.762 (-0,4%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudetiefe	70 AT (±0%)	1.023 (+0,6%)	566 (±0%)	457 (+1,3%)	799 (±0%)	6.111 (+1,1%)	2.265 (±0%)	3.846 (+1,8%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudelänge	70 AT (±0%)	1.021 (+0,4%)	566 (±0%)	455 (+0,9%)	799 (±0%)	6.088 (+0,8%)	2.265 (±0%)	3.823 (+1,2%)
Flächenbedarf der Installationsschächte	70 AT (±0%)	1.010 (-0,7%)	570 (+0,7%)	440 (-2,4%)	772 (-3,4%)	5.965 (-1,3%)	2.279 (+0,6%)	3.686 (-2,4%)
Aufzuganzahl	70 AT (±0%)	1.017 (±0%)	566 (±0%)	451 (±0%)	799 (±0%)	6.042 (±0%)	2.265 (±0%)	3.777 (±0%)
Anteil der Fensterflächen	72 AT (+2,9%)	1.087 (+6,9%)	566 (±0%)	521 (+15,5%)	799 (±0%)	6.627 (+9,7%)	2.265 (±0%)	4.362 (+15,5%)
Geschossanzahl*	59 AT (-15,7%)	988 (-2,9%)	574 (+1,4%)	414 (-8,2%)	728 (-8,9%)	5.769 (-4,5%)	2.296 (+1,4%)	3.473 (-8,0%)

** Eine Anpassung der Gebäudegrundfläche ist in der Arbeitshilfe nicht möglich. Da keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen und deshalb auch keine minimalen und maximalen Soll-Werte des Gebäudeparameters „Geschossanzahl" vorliegen, erfolgt an dieser Stelle eine pauschale Reduzierung des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters um den Wert „eins" (Erwartungswert – 1).*

Bauzeitänderung bezogen auf die Bezugsbauzeit größer oder kleiner null.

[979] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Tab. 124: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 1, maximale Soll-Werte[980]

	Bauzeit D_{erw} (Bauzeitänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)	**Fertigungsmengen** (Fertigungsmengenänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)						
		Betonvolumen [m³]			Randschalungslänge [m]	Schalungsfläche [m²]		
		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile
Soll-0-Bauzeit (Bezugsbauzeit)	**70 AT**	**1.017**	**566**	**451**	**799**	**6.042**	**2.265**	**3.777**
Geschosshöhe der Regelgeschosse	72 AT (+2,9%)	1.082 (+6,4%)	565 (-0,2%)	518 (+14,9%)	805 (+0,8%)	6.596 (+9,2%)	2.258 (-0,3%)	4.338 (+14,9%)
Geschosshöhe des Erdgeschosses**	72 AT (+2,9%)	1.030 (+1,3%)	566 (±0%)	464 (+2,9%)	799 (±0%)	6.152 (+1,8%)	2.265 (±0%)	3.887 (+2,9%)
Gebäudetiefe	38 AT (-45,7%)	1.013 (-0,4%)	566 (±0%)	447 (-0,9%)	760 (-4,9%)	6.017 (-0,4%)	2.265 (±0%)	3.751 (-0,7%)
Deckenstärke	70 AT (±0%)	1.122 (+10,3%)	680 (+20,1%)	443 (-1,8%)	799 (±0%)	5.973 (-1,1%)	2.265 (±0%)	3.708 (-1,8%)
Wandstärke der Außenwände	72 AT (+2,9%)	1.146 (+12,7%)	566 (±0%)	580 (+28,6%)	799 (±0%)	6.042 (±0%)	2.265 (±0%)	3.777 (±0%)
Wandstärke der Bauelemente	70 AT (±0%)	1.058 (+4,0%)	567 (+0,2%)	491 (+8,9%)	793 (-0,8%)	6.036 (-0,1%)	2.268 (+0,1%)	3.767 (-0,3%)
Stützenbreite	70 AT (±0%)	1.020 (+0,3%)	566 (±0%)	454 (+0,7%)	799 (±0%)	6.057 (+0,2%)	2.265 (±0%)	3.792 (+0,4%)
Stützenlänge	70 AT (±0%)	1.020 (+0,3%)	566 (±0%)	454 (+0,7%)	799 (±0%)	6.057 (+0,2%)	2.265 (±0%)	3.792 (+0,4%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudetiefe	70 AT (±0%)	1.017 (±0%)	566 (±0%)	451 (±0%)	799 (±0%)	6.042 (±0%)	2.265 (±0%)	3.777 (±0%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudelänge	70 AT (±0%)	1.017 (±0%)	566 (±0%)	451 (±0%)	799 (±0%)	6.042 (±0%)	2.265 (±0%)	3.777 (±0%)
Flächenbedarf der Installationsschächte	70 AT (±0%)	1.025 (+0,8%)	563 (-0,5%)	462 (+2,4%)	826 (+3,4%)	6.119 (+1,3%)	2.251 (-0,6%)	3.868 (+2,4%)
Aufzuganzahl	70 AT (±0%)	1.017 (±0%)	566 (±0%)	451 (±0%)	799 (±0%)	6.042 (±0%)	2.265 (±0%)	3.777 (±0%)
Anteil der Fensterflächen	38 AT (-45,7%)	947 (-6,9%)	566 (±0%)	381 (-15,5%)	799 (±0%)	5.457 (-9,7%)	2.265 (±0%)	3.192 (-15,5%)
Geschossanzahl*	44 AT (-37,1%)	998 (-1,9%)	576 (+1,8%)	422 (-6,4%)	772 (-3,4%)	5.851 (-3,2%)	2.306 (+1,8%)	3.545 (-6,1%)

** Eine Anpassung der Gebäudegrundfläche ist in der Arbeitshilfe nicht möglich. Da keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen und deshalb auch keine minimalen und maximalen Soll-Werte des Gebäudeparameters „Geschossanzahl" vorliegen, erfolgt an dieser Stelle eine pauschale Erhöhung des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters um den Wert „eins" (Erwartungswert + 1).*

*** Da keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen und deshalb auch kein maximaler Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses" vorliegt, wird stattdessen der maximale Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse" in Ansatz gebracht.*

Bauzeitänderung bezogen auf die Bezugsbauzeit größer oder kleiner null.

[980] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Tab. 125: Bauzeiten und zugehörige Wahrscheinlichkeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 1[981]

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]	Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Geschosshöhe der Regelgeschosse	Gebäudetiefe	Anteil der Fensterflächen	Geschossanzahl	übrige Gebäudeparameter			
	Wahrscheinlichkeit							
1	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	**70**	55,7256%	12,9600%
2	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	59	2,9024%	4,3200%
3	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	44	5,8693%	4,3200%
4	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	72	2,9024%	4,3200%
5	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	erw	61	0,1512%	1,4400%
6	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	erw	44	0,3057%	1,4400%
7	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	38	5,8693%	4,3200%
8	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	erw	59	0,3057%	1,4400%
9	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	erw	43	0,6182%	1,4400%
10	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	70	2,9024%	4,3200%
11	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	61	0,1512%	1,4400%
12	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	44	0,3057%	1,4400%
13	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	72	0,1512%	1,4400%
14	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	erw	61	0,0079%	0,4800%
15	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	erw	44	0,0159%	0,4800%
16	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	38	0,3057%	1,4400%

Fortsetzung Tab. 125 auf Folgeseite

[981] Eigene Darstellung. Anm.: Die Eintrittswahrscheinlichkeiten der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-Werte ergeben sich aus Kapitel H.5.5.3.

Fortsetzung Tab. 125

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Geschosshöhe der Regelgeschosse	Gebäudetiefe	Anteil der Fensterflächen	Geschossanzahl	übrige Gebäudeparameter				
	Wahrscheinlichkeit								
17	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	erw	59	0,0159%		0,4800%
18	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	erw	43	0,0322%		0,4800%
19	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	38	5,8693%		4,3200%
20	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	59	0,3057%		1,4400%
21	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	44	0,6182%		1,4400%
22	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	72	0,3057%		1,4400%
23	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	erw	61	0,0159%		0,4800%
24	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	erw	44	0,0322%		0,4800%
25	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	38	0,6182%		1,4400%
26	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	erw	59	0,0322%		0,4800%
27	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	erw	43	0,0651%		0,4800%
28	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	70	2,9024%		4,3200%
29	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	59	0,1512%		1,4400%
30	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	44	0,3057%		1,4400%
31	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	72	0,1512%		1,4400%
32	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	erw	61	0,0079%		0,4800%
33	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	erw	44	0,0159%		0,4800%

Fortsetzung Tab. 125 auf Folgeseite

Fortsetzung Tab. 125

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Geschosshöhe der Regelgeschosse	Gebäudetiefe	Anteil der Fensterflächen	Geschossanzahl	übrige Gebäudeparameter				
	Wahrscheinlichkeit								
34	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	38	0,3057%		1,4400%
35	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	erw	59	0,0159%		0,4800%
36	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	erw	43	0,0322%		0,4800%
37	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	70	0,1512%		1,4400%
38	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	61	0,0079%		0,4800%
39	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	44	0,0159%		0,4800%
40	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	72	0,0079%		0,4800%
41	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	erw	61	0,0004%		0,1600%
42	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	erw	44	0,0008%		0,1600%
43	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	38	0,0159%		0,4800%
44	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	erw	59	0,0008%		0,1600%
45	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	erw	43	0,0017%		0,1600%
46	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	38	0,3057%		1,4400%
47	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	59	0,0159%		0,4800%
48	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	44	0,0322%		0,4800%
49	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	72	0,0159%		0,4800%
50	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	erw	61	0,0008%		0,1600%

Fortsetzung Tab. 125 auf Folgeseite

Fortsetzung Tab. 125

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Geschosshöhe der Regelgeschosse	Gebäudetiefe	Anteil der Fensterflächen	Geschossanzahl	übrige Gebäudeparameter				
	Wahrscheinlichkeit								
51	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	erw	44	0,0017%		0,1600%
52	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	38	0,0322%		0,4800%
53	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	erw	59	0,0017%		0,1600%
54	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	erw	43	0,0034%		0,1600%
55	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	72	5,8693%		4,3200%
56	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	61	0,3057%		1,4400%
57	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	44	0,6182%		1,4400%
58	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	72	0,3057%		1,4400%
59	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	erw	121	0,0159%		0,4800%
60	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	erw	44	0,0322%		0,4800%
61	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	65	0,6182%		1,4400%
62	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	erw	59	0,0322%		0,4800%
63	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	erw	44	0,0651%		0,4800%
64	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	72	0,3057%		1,4400%
65	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	61	0,0159%		0,4800%
66	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	44	0,0322%		0,4800%
67	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	72	0,0159%		0,4800%

Fortsetzung Tab. 125 auf Folgeseite

Fortsetzung Tab. 125

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Geschosshöhe der Regelgeschosse	Gebäudetiefe	Anteil der Fensterflächen	Geschossanzahl	übrige Gebäudeparameter				
	Wahrscheinlichkeit								
68	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	erw	121	0,0008%		0,1600%
69	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	erw	83	0,0017%		0,1600%
70	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	65	0,0322%		0,4800%
71	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	erw	59	0,0017%		0,1600%
72	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	erw	44	0,0034%		0,1600%
73	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	72	0,6182%		1,4400%
74	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	61	0,0322%		0,4800%
75	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	44	0,0651%		0,4800%
76	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	72	0,0322%		0,4800%
77	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	erw	61	0,0017%		0,1600%
78	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	erw	44	0,0034%		0,1600%
79	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	38	0,0651%		0,4800%
80	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	erw	59	0,0034%		0,1600%
81	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	erw	44	0,0069%		0,1600%
						Summe =	**100,000%**		**100,000%**

[A] Angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 4,5 %, erwarteter Soll-Wert = 86,4 % und maximaler Soll-Wert = 9,1 % (vgl. Kap. H.5.5.3).

[B] Exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 20 %, erwarteter Soll-Wert = 60 % und maximaler Soll-Wert = 20 % (vgl. Kap. H.5.5.3).

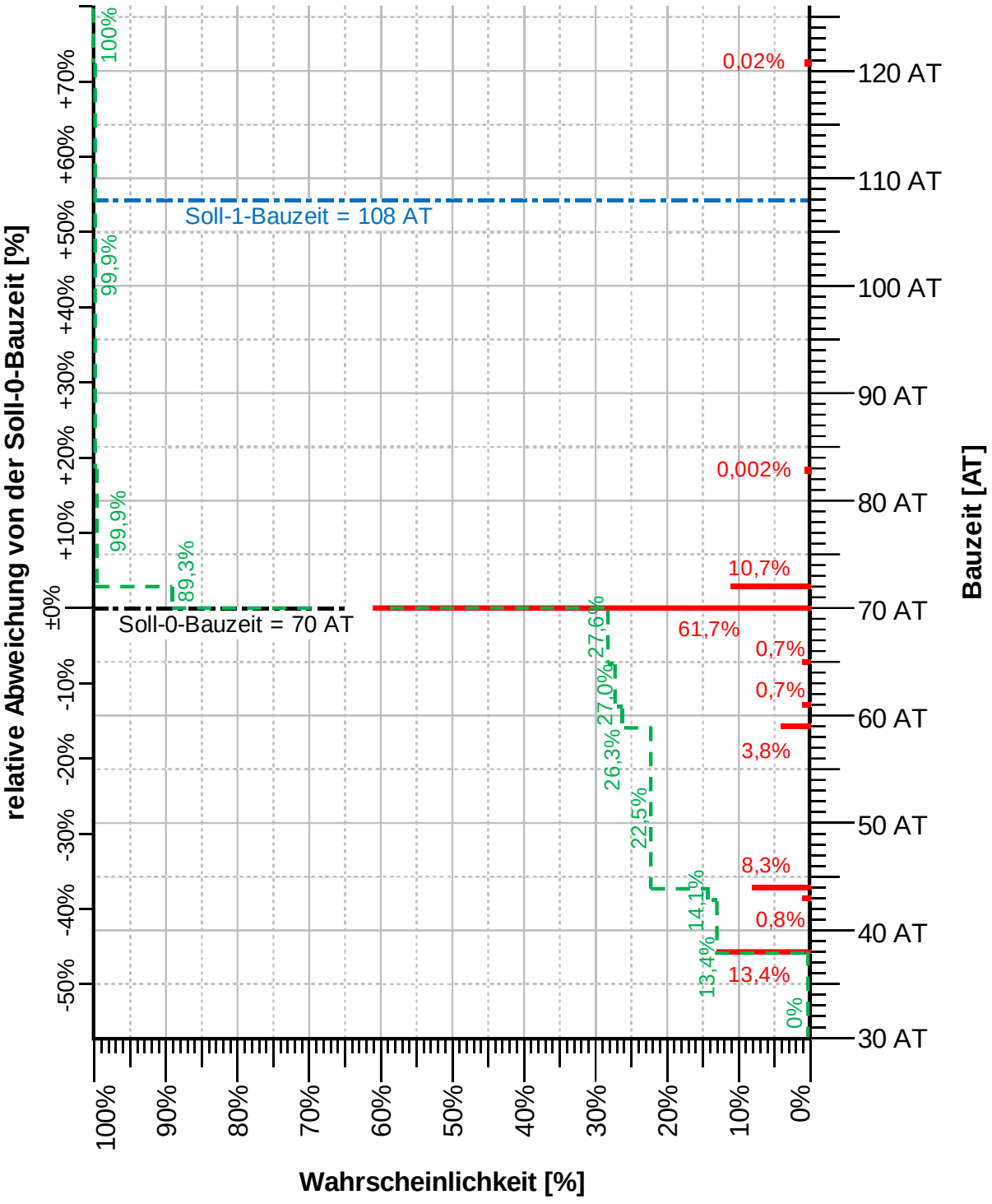


Abb. 169: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (angenommene Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 1[982]

[982] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Tab. 125.

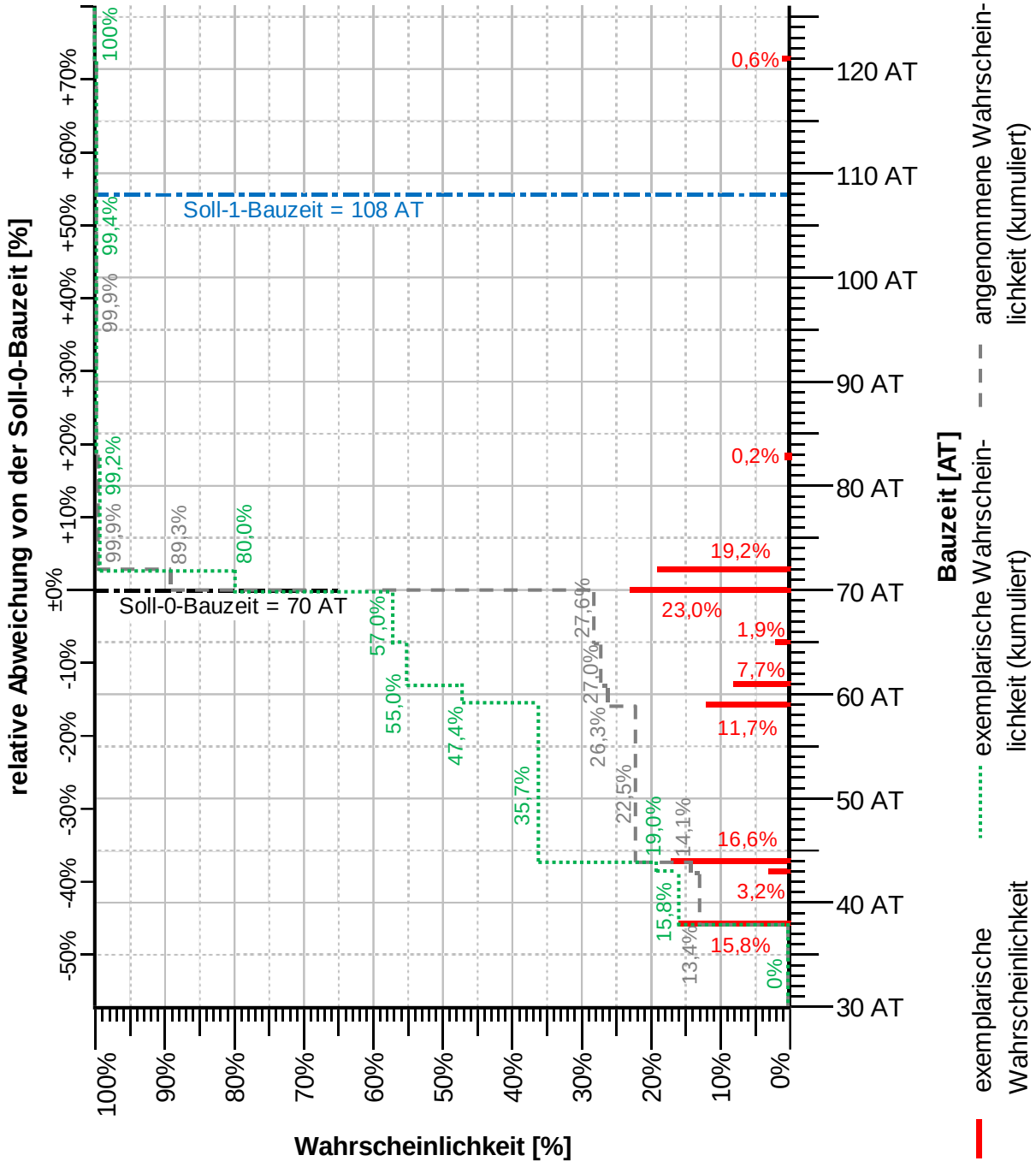


Abb. 170: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 1[983]

[983] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Tab. 125.

L.4.6.2 Bauobjekt 2

Tab. 126: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 2, minimale Soll-Werte[984]

	Bauzeit D_{erw} (Bauzeitänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)	**Fertigungsmengen** (Fertigungsmengenänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)						
		Betonvolumen [m³]			Randschalungslänge [m]	Schalungsfläche [m²]		
		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile
Soll-0-Bauzeit (Bezugsbauzeit)	**81 AT**	**1.268**	**718**	**550**	**984**	**7.486**	**2.873**	**4.613**
Geschosshöhe der Regelgeschosse	81 AT (±0%)	1.243 (-2,0%)	720 (+0,3%)	523 (-4,9%)	976 (-0,8%)	7.268 (-2,9%)	2.882 (+0,3%)	4.386 (-4,9%)
Geschosshöhe des Erdgeschosses	81 AT (±0%)	1.264 (-0,3%)	718 (±0%)	546 (-0,7%)	984 (±0%)	7.450 (-0,5%)	2.873 (±0%)	4.577 (-0,8%)
Gebäudetiefe	81 AT (±0%)	1.276 (+0,6%)	718 (±0%)	558 (+1,5%)	1.006 (+2,2%)	7.551 (+0,9%)	2.873 (±0%)	4.678 (+1,4%)
Deckenstärke	81 AT (±0%)	867 (-31,6%)	287 (-60,0%)	580 (+5,5%)	984 (±0%)	7.738 (+3,4%)	2.873 (±0%)	4.865 (+5,5%)
Wandstärke der Außenwände	81 AT (±0%)	1.174 (-7,4%)	718 (±0%)	456 (-17,1%)	984 (±0%)	7.486 (±0%)	2.873 (±0%)	4.613 (±0%)
Wandstärke der Bauelemente	81 AT (±0%)	1.236 (-2,5%)	718 (±0%)	519 (-5,6%)	990 (+0,6%)	7.493 (+0,1%)	2.870 (-0,1%)	4.623 (+0,2%)
Stützenbreite	81 AT (±0%)	1.264 (-0,3%)	718 (±0%)	546 (-0,7%)	984 (±0%)	7.463 (-0,3%)	2.873 (±0%)	4.590 (-0,5%)
Stützenlänge	81 AT (±0%)	1.264 (-0,3%)	718 (±0%)	546 (-0,7%)	984 (±0%)	7.463 (-0,3%)	2.873 (±0%)	4.590 (-0,5%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudetiefe	81 AT (±0%)	1.278 (+0,8%)	718 (±0%)	559 (+1,6%)	984 (±0%)	7.594 (+1,4%)	2.873 (±0%)	4.721 (+2,3%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudelänge	81 AT (±0%)	1.273 (+0,4%)	718 (±0%)	555 (+0,9%)	984 (±0%)	7.540 (+0,7%)	2.873 (±0%)	4.667 (+1,2%)
Flächenbedarf der Installationsschächte	81 AT (±0%)	1.259 (-0,7%)	723 (+0,7%)	536 (-2,5%)	948 (-3,7%)	7.389 (-1,3%)	2.891 (+0,6%)	4.498 (-2,5%)
Aufzuganzahl	81 AT (±0%)	1.268 (±0%)	718 (±0%)	550 (±0%)	984 (±0%)	7.486 (±0%)	2.873 (±0%)	4.613 (±0%)
Anteil der Fensterflächen	83 AT (+2,5%)	1.355 (+6,9%)	718 (±0%)	637 (+15,8%)	984 (±0%)	8.209 (+9,7%)	2.873 (±0%)	5.336 (+15,7%)
Geschossanzahl*	72 AT (-11,1%)	1.239 (-2,3%)	726 (+1,1%)	513 (-6,7%)	913 (-7,2%)	7.212 (-3,7%)	2.904 (+1,1%)	4.309 (-6,6%)

** Eine Anpassung der Gebäudegrundfläche ist in der Arbeitshilfe nicht möglich. Da keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen und deshalb auch keine minimalen und maximalen Soll-Werte des Gebäudeparameters „Geschossanzahl" vorliegen, erfolgt an dieser Stelle eine pauschale Reduzierung des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters um den Wert „eins" (Erwartungswert – 1).*

Bauzeitänderung bezogen auf die Bezugsbauzeit größer oder kleiner null.

[984] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Tab. 127: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 2, maximale Soll-Werte[985]

	Bauzeit D_{erw} (Bauzeitänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)	**Fertigungsmengen** (Fertigungsmengenänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)						
		Betonvolumen [m³]			Randschalungslänge [m]	Schalungsfläche [m²]		
		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile
Soll-0-Bauzeit (Bezugsbauzeit)	**81 AT**	**1.268**	**718**	**550**	**984**	**7.486**	**2.873**	**4.613**
Geschosshöhe der Regelgeschosse	83 AT (+2,5%)	1.350 (+6,5%)	716 (-0,3%)	634 (+15,3%)	991 (+0,7%)	8.181 (+9,3%)	2.865 (-0,3%)	5.316 (+15,2%)
Geschosshöhe des Erdgeschosses**	83 AT (+2,5%)	1.282 (+1,1%)	718 (±0%)	564 (+2,5%)	984 (±0%)	7.601 (+1,5%)	2.873 (±0%)	4.728 (+2,5%)
Gebäudetiefe	81 AT (±0%)	1.262 (-0,5%)	718 (±0%)	544 (-1,1%)	930 (-5,5%)	7.447 (-0,5%)	2.873 (±0%)	4.574 (-0,8%)
Deckenstärke	81 AT (±0%)	1.402 (+10,6%)	862 (+20,1%)	540 (-1,8%)	984 (±0%)	7.402 (-1,1%)	2.873 (±0%)	4.529 (-1,8%)
Wandstärke der Außenwände	83 AT (+2,5%)	1.427 (+12,5%)	718 (±0%)	709 (+28,9%)	984 (±0%)	7.486 (±0%)	2.873 (±0%)	4.613 (±0%)
Wandstärke der Bauelemente	83 AT (+2,5%)	1.316 (+3,8%)	719 (+0,1%)	597 (+8,5%)	975 (-0,9%)	7.478 (-0,1%)	2.877 (+0,1%)	4.600 (-0,3%)
Stützenbreite	81 AT (±0%)	1.272 (+0,3%)	718 (±0%)	554 (+0,7%)	984 (±0%)	7.509 (+0,3%)	2.873 (±0%)	4.636 (+0,5%)
Stützenlänge	81 AT (±0%)	1.272 (+0,3%)	718 (±0%)	554 (+0,7%)	984 (±0%)	7.509 (+0,3%)	2.873 (±0%)	4.636 (+0,5%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudetiefe	81 AT (±0%)	1.268 (±0%)	718 (±0%)	550 (±0%)	984 (±0%)	7.486 (±0%)	2.873 (±0%)	4.613 (±0%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudelänge	81 AT (±0%)	1.268 (±0%)	718 (±0%)	550 (±0%)	984 (±0%)	7.486 (±0%)	2.873 (±0%)	4.613 (±0%)
Flächenbedarf der Installationsschächte	81 AT (±0%)	1.278 (+0,8%)	714 (-0,6%)	564 (+2,5%)	1.019 (+3,6%)	7.583 (+1,3%)	2.855 (-0,6%)	4.728 (+2,5%)
Aufzuganzahl	81 AT (±0%)	1.268 (±0%)	718 (±0%)	550 (±0%)	984 (±0%)	7.486 (±0%)	2.873 (±0%)	4.613 (±0%)
Anteil der Fensterflächen	81 AT (±0%)	1.182 (-6,8%)	718 (±0%)	463 (-15,8%)	984 (±0%)	6.763 (-9,7%)	2.873 (±0%)	3.890 (-15,7%)
Geschossanzahl*	50 AT (-38,3%)	1.297 (+2,3%)	711 (-1,0%)	586 (+6,5%)	1.054 (+7,1%)	7.752 (+3,6%)	2.842 (-1,1%)	4.910 (+6,4%)

** Eine Anpassung der Gebäudegrundfläche ist in der Arbeitshilfe nicht möglich. Da keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen und deshalb auch keine minimalen und maximalen Soll-Werte des Gebäudeparameters „Geschossanzahl" vorliegen, erfolgt an dieser Stelle eine pauschale Erhöhung des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters um den Wert „eins" (Erwartungswert + 1).*

*** Da keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen und deshalb auch kein maximaler Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses" vorliegt, wird stattdessen der maximale Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse" in Ansatz gebracht.*

Bauzeitänderung bezogen auf die Bezugsbauzeit größer oder kleiner null.

[985] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Tab. 128: Bauzeiten und zugehörige Wahrscheinlichkeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 2[986]

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Geschosshöhe der Regelgeschosse	Wandstärke der Außenwände	Anteil der Fensterflächen	Geschossanzahl	übrige Gebäudeparameter				
	Wahrscheinlichkeit								
1	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	**81**	55,7256%		12,9600%
2	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	72	2,9024%		4,3200%
3	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	50	5,8693%		4,3200%
4	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	83	2,9024%		4,3200%
5	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	erw	105	0,1512%		1,4400%
6	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	erw	94	0,3057%		1,4400%
7	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	81	5,8693%		4,3200%
8	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	erw	70	0,3057%		1,4400%
9	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	erw	50	0,6182%		1,4400%
10	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	81	2,9024%		4,3200%
11	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	70	0,1512%		1,4400%
12	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	50	0,3057%		1,4400%
13	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	81	0,1512%		1,4400%
14	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	erw	70	0,0079%		0,4800%
15	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	erw	92	0,0159%		0,4800%
16	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	43	0,3057%		1,4400%

Fortsetzung Tab. 128 auf Folgeseite

[986] Eigene Darstellung. Anm.: Die Eintrittswahrscheinlichkeiten der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-Werte ergeben sich aus Kapitel H.5.5.3.

Fortsetzung Tab. 128

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Geschosshöhe der Regelgeschosse	Wandstärke der Außenwände	Anteil der Fensterflächen	Geschossanzahl	übrige Gebäudeparameter				
	Wahrscheinlichkeit								
17	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	erw	70	0,0159%		0,4800%
18	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	erw	49	0,0322%		0,4800%
19	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	83	5,8693%		4,3200%
20	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	72	0,3057%		1,4400%
21	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	94	0,6182%		1,4400%
22	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	124	0,3057%		1,4400%
23	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	erw	142	0,0159%		0,4800%
24	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	erw	94	0,0322%		0,4800%
25	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	81	0,6182%		1,4400%
26	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	erw	72	0,0322%		0,4800%
27	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	erw	50	0,0651%		0,4800%
28	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	81	2,9024%		4,3200%
29	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	72	0,1512%		1,4400%
30	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	50	0,3057%		1,4400%
31	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	83	0,1512%		1,4400%
32	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	erw	80	0,0079%		0,4800%
33	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	erw	57	0,0159%		0,4800%

Fortsetzung Tab. 128 auf Folgeseite

Fortsetzung Tab. 128

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Geschosshöhe der Regelgeschosse	Wandstärke der Außenwände	Anteil der Fensterflächen	Geschossanzahl	übrige Gebäudeparameter				
	Wahrscheinlichkeit								
34	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	81	0,3057%		1,4400%
35	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	erw	70	0,0159%		0,4800%
36	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	erw	50	0,0322%		0,4800%
37	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	81	0,1512%		1,4400%
38	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	70	0,0079%		0,4800%
39	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	50	0,0159%		0,4800%
40	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	81	0,0079%		0,4800%
41	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	erw	70	0,0004%		0,1600%
42	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	erw	57	0,0008%		0,1600%
43	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	43	0,0159%		0,4800%
44	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	erw	70	0,0008%		0,1600%
45	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	erw	49	0,0017%		0,1600%
46	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	83	0,3057%		1,4400%
47	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	72	0,0159%		0,4800%
48	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	94	0,0322%		0,4800%
49	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	124	0,0159%		0,4800%
50	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	erw	142	0,0008%		0,1600%

Fortsetzung Tab. 128 auf Folgeseite

Fortsetzung Tab. 128

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Geschosshöhe der Regelgeschosse	Wandstärke der Außenwände	Anteil der Fensterflächen	Geschossanzahl	übrige Gebäudeparameter				
	Wahrscheinlichkeit								
51	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	erw	94	0,0017%		0,1600%
52	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	81	0,0322%		0,4800%
53	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	erw	72	0,0017%		0,1600%
54	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	erw	50	0,0034%		0,1600%
55	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	83	5,8693%		4,3200%
56	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	100	0,3057%		1,4400%
57	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	94	0,6182%		1,4400%
58	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	83	0,3057%		1,4400%
59	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	erw	142	0,0159%		0,4800%
60	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	erw	94	0,0322%		0,4800%
61	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	81	0,6182%		1,4400%
62	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	erw	72	0,0322%		0,4800%
63	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	erw	50	0,0651%		0,4800%
64	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	81	0,3057%		1,4400%
65	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	70	0,0159%		0,4800%
66	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	87	0,0322%		0,4800%
67	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	83	0,0159%		0,4800%

Fortsetzung Tab. 128 auf Folgeseite

Fortsetzung Tab. 128

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Geschosshöhe der Regelgeschosse	Wandstärke der Außenwände	Anteil der Fensterflächen	Geschossanzahl	übrige Gebäudeparameter				
	Wahrscheinlichkeit								
68	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	erw	105	0,0008%		0,1600%
69	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	erw	92	0,0017%		0,1600%
70	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	81	0,0322%		0,4800%
71	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	erw	70	0,0017%		0,1600%
72	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	erw	50	0,0034%		0,1600%
73	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	124	0,6182%		1,4400%
74	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	142	0,0322%		0,4800%
75	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	94	0,0651%		0,4800%
76	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	158	0,0322%		0,4800%
77	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	erw	161	0,0017%		0,1600%
78	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	erw	140	0,0034%		0,1600%
79	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	83	0,0651%		0,4800%
80	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	erw	72	0,0034%		0,1600%
81	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	erw	94	0,0069%		0,1600%
					Summe =		**100,000%**		**100,000%**

[A] Angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 4,5 %, erwarteter Soll-Wert = 86,4 % und maximaler Soll-Wert = 9,1 % (vgl. Kap. H.5.5.3).

[B] Exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 20 %, erwarteter Soll-Wert = 60 % und maximaler Soll-Wert = 20 % (vgl. Kap. H.5.5.3).

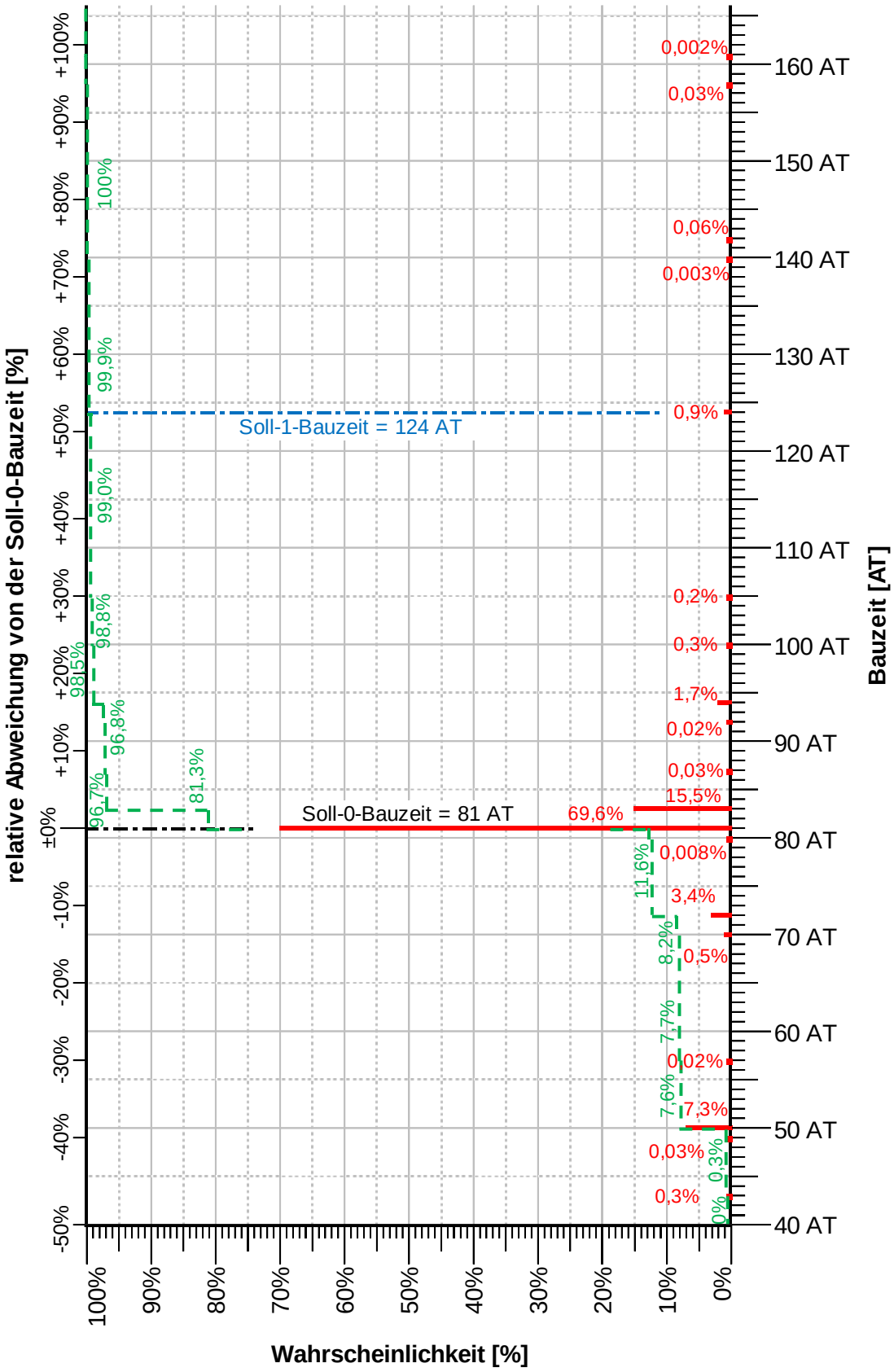


Abb. 171: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (angenommene Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 2[987]

[987] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Tab. 128.

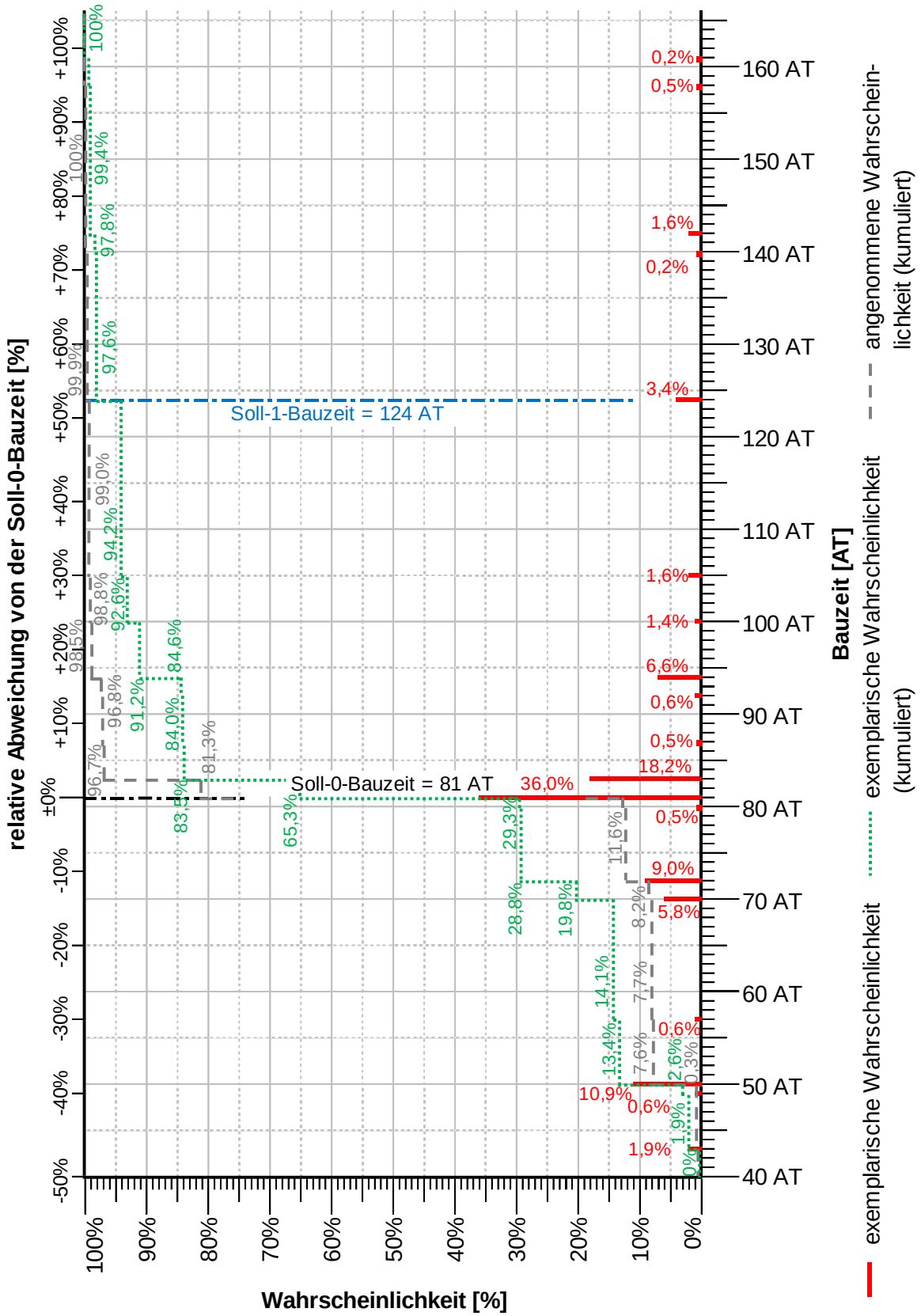


Abb. 172: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 2[988]

[988] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Tab. 128.

L.4.6.3 Bauobjekt 3

Tab. 129: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 3, minimale Soll-Werte[989]

	Bauzeit D_{erw} (Bauzeitänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)	**Fertigungsmengen** (Fertigungsmengenänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)						
		Betonvolumen [m³]			Randschalungslänge [m]	Schalungsfläche [m²]		
		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile
Soll-0-Bauzeit (Bezugsbauzeit)	**176 AT**	**2.762**	**2.177**	**585**	**2.289**	**13.939**	**8.709**	**5.230**
Geschosshöhe der Regelgeschosse	176 AT (±0%)	2.734 (-1,0%)	2.177 (±0%)	556 (-5,0%)	2.290 (±0%)	13.687 (-1,8%)	8.708 (±0%)	4.978 (-4,8%)
Geschosshöhe des Erdgeschosses	176 AT (±0%)	2.758 (-0,1%)	2.177 (±0%)	581 (-0,7%)	2.289 (±0%)	13.903 (-0,3%)	8.709 (±0%)	5.194 (-0,7%)
Gebäudetiefe	92 AT (-47,7%)	2.755 (-0,3%)	2.177 (±0%)	577 (-1,4%)	2.380 (+4,0%)	13.907 (-0,2%)	8.709 (±0%)	5.198 (-0,6%)
Deckenstärke	134 AT (-23,9%)	1.482 (-46,3%)	871 (-60,0%)	611 (+4,4%)	2.289 (±0%)	14.178 (+1,7%)	8.709 (±0%)	5.469 (+4,6%)
Wandstärke der Außenwände	-	-	-	-	-	-	-	-
Wandstärke der Bauelemente	176 AT (±0%)	2.686 (-2,8%)	2.175 (-0,1%)	511 (-12,6%)	2.305 (+0,7%)	13.977 (+0,3%)	8.701 (-0,1%)	5.276 (+0,9%)
Stützenbreite	176 AT (±0%)	2.712 (-1,8%)	2.177 (±0%)	535 (-8,5%)	2.289 (±0%)	13.655 (-2,0%)	8.709 (±0%)	4.946 (-5,4%)
Stützenlänge	176 AT (±0%)	2.712 (-1,8%)	2.177 (±0%)	535 (-8,5%)	2.289 (±0%)	13.655 (-2,0%)	8.709 (±0%)	4.946 (-5,4%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudetiefe	176 AT (±0%)	2.800 (+1,4%)	2.177 (±0%)	623 (+6,5%)	2.289 (±0%)	14.380 (+3,2%)	8.709 (±0%)	5.670 (+8,4%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudelänge	176 AT (±0%)	2.820 (+2,1%)	2.177 (±0%)	642 (+9,7%)	2.289 (±0%)	14.600 (+4,7%)	8.709 (±0%)	5.891 (+12,6%)
Flächenbedarf der Installationsschächte	176 AT (±0%)	2.727 (-1,3%)	2.191 (+0,6%)	536 (-8,4%)	2.181 (-4,7%)	13.587 (-2,5%)	8.764 (+0,6%)	4.823 (-7,8%)
Aufzuganzahl	176 AT (±0%)	2.762 (±0%)	2.177 (±0%)	585 (±0%)	2.289 (±0%)	13.939 (±0%)	8.709 (±0%)	5.230 (±0%)
Anteil der Fensterflächen	-	-	-	-	-	-	-	-
Geschossanzahl*	118 AT (-33,0%)	2.731 (-1,1%)	2.190 (+0,6%)	541 (-7,5%)	2.194 (-4,2%)	13.632 (-2,2%)	8.762 (+0,6%)	4.870 (-6,9%)

** Eine Anpassung der Gebäudegrundfläche ist in der Arbeitshilfe nicht möglich. Da keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen und deshalb auch keine minimalen und maximalen Soll-Werte des Gebäudeparameters „Geschossanzahl" vorliegen, erfolgt an dieser Stelle eine pauschale Reduzierung des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters um den Wert „eins" (Erwartungswert – 1).*

Bauzeitänderung bezogen auf die Bezugsbauzeit größer oder kleiner null.

[989] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Tab. 130: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 3, maximale Soll-Werte[990]

	Bauzeit D_{erw} (Bauzeitänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)	**Fertigungsmengen** (Fertigungsmengenänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)						
		Betonvolumen [m³]			Randschalungslänge [m]	Schalungsfläche [m²]		
		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile
Soll-0-Bauzeit (Bezugsbauzeit)	**176 AT**	**2.762**	**2.177**	**585**	**2.289**	**13.939**	**8.709**	**5.230**
Geschosshöhe der Regelgeschosse	176 AT (±0%)	2.826 (+2,3%)	2.170 (-0,3%)	656 (+12,1%)	2.315 (+1,1%)	14.550 (+4,4%)	8.679 (-0,3%)	5.871 (+12,3%)
Geschosshöhe des Erdgeschosses**	176 AT (±0%)	2.772 (+0,4%)	2.177 (±0%)	595 (+1,7%)	2.289 (±0%)	14.031 (+0,7%)	8.709 (±0%)	5.321 (+1,7%)
Gebäudetiefe	176 AT (±0%)	2.811 (+1,8%)	2.199 (+1,0%)	612 (+4,6%)	1.918 (-16,2%)	14.258 (+2,3%)	8.797 (+1,0%)	5.461 (+4,4%)
Deckenstärke	218 AT (+23,9%)	3.188 (+15,4%)	2.613 (+20,0%)	576 (-1,5%)	2.289 (±0%)	13.859 (-0,6%)	8.709 (±0%)	5.150 (-1,5%)
Wandstärke der Außenwände	-	-	-	-	-	-	-	-
Wandstärke der Bauelemente	223 AT (+26,7%)	2.873 (+4,0%)	2.180 (+0,1%)	693 (+18,5%)	2.268 (-0,9%)	13.889 (-0,4%)	8.720 (+0,1%)	5.169 (-1,2%)
Stützenbreite	176 AT (±0%)	2.811 (+1,8%)	2.177 (±0%)	634 (+8,4%)	2.289 (±0%)	14.222 (+2,0%)	8.709 (±0%)	5.513 (+5,4%)
Stützenlänge	176 AT (±0%)	2.811 (+1,8%)	2.177 (±0%)	634 (+8,4%)	2.289 (±0%)	14.222 (+2,0%)	8.709 (±0%)	5.513 (+5,4%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudetiefe	176 AT (±0%)	2.762 (±0%)	2.177 (±0%)	585 (±0%)	2.289 (±0%)	13.939 (±0%)	8.709 (±0%)	5.230 (±0%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudelänge	176 AT (±0%)	2.762 (±0%)	2.177 (±0%)	585 (±0%)	2.289 (±0%)	13.939 (±0%)	8.709 (±0%)	5.230 (±0%)
Flächenbedarf der Installationsschächte	176 AT (±0%)	2.797 (+1,3%)	2.164 (-0,6%)	633 (+8,2%)	2.398 (+4,8%)	14.291 (+2,5%)	8.655 (-0,6%)	5.636 (+7,8%)
Aufzuganzahl	176 AT (±0%)	2.762 (±0%)	2.177 (±0%)	585 (±0%)	2.289 (±0%)	13.939 (±0%)	8.709 (±0%)	5.230 (±0%)
Anteil der Fensterflächen	-	-	-	-	-	-	-	-
Geschossanzahl*	197 AT (+11,9%)	2.776 (+0,5%)	2.189 (+0,6%)	587 (+0,3%)	2.250 (-1,7%)	14.018 (+0,6%)	8.757 (+0,6%)	5.261 (+0,6%)

** Eine Anpassung der Gebäudegrundfläche ist in der Arbeitshilfe nicht möglich. Da keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen und deshalb auch keine minimalen und maximalen Soll-Werte des Gebäudeparameters „Geschossanzahl" vorliegen, erfolgt an dieser Stelle eine pauschale Erhöhung des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters um den Wert „eins" (Erwartungswert + 1).*

*** Da keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen und deshalb auch kein maximaler Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses" vorliegt, wird stattdessen der maximale Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse" in Ansatz gebracht.*

Bauzeitänderung bezogen auf die Bezugsbauzeit größer oder kleiner null.

[990] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Tab. 131: Bauzeiten und zugehörige Wahrscheinlichkeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 3[991]

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]	Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Gebäudetiefe	Deckenstärke	Wandstärke der Bauelemente	Geschossanzahl	übrige Gebäude-parameter			
	Wahrscheinlichkeit							
1	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	**176**	55,7256%	12,9600%
2	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	118	2,9024%	4,3200%
3	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	197	5,8693%	4,3200%
4	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	176	2,9024%	4,3200%
5	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	erw	118	0,1512%	1,4400%
6	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	erw	197	0,3057%	1,4400%
7	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	223	5,8693%	4,3200%
8	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	erw	121	0,3057%	1,4400%
9	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	erw	197	0,6182%	1,4400%
10	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	134	2,9024%	4,3200%
11	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	118	0,1512%	1,4400%
12	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	150	0,3057%	1,4400%
13	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	134	0,1512%	1,4400%
14	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	erw	118	0,0079%	0,4800%
15	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	erw	150	0,0159%	0,4800%
16	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	223	0,3057%	1,4400%

Fortsetzung Tab. 131 auf Folgeseite

[991] Eigene Darstellung. Anm.: Die Eintrittswahrscheinlichkeiten der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-Werte ergeben sich aus Kapitel H.5.5.3.

Fortsetzung Tab. 131

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Gebäudetiefe	Deckenstärke	Wandstärke der Bauelemente	Geschossanzahl	übrige Gebäude-parameter				
	Wahrscheinlichkeit								
17	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	erw	121	0,0159%		0,4800%
18	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	erw	150	0,0322%		0,4800%
19	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	218	5,8693%		4,3200%
20	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	159	0,3057%		1,4400%
21	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	244	0,6182%		1,4400%
22	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	218	0,3057%		1,4400%
23	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	erw	159	0,0159%		0,4800%
24	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	erw	244	0,0322%		0,4800%
25	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	223	0,6182%		1,4400%
26	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	erw	159	0,0322%		0,4800%
27	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	erw	244	0,0651%		0,4800%
28	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	92	2,9024%		4,3200%
29	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	118	0,1512%		1,4400%
30	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	197	0,3057%		1,4400%
31	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	92	0,1512%		1,4400%
32	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	erw	118	0,0079%		0,4800%
33	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	erw	197	0,0159%		0,4800%

Fortsetzung Tab. 131 auf Folgeseite

Fortsetzung Tab. 131

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Gebäudetiefe	Deckenstärke	Wandstärke der Bauelemente	Geschossanzahl	übrige Gebäude-parameter				
	Wahrscheinlichkeit								
34	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	137	0,3057%		1,4400%
35	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	erw	121	0,0159%		0,4800%
36	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	erw	197	0,0322%		0,4800%
37	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	92	0,1512%		1,4400%
38	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	118	0,0079%		0,4800%
39	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	150	0,0159%		0,4800%
40	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	92	0,0079%		0,4800%
41	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	erw	118	0,0004%		0,1600%
42	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	erw	150	0,0008%		0,1600%
43	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	137	0,0159%		0,4800%
44	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	erw	121	0,0008%		0,1600%
45	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	erw	150	0,0017%		0,1600%
46	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	134	0,3057%		1,4400%
47	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	159	0,0159%		0,4800%
48	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	244	0,0322%		0,4800%
49	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	134	0,0159%		0,4800%
50	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	erw	159	0,0008%		0,1600%

Fortsetzung Tab. 131 auf Folgeseite

Fortsetzung Tab. 131

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]		Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Gebäudetiefe	Deckenstärke	Wandstärke der Bauelemente	Geschossanzahl	übrige Gebäude-parameter				
	Wahrscheinlichkeit								
51	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	erw	244	0,0017%		0,1600%
52	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	134	0,0322%		0,4800%
53	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	erw	159	0,0017%		0,1600%
54	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	erw	244	0,0034%		0,1600%
55	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	176	5,8693%		4,3200%
56	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	197	0,3057%		1,4400%
57	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	197	0,6182%		1,4400%
58	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	176	0,3057%		1,4400%
59	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	min 4,5%	erw	192	0,0159%		0,4800%
60	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	max 9,1%	erw	197	0,0322%		0,4800%
61	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	180	0,6182%		1,4400%
62	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	min 4,5%	erw	197	0,0322%		0,4800%
63	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	max 9,1%	erw	201	0,0651%		0,4800%
64	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	134	0,3057%		1,4400%
65	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	197	0,0159%		0,4800%
66	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	150	0,0322%		0,4800%
67	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	134	0,0159%		0,4800%

Fortsetzung Tab. 131 auf Folgeseite

Fortsetzung Tab. 131

	Soll-0-Wert					erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]	Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Gebäudetiefe	Deckenstärke	Wandstärke der Bauelemente	Geschossanzahl	übrige Gebäude-parameter			
	Wahrscheinlichkeit							
68	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	min 4,5%	erw	155	0,0008%	0,1600%
69	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	max 9,1%	erw	150	0,0017%	0,1600%
70	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	180	0,0322%	0,4800%
71	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	min 4,5%	erw	197	0,0017%	0,1600%
72	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	max 9,1%	erw	201	0,0034%	0,1600%
73	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	218	0,6182%	1,4400%
74	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	min 4,5%	erw	235	0,0322%	0,4800%
75	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	max 9,1%	erw	244	0,0651%	0,4800%
76	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	erw 86,4%	erw	218	0,0322%	0,4800%
77	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	min 4,5%	erw	235	0,0017%	0,1600%
78	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	max 9,1%	erw	244	0,0034%	0,1600%
79	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	erw 86,4%	erw	223	0,0651%	0,4800%
80	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	min 4,5%	erw	235	0,0034%	0,1600%
81	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	max 9,1%	erw	249	0,0069%	0,1600%
						Summe =	**100,0000%**	**100,0000%**

[A] *Angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 4,5 %, erwarteter Soll-Wert = 86,4 % und maximaler Soll-Wert = 9,1 % (vgl. Kap. H.5.5.3).*

[B] *Exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 20 %, erwarteter Soll-Wert = 60 % und maximaler Soll-Wert = 20 % (vgl. Kap. H.5.5.3).*

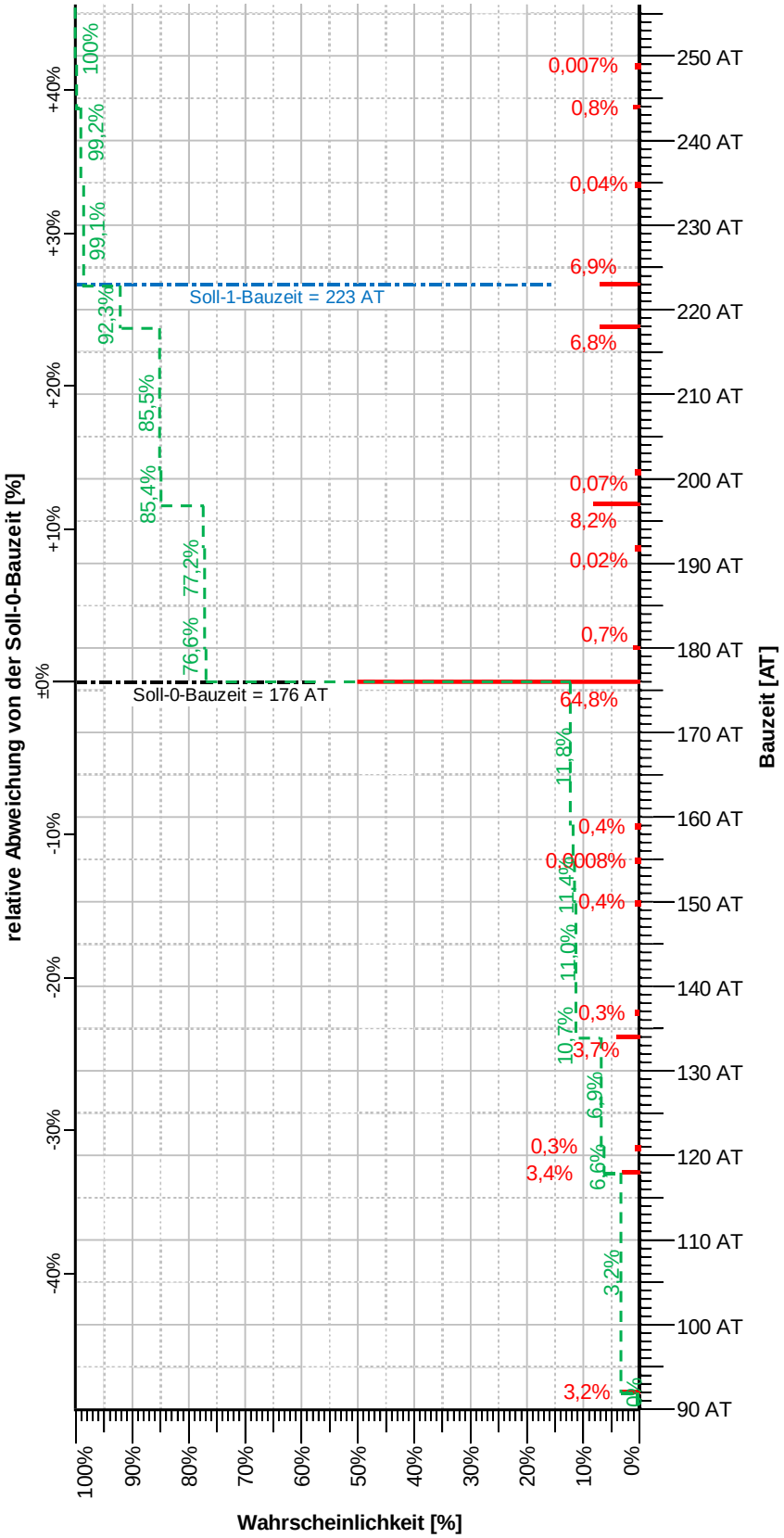


Abb. 173: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (angenommene Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 3[992]

[992] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Tab. 131.

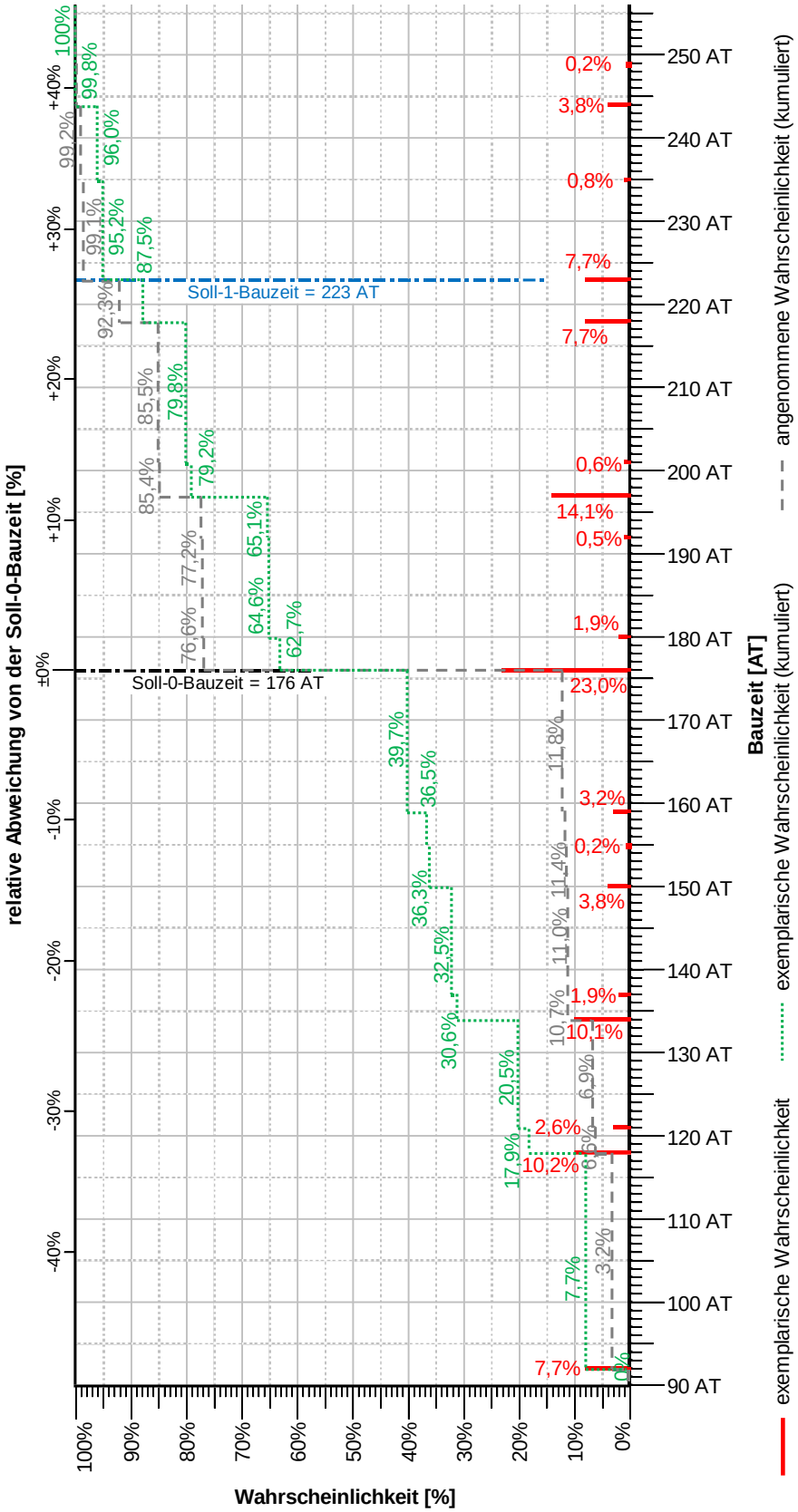


Abb. 174: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 3[993]

[993] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Tab. 131.

L.4.6.4 Bauobjekt 4

Tab. 132: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 4, minimale Soll-Werte[994]

	Bauzeit D_{erw} (Bauzeitänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)	**Fertigungsmengen** (Fertigungsmengenänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)						
		Betonvolumen [m³]			Randschalungslänge [m]	Schalungsfläche [m²]		
		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile
Soll-0-Bauzeit (Bezugsbauzeit)	**244 AT**	**3.429**	**2.755**	**673**	**2.586**	**17.059**	**11.021**	**6.038**
Geschosshöhe der Regelgeschosse	244 AT (±0%)	3.398 (-0,9%)	2.755 (±0%)	643 (-4,5%)	2.586 (±0%)	16.781 (-1,6%)	11.020 (±0%)	5.762 (-4,6%)
Geschosshöhe des Erdgeschosses	244 AT (±0%)	3.423 (-0,2%)	2.755 (±0%)	667 (-0,9%)	2.586 (±0%)	17.003 (-0,3%)	11.021 (±0%)	5.983 (-0,9%)
Gebäudetiefe	244 AT (±0%)	3.422 (-0,2%)	2.755 (±0%)	667 (-0,9%)	2.706 (+4,6%)	17.047 (-0,1%)	11.021 (±0%)	6.026 (-0,2%)
Deckenstärke	210 AT (-13,9%)	1.806 (-47,3%)	1.102 (-60,0%)	704 (+4,6%)	2.586 (±0%)	17.335 (+1,6%)	11.021 (±0%)	6.314 (+4,6%)
Wandstärke der Außenwände	-	-	-	-	-	-	-	-
Wandstärke der Bauelemente	244 AT (±0%)	3.343 (-2,5%)	2.753 (-0,1%)	590 (-12,3%)	2.604 (+0,7%)	17.108 (+0,3%)	11.012 (-0,1%)	6.096 (+1,0%)
Stützenbreite	244 AT (±0%)	3.370 (-1,7%)	2.755 (±0%)	615 (-8,6%)	2.586 (±0%)	16.722 (-2,0%)	11.021 (±0%)	5.701 (-5,6%)
Stützenlänge	244 AT (±0%)	3.370 (-1,7%)	2.755 (±0%)	615 (-8,6%)	2.586 (±0%)	16.722 (-2,0%)	11.021 (±0%)	5.701 (-5,6%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudetiefe	244 AT (±0%)	3.475 (+1,3%)	2.755 (±0%)	719 (+6,8%)	2.586 (±0%)	17.582 (+3,1%)	11.021 (±0%)	6.561 (+8,7%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudelänge	244 AT (±0%)	3.501 (+2,1%)	2.755 (±0%)	746 (+10,8%)	2.586 (±0%)	17.885 (+4,8%)	11.021 (±0%)	6.864 (+13,7%)
Flächenbedarf der Installationsschächte	244 AT (±0%)	3.384 (-1,3%)	2.771 (+0,6%)	613 (-8,9%)	2.456 (-5,0%)	16.615 (-2,6%)	11.085 (+0,6%)	5.530 (-8,4%)
Aufzuganzahl	244 AT (±0%)	3.437 (+0,2%)	2.764 (+0,3%)	673 (±0%)	2.563 (-0,9%)	17.092 (+0,2%)	11.054 (+0,3%)	6.038 (±0%)
Anteil der Fensterflächen	-	-	-	-	-	-	-	-
Geschossanzahl*	266 AT (+9,0%)	3.458 (+0,8%)	2.772 (+0,6%)	686 (+1,9%)	2.468 (-4,6%)	17.218 (+0,9%)	11.089 (+0,6%)	6.129 (+1,5%)

** Eine Anpassung der Gebäudegrundfläche ist in der Arbeitshilfe nicht möglich. Da keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen und deshalb auch keine minimalen und maximalen Soll-Werte des Gebäudeparameters „Geschossanzahl" vorliegen, erfolgt an dieser Stelle eine pauschale Reduzierung des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters um den Wert „eins" (Erwartungswert – 1).*

Bauzeitänderung bezogen auf die Bezugsbauzeit größer oder kleiner null.

[994] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Tab. 133: Bauzeitbeeinflussende Gebäudeparameter – Bauobjekt 4, maximale Soll-Werte[995]

	Bauzeit D_{erw} (Bauzeitänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)	**Fertigungsmengen** (Fertigungsmengenänderung bezogen auf Bezugsbauzeit)						
		Betonvolumen [m³]			Randschalungslänge [m]	Schalungsfläche [m²]		
		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile		vertikale und horizontale Bauteile	horizontale Bauteile	vertikale Bauteile
Soll-0-Bauzeit (Bezugsbauzeit)	**244 AT**	**3.429**	**2.755**	**673**	**2.586**	**17.059**	**11.021**	**6.038**
Geschosshöhe der Regelgeschosse	244 AT (±0%)	3.500 (+2,1%)	2.748 (-0,3%)	752 (+11,7%)	2.610 (+0,9%)	17.735 (+4,0%)	10.992 (-0,3%)	6.743 (+11,7%)
Geschosshöhe des Erdgeschosses**	244 AT (±0%)	3.444 (+0,4%)	2.755 (±0%)	689 (+2,4%)	2.586 (±0%)	17.200 (+0,8%)	11.021 (±0%)	6.179 (+2,3%)
Gebäudetiefe	244 AT (±0%)	3.498 (+2,0%)	2.771 (+0,6%)	727 (+8,0%)	2.155 (-16,7%)	17.559 (+2,9%)	11.083 (+0,6%)	6.476 (+7,3%)
Deckenstärke	312 AT (+27,9%)	3.969 (+15,7%)	3.306 (+20,0%)	663 (-1,5%)	2.586 (±0%)	16.967 (-0,5%)	11.021 (±0%)	5.946 (-1,5%)
Wandstärke der Außenwände	-	-	-	-	-	-	-	-
Wandstärke der Bauelemente	244 AT (±0%)	3.554 (+3,6%)	2.758 (+0,1%)	796 (+18,3%)	2.561 (-1,0%)	16.994 (-0,4%)	11.033 (+0,1%)	5.962 (-1,3%)
Stützenbreite	244 AT (±0%)	3.488 (+1,7%)	2.755 (±0%)	732 (+8,8%)	2.586 (±0%)	17.395 (+2,0%)	11.021 (±0%)	6.374 (+5,6%)
Stützenlänge	244 AT (±0%)	3.488 (+1,7%)	2.755 (±0%)	732 (+8,8%)	2.586 (±0%)	17.395 (+2,0%)	11.021 (±0%)	6.374 (+5,6%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudetiefe	244 AT (±0%)	3.429 (±0%)	2.755 (±0%)	673 (±0%)	2.586 (±0%)	17.059 (±0%)	11.021 (±0%)	6.038 (±0%)
Max. Stützenabstand in Richtung Gebäudelänge	244 AT (±0%)	3.429 (±0%)	2.755 (±0%)	673 (±0%)	2.586 (±0%)	17.059 (±0%)	11.021 (±0%)	6.038 (±0%)
Flächenbedarf der Installationsschächte	244 AT (±0%)	3.474 (+1,3%)	2.739 (-0,6%)	734 (+9,1%)	2.715 (+5,0%)	17.502 (+2,6%)	10.956 (-0,6%)	6.546 (+8,4%)
Aufzuganzahl	244 AT (±0%)	3.429 (±0%)	2.755 (±0%)	673 (±0%)	2.586 (±0%)	17.059 (±0%)	11.021 (±0%)	6.038 (±0%)
Anteil der Fensterflächen	-	-	-	-	-	-	-	-
Geschossanzahl*	159 AT (-34,8%)	3.460 (+0,9%)	2.757 (+0,1%)	703 (+4,5%)	2.600 (+0,5%)	17.306 (+1,4%)	11.029 (+0,1%)	6.277 (+4,0%)

** Eine Anpassung der Gebäudegrundfläche ist in der Arbeitshilfe nicht möglich. Da keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen und deshalb auch keine minimalen und maximalen Soll-Werte des Gebäudeparameters „Geschossanzahl" vorliegen, erfolgt an dieser Stelle eine pauschale Erhöhung des erwarteten Soll-Werts des Gebäudeparameters um den Wert „eins" (Erwartungswert + 1).*

*** Da keine Angaben zum Maß der baulichen Nutzung vorliegen und deshalb auch kein maximaler Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe des Erdgeschosses" vorliegt, wird stattdessen der maximale Soll-Wert des Gebäudeparameters „Geschosshöhe der Regelgeschosse" in Ansatz gebracht.*

Bauzeitänderung bezogen auf die Bezugsbauzeit größer oder kleiner null.

[995] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte wurden auf Grundlage des entwickelten Verfahrens durch die Verwendung der Arbeitshilfe ermittelt.

Tab. 134: Bauzeiten und zugehörige Wahrscheinlichkeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter – Bauobjekt 4[996]

	Soll-0-Wert			erwartete Soll-0-Bauzeit [AT]	Angenommene Wahrscheinlichkeit 4,5% / 86,4% / 9,1%[A]	Exemplarische Wahrscheinlichkeit 20% / 60% / 20%[B]
	Deckenstärke	Geschossanzahl	übrige Gebäude-parameter			
	Wahrscheinlichkeit					
1	erw 86,4%	erw 86,4%	erw	**244**	74,6496%	36,0000%
2	erw 86,4%	min 4,5%	erw	266	3,8880%	12,0000%
3	erw 86,4%	max 9,1%	erw	159	7,8624%	12,0000%
4	min 4,5%	erw 86,4%	erw	210	3,8880%	12,0000%
5	min 4,5%	min 4,5%	erw	307	0,2025%	4,0000%
6	min 4,5%	max 9,1%	erw	159	0,4095%	4,0000%
7	max 9,1%	erw 86,4%	erw	312	7,8624%	12,0000%
8	max 9,1%	min 4,5%	erw	341	0,4095%	4,0000%
9	max 9,1%	max 9,1%	erw	197	0,8281%	4,0000%
			Summe =		**100,0000%**	**100,0000%**

[A] *Angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 4,5 %, erwarteter Soll-Wert = 86,4 % und maximaler Soll-Wert = 9,1 % (vgl. Kap. H.5.5.3).*

[B] *Exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeit minimaler Soll-Wert = 20 %, erwarteter Soll-Wert = 60 % und maximaler Soll-Wert = 20 % (vgl. Kap. H.5.5.3).*

[996] Eigene Darstellung. Anm.: Die Eintrittswahrscheinlichkeiten der minimalen, erwarteten und maximalen Soll-Werte ergeben sich aus Kapitel H.5.5.3.

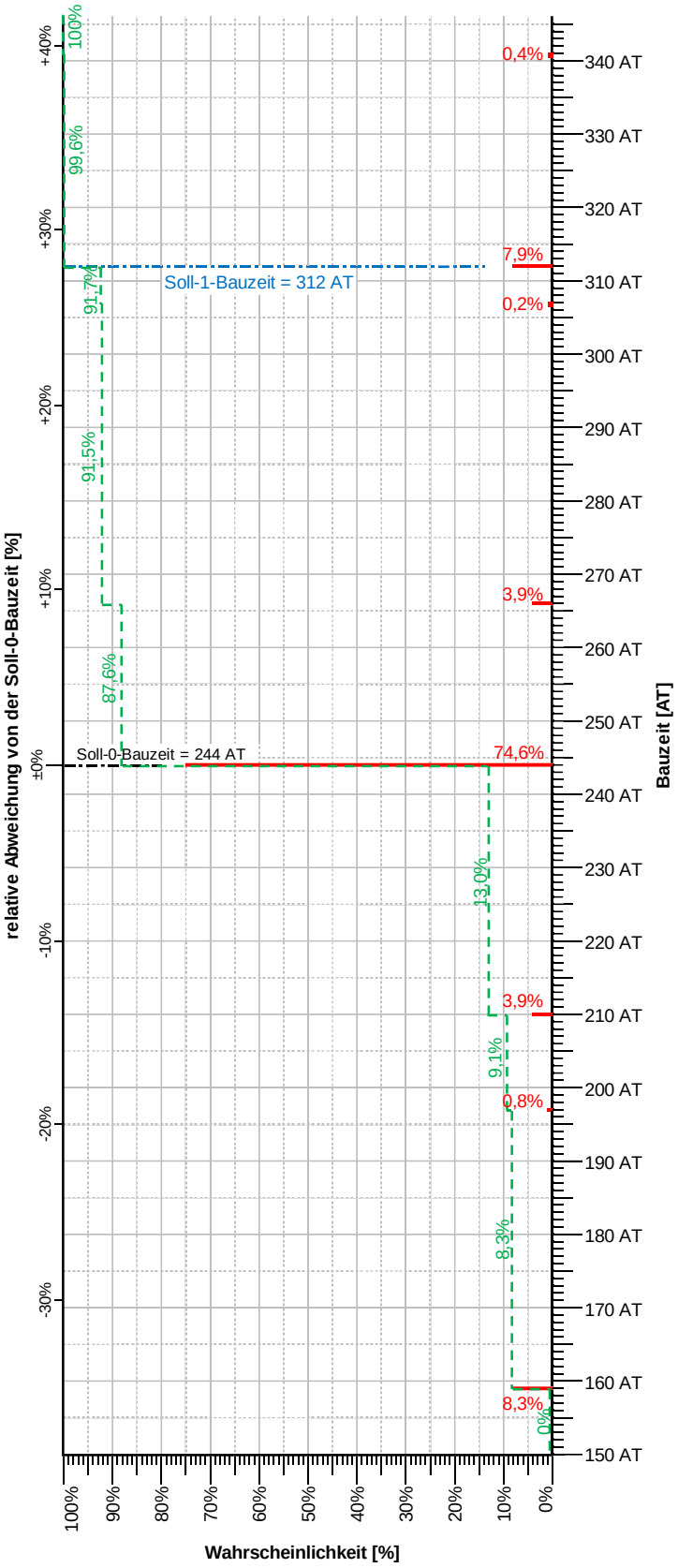


Abb. 175: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (angenommene Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 4[997]

[997] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Tab. 134.

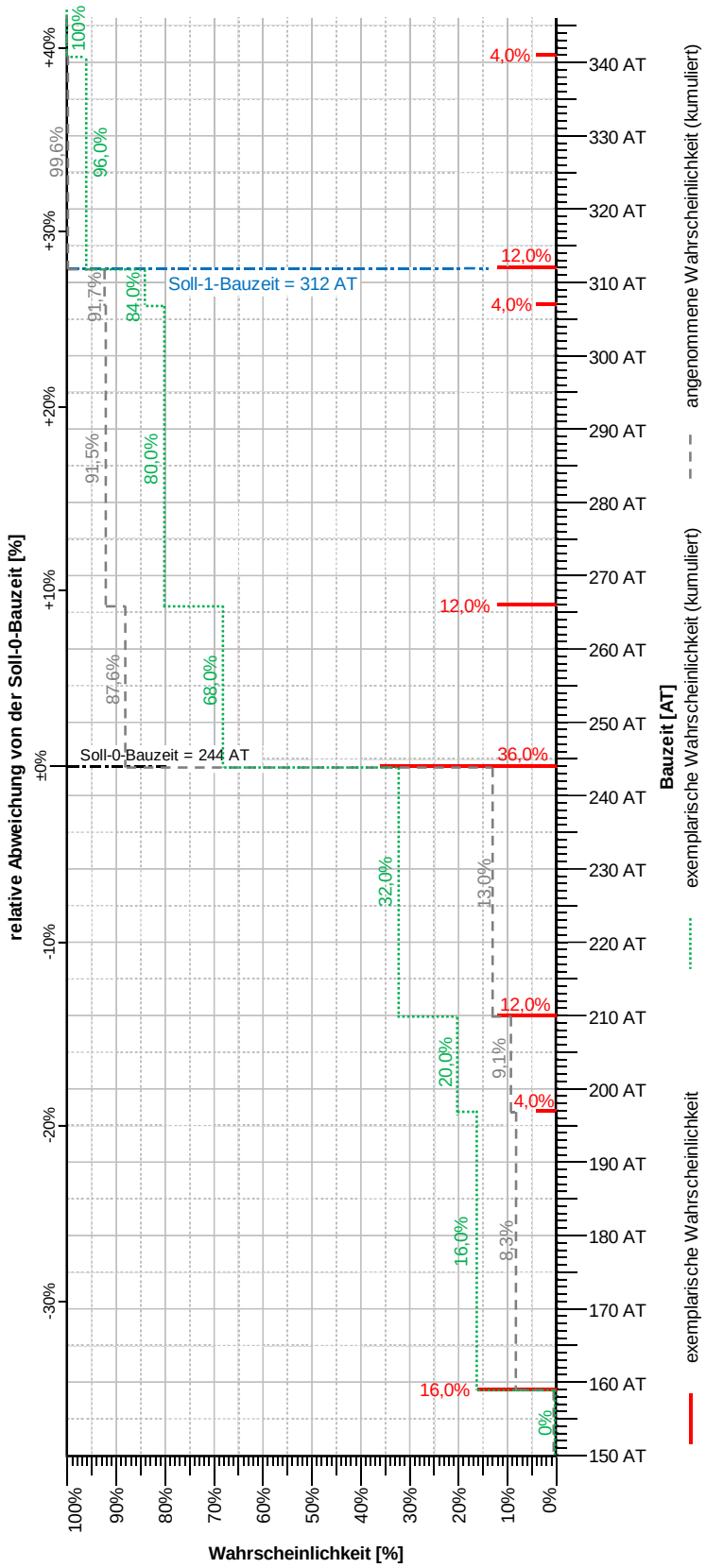
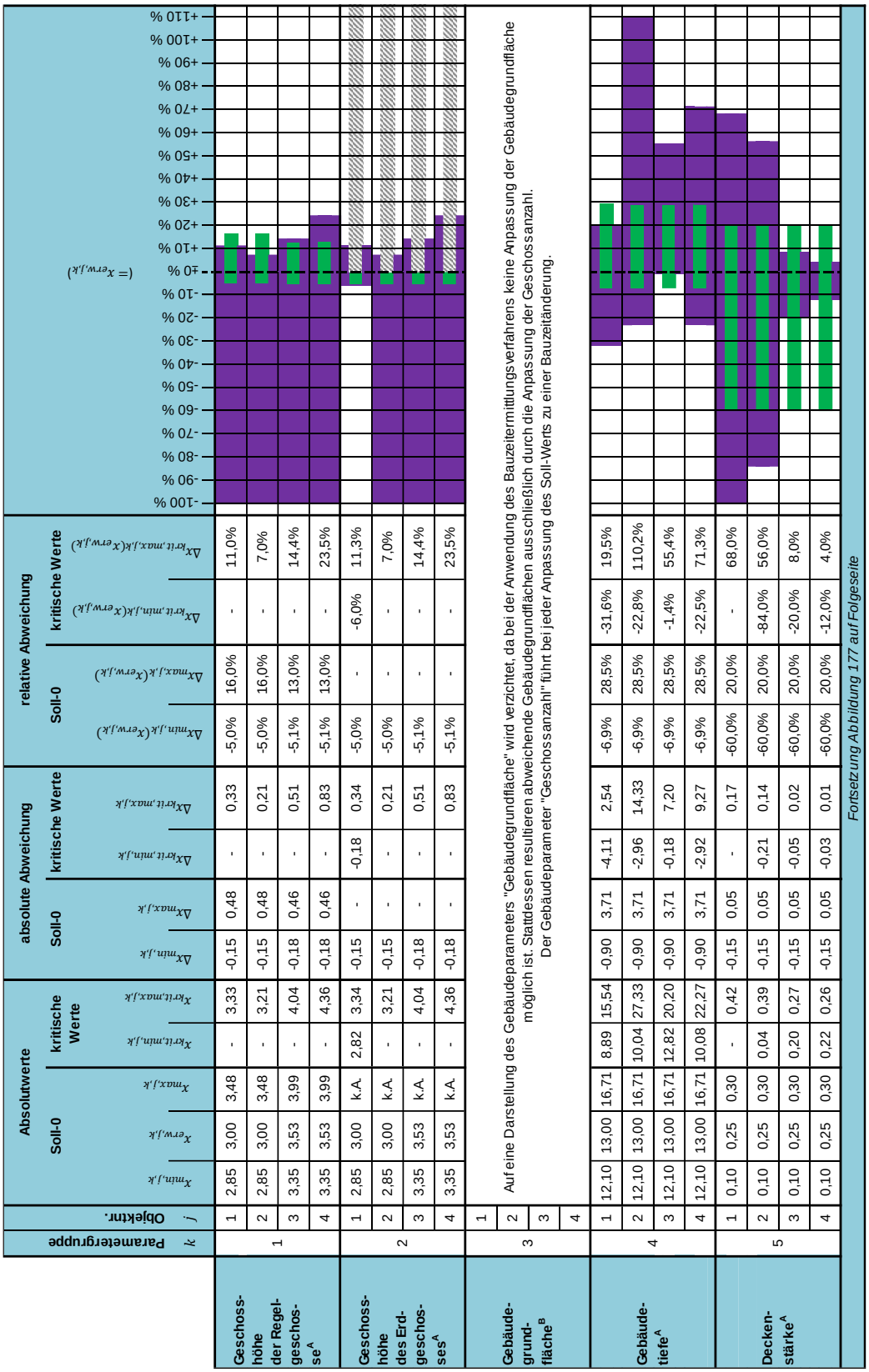


Abb. 176: Wahrscheinlichkeitsverteilung der resultierenden Bauzeiten durch Parameterkombinationen maßgebender Gebäudeparameter (exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeiten) – Bauobjekt 4[998]

[998] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Werte resultieren aus Tab. 134.

L.4.7 Stufe 7: Analyse kritischer Werte der Gebäudeparameter



Parameter	k	Objekt. j	Absolutwerte Soll-0 $x_{min,j,k}$	$x_{erw,j,k}$	$x_{max,j,k}$	kritische Werte $x_{krit,min,j,k}$	$x_{krit,max,j,k}$	absolute Abweichung Soll-0 $\Delta x_{min,j,k}$	$\Delta x_{max,j,k}$	kritische Werte $\Delta x_{krit,min,j,k}$	$\Delta x_{krit,max,j,k}$	relative Abweichung Soll-0 $\Delta x_{min,j,k}(x_{erw,j,k})$	$\Delta x_{max,j,k}(x_{erw,j,k})$	kritische Werte $\Delta x_{krit,min,j,k}(x_{erw,j,k})$	$\Delta x_{krit,max,j,k}(x_{erw,j,k})$
Geschoss-höhe der Regel-geschosse[A]	1	1	2,85	3,00	3,48	-	3,33	-0,15	0,48	-	0,33	-5,0%	16,0%	-	11,0%
		2	2,85	3,00	3,48	-	3,21	-0,15	0,48	-	0,21	-5,0%	16,0%	-	7,0%
		3	3,35	3,53	3,99	-	4,04	-0,18	0,46	-	0,51	-5,1%	13,0%	-	14,4%
		4	3,35	3,53	3,99	-	4,36	-0,18	0,46	-	0,83	-5,1%	13,0%	-	23,5%
Geschoss-höhe des Erd-geschosses[A]	2	1	2,85	3,00	k.A.	2,82	3,34	-0,15	-	-0,18	0,34	-5,0%	-	-6,0%	11,3%
		2	2,85	3,00	k.A.	-	3,21	-0,15	-	-	0,21	-5,0%	-	-	7,0%
		3	3,35	3,53	k.A.	-	4,04	-0,18	-	-	0,51	-5,1%	-	-	14,4%
		4	3,35	3,53	k.A.	-	4,36	-0,18	-	-	0,83	-5,1%	-	-	23,5%
Gebäude-grund-fläche[B]	3	1	Auf eine Darstellung des Gebäudeparameters "Gebäudegrundfläche" wird verzichtet, da bei der Anwendung des Bauzeitermittlungsverfahrens keine Anpassung der Gebäudegrundfläche möglich ist. Stattdessen resultieren abweichende Gebäudegrundflächen ausschließlich durch die Anpassung der Geschossanzahl. Der Gebäudeparameter "Geschossanzahl" führt bei jeder Anpassung des Soll-Werts zu einer Bauzeitänderung.												
		2													
		3													
		4													
Gebäude-tiefe[A]	4	1	12,10	13,00	16,71	8,89	15,54	-0,90	3,71	-4,11	2,54	-6,9%	28,5%	-31,6%	19,5%
		2	12,10	13,00	16,71	10,04	27,33	-0,90	3,71	-2,96	14,33	-6,9%	28,5%	-22,8%	110,2%
		3	12,10	13,00	16,71	12,82	20,20	-0,90	3,71	-0,18	7,20	-6,9%	28,5%	-1,4%	55,4%
		4	12,10	13,00	16,71	10,08	22,27	-0,90	3,71	-2,92	9,27	-6,9%	28,5%	-22,5%	71,3%
Decken-stärke[A]	5	1	0,10	0,25	0,30	-	0,42	-0,15	0,05	-	0,17	-60,0%	20,0%	-	68,0%
		2	0,10	0,25	0,30	0,04	0,39	-0,15	0,05	-0,21	0,14	-60,0%	20,0%	-84,0%	56,0%
		3	0,10	0,25	0,30	0,20	0,27	-0,15	0,05	-0,05	0,02	-60,0%	20,0%	-20,0%	8,0%
		4	0,10	0,25	0,30	0,22	0,26	-0,15	0,05	-0,03	0,01	-60,0%	20,0%	-12,0%	4,0%

Fortsetzung Abbildung 177 auf Folgeseite

Fortsetzung Abbildung 177

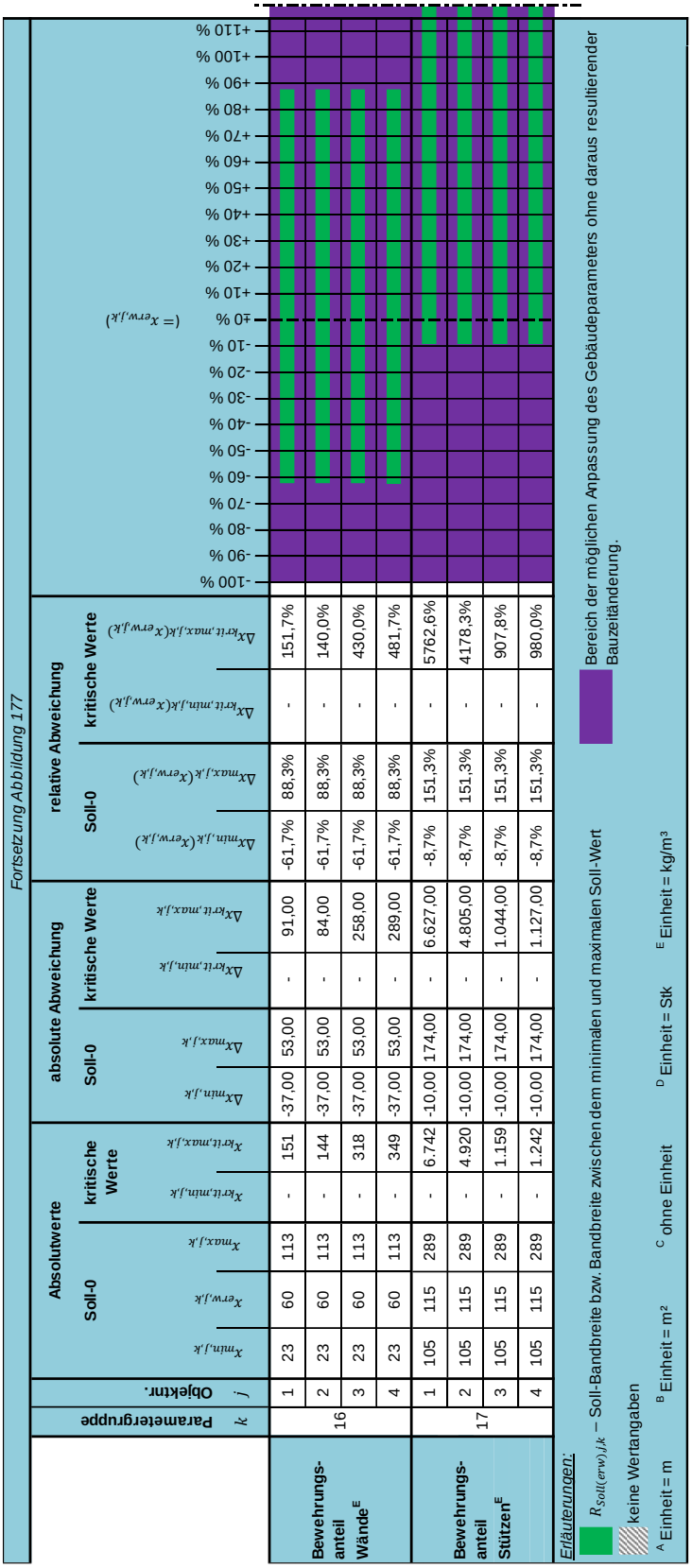
	k	Parametergruppe	j	Objektnr.	Absolutwerte Soll-0 $x_{min,j,k}$	$x_{erw,j,k}$	$x_{max,j,k}$	kritische Werte $x_{krit,min,j,k}$	$x_{krit,max,j,k}$	absolute Abweichung Soll-0 $\Delta x_{min,j,k}$	$\Delta x_{max,j,k}$	kritische Werte $\Delta x_{krit,min,j,k}$	$\Delta x_{krit,max,j,k}$	relative Abweichung Soll-0 $\Delta x_{min,j,k}(x_{erw,j,k})$	$\Delta x_{max,j,k}(x_{erw,j,k})$	kritische Werte $\Delta x_{krit,min,j,k}(x_{erw,j,k})$	$\Delta x_{krit,max,j,k}(x_{erw,j,k})$
Wandstärke der Außenwände[A]	6		1		0,18	0,24	0,35	0,14	0,29	-0,07	0,11	-0,10	0,05	-27,1%	45,8%	-41,7%	20,8%
			2		0,18	0,24	0,35	0,13	0,27	-0,07	0,11	-0,11	0,03	-27,1%	45,8%	-45,8%	12,5%
			3		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			4		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wandstärke der Bauelemente[A]	7		1		0,20	0,24	0,30	0,07	0,33	-0,04	0,06	-0,17	0,09	-16,7%	25,0%	-70,8%	37,5%
			2		0,20	0,24	0,30	0,04	0,30	-0,04	0,06	-0,20	0,06	-16,7%	25,0%	-83,3%	25,0%
			3		0,20	0,24	0,30	-	0,30	-0,04	0,06	-	0,06	-16,7%	25,0%	-	25,0%
			4		0,20	0,24	0,30	-	0,33	-0,04	0,06	-	0,09	-16,7%	25,0%	-	37,5%
Stützenbreite[A]	8		1		0,20	0,35	0,50	-	3,54	-0,15	0,15	-	3,19	-42,9%	42,9%	-	911,4%
			2		0,20	0,35	0,50	-	1,86	-0,15	0,15	-	1,51	-42,9%	42,9%	-	431,4%
			3		0,20	0,35	0,50	-	0,63	-0,15	0,15	-	0,28	-42,9%	42,9%	-	80,0%
			4		0,20	0,35	0,50	-	0,79	-0,15	0,15	-	0,44	-42,9%	42,9%	-	125,7%
Stützenlänge[A]	9		1		0,20	0,35	0,50	-	3,54	-0,15	0,15	-	3,19	-42,9%	42,9%	-	911,4%
			2		0,20	0,35	0,50	-	1,86	-0,15	0,15	-	1,51	-42,9%	42,9%	-	431,4%
			3		0,20	0,35	0,50	-	0,63	-0,15	0,15	-	0,28	-42,9%	42,9%	-	80,0%
			4		0,20	0,35	0,50	-	0,79	-0,15	0,15	-	0,44	-42,9%	42,9%	-	125,7%
Maximaler Stützenabstand in Richtung Gebäudetiefe[A]	10		1		4,50	6,50	6,50	1,15	-	-2,00	0,00	-5,35	-	-30,8%	0,0%	-82,3%	-
			2		4,50	6,50	6,50	2,12	-	-2,00	0,00	-4,38	-	-30,8%	0,0%	-67,4%	-
			3		4,50	6,50	6,50	3,16	-	-2,00	0,00	-3,34	-	-30,8%	0,0%	-51,4%	-
			4		4,50	6,50	6,50	2,52	-	-2,00	0,00	-3,98	-	-30,8%	0,0%	-61,2%	-

Fortsetzung Abbildung 177 auf Folgeseite

Fortsetzung Abbildung 177

			Absolutwerte				absolute Abweichung				relative Abweichung				
			Soll-0		kritische Werte		Soll-0		kritische Werte		Soll-0		kritische Werte		
	k	Parametergruppe	j	Objektnr.	$x_{min,j,k}$	$x_{erw,j,k}$	$x_{max,j,k}$	$x_{krit,min,j,k}$	$x_{krit,max,j,k}$	$\Delta x_{min,j,k}$	$\Delta x_{max,j,k}$	$\Delta x_{krit,min,j,k}$	$\Delta x_{krit,max,j,k}$	$\Delta x_{min,j,k}(x_{erw,j,k})$	$\Delta x_{max,j,k}(x_{erw,j,k})$	$\Delta x_{krit,min,j,k}(x_{erw,j,k})$	$\Delta x_{krit,max,j,k}(x_{erw,j,k})$
Maximaler Stützenabstand in Richtung Gebäudelänge[A]	11		1		4,50	6,50	6,50	0,97	-	-2,00	0,00	-5,53	-	-30,8%	0,0%	-85,1%	-
			2		4,50	6,50	6,50	1,46	-	-2,00	0,00	-5,04	-	-30,8%	0,0%	-77,5%	-
			3		4,50	6,50	6,50	3,81	-	-2,00	0,00	-2,69	-	-30,8%	0,0%	-41,4%	-
			4		4,50	6,50	6,50	3,18	-	-2,00	0,00	-3,32	-	-30,8%	0,0%	-51,1%	-
Flächenbedarf der Installationsschächte[C]	12		1		0,01	0,02	0,03	-	0,08	-0,01	0,01	-	0,06	-50,0%	50,0%	-	300,0%
			2		0,01	0,02	0,03	-	0,05	-0,01	0,01	-	0,03	-50,0%	50,0%	-	150,0%
			3		0,01	0,02	0,03	-	0,04	-0,01	0,01	-	0,02	-50,0%	50,0%	-	100,0%
			4		0,01	0,02	0,03	-	0,05	-0,01	0,01	-	0,03	-50,0%	50,0%	-	150,0%
Aufzuganzahl[D]	13		1		1	1	1	-	13	0,00	0,00	-	12,00	0,0%	0,0%	-	1200,0%
			2		1	1	1	-	10	0,00	0,00	-	9,00	0,0%	0,0%	-	900,0%
			3		2	2	2	-	13	0,00	0,00	-	11,00	0,0%	0,0%	-	550,0%
			4		1	2	2	-	37	-1,00	0,00	-	35,00	-50,0%	0,0%	-	1750,0%
Anteil der Fensterflächen[C]	14		1		0,00	0,20	0,40	0,04	0,29	-0,20	0,20	-0,16	0,09	-100,0%	100,0%	-80,0%	45,0%
			2		0,00	0,20	0,40	0,10	0,57	-0,20	0,20	-0,10	0,37	-100,0%	100,0%	-50,0%	185,0%
			3		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			4		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bewehrungsanteil Geschossdecken[E]	15		1		54	75	152	-	126	-21	77	-	51,00	-28,0%	102,7%	-	68,0%
			2		54	75	152	-	116	-21	77	-	41,00	-28,0%	102,7%	-	54,7%
			3		54	75	152	61	79	-21	77	-14,00	4,00	-28,0%	102,7%	-18,7%	5,3%
			4		54	75	152	67	78	-21	77	-8,00	3,00	-28,0%	102,7%	-10,7%	4,0%

Fortsetzung Abbildung 177 auf Folgeseite



Parametergruppe k	Objektnr. j	Absolutwerte Soll-0 $x_{min,j,k}$	Absolutwerte Soll-0 $x_{erw,j,k}$	Absolutwerte Soll-0 $x_{max,j,k}$	Absolutwerte kritische Werte $x_{krit,min,j,k}$	Absolutwerte kritische Werte $x_{krit,max,j,k}$	absolute Abweichung Soll-0 $\Delta x_{min,j,k}$	absolute Abweichung Soll-0 $\Delta x_{max,j,k}$	absolute Abweichung kritische Werte $\Delta x_{krit,min,j,k}$	absolute Abweichung kritische Werte $\Delta x_{krit,max,j,k}$	relative Abweichung Soll-0 $\Delta x_{min,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung Soll-0 $\Delta x_{max,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung kritische Werte $\Delta x_{krit,min,j,k}(x_{erw,j,k})$	relative Abweichung kritische Werte $\Delta x_{krit,max,j,k}(x_{erw,j,k})$
Bewehrungsanteil Wände E	1	23	60	113	-	151	-37,00	53,00	-	91,00	-61,7%	88,3%	-	151,7%
	2	23	60	113	-	144	-37,00	53,00	-	84,00	-61,7%	88,3%	-	140,0%
	3	23	60	113	-	318	-37,00	53,00	-	258,00	-61,7%	88,3%	-	430,0%
	4	23	60	113	-	349	-37,00	53,00	-	289,00	-61,7%	88,3%	-	481,7%
16														
Bewehrungsanteil Stützen E	1	105	115	289	-	6.742	-10,00	174,00	-	6.627,00	-8,7%	151,3%	-	5762,6%
	2	105	115	289	-	4.920	-10,00	174,00	-	4.805,00	-8,7%	151,3%	-	4178,3%
	3	105	115	289	-	1.159	-10,00	174,00	-	1.044,00	-8,7%	151,3%	-	907,8%
	4	105	115	289	-	1.242	-10,00	174,00	-	1.127,00	-8,7%	151,3%	-	980,0%
17														

Abb. 177: Obere und untere kritische Werte der Gebäudeparameter[999]

[999] Eigene Darstellung. Anm.: Die angegebenen Tabellenwerte stellen ausschließlich die Berechnungswerte dar, die aus der Arbeitshilfe resultieren. Auf eine Überprüfung hinsichtlich der architektonischen und baupraktischen Umsetzbarkeit wird verzichtet.

L.5 Sonstiges

Bezeichnung	Symbol	Einheit	erw	Anwenderwert	Berechnungs-grundlage
Gebäudeprofil					
Flächenbedarf des Nutzers (optional)	BGF_{erf}	m²		3.000,00	3000,00
Bürotyp	–	-		Flexibel	Flexibel
Unterdecke	–	-	ja	ja	ja
Installationsgrad	–	-	mit Lüftungstechnik	mit Lüftungstechnik	mit Lüftungstechnik
Bundanzahl	n_{Bd}	-		3	3
Außenwände	–	-		nicht tragend	nicht tragend
Anzahl Arbeitsplätze (optional)	n_{AP}	-			

Abb. 178: Exemplarische Darstellung der Arbeitshilfe – Gebäudeprofil[1000]

Bezeichnung	Symbol	Einheit	erw	Anwenderwert	Berechnungs-grundlage
Maß der baulichen Nutzung					
(Eingabe in Kombination teilweise optional)					
Baugrundstücksfläche	A_{GS}	m²			
Zulässige Grundfläche der baulichen Anlage	$A_{Geb,zul}$	m²		600,00	600
Grundflächenzahl	GRZ	-			
Geschossflächenzahl	GFZ	-			
Zulässige Anzahl von Vollgeschossen	$n_{G,zul}$	-		9	9
Zulässige Höhe der baulichen Anlage	$h_{Geb,zul}$	m			

Abb. 179: Exemplarische Darstellung der Arbeitshilfe – Maß der baulichen Nutzung[1001]

[1000] Eigene Darstellung.

[1001] Eigene Darstellung.

Bezeichnung	Symbol	Einheit	min	erw	max	Anwenderwert	Berechnungs-grundlage
Gebäudeparameter							
Geschosshöhe der Regelgeschosse	h_{RG}	m	3,80	4,20	4,45	3,70	3,70
Geschosshöhe des Erdgeschosses	h_{EG}	m	3,80	4,20		5,00	5,00
Geschossanzahl	n_G	-	5	7	9	8	8
Gebäudegrundfläche	A_{Geb}	*m²*	*(333,33)*	*(428,57)*	*(600,00)*		*375,00*
Gebäudehöhe	h_{Geb}	*m*		*30,90*			*30,90*
Brutto-Grundfläche (Gebäude)	BGF_{RB}	*m²*		*3.000,00*			*3.000,00*
Zulässige Brutto-Grundfläche	BGF_{zul}	*m²*		*5.400,00*			*5.400,00*
Gebäudetiefe	t_{Geb}	m	16,25	16,48	16,71		16,48
Gebäudelänge	l_{Geb}	*m*		*22,75*			*22,75*
Gebäudeumfang	U_{Geb}	*m*		*78,47*			*78,47*
Deckenstärke	d_{GD}	m	0,10	0,25	0,30		0,25
Wandstärke der Außenwände	d_{AW}	m	0,000	0,00	0,000		0,000
Wandstärke der Innenwände	d_{IW}	m	0,20	0,24	0,30		0,24
Stützenbreite	t_{St}	m	0,20	0,35	0,50		0,35
Stützenlänge	l_{St}	m	0,20	0,35	0,50		0,35
Maximaler Stützenabstand in Richtung Gebäudetiefe	$s_{St,t,zul}$	m	7,00	9,00	9,00		9,00
Maximaler Stützenabstand in Richtung Gebäudelänge	$s_{St,l,zul}$	m	7,00	9,00	9,00		9,00
Flächenbedarf der Installationsschächte	a_{IS}	-	0,01	0,02	0,03		0,02
Gebäudeklasse nach MBO	GKL	-		*5*			*5*
Gebäudehöhe gemäß MBO	$h_{Geb(MBO)}$	*m*		*27,20*			*27*
Flächenbedarf aufgrund der Gebäudeklasse	$a_{IS,(GKL)}$	-	*0,02*		*0,03*		
Flächenbedarf aufgrund der TGA	$a_{IS,(TGA)}$	-	*0,01*		*0,02*		
Aufzuganzahl	n_A	-	1	1	1		1
Eingangsdaten							
Benutzeranzahl der Aufzugsanlage pro Geschoss	$n_{B,0}$	-	*15*	*17*	*38*		*17*
BGF-Bedarf pro Arbeitsplatz	a_{AP}	*m²BGF/AP*	*10,00*	*22,50*	*25,60*		*22,50*
Tragfähigkeit der Aufzüge	P_0	-		*17*			*17*
Aufzuganzahl nach LBOAVO (1995)	$n_{A,1}$	-		*1*			*1*
Aufzuganzahl nach STRAKOSCH/CAPORALE (2010)	$n_{A,2}$	-					
Aufzuganzahl nach AMEV (2017)	$n_{A,3}$	-		*1*			*1*
Erforderliche Förderleistung	F_{erf}	*1/min*		*4,66*			*5*
Gebäudefüllzeit	$Z_{Fü}$	*min*	*15*	*17,5*	*20*		*17,5*
Gesamt-Benutzeranzahl	n_B	-		*82*			*82*
Fahrkorbumlaufzeit	Z_{Uml}	*min*		*1,04*			*1,04*
Fahrzeit ohne Halte	$Z_{FZ,0}$	*s*		*22,4*			*22,4*
Mittlere Förderhöhe	h_{FH}	*m*		*17,95*			*18*
Fahrgeschwindigkeit	v_A	*m/s*		*1,6*			*1,6*

Abb. 180: Exemplarische Darstellung der Arbeitshilfe – Gebäudeparameter (Auszug)[1002]

[1002] Eigene Darstellung.