

Universität der Bundeswehr München  
Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik  
Institut für Flugsysteme

**Kognitives Assistenzsystem  
zur Führung unbemannter Luftfahrzeuge  
in bemannt-unbemannten Flugmissionen**

Dipl.-Ing. Andreas Rauschert

Vollständiger Abdruck der bei der  
Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik  
der Universität der Bundeswehr München  
zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
eingereichten Dissertation

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. habil. Christian J. Kähler  
1. Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte  
2. Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Peter Hecker

Diese Dissertation wurde am 8.3.2013 bei der Universität der Bundeswehr München, 85577  
Neubiberg, eingereicht und durch die Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik am 12.3.2013  
angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung: 12.09.2013

Karlsfeld, den 16.09.2013

## Kurzfassung

Gegenstand dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Assistenzsystems für den Kommandanten eines Transporthubschraubers (engl.: *helicopter* – H/C), welcher in einer militärischen Mission neben dem eigenen Hubschrauber gleichzeitig mehrere unbemannte Fluggeräte (engl.: *unmanned aerial vehicle* – UAV) führen soll. Das Assistenzsystem hilft bei dieser anspruchsvollen Aufgabe durch Überwachung des Kommandanten und der Aufgabensituation, die zu erwartenden typischen menschbezogenen Probleme durch adaptive Unterstützungsfunktionen zu reduzieren und damit letztlich den Missionserfolg sicherzustellen.

Da für diese neuartige Aufgabenstellung bisher noch kein konsolidiertes Arbeitsplatzkonzept existiert, geschweige denn spezifische Ansätze für ein Assistenzsystem, beschäftigt sich der erste Schwerpunkt der Arbeit mit der grundsätzlichen Konzeption der Assistenzfunktionen. Dafür wurde der im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte Arbeitsplatz analysiert und Kommandantenaufgaben aus den Bereichen Flugführung, Nutzlastführung, Missionsmanagement, Kommunikation und UAV-Führung identifiziert bzw. analysiert. Parallel dazu wurden anhand der aus der Literatur bekannten Assistenzsystemtheorie in dieser Arbeit die Probleme „ungünstige Aufmerksamkeitsverteilung“, „Überforderung“ und „Missionsrisiko“ als zu verwendende Auslöser für adaptive Assistenzsystemeingriffe identifiziert. Mithilfe der ebenfalls aus der Literatur bekannten möglichen Automationsgrade für technische Systeme wurden für diese Probleme die drei entsprechenden Assistenzsystemeingriffe „Aufmerksamkeitslenkung“, „Aufgabenvereinfachung“ und „Aufgabenübernahme“ definiert und für die Kommandantenaufgaben realisiert.

Der zweite Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit beschäftigt sich mit der generischen Konzeption eines Assistenzsystems basierend auf einem kognitiven Ansatz. Hierfür wurde die aus der Literatur bekannte Arbeitssystemtheorie verwendet, anhand derer identifiziert werden konnte, dass ein Assistenzsystem Wissen aus den vier Bereichen Arbeitsziel, Arbeitsmittel, Umwelt und Mensch benötigt. Anhand der Wissensbereiche konnten in einem weiteren Schritt verschiedene konkrete Wissens Elemente identifiziert und diese schließlich anhand einer kognitiven Systemarchitektur strukturiert werden. Ein weiterer wichtiger Bestandteil dieser kognitiven Struktur ist die Verwendung von Zielen, welche die Basis für das Systemverhalten darstellen. Ein wesentlicher Konzeptpunkt ist hier die Verwendung von assistenzsystemspezifischen Zielen, die nicht die Erfüllung der Mission, sondern die Vermeidung automationsbedingter Probleme bei der Aufgabenbearbeitung beinhalten, wie z.B. das Ziel, dass der Mensch an der dringendsten Aufgabe arbeitet. Die Implementierung des Assistenzsystems erfolgte auf Basis der kognitiven Systemarchitektur COSA, welche die Möglichkeit bietet, verschiedene Wissens Elemente deklarativ zu modellieren.

In der abschließenden Evaluierung in einem Mensch-Maschine-Experiment konnte festgestellt werden, dass die Assistenzfunktionen größtenteils akzeptiert und genutzt wurden und sich die Leistung in den Kommandantenaufgaben durch den Assistenzsystemeinsatz verbesserte. Die Ziele der Aufmerksamkeitslenkung, die menschbezogenen Probleme Vergessen bzw. Übersehen von Aufgaben zu reduzieren und die Dauer bis zur Bearbeitung dringender Aufgaben zu reduzieren, konnten erreicht werden. Die Ziele der Aufgabenvereinfachung, Überforderungen der Benutzer in Form von Bedienproblemen zu reduzieren und die Bearbeitungsdauer damit zu reduzieren konnten ebenfalls erreicht werden. Zudem konnte die eigeninitiative Aufgabenübernahme helfen, Beschuss von UAVs zu verhindern und somit Risiken der Mission verringern. Außerdem trat durch den Einsatz adaptiver Automation keine Nachlässigkeit in der Situationsüberwachung auf, wie dies typischerweise bei adaptierbarer Automation geschieht. Dies konnte durch ein objektiv und subjektiv besseres Situationsbewusstsein der Probanden belegt werden. Des Weiteren konnte

durch den Assistenzsystemeinsatz und den damit verbundenen zusätzlichen Kommunikationsaufwand für den Operateur subjektiv keine erhöhte Beanspruchung nachgewiesen werden. Vielmehr reduzierte sich durch die verschiedenen Unterstützungsfunktionen der subjektiv wahrgenommene Zeitdruck bzw. die zeitliche Beanspruchung.

## **Vorwort**

Diese Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Flugsysteme der Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik der Universität der Bundeswehr München.

Meinen besonderen Dank möchte ich an Prof. Axel Schulte richten, der mir das spannende Forschungsfeld der Assistenzsysteme und der kognitiven Automation näher gebracht und mir die Möglichkeit zur Anfertigung dieser Arbeit gegeben hat. Die fachlichen und menschlichen Diskussionen trugen dabei wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit bei. Ebenso danke ich für die Möglichkeit, auf gemeinsamen Dienstreisen eine internationale Forschergruppe im Human Factors Bereich kennenlernen zu dürfen. Diese und andere Erlebnisse lassen mich die Zeit am Institut in guter Erinnerung behalten.

Des Weiteren danke ich Prof. Peter Hecker für das Interesse und die freundliche Übernahme des Koreferates.

Allen Kollegen danke ich für das freundschaftliche Miteinander und die vielen gemeinsamen Aktivitäten, die mir das Arbeiten am Institut sehr angenehm gemacht haben. Besonderer Dank gilt dabei meinem Projektkollegen Ruben Strenzke, der durch die Entwicklung des Missionsplaners und die konstruktive Zusammenarbeit wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.

Vor allem möchte ich aber meiner Frau Petra danken, die mich während der gesamten Zeit immer wieder ermutigt und mir vor allem in den letzten Wochen des Schreibens den Rücken für die Fertigstellung der Arbeit freigehalten hat. Zuletzt danke ich auch noch unserer kleinen Tochter Sofie, die unser Leben durch ihr fröhliches Wesen immer wieder bereichert.

# Inhaltsverzeichnis

<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>II</b>
<b>VORWORT</b> .....	<b>IV</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 MOTIVATION .....	1
1.2 VORGEHENSWEISE.....	3
<b>2 GRUNDLAGEN</b> .....	<b>5</b>
2.1 FÜHRUNG UNBEMANNTER LUFTFAHRZEUGE IN BEMANNT-UNBEMANNTEN FLUGMISSIONEN .....	5
2.1.1 <i>Aufgaben und Automationsmöglichkeiten</i> .....	5
2.1.2 <i>Stand der Technik</i> .....	8
2.1.3 <i>Ergonomische Probleme und Lösungsansätze</i> .....	14
2.2 ASSISTENZSYSTEME .....	27
2.2.1 <i>Eigenschaften und Anforderungen aus Arbeitssystem Sicht</i> .....	27
2.2.2 <i>Automationsgrade</i> .....	32
2.2.3 <i>Realisierte Systeme</i> .....	36
2.3 KOGNITIVE SYSTEME .....	45
2.3.1 <i>Modelle menschlicher Kognition</i> .....	46
2.3.2 <i>Architekturen für künstliche Kognition</i> .....	50
2.3.3 <i>Realisierte Systeme</i> .....	54
2.4 AUFGABENSTELLUNG DER ARBEIT .....	57
2.4.1 <i>Kommandantenassistenzsystem für auftragsbasierte Führung unbemannter Luftfahrzeuge</i> .....	57
2.4.2 <i>Kognitives Assistenzsystem</i> .....	57
<b>3 KONZEPT</b> .....	<b>59</b>
3.1 ASSISTENZKONZEPT FÜR MULTI-UAV-FÜHRUNG IN BEMANNT-UNBEMANNTEN FLUGMISSIONEN .....	59
3.1.1 <i>Aufgabenanalyse des Kommandantenarbeitsplatzes</i> .....	59
3.1.2 <i>Allgemeine Funktionsweise des Assistenzsystems</i> .....	68
3.1.3 <i>Definition von Assistenzfunktionen für multi-UAV-Führung in MUM-T Missionen</i> .....	74
3.2 KONZEPT EINES KOGNITIVEN ASSISTENZSYSTEMS .....	84
3.2.1 <i>Identifikation relevanten Wissens</i> .....	84
3.2.2 <i>Kognitive Funktionsarchitektur</i> .....	86
3.2.3 <i>Kognitive Teilprozesse</i> .....	88
<b>4 IMPLEMENTIERUNG</b> .....	<b>93</b>
4.1 VERWENDETE KOGNITIVE SYSTEMARCHITEKTUR .....	93
4.2 WISSENSMODELLIERUNG.....	95
4.2.1 <i>Analyse Handlungsbedarf</i> .....	96
4.2.2 <i>Analyse Eingriffsbedarf</i> .....	97
4.2.3 <i>Eingriffsentscheidung</i> .....	98
4.2.4 <i>Senden einer Nachricht</i> .....	99
4.2.5 <i>Reaktion des Operateurs</i> .....	100

4.2.6	<i>Kommando an die OSM</i>	101
4.3	MENSCH-MASCHINE-SCHNITTSTELLE	102
4.3.1	<i>Dialogfeld</i>	102
4.3.2	<i>Sprachausgabe</i>	103
4.3.3	<i>Zusätzliche Anzeigen auf dem HMI</i>	103
4.3.4	<i>Konfigurationsmenü</i>	104
4.3.5	<i>Entwickleroberfläche</i>	105
4.4	TECHNISCHE SCHNITTSTELLEN	106
<b>5</b>	<b>EVALUIERUNG</b>	<b>109</b>
5.1	VERSUCHSDESIGN	109
5.1.1	<i>Aufgabenstellung</i>	109
5.1.2	<i>Experimentalumgebung</i>	110
5.1.3	<i>Konfigurationen</i>	112
5.1.4	<i>Datenerhebung &amp; -auswertung</i>	112
5.2	DURCHFÜHRUNG	116
5.2.1	<i>Versuchspersonen</i>	116
5.2.2	<i>Ablauf</i>	117
5.3	ERGEBNISSE	118
5.3.1	<i>Experiment allgemein</i>	118
5.3.2	<i>Leistung</i>	119
5.3.3	<i>Verhalten</i>	128
5.3.4	<i>Beanspruchung</i>	132
5.3.5	<i>Situationsbewusstsein</i>	135
5.3.6	<i>Akzeptanz</i>	136
5.4	DISKUSSION	140
<b>6</b>	<b>FAZIT UND AUSBLICK</b>	<b>144</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>146</b>
	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>155</b>
	<b>ANHANG A: AUSFÜHRLICHE VERSUCHSERGEBNISSE</b>	<b>156</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Unbemannte Fluggeräte (engl.: *Uninhabited / Unmanned Aerial Vehicle* – UAV) werden in einem immer größeren Anwendungsspektrum eingesetzt. Auch in zukünftigen militärischen Missionen ist eine Unterstützung bemannter Transporthubschrauber durch UAVs angedacht, die mithilfe von Kameras als Nutzlast zeitnahe Aufklärungsinformationen beschaffen können. Durch diese bemannt-unbemannte Zusammenarbeit (engl.: *Manned-UnManned-Teaming* – MUM-T) soll das Risiko für die Hubschrauberbesatzung minimiert und damit der Erfolg der Mission gewährleistet werden. Der Einsatz mehrerer UAVs verspricht dabei eine Steigerung der Effektivität, da hierdurch einerseits Aufklärungs- bzw. Überwachungsaufträge an verschiedenen Orten gleichzeitig durchgeführt als auch größere Bereiche abgedeckt werden können. Die Führung der UAVs soll dabei vom Kommandanten des missionsleitenden Hubschraubers realisiert werden, damit die Aufklärungsergebnisse dort verfügbar sind, wo sie benötigt werden und die UAVs über kurze Kommunikationswege direkt und flexibel eingesetzt werden können. Dies bedeutet ein Verhältnis von UAVs zu Operateur größer eins (vgl. Abbildung 1).

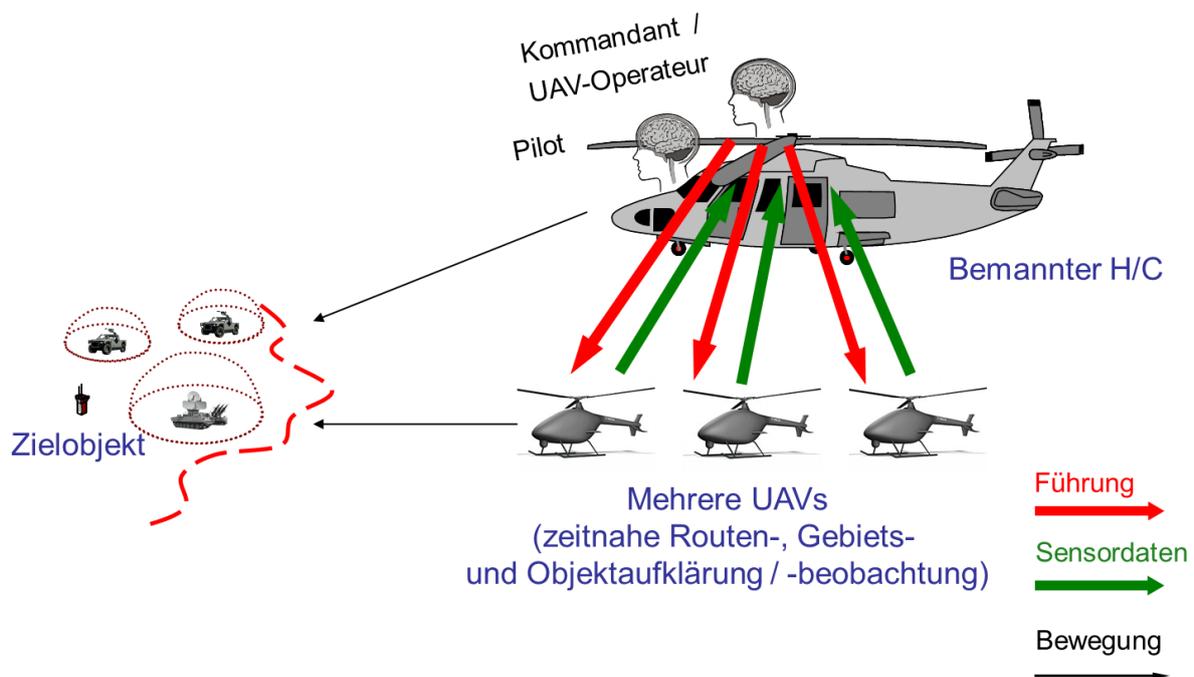
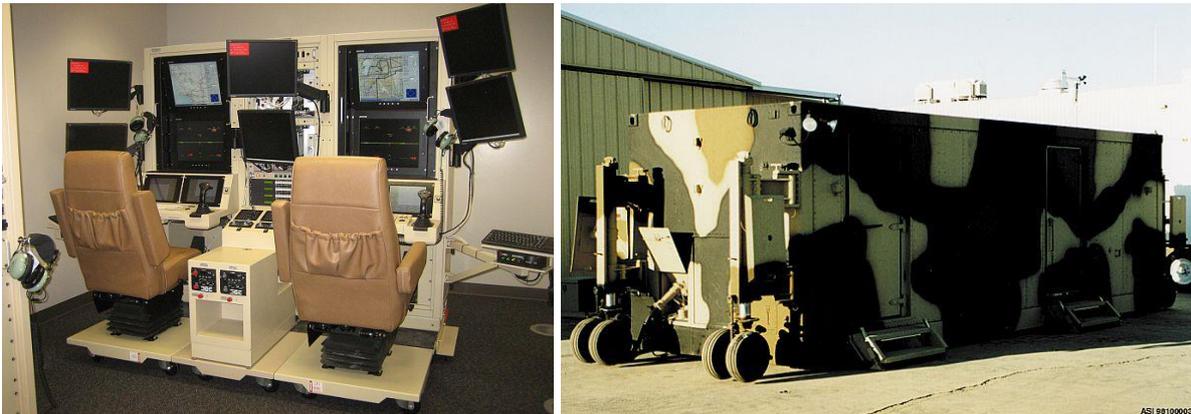


Abbildung 1 Multi-UAV Führung in MUM-T Flugmissionen

Diese Konfiguration stellt sowohl an die verwendeten technischen Systeme als auch an den Kommandanten neue Anforderungen, welche bei heutigen UAV-Systemen noch nicht erfüllt werden.

Beispielsweise muss die Kontrollstation der UAVs in das Cockpit integriert werden. Im Einsatz befindliche Systemen werden jedoch momentan von Bodenkontrollstationen aus geführt (vgl. Abbildung 2), wie z.B. die von der US Air Force verwendeten Global Hawk [Northrop Grumman, 2012][Raytheon, 2012] und Predator B [General Atomics, 2013] oder die von der Bundeswehr eingesetzte CL289 [Arning, 2004], bei denen für die Führung ein gesamter Container benötigt wird. Einen Ansatz für mehr Mobilität bietet bereits die Kontrollstation des von der Bundeswehr eingesetzten Aladin [EMT, 2012], welche von

Infanteristen als Rucksack mitgeführt werden kann, allerdings ist diese Kontrollstation immer noch separat und nicht in andere Systeme integriert.



**Abbildung 2 Predator Bodenkrollstation [General Atomics, 2013]**

Eine weitere Herausforderung stellt die Führungsspanne größer eins (mehr UAVs als Operateure) dar. Bei direkter Führung ähnlich einem Modellflugzeug ist der Operateur bereits mit dem Fliegen des UAVs voll ausgelastet und kann keine weiteren UAVs fliegen geschweige denn Aufklärungsinformationen beschaffen bzw. verarbeiten. Um von dieser kontinuierlichen Steuerung wegzukommen und auch eine Kontrolle außerhalb der Sichtweite zu ermöglichen, wird bereits in vielen Systemen Automation eingesetzt, mit der UAVs auch über GPS-Wegpunkte geführt werden können. Hierdurch wird zudem die gleichzeitige Führung von mehreren UAVs über eine Kontrollstation ermöglicht, wie z.B. bei der Global Hawk Kontrollstation, mit der bis zu drei UAVs geführt werden können. Allerdings ist die Führungsspanne aufgrund der größeren Systemkomplexität auch hier nicht größer eins. Für eine Kontrollstation des Global Hawk werden beispielsweise vier Operateure benötigt, welche jeweils die Teilaufgaben der UAV-Führung „Kommunikation“, „Missionsplanung“, „Bildauswertung“ und „C2“ (*Command and Control*) erfüllen [Raytheon, 2012].

Zuletzt stellt die UAV-Führung für den Kommandanten des Transporthubschraubers eine Aufgabe dar, welche er noch zusätzlich zu seinen bisherigen Aufgaben erfüllen soll. Diese spalten sich wiederum in Teilaufgaben in den Bereichen Flugführung, Nutzlastführung, Missionsmanagement, Kommunikation auf.

Bei der Bewältigung seiner Aufgaben besteht daher die Gefahr, dass der Kommandant überfordert wird [Donath, 2012]. Diese Gefahr besteht z.B. wenn mehrere UAVs gleichzeitig eine Eingabe benötigen oder wenn die Mission nicht verläuft wie geplant. Andererseits kann er bei Missionen mit längeren Zeiten ohne Handlungsbedarf auch unaufmerksam werden. Diese ergonomischen Probleme (engl.: *Human Factors Problems*) können zu verringerter Leistung oder sogar Unfällen führen. Eigene Recherchen zu Unfallursachen bei UAV-Unfällen [US Air Force, 2010] sowie eine Studie von 310 UAV-Unfällen der U.S. Army (Hunter und Shadow), U.S. Navy (Pioneer) und der U.S. Air Force (Predator und Global Hawk) [Williams, 2004] bestätigen diese Annahme. In der Studie spielten neben technischen Defekten auch menschliche Fehler bei 21% bis 67% der Unfälle eine Rolle (vgl. Abbildung 3).

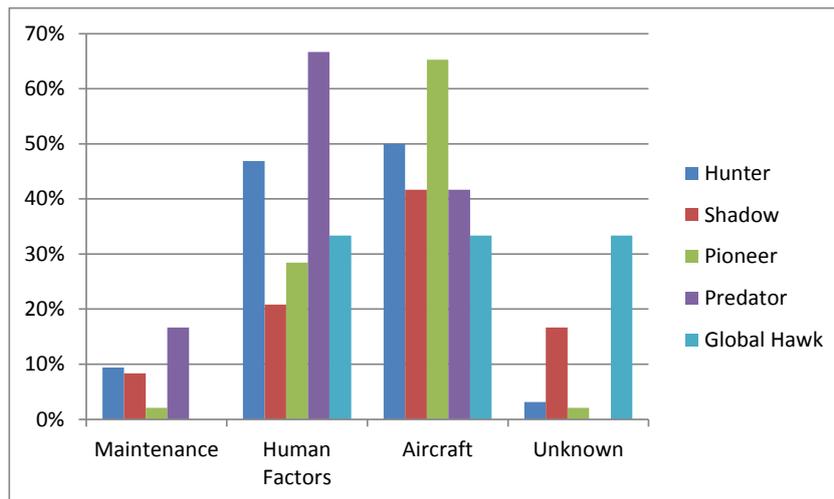


Abbildung 3 Prozentuale Unfallursachen bei UAV-Systemen [Williams, 2004]

Bei genauerer Betrachtung variierten die Fehler dabei je nach Ausführung der Benutzeroberfläche und Automationsfunktionen der UAVs stark. Da diese aber bei jedem System in einem nicht unerheblichen Maß auftraten, können menschliche Fehler auch bei der UAV-Führung im hier betrachteten MUM-T Kontext erwartet werden.

Daher lässt sich im Rahmen dieser Arbeit als grobe Problemstellung die folgende Frage formulieren:

„Wie kann der Kommandant des missionsleitenden Transporthubschraubers die Führung mehrerer UAVs in MUM-T Flugmissionen bewältigen?“

Ziel der Arbeit ist es daher, ergonomischen Problemen des Kommandanten entgegenzuwirken, um somit menschliche Fehler zu vermeiden bzw. zu verringern. Dadurch soll letztendlich die Leistung des Kommandanten bzw. des Gesamtsystems in bemannt-unbemannten Missionen verbessert werden.

## 1.2 Vorgehensweise

Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei der Bearbeitung der Problemstellung dargestellt. Zum einfacheren Verständnis wurde die Vorgehensweise außerdem illustriert (vgl. Abbildung 4).

Um eine bessere Einordnung des in dieser Arbeit betrachteten Ausgangssystems zu ermöglichen, wird im folgenden Kapitel 2 „Grundlagen“ die UAV-Führung näher erläutert und recherchiert, welche Ansätze dafür in bemannt-unbemannten Missionen bereits vorhanden sind. Anschließend wird UAV-Führung aus der abstrakten Sicht des Arbeitssystems betrachtet und prinzipielle Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des Systems erörtert. Dabei wird abgeleitet, dass den automationsbedingten Problemen auf Seiten des Bedieners mit einem Assistenzsystem [Onken & Schulte, 2010] entgegengewirkt werden kann. Bei der Darstellung der Theorie der Assistenzsysteme stellt sich im Anschluss heraus, dass eine wichtige Eigenschaft dieser Systeme ihre kognitiven Fähigkeiten sind. Daher wird außerdem näher untersucht, was kognitive Systeme ausmacht und wie diese im Rechner realisiert werden können. Die Recherche zu diesem Themenkomplex endet mit der Formulierung der zwei Aufgabenstellungen der Arbeit, welche im Anschluss aufeinander aufbauend behandelt werden.

Im darauf folgenden Kapitel 3 „Konzept“ wird auf die beiden Schwerpunkte der Arbeit „Assistenzkonzept für multi-UAV-Führung in bemannt-unbemannten Flugmissionen“ und darauf aufbauend „Konzept eines kognitiven Assistenzsystems“ eingegangen.

Kapitel 4 „Implementierung“ beschreibt im Anschluss die wissensbasierte Umsetzung der zuvor beschriebenen Systemfähigkeiten und -funktionen mithilfe einer kognitiven Architektur.

Kapitel 5 „Evaluierung“ beschreibt im Anschluss an die Entwicklung des Systems dessen Erprobung in einem Mensch-Maschine-Experiment. Hierfür werden die konzipierten Assistenzfunktionen für die multi-UAV-Führung in MUM-T Missionen in simulierten Missionen mit Probanden getestet und bewertet.

Abschließend werden in Kapitel 6 „Fazit und Ausblick“ die wesentlichen Ergebnisse der Arbeit hinsichtlich der Forschungsschwerpunkte zusammengefasst und ein Ausblick auf mögliche weitere forschungsrelevante Themen gegeben.

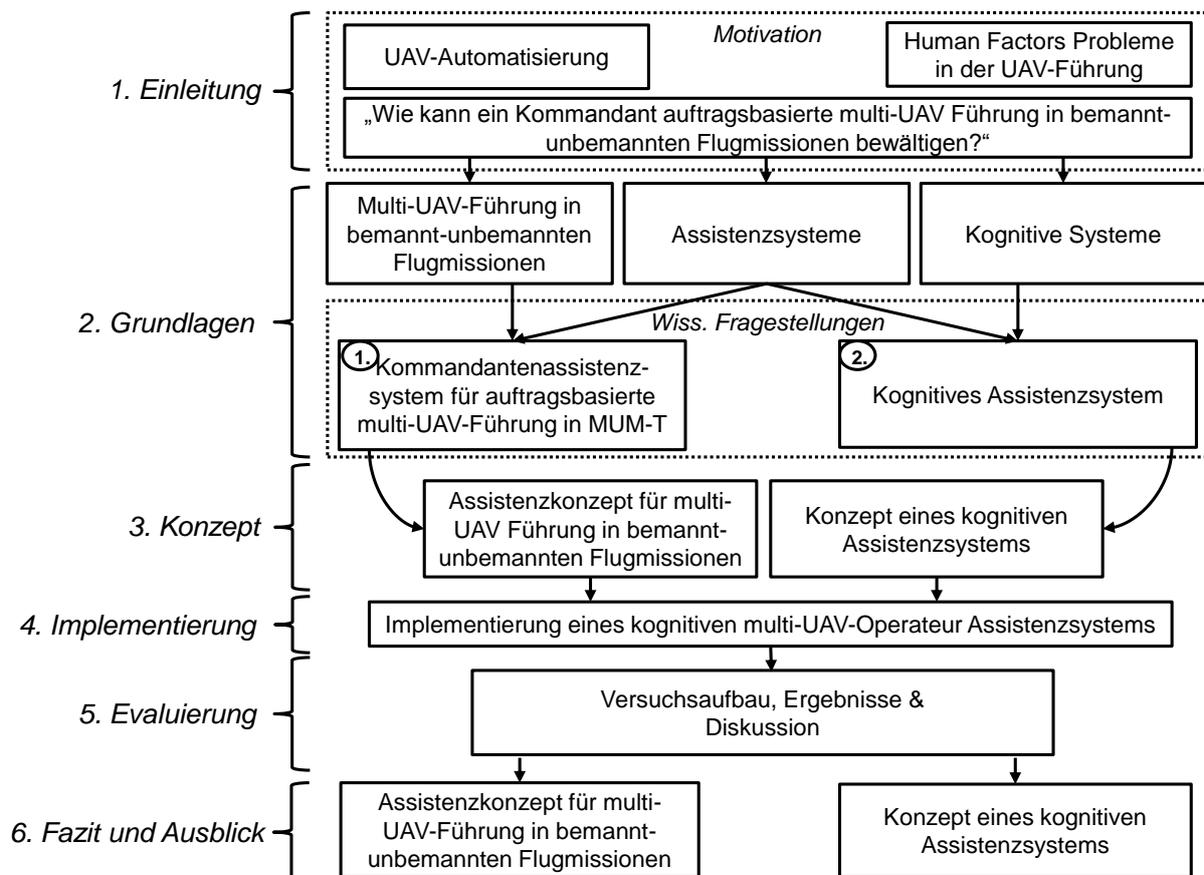


Abbildung 4 Struktur der Arbeit

## 2 Grundlagen

Das folgende Kapitel hat zum Ziel, sich mit Problemen und Lösungsansätzen für die multi-UAV Führung in bemannt-unbemannten Flugmissionen näher auseinanderzusetzen und die Aufgabenstellung der Arbeit abzugrenzen. Es beginnt mit dem aktuellen Stand der Technik in diesem Bereich (Kapitel 2.1), um einen Überblick der Möglichkeiten zu erhalten. Bei der Analyse der ergonomischen Probleme in der UAV-Führung stellt sich der Ansatz des Assistenzsystems als eine besonders vielversprechende Lösung heraus, da die ergonomischen Probleme hier nicht wie bei den meisten anderen Lösungen umgangen, sondern direkt angegangen werden. Demzufolge soll in dieser Arbeit ein Assistenzsystem realisiert werden. Nachfolgend wird recherchiert, wie sich ein solches System prinzipiell verhält und welche Anforderungen es erfüllen muss (Kapitel 2.2). Da ein Assistenzsystem kognitive Fähigkeiten besitzen sollte, liegt es nahe, die Kognition bereits im Konzept zu verankern. Daher wird im Anschluss näher untersucht, was kognitive Systeme ausmacht und wie diese im Rechner realisiert werden können (Kapitel 2.3). Durch diese Literaturrecherche kann im Anschluss die Aufgabenstellung der Arbeit abgegrenzt werden (Kapitel 2.4).

### 2.1 Führung unbemannter Luftfahrzeuge in bemannt-unbemannten Flugmissionen

Das folgende Kapitel untersucht verschiedene Ansätze zur Führung von UAVs in bemannt-unbemannten Flugmissionen. Um eine bessere Einordnung zu ermöglichen, werden zunächst einige Grundlagen der bemannt-unbemannten Kooperation und der UAV-Führung erläutert (Kapitel 2.1.1). Im Anschluss wird der aktuelle Stand der Technik vorgestellt und mit dem Ausgangssystem dieser Arbeit verglichen (Kapitel 2.1.2). Das Kapitel schließt mit der Analyse, welche ergonomischen Probleme bei der UAV-Führung konkret auftreten und welche Lösungen möglich sind (Kapitel 2.1.3).

#### 2.1.1 Aufgaben und Automationsmöglichkeiten

Im Zusammenhang mit der Führung von UAVs wird häufig auch von den sogenannten *Levels of Interoperability* (LOIs) aus der Standardisierungsvereinbarung (STANAG) 4586 [NATO, 2005] gesprochen. Die STANAG 4586 definiert Schnittstellen zur Interoperabilität von UAV Systemen, so dass verschiedene UAVs von beliebigen Kontrollstationen geführt werden können. Neben der Vereinbarung z.B. einheitlicher Kommunikationsprotokolle werden auch die erwähnten LOIs definiert, die beschreiben zu welchem Grad ein UAV von einer anderen Kontrollstation geführt werden kann. Die andere Kontrollstation kann sich dabei auch z.B. wie im Fall von MUM-T in einem Helikopter befinden. Es werden in der STANAG 4586 folgende LOIs definiert:

- “Level 1: Indirect receipt/transmission of UAV related payload data*
- Level 2: Direct receipt of ISR/other data where “direct” covers reception of the UAV payload data by the UCS when it has direct communication with the UAV.*
- Level 3: Control and monitoring of the UAV payload in addition to direct receipt of ISR/other data*
- Level 4: Control and monitoring of the UAV, less launch and recovery*
- Level 5: Control and monitoring of the UAV (Level 4), plus launch and recovery functions” [NATO, 2005]*

Auf dem niedrigsten LOI 1 können Nutzlastdaten des UAVs nur indirekt empfangen werden. Das bedeutet, dass keine direkte Funkverbindung zum UAV besteht, sondern die Daten von einer anderen Kontrollstation gesendet werden müssen. Ein Beispiel für Nutzlastdaten ist der

Empfang von Videobildern einer Aufklärungskamera. Auf dem nächsten LOI 2 besteht eine solche Verbindung zwischen Kontrollstation und UAV und die Daten können direkt ohne eine weitere Kontrollstation empfangen werden. Ab LOI 3 kann zusätzlich die Nutzlast gesteuert werden. Das bedeutet, dass z.B. Kameras rotiert und der Zoomfaktor angepasst werden kann, um sie auf interessante Objekte auszurichten. Ab LOI 4 besteht die volle Kontrolle über das UAV, was auch die Flugbahn des UAVs mit einschließt. Die Kontrolle der von der Steuerung her anspruchsvollen Start- und Landephase wird noch einmal als ein separates LOI betrachtet (LOI 5). Level 5 stellt damit letztlich die vollständige Kontrolle über das UAV, sowohl über den Flugweg als auch über die Nutzlast dar.

Die LOIs der STANAG 4586 ermöglichen neben einer besseren Einordnung verschiedener Systeme auch eine grobe Unterteilung der Aufgaben des UAV-Operators in Nutzlastführung und Flugführung. Mit ansteigenden LOIs übernimmt der Operator schrittweise zuerst die Nutzlastführung (LOI 1-3) und dann auch die Flugführung (Ab LOI 4).

Hat der Kommandant die Kontrolle über die UAV Flugführung, besteht in der Regel die Notwendigkeit, diese mehr oder weniger zu automatisieren. Eine hierarchische Darstellung der möglichen Flugführungsautomation bei bemannten Luftfahrzeugen bieten [Onken & Schulte, 2010] (vgl. Abbildung 5), welche durch die zusätzlich eingetragene Funkübertragungsstrecke zwischen Kontrollstation und UAV (R/X, T/X) an die UAV-Führung angepasst wurde.

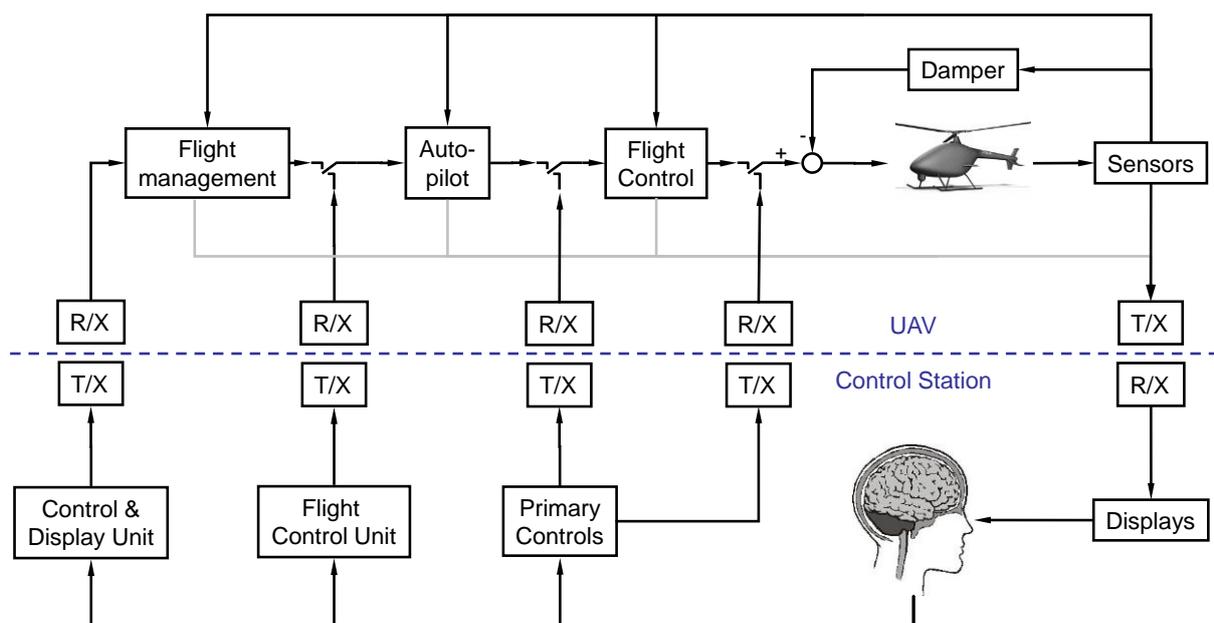


Abbildung 5 Hierarchie der Automation in der UAV Flugführung nach [Onken & Schulte, 2010]

Auf der niedrigsten Führungsebene werden direkte, kontinuierliche Steuereingaben an das UAV gegeben, um die gewünschten Flugzeugbewegungen unter Berücksichtigung der Flugzeugdynamik zu erreichen. Auf der nächsten Ebene kann durch die Zwischenschaltung eines Fly-By-Wire Systems (*Flight Control*) eine vereinfachte, aber immer noch kontinuierliche Steuerung erreicht werden. Hier werden vom Operateur Geschwindigkeiten bzw. Drehraten kommandiert. Auf der nächst höheren Ebene findet der Schritt zu diskreten Kommandos statt. Durch den Einsatz eines Autopiloten kann der Operateur nun Höhe bzw. Steig- / Sinkgeschwindigkeit, Flugzeugrichtung bzw. Drehrate und die Flugzeuggeschwindigkeit kommandieren. Die in dieser Darstellung höchste Flugführungsebene stellt die Kontrolle mittels eines Flugmanagementsystems dar. Hier können Geokoordinaten mit Längen-, Breitengrad und Höhe eingegeben werden, die das

UAV dann selbständig anfliegt. Eine zusätzliche Zeitangabe für die automatische Regelung der Geschwindigkeit wäre hier ebenfalls denkbar.

Mit der Darstellung der Flugführungsautomation konnte somit die Aufgabe der Flugführung in weitere Teilaufgaben gegliedert werden, die hierarchisch voneinander abhängen.

Weitere Automation auf abstrakteren Ebenen der UAV-Führung ist durchaus denkbar und wird vor allem im UAV-Forschungsbereich angestrebt. Allerdings sind hier die Darstellungen noch nicht in dem Maß vereinheitlicht, wie dies bei niedrigeren Flugführungsebenen der Fall ist. In [Cummings et al., 2007a] wird z.B. das Flugmanagement, das für das Abfliegen von Routen zuständig ist, noch mit einer Routenplanung zur Führungsebene Navigation zusammengefasst (vgl. Abbildung 6). Die Routenplanung ist dabei für die Erstellung von Wegpunkten unter Vermeidung von Hindernissen, Bedrohungen oder Flugverbotszonen zuständig.

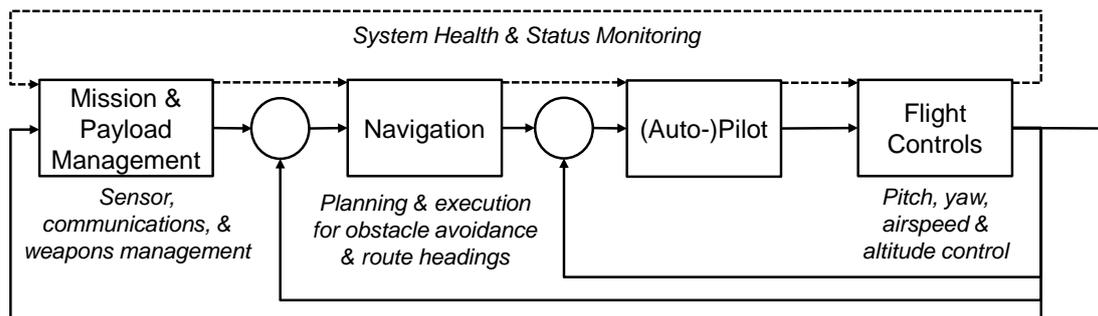


Abbildung 6 Hierarchische Führungsebenen für ein UAV [Cummings et al., 2007a]

Auf der höchsten Ebene dieser Darstellung finden sich die Nutzlastführung und die Missionsverwaltung. Hier werden eventuelle Sensorergebnisse für Entscheidungen gemäß den Missionsanforderungen verwendet. Zusätzlich muss die korrekte Funktion der Automationssysteme, die die Aufgaben durchführen, durch den Operateur bzw. eine Automation überwacht werden (*System Health & Status Monitoring*).

Die zuletzt genannte Aufgabe der Überwachung unterscheidet sich grundsätzlich von den anderen Aufgaben. Hier wird davon ausgegangen, dass eine Teilaufgabe bereits automatisiert ist und der Operateur eine Fehlfunktion der Automation bemerken muss, damit er die Aufgabe wieder manuell übernehmen kann. Allerdings könnte diese Überwachung nicht nur durchgeführt werden, wenn eine Aufgabe automatisiert ist, sondern auch, wenn der Operateur eine Aufgabe bearbeitet. Das bedeutet, der Operateur könnte genauso von einem Menschen oder einer Automation auf die korrekte Durchführung seiner Aufgaben überwacht werden.

Eine alternative Darstellung höherer UAV-Führungsebenen findet sich in [Ertl & Schulte, 2004] (vgl. Abbildung 7).

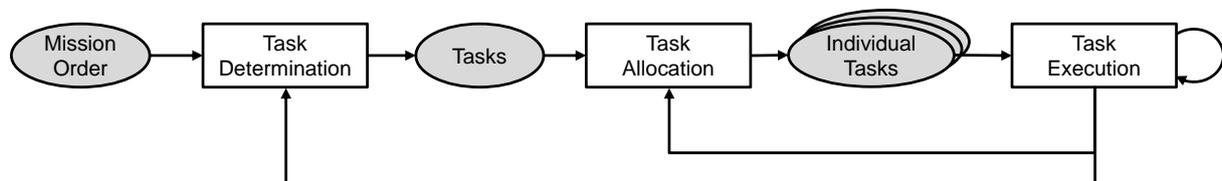


Abbildung 7 Abstrakte Aufgaben bei der UAV-Führung [Ertl & Schulte, 2004]

Die Ebene der Missionsverwaltung wird hier noch einmal weiter aufgeteilt und ebenfalls bezüglich der Kooperation mehrerer UAVs betrachtet. Ausgehend von einem Missionsbefehl werden zuerst für die Mission relevante Aufträge (z.B. Aufklärung eines Gebiets, Überwachung eines Objekts) bestimmt. Diese werden auf der nächsten niedrigeren Führungsebene auf die einzelnen UAVs verteilt. Die Durchführung der einzelnen Aufträge beinhaltet die Nutzlastführung und die Flugführung. Die Rückführung der Ergebnisse der

Aufgabendurchführung kann wie oben erneute Entscheidungen bezüglich der Aufträge und deren Verteilung auf die UAVs erfordern.

In diesem Kapitel wurde die Aufgabe der UAV-Führung, die der Kommandant noch zusätzlich zu bewältigen hat, näher untersucht und dabei einzelne Teilaufgaben identifiziert. Diese Unterteilung kann nun im folgenden Kapitel verwendet werden, um bisherige Ansätze zur UAV-Führung im MUM-T Kontext bezüglich der verwendeten Automation besser einordnen zu können.

### **2.1.2 Stand der Technik**

Das folgende Kapitel stellt die bisherigen Ansätze zur Führung von UAVs aus einem Cockpit dar. Da diese zusätzliche Aufgabe vor allem für den Operateur eine Herausforderung darstellt, gibt es mehrere Möglichkeiten, ihn dabei zu unterstützen:

- mehr Technologie (Aufgaben werden auf Operateur und Automation verteilt)
- mehr Personal (Aufgaben werden auf mehrere Operateure verteilt)
- mehr / besseres Training für den Operateur (routinierteres Verhalten auch in Ausnahmesituationen)
- Änderung der Rahmenbedingungen (z.B. Luftraumtrennung zur Vermeidung von Kollisionen)

Während die erste Möglichkeit einem technologischen Ansatz entspricht, können die anderen Möglichkeiten als organisatorische Ansätze betrachtet werden. Aufgrund des ingenieurwissenschaftlichen Charakters der Arbeit geht die folgende Recherche vorwiegend auf technologische Ansätze ein.

#### AMUST-Baseline

Die U.S. Army führte bereits einige aufeinander aufbauende Studien zur Untersuchung und Demonstration von UAV Führung von Bord eines Helikopters durch. Beginnend mit der *Airborne Manned/Unmanned System Technology Baseline* (AMUST-Baseline) [Moreland et al., 2007][Gerken et al., 2003] wurde die Kontrollstation eines Hunter UAVs in den Arbeitsplatz des Co-Pilot / Gunner (CPG) eines Apache Longbow (AH-64D) Helikopters integriert. Hier sollte als erster Schritt die technische Machbarkeit der UAV-Führung vom Cockpit aus demonstriert und die Möglichkeit zu weiteren Untersuchungen geschaffen werden. Der CPG konnte dabei die UAVs auf den LOIs 2-4 führen.

Diese Konfiguration wurde von Boeing [Kraay et al., 1998] und vom U.S. Army Research Lab [Durbin & Hicks, 2009] in Simulatorstudien untersucht. Das UAV diente dabei als abgesetzter Sensor zur Zielsuche und -zuweisung in Hubschrauberangriffsmissionen. Der CPG konnte für die Zielsuche und -zuweisung Sensorbilder des UAVs auf einem Multifunktionsdisplay (MFD) empfangen. Für die Steuerung des Sensors wurden dieselben Anzeige- und Bedienelemente verwendet, die bereits für den Sensor des AH-64D zur Verfügung standen, so dass keine neue Bedienlogik durch den CPG erlernt werden musste. Bei der Flugführung hatte der CPG die Wahl, entweder vorher programmierte Routen vom UAV abfliegen zu lassen, es zu einem Wegpunkt zu schicken oder es an einer Stelle kreisen zu lassen. Außerdem konnte das UAV von einem zusätzlichen UAV-Operateur an einer externen UAV-Kontrollstation, die in Funkkontakt mit der Apache Crew stand, geführt werden. Die Kontrollstation wurde vorwiegend für die Start- und Landephasen verwendet.

Die Experimente von Boeing, an denen vier Piloten (drei der U.S. Air Force und ein Testpilot von Boeing) teilnahmen, konzentrierten sich vornehmlich auf die Evaluierung der Benutzerschnittstelle. Diese wurde bezüglich Datenpräsentation, Funktionalität und

Nutzbarkeit subjektiv als mindestens gut bewertet. Außerdem konnte bei Befragungen keine Überlastung während der Versuchsdurchläufe festgestellt werden. Jedoch hatten die Versuchspersonen vor allem mit der manuellen Zielsuche und -verfolgung Probleme, was zu Fehlern führte. Als operationeller Vorteil konnte festgestellt werden, dass Bedrohungen mithilfe der abgesetzten Sensoren erkannt werden können, ohne den bemannten Helikopter einer Gefahr auszusetzen.

Bei den Experimenten des U.S. Army Research Labs wurden Missionen mit und ohne UAV geflogen und diese bezüglich der Beanspruchung des CPGs miteinander verglichen. Dabei stellte sich durch Befragungen heraus, dass die Bedienung des zusätzlichen Sensors die Belastung und damit auch Beanspruchung erhöht. Gleichzeitig reduziert sich allerdings aufgrund des besseren Situationsbewusstseins durch den zusätzlichen Sensor die Beanspruchung beim Suchen und Angreifen von Zielen. Als operationeller Vorteil des UAV-Einsatzes wurde die Gesamtzeit für das Suchen und Angreifen von Zielen als kürzer empfunden.

Die Studien zeigen, dass die Sensorführung eines einzelnen UAVs für den Kommandanten / CPG eines Hubschraubers machbar ist, aber dennoch Fehler gemacht werden. Der Ansatz setzt auf Reduzierung der Aufgabenbelastung des CPG, indem im Vergleich zum in dieser Arbeit betrachteten Arbeitsplatz nur eines anstatt mehrerer UAVs geführt wird. Aufgrund dieser Vereinfachung können die Ergebnisse nicht direkt auf den in dieser Arbeit betrachteten Arbeitsplatz übertragen werden.

#### WA, MCA und VUIT-2

Aufbauend auf dem AMUST-Baseline Programm wurde das Airborne Manned/Unmanned System Technology Demonstration (AMUST-D) Programm durchgeführt, welches als einen technischen Schwerpunkt das gemeinsame Situationsbild von AH-64D Angriffshubschraubern, dem Hunter UAV und einem UH-60 Blackhawk Führungshubschrauber hatte [Farrell et al., 2003]. Der Blackhawk soll dabei ein Missionsführungspaket im Transportraum mitführen, über welches das UAV von mehreren Operateuren geführt werden kann (vgl. Abbildung 8).



**Abbildung 8** Das Army Airborne Command and Control System (A2C2S) im Blackhawk [Gerken et al., 2003]

Der Arbeitsplatz des Operateurs im Blackhawk kommt dem in dieser Arbeit betrachteten System insofern näher, als dass der Operateur auch Missionsplanungsaufgaben bewältigen muss. Allerdings geschieht die Führung nicht durch eine Person, sondern durch ein Team, was die Arbeitsbelastung wieder verteilt und die Arbeitsplätze nicht direkt miteinander vergleichbar macht. Im Rahmen des AMUST-D Programms und des verwandten *Hunter*

*Standoff Killer Team (HSKT) Advanced Concept Technology Demonstration* Programms [Moreland et al., 2007] wurden als technologischer Ansatz außerdem verschiedene Assistenzsysteme entwickelt. Der *Warfighter's Associate (WA)* soll die AH-64D Crew unterstützen und der *Mobile Commander's Associate (MCA)* unterstützt das *Mobile Command Team* an Bord des missionsleitenden UH-60 Blackhawks (vgl. Abbildung 9). Die Systeme bauen auf dem *Rotorcraft Pilot's Associate (RPA)* [Miller & Hannen, 1999] auf, einem der ersten Pilotenassistenzsysteme, welches in Kapitel 2.2.3 noch näher beschrieben wird.

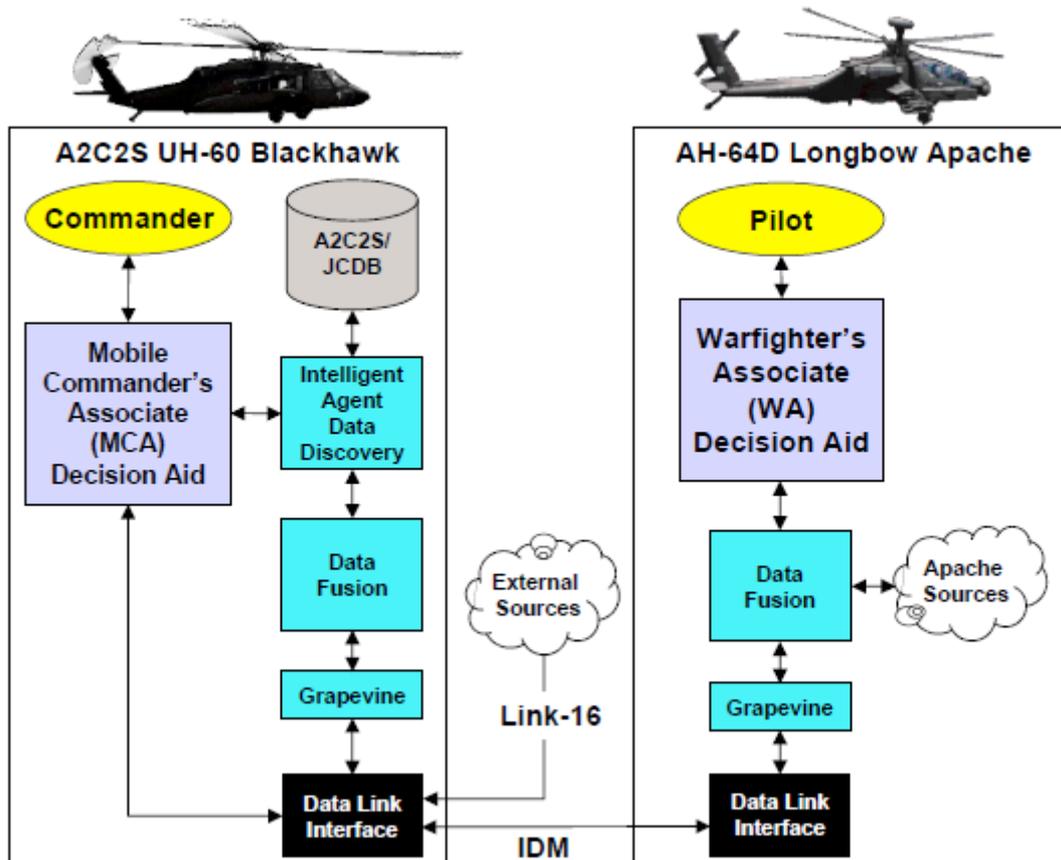


Abbildung 9 AMUST-D Architektur zum geteilten Situationsbewusstsein [Farrell et al., 2003]

Ziele des MCA sind die Verbesserung des Situationsbewusstseins des mobilen Kommandanten, die Unterstützung beim Kommandieren eines heterogenen Teams und die Kontrolle des Hunter UAVs [Gerken et al., 2003]. Das System sucht automatisch nach Informationen, die das Situationsbewusstsein des Kommandanten verbessern. Es unterstützt beim Missionsmanagement durch Missionsplanen und -editieren, automatische Planung und Verteilung von Routen, Verwaltung der Teamstrukturen und Überwachung der Routen hinsichtlich Bedrohungen. Über den MCA erfolgt außerdem die Kontrolle des UAV Sensors. Die Trennung der in Kapitel 2.1.1 definierten Aufgabentypen „Durchführung“ und „Überwachung“ ist hier vermischt. Dennoch übernimmt das System mit der Überwachung des Kommandanten eine Aufgabe, die bisher noch nicht ausgefüllt war. Dieser Ansatz birgt große Chancen für die Vermeidung von Fehlern bzw. Steigerung der Leistung des Kommandanten und des Gesamtsystems, da der Kommandant bisher noch nicht (auch nicht durch einen Menschen) überwacht wurde.

Im Anschluss an das HSKT Programm wurde versucht, die im Simulator erreichten Ergebnisse in realen Systemen umzusetzen. Ein erster Schritt ist das *Video Unmanned Aircraft System Intelligence Teaming (VUIT-2)* System – ein Datenlink, welcher den direkten

Empfang von Videostreams und Metadaten der meisten vom US Militär eingesetzten UAVs ermöglicht [Gourley, 2009]. Dies entspricht laut STANAG 4586 dem LOI 2.

### Collaborative Autonomy / UCAR

Einen weiter greifenden Ansatz bezüglich der Führungsebene stellen Lockheed Martin und die Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) im Zusammenhang mit dem *Unmanned Combat Armed Rotorcraft* (UCAR) Programm der U.S. Army vor [Jameson et al., 2005]. Mit der *Collaborative Autonomy* Architektur soll nicht nur ein einzelnes UAV über Wegpunkte, sondern ein Team aus unbemannten Luftfahrzeugen von einem AH-64D über abstrakte Missionsaufträge geführt werden können. Dies erfordert die Entwicklung neuartiger Technologien, um den UAVs als einzelne Missionsteilnehmer ein hohes Maß an Autonomie und als Team kooperative Fähigkeiten zu verleihen. Die Architektur besteht aus den technischen Komponenten Missionsplanung und Durchführung (*Mission Planning*), Teaming für ein einheitliches Auftreten gegenüber dem Operator (*Collaboration & Communications Management*), einem Modul für umfangreiches, geteiltes und prädiktives Situationswissen (*Situational Awareness*), Management von unerwarteten Situationen (*Contingency Management*) und taktisches Manövrieren (*Air Vehicle Management*) (vgl. Abbildung 10).

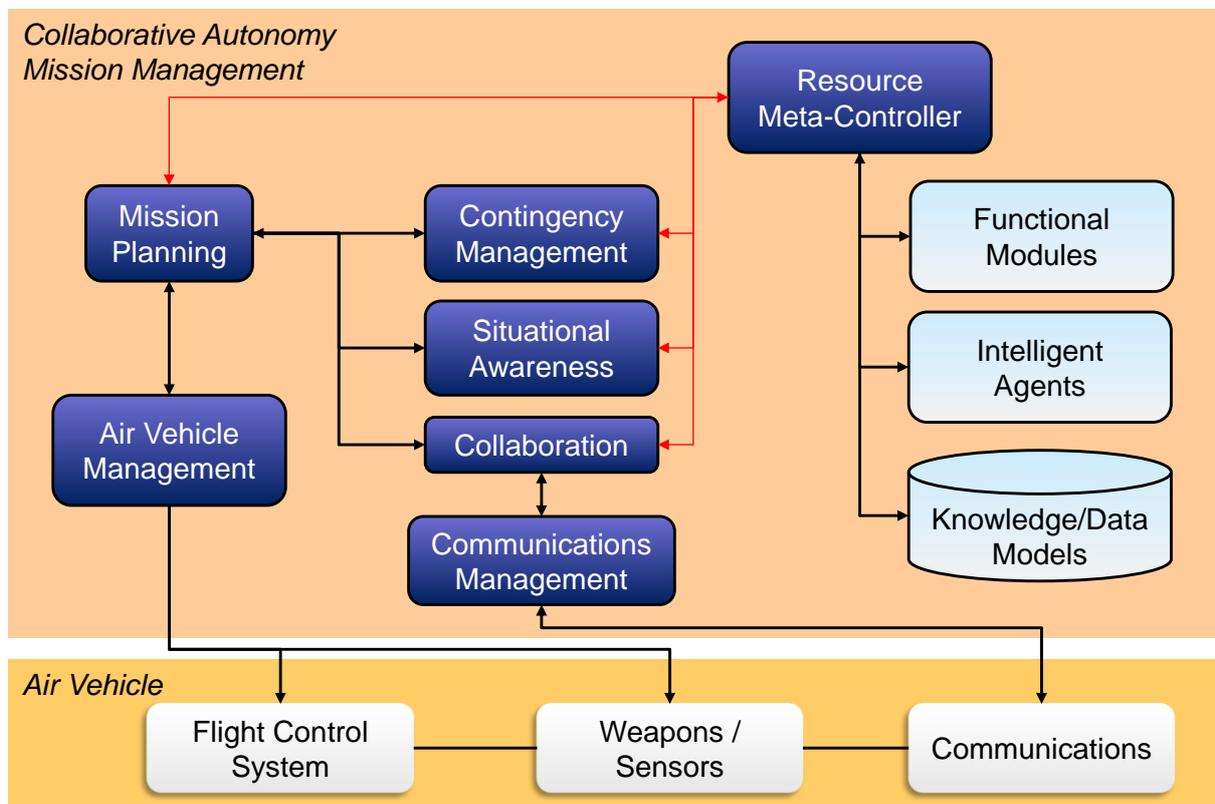


Abbildung 10 Collaborative Autonomy Architektur [Jameson et al., 2005]

In einer MUM-T Demonstration wurden durch eine prototypische Umsetzung die Konzepte für Autonomie, Kooperation, Benutzerschnittstellen, Beanspruchungsmanagement und die bemannt-unbemannte Interaktion exemplarisch dargestellt. Das Programm wurde anschließend aufgrund einer Umverteilung der finanziellen Mittel Seitens der US-Regierung eingestellt.

### IA-FNC

Nicht nur die U.S. Army, sondern auch die U.S. Navy forscht zusammen mit der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) unter dem Programm *Intelligent Autonomy Future Naval Capability* (IA-FNC) ebenfalls an der Führung einer großen Anzahl heterogener

unbemannter Systeme durch eine kleine Anzahl im Einsatzgebiet befindlicher Operateure [O'Day et al., 2004]. Das Programm geht von einem hohen Automationsgrad der unbemannten Kräfte und einer Führung mittels *high-level mission tasking* [ONR, 2008] aus. Dies erfordert die Umsetzung neuer Technologien in den Bereichen dynamischer Missions(-um)planung, Missionsumplanung für ein Team mit begrenzter Kommunikation, Feststellen von Umplanungsbedarf, Warnungen bei Auftragsunterbrechung und begrenzter automatischer Datenverarbeitung zur Objekterkennung und -klassifizierung. Die Beanspruchung des Operateurs soll durch Minimierung der menschlichen Intervention reduziert werden. Bei dem Programm handelt es sich um eine Langzeitstudie, von der außer dem Konzept bisher keine Ergebnisse bekannt sind.

## SEC

Die DARPA verfolgte neben den Programmen mit dem U.S. Militär auch mit dem Massachusetts Institute of Technology (MIT) die Ermöglichung von bemannt-unbemannter Kooperation im Programm *Software Enabled Control* (SEC) [Valenti et al., 2004] [Schouwenaars et al., 2006]. Hier sollte eine Lockheed T-33 als UAV von einer Boeing F-15E geführt werden. Die technologische Lösung baut auf der Abstraktion der Führungsebene zur Vermeidung häufiger Autopilotenkommandos auf. Die Ansätze hierfür waren eine Auftragslistenverwaltung, ein Trajektorienplaner und eine natürlichsprachliche Kommunikation zwischen Pilot und UAV (vgl. Abbildung 11).

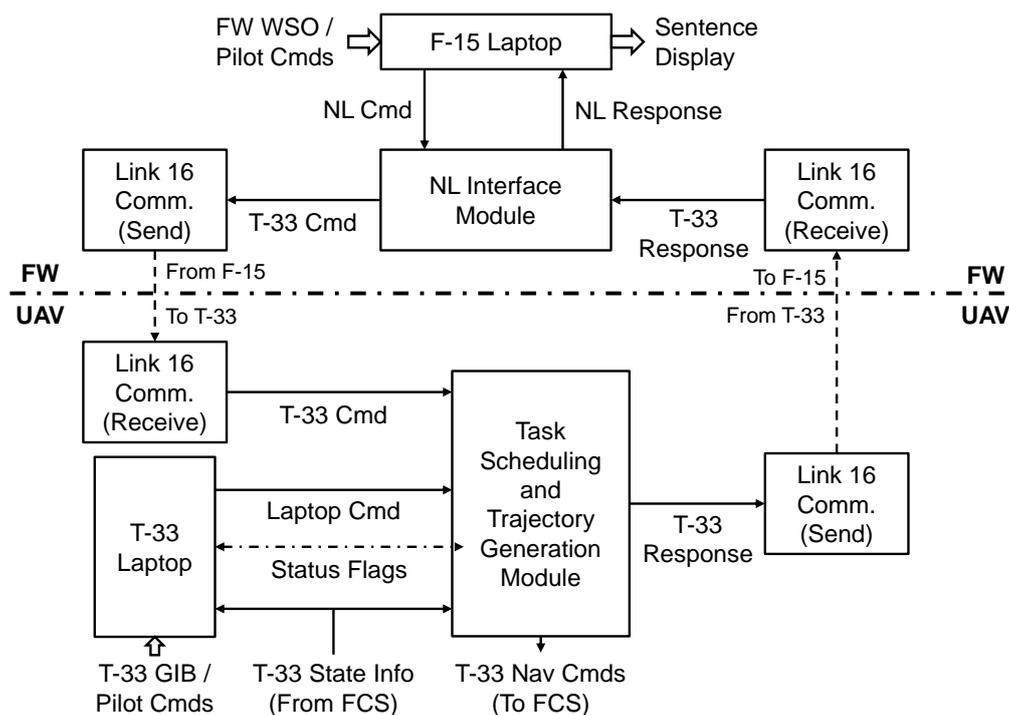


Abbildung 11 Architektur der MIT SEC Capstone Demonstration [Schouwenaars et al., 2006]

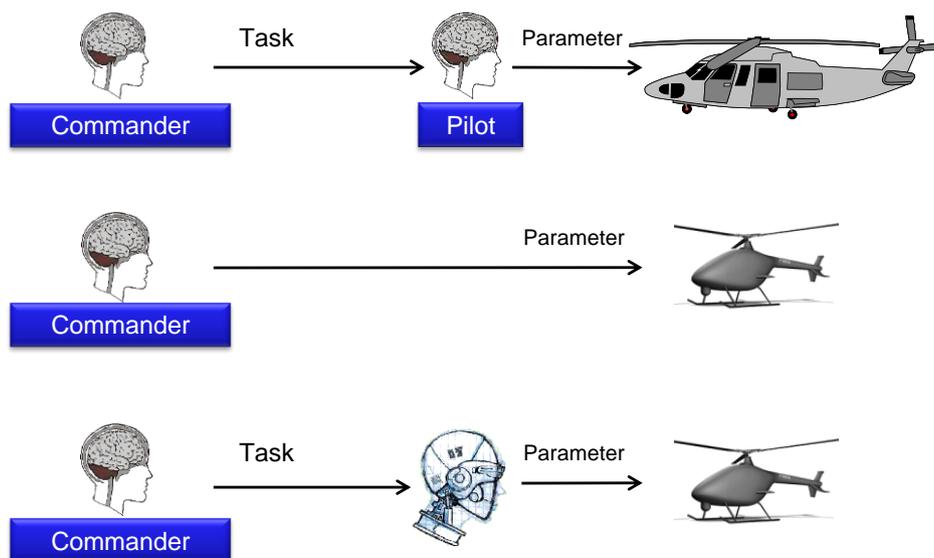
Das Kommunikationsmodul setzt dabei natürlichsprachliche Kommandos des Piloten in parametrische / maschinenverständliche Kommandos um und umgekehrt. Das UAV versteht hierfür auftragsorientierte Kommandos wie „Fliege zu Wegpunkt x“, „Greife Ziel y an“, „Warte an Wegpunkt z“ und sortiert diese in eine Auftragsliste ein. Der Trajektorienplaner wird für den sicheren Flug durch teilweise unbekanntes Gebiet eingesetzt. Die Technologien wurden über Hardware-in-the-loop bis hin zum Realflug demonstriert. In der Demonstration konnte der Pilot allerdings nur den aktuellen Auftrag in der Liste verändern oder einen Auftrag an das Ende der Liste anhängen. Durch diese bewusste Einschränkung der Funktionalität wurde zwar die Komplexität der Bedienung verringert und mögliche Human

Factors Probleme eingeschränkt, allerdings werden weitere Funktionen wie Editieren des nachfolgenden Auftrags oder Löschen von Aufträgen in einem einsatzfähigen System benötigt.

### CCC & TBG

In dem hier betrachteten Ausgangssystem werden ebenfalls bereits eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, um die Führung mehrerer UAVs vom Kommandantenarbeitsplatz eines bemannten Hubschraubers aus zu ermöglichen. Da der Kommandant bereits für verschiedene andere Aufgaben in den Bereichen Missionsführung, Navigation, Systembedienung, Kommunikation und Unterstützung des Piloten zuständig ist, wurde daher als organisatorische Maßnahme eine neue Aufgabenteilung (engl.: *Crew Coordination Concept* – CCC) im Cockpit vereinbart. Das bedeutet, dass einige Systembedienungs- und Kommunikationsaufgaben vom Kommandanten zum Piloten umverteilt wurden. Dadurch wurden freie Ressourcen geschaffen, die für die UAV-Führung genutzt werden können. Außerdem hilft ein Assistenzsystem dem Piloten, die vom Kommandanten übernommenen Aufgaben zu bewältigen. Zusätzlich überwacht es den Piloten, so dass der Kommandant von dieser Aufgabe ebenfalls entlastet wird. In [Strenzke et al., 2011] werden diese Maßnahmen noch näher beschrieben.

Trotz dieser Entlastung durch das neue CCC muss der Kommandant ohne neue Technologien die UAVs immer noch relativ aufwendig auf Basis von Wegpunkten führen und die Kamera weitgehend manuell steuern. Studien am Institut für Flugsysteme haben gezeigt, dass der Kommandant dabei immer noch leicht überfordert werden kann [Uhrmann et al., 2009] bzw. durch selbstadaptive Strategien versucht, drohende Überforderungssituationen zu vermeiden [Donath, 2012]. Die Führung der UAVs wurde zur weiteren Entlastung des Kommandanten auf eine abstraktere, auftragsbasierte Ebene gehoben (engl.: *Task-Based Guidance* – TBG). Der Operateur muss nun nicht mehr die einzelnen Systeme (z.B. die Kamera) bedienen, sondern gibt ähnlich wie dem Piloten eine Liste an Aufträgen an einen Agenten an Bord jedes einzelnen UAVs (vgl. Abbildung 12). Dies geschieht über eine grafische Benutzeroberfläche mit einer digitalen Karte. Diese Auftragsliste wird dann selbständig durch die Agenten abgearbeitet und in entsprechende Parameter an die Systeme umgesetzt.



**Abbildung 12 Vergleich parametrischer Führung und Führung auf Auftrags Ebene [Uhrmann et al., 2010]**

Die auftragsbasierte Führung wurde mithilfe künstlich kognitiver Einheiten an Bord eines jeden UAVs realisiert, die Aufklärungs- und Überwachungsaufträge des Operateurs versteht und durch Anweisungen an Kamerasteuerung und Flugmanagementsystem in taktisch

sinnvolles Verhalten umsetzt. In [Uhrmann, in Vorb.] und [Uhrmann & Schulte, 2012] wird dieses Konzept und experimentelle Ergebnisse dazu näher beschrieben. Dieser technologische Ansatz verteilt Aufgaben vom Kommandanten auf eine neue Automation, ähnlich dem SEC Ansatz.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die erwähnten Ansätze alle noch im Forschungs- bzw. Entwicklungsstadium befinden und sich noch keine Systeme im Einsatz befinden, die UAV-Führung vom Cockpit ermöglichen. Das VUIT-2 System, welches im Apache Block III enthalten sein wird, stellt in diesen Arbeiten den ersten Schritt dar, wobei hier keine vollständige UAV-Kontrolle, sondern nur ein LOI 1-2 mit einem zusätzlichen Operateur an einer Bodenkontrollstation angestrebt ist. Ein vermehrter Personaleinsatz ist in dieser Arbeit allerdings nicht angestrebt, weshalb vermehrt Automation eingesetzt werden soll. Die Ansätze, welche auf mehr Automation zurückgreifen, nutzen mindestens eine wegpunktbasierte Flugführung mit Flight Management System, um den Operateur angemessen zu entlasten. Die auftragsbasierte Führung, die als Ausgangspunkt dieser Arbeit dient, stellt dabei einen noch höheren Automationsgrad dar, mit der der Operateur noch einmal weiter von hierarchisch niedrigen Flugmanagement- bzw. Systembedienungsaufgaben entlastet ist. Einen besonderen Ansatz stellen der WA und der MCA dar, die den Operateur durch Automation im Bereich der Überwachungsaufgabe (*System Health & Status Monitoring*, vgl. Kapitel 2.1.1) unterstützen. Inwiefern die verschiedenen Ansätze die in der Einleitung erwähnten ergonomischen Probleme von UAV-Operateuren lösen können, soll das folgende Kapitel klären.

### **2.1.3 Ergonomische Probleme und Lösungsansätze**

Ziel des folgenden Kapitels ist die Konkretisierung der ergonomischen Probleme bei der UAV-Führung, um im Anschluss einen Lösungsansatz festlegen zu können, der diesen bestmöglich entgegenwirkt. Das Kapitel beginnt hierfür mit einer Erläuterung der wesentlichen Begrifflichkeiten und Zusammenhänge im Gebiet der *Human Factors* (Kapitel 2.1.3.1). Mit dieser Grundlage können die ergonomischen Probleme in der UAV-Führung anschließend besser analysiert werden (Kapitel 2.1.3.2). Zuletzt werden mögliche Lösungsansätze für diese Probleme diskutiert und eine Entscheidung bezüglich des gewählten Ansatzes getroffen (Kapitel 2.1.3.3).

#### **2.1.3.1 UAV-Führung aus *Human Factors* Sicht**

Allgemein betrachtet kann die Führung von UAVs als ein Arbeitsprozess angesehen werden, in dem der Mensch mit Maschinen und seiner Umwelt zur Erreichung eines Arbeitsziels interagiert. [Onken & Schulte, 2010] beschreiben diesen Arbeitsprozess aus der technischeren Sichtweise des Arbeitssystems (vgl. [REFA, 1984][DIN, 2004]). Das Arbeitssystem beschreibt hierbei weniger die Interaktionen bzw. den Informationsfluss, sondern betont mehr die funktionalen Komponenten und deren Eigenschaften (vgl. Abbildung 13).

Es ist definiert durch das Arbeitsziel (*work objective*), welches erreicht werden soll. Ohne Arbeitsziel kann es demnach auch kein Arbeitssystem geben. Beispiele hierfür sind Anweisungen oder Kommandos eines vorangehenden Arbeitssystems. Außerdem kann auch der Mensch im Arbeitssystem sein Arbeitsziel selbst bestimmen.

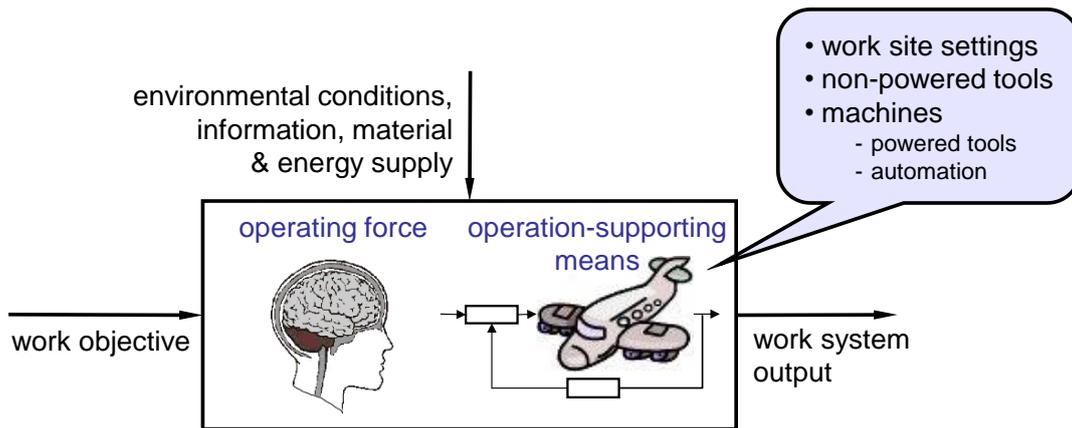


Abbildung 13 Grundlegende Struktur eines Arbeitssystems [Onken & Schulte, 2010]

Daneben können als weitere Eingabe Umwelteinflüsse (*environmental conditions*), wie z.B. atmosphärische Gegebenheiten bei Flugzeugen einen Einfluss auf das Arbeitssystem haben. Weitere Eingaben von außen sind relevante Informationen (*information*) über die Außenwelt, Materialien (*material*) oder die Energieversorgung (*energy supply*).

Auf der Ausgangsseite zeigen sich die für das Arbeitsziel relevanten Veränderungen der Umwelt, die durch das Arbeitssystem bewirkt werden (*work system output*).

Als Beispiel für ein Arbeitssystem wird in [Onken & Schulte, 2010] das Fliegen eines Flugzeugs mit dem Ziel, Güter von einem Ort zum andern zu transportieren, genannt. Das Arbeitssystem bewirkt in diesem Fall eine Veränderung der Position der Güter. Ähnlich kann auch die Führung von UAVs und bemannter Luftfahrzeuge zur Erfüllung einer militärischen Mission als Arbeitsprozess gesehen werden. Unter Berücksichtigung relevanter Informationen wie den Positionen von weiteren eigenen und von Feindkräften werden beispielsweise als Veränderung der Umwelt Truppen transportiert.

Für die interne Struktur des Arbeitssystems gehen [Onken & Schulte, 2010] davon aus, dass bei den hauptsächlich betrachteten Arbeitsprozessen der Fahrzeug- bzw. Flugzeugführung typischerweise Menschen technische Geräte bedienen. Daher besteht das Arbeitssystem aus den zwei Kernkomponenten

- *operating force* und
- *operation supporting means* (Arbeitsmittel),

welche im Folgenden näher beschrieben werden.

Die wichtigste Eigenschaft der *operating force* ist, dass sie die einzige Komponente im Arbeitssystem ist, die Menschen enthält (vgl. Abbildung 14). Sie besteht aus mindestens einem Menschen bzw. Operateur (*human operator*), der in dieser Arbeit der Kommandant sein könnte. Dabei ist sie die höchste Entscheidungsinstanz, d.h. sie bestimmt und überwacht, was im Arbeitssystem passiert und welche *operation-supporting means* eingesetzt werden sollen. Dafür hat sie als einzige Instanz das Wissen über das Arbeitsziel, sowie Wissen darüber, wie dieses verfolgt werden kann. Der Mensch als autonome Entität kann dabei, wie oben beschrieben, das Arbeitsziel unabhängig von einer externen Führung selbst neu bestimmen oder verändern. Außerdem kann die *operating force* auch durch künstliche Teammitglieder unterstützt werden. Dieser Ansatz führt zum Gedanken der Assistenzsysteme, welcher später noch ausführlicher behandelt wird.

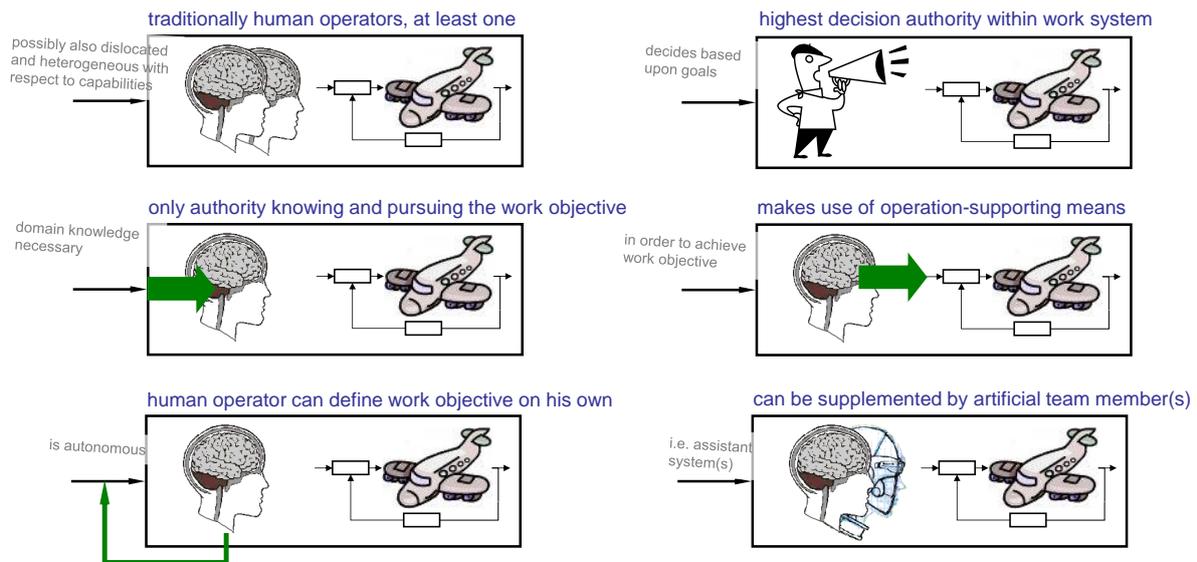
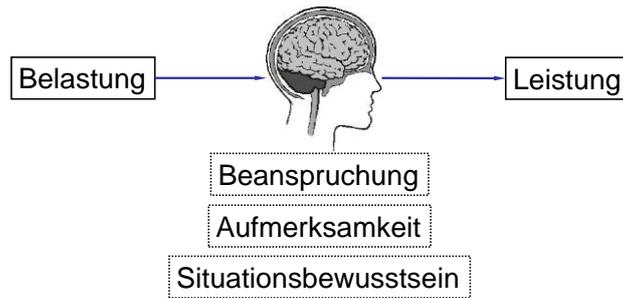


Abbildung 14 Hauptigenschaften der *operating force* in einem Arbeitssystem [Onken & Schulte, 2010]

Die *operation-supporting means* sind eine optionale, aber in der Regel vorhandene Komponente in einem Arbeitssystem. Es kann allerdings auch vorkommen, dass ein Mensch als *operating force* in einer komplett natürlichen Umgebung ohne technische Hilfsmittel arbeitet. Wie in Abbildung 13 bereits erläutert, bestehen die *operation-supporting means* zum einen aus der Arbeitsplatzeinrichtung (*work site settings*), zu der beispielsweise die Einrichtung oder die Beleuchtung zählt. Ein weiterer Bestandteil sind Werkzeuge ohne Antrieb (*non-powered tools*), z.B. Bücher, Schraubenzieher oder ein Fahrrad als Fortbewegungsmittel. Weitere Arbeitsmittel können angetriebene Werkzeuge (*powered tools*), wie z.B. Bohrmaschinen, Automobile oder auch UAVs sein, die zu der Kategorie der Maschinen (*machines*) gehören. In diese Kategorie fallen auch Automationsfunktionen (*automation*), die entweder eigenständig sein können (z.B. ein Roboter) oder in ein angetriebenes Werkzeug eingebaut sind. Als Beispiel für Automation kann die automatische Geschwindigkeitsregelung im Fahrzeug oder ein Autopilot im Flugzeug bzw. UAV genannt werden, der automatisch eine vorgewählte Geschwindigkeit oder Höhe hält (vgl. Kapitel 2.1.1). In diesem Zusammenhang wird Automation allgemein als eine technische Funktion definiert, welche eine Kontroll- oder Informationsmanipulationsaufgabe teilweise oder vollständig durchführt, welche ansonsten durch einen Menschen durchgeführt werden müsste:

„Regarding to the scope of this book, automation within a work process stands for any technical function, which partially or fully carries out a control or information manipulation task which, in the last place, is defined by an autonomous entity like the human operator, and which otherwise a human operator would have to accomplish.“ [Onken & Schulte, 2010]

Nachdem nun alle Komponenten des Arbeitssystems und deren Zusammenwirken beschrieben wurden, konzentriert sich die folgende Darstellung auf die Größen, die in direktem Zusammenhang mit dem Menschen stehen und an den ergonomischen Problemen beteiligt sind (vgl. Abbildung 15). Dabei wird zwischen externen (durchgezogene Linien) und internen (gestrichelte Linien) Größen unterschieden.



**Abbildung 15 Illustration einiger menschenbezogener Größen im Arbeitssystem**

### Belastung

Eine treffende Begriffsdefinition der menschlichen Belastung findet sich in der DIN EN ISO Norm 6385:

*"Arbeitsbelastung [ist die] Gesamtheit der äußeren Bedingungen und Anforderungen im Arbeitssystem, die auf den physiologischen und / oder psychologischen Zustand einer Person einwirken"* [DIN, 2004]

Die äußeren Bedingungen und Anforderungen setzen sich dabei nach [DIN, 2004] aus den Arbeitsaufgaben (hier: dem Arbeitsziel), den Arbeitsmitteln, dem Arbeitsraum und der Arbeitsumgebung (hier: Umwelteinflüsse, Informationen usw.) zusammen.

### Leistung

In [Schmidtke, 1993] bzw. [Bubb, 1993] wird eine einfache Definition für die Arbeitsleistung des Menschen anhand der Arbeitssystemgrößen gegeben. Hier wird zuerst die Arbeitsqualität als Verhältnis des erreichten Arbeitsergebnisses zur anfangs definierten Aufgabe (hier: dem Arbeitsziel) definiert:

$$\text{Arbeitsqualität} = \text{Ergebnis} / \text{Ziel}$$

Um also die Arbeitsqualität zu bestimmen, muss man sich über den Zielzustand des Systems im Klaren sein bzw. eine Musterlösung zur Hand haben, mit der das Ergebnis verglichen werden kann. Ein UAV-Unfall, ausgelöst durch *Human Factors* Probleme, mindert das Arbeitsergebnis und somit die Arbeitsqualität, da Teil des Arbeitsziels auch ist, dass das UAV nach beendeter Mission wieder unversehrt zurückkehrt.

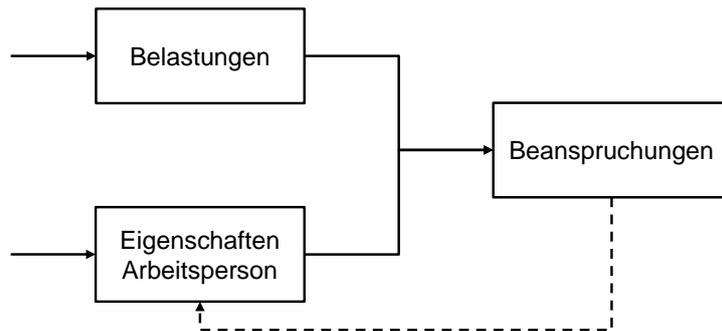
Mithilfe der Arbeitsqualität wird in [Bubb, 1993] nachfolgend die Arbeitsleistung in Abhängigkeit der dafür benötigten Zeit definiert:

$$\text{Arbeitsleistung} = \text{Arbeitsqualität} / \text{Zeit}$$

Die Arbeitsleistung nimmt also ab, je länger der Mensch für die Erreichung desselben Ergebnisses benötigt. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für die Bestimmung der Arbeitsleistung das Arbeitsziel definiert und sowohl das Ergebnis als auch die dafür benötigte Zeit ermittelt werden müssen.

### Beanspruchung

Der Begriff der menschlichen Beanspruchung wird in [Rohmert, 1984] als die Auswirkung der auf eine Person einwirkenden Arbeitsbelastung und ihre Eigenschaften gesehen (vgl. Abbildung 16).



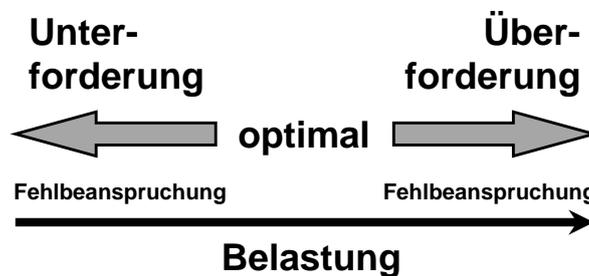
**Abbildung 16 Belastungs-Beanspruchungs-Konzept [Rohmert, 1984]**

Die DIN EN ISO Norm 6385 liefert in Anlehnung an dieses Konzept folgende Definition der Beanspruchung:

*"Arbeitsbeanspruchung [ist die] innere Reaktion des Arbeitenden/Benutzers auf die Arbeitsbelastung, der er ausgesetzt ist und die von seinen individuellen Merkmalen (z. B. Größe, Alter, Fähigkeiten, Begabungen, Fertigkeiten usw.) abhängig ist"* [DIN, 2004]

Die Beanspruchung ist demnach bei gleicher Arbeitsbelastung je nach Person unterschiedlich. [Hart & Staveland, 1988] definieren Beanspruchung außerdem als ein multidimensionales Konstrukt, welches aus einer subjektiven Bewertung durch die arbeitende Person selbst gemessen werden kann. Sie setzt sich aus den geistigen, körperlichen und zeitlichen Anforderungen der Aufgaben, der eigenen Leistung, der Anstrengung und der Frustration zusammen.

Eine besondere Form der Beanspruchung stellt die Unter- bzw. Überforderung dar. Sehr vereinfacht ausgedrückt kann nach [Oesterreich, 2001] eine zu geringe Belastung zu einer Unterforderung und eine zu hohe Belastung zu Überforderung führen (vgl. Abbildung 17).



**Abbildung 17 Über- und Unterforderung [Oesterreich, 2001]**

Wie der Darstellung bereits zu entnehmen ist, wird keine genaue Grenzbelastung für die Unter- bzw. Überforderung angegeben. Dies hängt einerseits damit zusammen, dass Beanspruchung wie oben erwähnt bei jeder Person unterschiedlich ist und ein skalarer Wert aufgrund der Multidimensionalität von Beanspruchung nicht bestimmbar ist.

### Aufmerksamkeit

Für die Bearbeitung von Aufgaben besitzt der Mensch viele verschiedene parallel arbeitende Systeme, wie z.B. für die Wahrnehmung, das Denken oder die Motorik. Jedes dieser Systeme besitzt allerdings einen Flaschenhals, durch das es sich nur auf eine Sache konzentrieren kann. Dies bedeutet, dass einige Informationen ausgeblendet werden, um sich besser mit anderen beschäftigen zu können [James, 1890]. Die Aufmerksamkeit des Menschen kann dabei als der Prozess angesehen werden, der die Fokussierung der verschiedenen Systeme steuert.

Für die Aufmerksamkeit bzw. diesen Prozess wurden verschiedene Modelle aufgestellt. Das Modell der frühen Selektion von [Broadbent, 1958] sieht den Menschen als Informationsverarbeitungssystem. Hier erreichen verschiedene Signale über Rezeptoren und

Kanäle einen selektiven Filter, welcher bereits am Eingang nur bestimmte Signale durchlässt. [Deutsch & Deutsch, 1963] wiederum argumentieren, dass Eingaben erst später selektiert werden (können), nachdem ihr Inhalt vollständig analysiert wurde. [Treisman, 1964] schlägt noch die Möglichkeit der variablen Selektion vor. Hier blendet der Filter die Signale am Eingang nicht vollständig aus, sondern dämpft diese nur. Außerdem wird der Filter nur aktiv, wenn die Menge der Signale die nachfolgende Verarbeitungseinheit überfordern würden.

Laut [Anderson, 2000] kann einerseits zwischen visueller und auditiver Aufmerksamkeit, andererseits zwischen Aufmerksamkeit bei der Wahrnehmungsverarbeitung und bei der Antwortgenerierung unterschieden werden. Im Umfeld der Engineering Psychology erforschte [Wickens, 2002] ebenfalls den Begriff der Aufmerksamkeit und stellte ein 4-dimensionales multiples Ressourcenmodell auf (vgl. Abbildung 18).

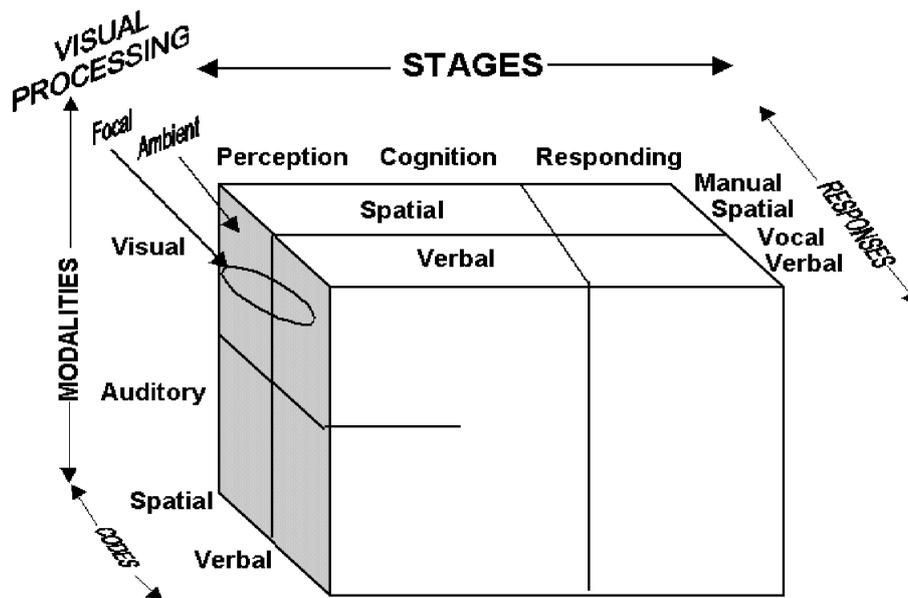


Abbildung 18 4-dimensionales Ressourcenmodell nach [Wickens, 2002]

Hier wird davon ausgegangen, dass der Mensch je nach Aufgabentyp verschiedene Ressourcen benötigt, auf die er seine Aufmerksamkeit verteilen kann. Es wird zwischen den Dimensionen Wahrnehmungsmodalitäten (visuell und auditiv), dem Verarbeitungscode (räumlich und verbal), den Verarbeitungsstufen (Wahrnehmung, Kognition und Antwort), und der Antwort (manuell räumlich, sprachlich verbal) unterschieden.

### Situationsbewusstsein

Der Begriff des Situationsbewusstseins wird aufgrund verschiedener Ansätze unterschiedlich erklärt. Die wohl bekannteste und hier verwendete Theorie zum menschlichen Situationsbewusstsein stammt allerdings von [Endsley, 1995], in der Situationsbewusstsein auf drei verschiedenen Ebenen gesehen wird (vgl. Abbildung 19).

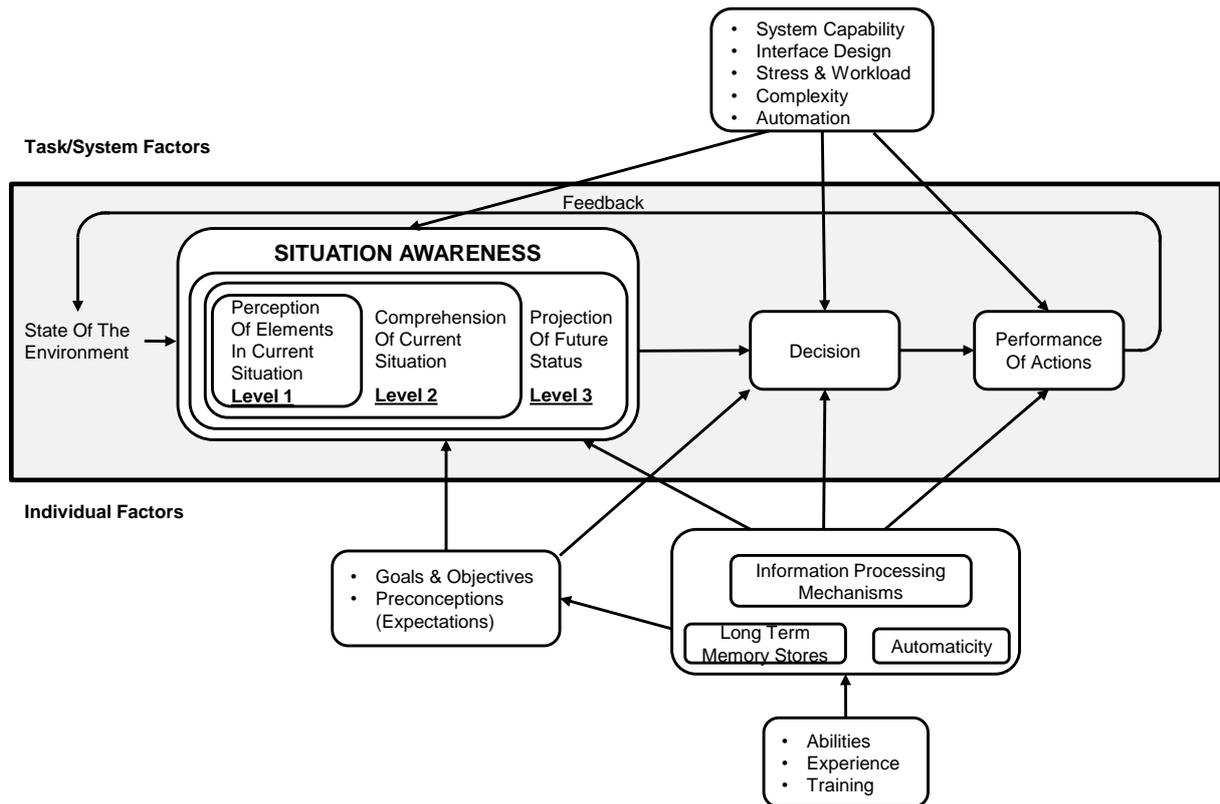


Abbildung 19 Modell von Situationsbewusstsein [Endsley, 1995]

Diese Ebenen bauen aufeinander auf, wobei auf der untersten Ebene die reine Aufnahme der Information beinhaltet. Auf der zweiten Ebene werden die Informationen bezüglich ihrer Bedeutung interpretiert und Zusammenhänge zwischen Informationen hergestellt. Auf der dritten Ebene wird die aktuelle Situation in die Zukunft projiziert und somit die weitere Entwicklung der Situation vorhergesagt. Dieses Situationswissen wird als Grundlage für Entscheidungen und Handlungen des Menschen herangezogen, welche allerdings nachgeordnete Prozesse sind und nicht zum Situationsbewusstsein gehören. Demnach hat die Verteilung der oben erläuterten Aufmerksamkeit auch einen direkten Einfluss auf das menschliche Situationsbewusstsein. Weitere Autoren, die den Begriff verwenden, sehen lediglich das beobachtbare Verhalten als die Grundlage für die Ausprägung des Situationsbewusstseins [Billings, 1995], während in [Carol, 1992] die Fähigkeit zur Handlung selbst als ein Teil des Situationsbewusstseins angesehen wird und [Taylor, 1990] den Begriff der Handlung gar nicht zum Bereich des Situationsbewusstseins zählt.

In diesem Kapitel wurde die UAV-Führung aus der abstrakten Sichtweise des Arbeitssystems betrachtet. Diese Darstellungsweise erlaubt die Einführung allgemeingültiger Begrifflichkeiten bezüglich der Arbeitssituation und des Menschen, welche im weiteren Verlauf eine bessere Einordnung der ergonomischen Probleme in der UAV-Führung ermöglichen.

### 2.1.3.2 Ergonomische Probleme bei der UAV-Führung

Das folgende Kapitel greift die in der Einleitung erwähnten ergonomischen Probleme bei der UAV-Führung noch einmal auf, untersucht diese näher und versucht, sie den vorgestellten menschlichen Größen zuzuordnen.

Die eingangs erwähnte Studie von UAV-Unfällen von [Williams, 2004] untersucht die menschlichen Fehler dabei noch weiter und unterteilt diese in die Kategorien Warnungen/Alarmer (*Alerts & Alarms*), Schwächen im Benutzerschnittstellendesign (*Display Design*), prozedurale Fehler (*Procedural Error*) und fertigkeitbasierte Fehler (*Skill-Based*

Error). Außerdem wurden bei Bedarf für einzelne UAV-Modelle neue Kategorien erstellt (vgl. Tabelle 1).

**Tabelle 1 Aufschlüsselung der Human Factors Probleme bei UAV-Unfällen nach [Williams, 2004]**

	Hunter		Shadow		Pioneer		Predator	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Pilot-In-Command Aircrew	1	7%	2	40%	0	0%	0	0%
Coordination	0	0%	0	0%	9	13%	0	0%
Alerts & Alarms	2	13%	2	40%	0	0%	1	13%
Display Design	1	7%	2	40%	0	0%	2	25%
Landing Error	7	47%	0	0%	46	68%	1	13%
Takeoff Error	3	20%	0	0%	7	10%	0	0%
Weather	0	0%	0	0%	6	9%	0	0%
Procedural Error	3	20%	2	40%	0	0%	6	75%
Skill-Based Error	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
	15		5		68		8	

Die menschlichen Fehler in den Kategorien Warnungen/Alarmer, Schwächen im Benutzerschnittstellendesign und prozedurale Fehler hängen laut [Williams, 2004] meistens mit der Informationsvermittlung des UAV-Zustands an den Operateur zusammen. Hier wurden beispielsweise Geschwindigkeitsinformationen für Wegpunkte oder der Zustand zu übermittelnder Nachrichten an das UAV nicht auf der Benutzeroberfläche angezeigt. Daher konnten sich die Operateure kein adäquates Situationsbewusstsein aufbauen und Probleme bei der Führung nicht unmittelbar erkennen bzw. beheben. Diese eher durch technische Schwächen (z.B. Benutzerschnittstellendesign) verursachten Fehler stehen nicht im Zentrum der Betrachtungen und können wie in [Williams, 2004] vorgeschlagen, durch eine Optimierung der Benutzerschnittstelle verringert werden. Damit sollte sich die Benutzbarkeit (engl.: *Usability*) verbessern und Unfälle vermieden werden können. Eine zusätzliche Kategorie, in der häufig menschliche Fehler zu beobachten waren, stellen Start und Landung der UAVs dar. Leider konnte mangels genauerer Daten nur die Flugphase berücksichtigt werden, während eine Zuordnung der Unfälle zu den ergonomischen Problemen nicht möglich war.

Die für diese Arbeit interessanteren Fehler fanden bei der Befolgung von Prozeduren statt. In einem Beispiel vereiste das Staurohr<sup>1</sup> eines Predator UAVs, was dazu führte, dass der Autopilot die Nase senkte und auf 170 Knoten beschleunigte. Als die Crew das Vereisungsproblem erkannte, reagierte sie falsch, indem sie nur die Heizung für das Pitot-Rohr aktivierte, anstatt zuerst den Autopiloten für die Geschwindigkeitsregelung zu deaktivieren. Dies führte dazu, dass der Autopilot beim Schmelzen des Eises die Nase ruckartig nach oben zog, wodurch der linke Flügel abbrach. Das Problem wurde hier zwar erkannt, so dass die Crew ihre Aufmerksamkeit richtig verteilt hatte. Allerdings war die Crew aufgrund des seltenen Auftretens mit dieser Situation wahrscheinlich überfordert und führte deshalb die Prozedur falsch durch. Da sie dies bis zum Absturz des UAVs nicht bemerkte, hatte sie auch ein falsches Situationsbewusstsein bezüglich der Erledigung der Aufgabe.

<sup>1</sup> Der Sensor für die angezeigte Fluggeschwindigkeit, engl.: *Indicated Airspeed* - IAS

In [Chen et al., 2011] werden anhand von Forschungsstudien im UAV-Führungsbereich weitere menschbezogene Probleme identifiziert:

### Multitasking

Die multi-UAV Führung erfordert vom Operateur die Bearbeitung mehrerer Aufgaben. Im Fall von MUM-T kommen sogar noch weitere typische Kommandantenaufgaben hinzu. In einer Studie von [Chen & Joyner, 2009] mussten Operateure neben Navigationsaufgaben auch Zielsuche-, Bekämpfung- und Kommunikationsaufgaben erledigen. Hier wurde der Einfluss der Aufgabenanzahl auf die Leistung des UAV-Operateurs untersucht. Als Variation wurde z.B. die Anzahl der Ziele verändert. Es wurde festgestellt, dass mehrere gleichzeitige Aufgaben die Leistung negativ beeinflussten, da der Operateur weniger Ziele erkannte. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch [Cummings & Guerlain, 2007], wobei die Probanden in dieser Studie gleichzeitig eine Zielzuweisungs- und eine Kommunikationsaufgabe erledigen mussten. Bei über 16 gleichzeitigen Zuweisungen von Raketen zu Zielen sank die Leistung, da nicht mehr die optimale Zuweisung gewählt wurde.

Es kann daher angenommen werden, dass ein UAV-Operateur ab einer bestimmten Menge an Aufgaben durch das Multitasking überfordert ist und deshalb den Aufgaben nicht mehr die benötigte Aufmerksamkeit schenken kann. Als Folge dessen werden Aufgaben ungenauer bearbeitet oder komplett vernachlässigt und die Leistung in diesen Aufgaben sinkt.

### „Trust in Automation“

Durch das übermäßige bzw. nicht vorhandene Vertrauen in Automation können zwei menschliche Fehler entstehen. Einerseits kann es vorkommen, dass der Operateur trotz optimaler Funktion eine Automation nicht verwendet und die Aufgabe selbst suboptimal bearbeitet. Andererseits kann es sein, dass die Automation suboptimales Verhalten zeigt, sie aber trotzdem vom Menschen verwendet wird, da dieser darauf vertraut, dass sie alles richtig macht. Dies führt zu Fehlern durch übermäßigem bzw. Nichtgebrauch von Automation. Als Lösung für menschliche Fehler, die daraus entstehen, kann verbessertes Training dienen [Chen et al., 2011].

Übertragen auf die bisherigen Erkenntnisse resultiert aus übermäßigem Vertrauen in die Automation eine Vernachlässigung der Überwachungsaufgabe (*System Health & Status Monitoring*) und Fehlfunktionen der Automation werden nicht erkannt. Der Operateur widmet der Aufgabe demnach keine oder nur unzureichende Aufmerksamkeit und hat infolgedessen ein falsches Situationsbewusstsein bezüglich des Aufgabenstatus. Die geringere Leistung bei Nichtgebrauch von Automation kann durch eine geringere Leistungsfähigkeit des Menschen im Vergleich zur Automation erklärt werden. Menschliche Fehler bei manueller Aufgabendurchführung sind allerdings auf andere Phänomene als Nichtgebrauch von Automation zurückzuführen und werden deshalb an dieser Stelle nicht näher betrachtet.

### Situationsbewusstsein

Das beim Operateur vorhandene Situationsbewusstsein über die UAVs und die aktuellen Aufgabenkontexte ist wichtig für eine gute Leistung. In [Cummings, 2004] und [Dorneich et al., 2006] konnte festgestellt werden, dass die Unterbrechung der primären Aufgabe der UAV-Führung z.B. durch zusätzliche Kommunikation einen negativen Effekt auf das Situationsbewusstsein hat. Außerdem stellte [Parasuraman et al., 2009] fest, dass durch den Aufgabenwechsel (z.B. beim Überwachen mehrerer UAVs) Veränderungen der Situation nicht bemerkt wurden.

Die genannten Probleme stehen in engem Zusammenhang mit dem vorher beschriebenen Problem des Multitasking bei der UAV-Führung. Als gemeinsames Ergebnis kann ein

verringertes Situationsbewusstsein festgehalten werden, was im weiteren Verlauf z.B. falsche Entscheidungen oder sogar das Übersehen notwendiger Aktionen bewirken kann.

### Beanspruchung

Laut [Chen et al., 2011] beeinflusst auch die Beanspruchung, die ein Operateur empfindet die Leistung bei der Führung mehrerer unbemannter Fahrzeuge. [Ruff et al., 2002] fanden heraus, dass UAV-Operateure bei komplexen Aufgabenstellungen lieber mehr Automation nutzten. Der für sie Ausschlag gebende Punkt war die Verringerung der Beanspruchung, auch wenn dies die Leistung verringerte. Andererseits nutzten UAV-Operateure bei nicht perfekt funktionierender Automation lieber weniger Automation, was die Beanspruchung erhöhte. [Miller, 2004] modellierte außerdem die Beanspruchung von UAV-Operateuren und leitete daraus ab, dass ein UAV-Operateur überfordert werden würde, wenn er 13 UAVs führen muss, auch wenn seine einzige Aufgabe die Waffenauslösung ist.

Die Studien zur Beanspruchung von UAV-Operateuren zeigen, dass es auch im Bereich der UAV-Führung möglich ist, den Operateur durch Erhöhung der Aufgabenanzahl zu überfordern. Eine Überforderung aufgrund einer Erhöhung der Aufgabenkomplexität ist außerdem denkbar und naheliegend. Beispielsweise steigt die Komplexität einer Missionsplanung mit der Anzahl der beteiligten Missionsteilnehmer bzw. UAVs ebenfalls an.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein hauptsächliches ergonomisches Problem bei der UAV-Führung unvollständiges bzw. fehlerhaftes Situationsbewusstsein ist, wodurch der Operateur nicht erkennt, dass er handeln muss, daher nicht rechtzeitig zur entsprechenden Aufgabe wechselt und die Situation nicht behebt. Ein weiteres Problem ist die Beanspruchung, die Operateure versuchen, z.B. durch vermehrten Automationseinsatz auf einem moderaten Niveau zu halten, wenn ohne entsprechende Maßnahmen eine Überforderung eintreten würde. Das Problem von übermäßigem bzw. Nichtgebrauch von Automation spielt für das in dieser Arbeit betrachtete Ausgangssystem keine Rolle, da die eingesetzte Automation mit der auftragsbasierten Führung fest vorgegeben ist. Dennoch sollte der gewählte Ansatz zur Vermeidung menschlicher Probleme dieses Phänomen berücksichtigen.

### **2.1.3.3 Lösungsansätze zur Vermeidung ergonomischer Probleme**

Die im vorigen Kapitel analysierten ergonomischen Probleme bei der UAV-Führung stellen die Ursache für menschliche Fehler dar. Zur Vermeidung dieser Fehler können wie in Kapitel 2.1.1 erwähnt entweder organisatorische oder technische Maßnahmen ergriffen werden. Die in dieser Arbeit vorwiegend betrachteten technischen Maßnahmen lassen sich dabei noch einmal weiter unterteilen.

Eine häufig verfolgte technische Maßnahme zur Vermeidung menschlicher Fehler stellt die Einführung konventioneller Automation dar. Der Begriff der konventionellen Automation beschreibt in dieser Arbeit Systeme, die vorwiegend parametrische Eingaben zur Steuerung bzw. Regelung von Maschinen verwenden und die keinerlei Entscheidungen treffen. Ein Beispiel hierfür stellen der in Kapitel 2.1.1 erwähnte Autopilot oder das Flugmanagementsystem zur Automatisierung der Flugführung dar. [Onken, & Schulte, 2010] argumentieren, dass der reine Einsatz konventioneller Automation allerdings keine Lösung der menschlichen Probleme darstellt und verdeutlichen dies im Teufelskreis der fortschreitenden Automation (*vicious circle of extending conventional automation*) (vgl. Abbildung 20).

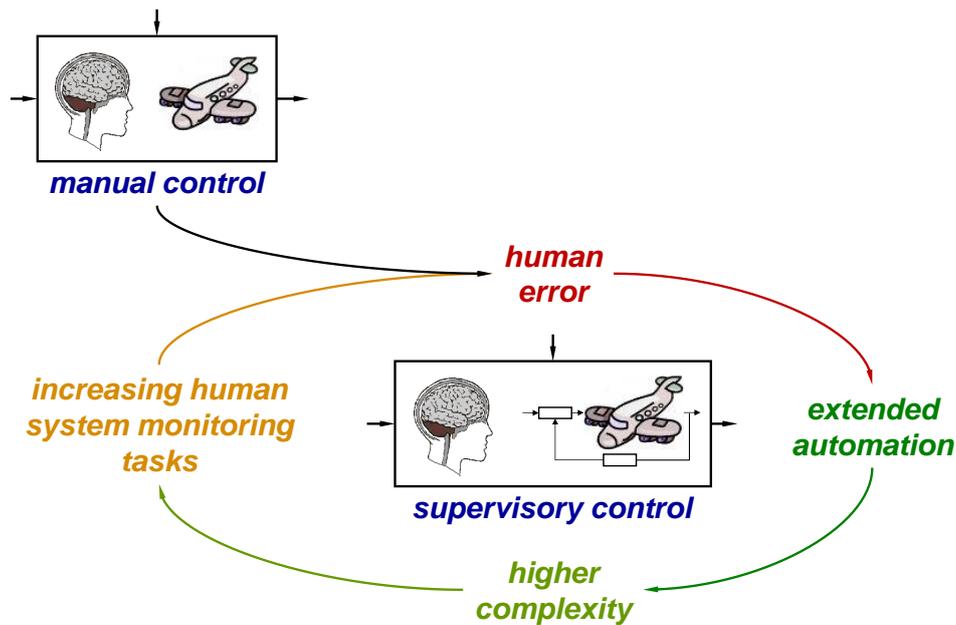


Abbildung 20 Teufelskreis der fortschreitenden Automation [Onken & Schulte, 2010]

Als Startpunkt dient ein Arbeitssystem ohne oder mit wenig Automation. Hier werden die Aufgaben hauptsächlich manuell durchgeführt ohne automatisierte Systeme bedienen und überwachen zu müssen (*manual control*). Da in dieser Konfiguration unweigerlich auch menschliche Fehler geschehen (*human error*), wird als Lösung Automation eingeführt (*extended automation*), die die den Menschen von der Durchführung der Aufgabe, in der ein Fehler passiert ist, entbindet. In diesem Schritt wird der Übergang von manueller Kontrolle zu überwachender Kontrolle (*supervisory control*) gemacht. Durch diese Systemerweiterung ist der Mensch zwar zuerst entlastet und die Leistung in der automatisierten Aufgabe wird vordergründig gesteigert. Allerdings wird das Gesamtsystem komplexer (*higher complexity*), da der Mensch die neu eingeführte Automation zusätzlich bedienen und überwachen muss (*increasing human system monitoring tasks*). Bei dieser neuen Aufgabe können zwar nicht dieselben, aber andere Fehler geschehen, die so nicht vorhergesehen waren. Im zivilen Luftfahrtbereich wurden diese Phänomene bereits ausführlich untersucht (siehe z.B. [Wiener, 1989], [Sarter et al., 1997] oder [Bainbridge, 1983]). [Billings, 1997] beschreibt vier Probleme, die durch das Design von konventioneller Automation entstehen können:

- *Complexity*: Durch die Vielzahl an Betriebsarten hat der Pilot kein mentales Modell des Systems, was für ihn die Wahrscheinlichkeit ungewollter Aktionen erhöht und die Möglichkeit, in unbekanntem Situationen richtig zu reagieren, verringert.
- *Brittleness*: Das Mensch-Maschine-System arbeitet nur innerhalb seiner a-priori vom Designer festgelegten Systemgrenzen korrekt. Bei undefinierten Situationen ist das Zusammenwirken von Mensch und Automation nicht mehr wunschgemäß und muss durch den Operateur korrigiert werden. Die notwendige Korrektur kann aufgrund fehlenden Situationsbewusstseins beim Operateur übersehen werden.
- *Opacity*: Das System kann nicht erklären, warum und wie es etwas tut. Dies führt zu Verständnisproblemen beim Operateur. Dem Operateur fehlt folglich Situationsbewusstsein über den Zustand des Gesamtsystems und den der Automation.
- *Literalism*: Das System führt genau den Befehl des Operateurs aus und reagiert nicht flexibel auf neue Ereignisse. Offensichtlich falsche Eingaben des Operateurs werden nicht erkannt. Der Operateur kann ein falsches Situationsbewusstsein bezüglich des Zustands der Automation haben.

Außerdem werden in [Billings, 1997] weitere Probleme konventioneller Automation, die teilweise mit den oben genannten in Verbindung stehen genannt:

- *Clumsy Automation*: Das System reduziert die Beanspruchung in Phasen, in denen bereits eine niedrige Beanspruchung ist und erhöht diese zusätzlich in anspruchsvollen Situationen. Dies kann zu Unter- oder Überforderung des Operateurs führen.
- *Monitoring requirements*: Durch die erweiterte Überwachung wird der Operateur kognitiv gefordert, was ebenfalls zu einer Überforderung führen kann.
- *Data overload*: Die Automation generiert noch mehr Informationen für den Operateur als im ursprünglichen Zustand, die er verarbeiten muss, was wiederum zu Überforderung führen kann.

Die Probleme können aufgrund der ähnlichen Domäne und der zum Teil sogar identischen Automation (Autopilot, Flugmanagementsystem) von der Führung bemannter Luftfahrzeuge auf die Führung unbemannter Luftfahrzeuge übertragen werden. Bei der UAV-Führung können Probleme des Situationsbewusstseins sogar noch stärker auftreten, da durch die räumliche Trennung Informationen über den Zustand der UAVs nicht direkt vom Operateur erfahren werden können, sondern nur über Sensorergebnisse auf der Kontrollstation präsentiert werden. Probleme der Überforderung, z.B. bei der Überwachung (*monitoring requirement*) werden sich durch die Führung mehrerer Luftfahrzeuge im Vergleich zur Führung eines Luftfahrzeugs ebenfalls verstärken.

Wenn zur Vermeidung der neuen Fehler nun wiederum weitere konventionelle Automation eingeführt wird, wird der Teufelskreis nicht durchbrochen und die ergonomischen Probleme bestehen weiter.

Der entscheidende wichtige technologische Schritt ist der Einsatz künstlicher Intelligenz in Form von kognitiver Automation zusätzlich zur konventionellen Automation. Die Automationskomplexität steigt dadurch zwar erneut, aber die Leistung des Arbeitssystems kann im Vergleich zu konventioneller Automation signifikant gesteigert werden:

*„Higher automation complexity certainly is the price to pay for making possible significant gains in productivity of work systems, but [...] in fact cognitive automation can pave the way towards these gains without losing much as it is the case for conventional automation.”[Onken & Schulte, 2010]*

Kognitive Automation, deren Eigenschaften und Realisierungsmöglichkeiten noch in Kapitel 2.3 ausführlich behandelt werden, haben dabei durch ihr unabhängiges Situationsverständnis und ihre eigene Motivation das Potential für Leistungssteigerungen [Onken & Schulte, 2010]. Im Folgenden wird diese Art der Automation, die in Form von intelligenten Agenten realisiert wird, unter dem Begriff künstliche kognitive Einheit (*artificial cognitive unit – ACU*) behandelt.

ACUs können beispielsweise wie konventionelle Automation als *operation-supporting means* eingesetzt werden (vgl. Abbildung 21). Diese Art von ACU wird im Folgenden auch *Supporting Cognitive Unit (SCU)* genannt. Die Einheit kann durch ihre Motivation, die Anweisungen des Operateurs so gut wie möglich zu erfüllen, Situationen beherrschen, die während des Designs nicht vorhergesehen wurden. Damit können zum Beispiel Probleme wie *brittleness*, *literalism* und *clumsiness* reduziert oder möglicherweise auch vermieden werden. Allerdings bezieht sich dieser Vorteil nur auf die Funktion, für die die ACU eingesetzt wird und nicht auf das Gesamtsystem. Auch *opacity* kann vermieden werden, da die ACU theoretisch erklären kann, was sie gerade macht und aus welchem Grund [Onken & Schulte, 2010]. Ein Beispiel für solche SCUs stellen die kognitiven Einheiten an Bord der UAVs dar,

welche die auftragsbasierte Führung ermöglichen und Aufgaben der Auftragsausführung automatisieren.

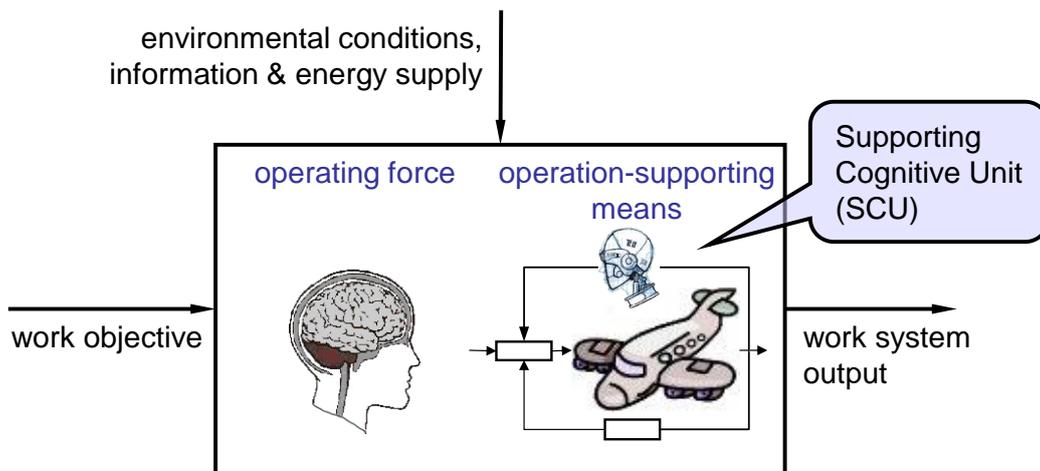


Abbildung 21 Arbeitssystem mit ACU auf Seiten der *operation-supporting means* [Onken & Schulte, 2010]

Allerdings handelt es sich bei SCUs um eine Automation im Sinne von *supervisory control*, so dass der Ausweg aus dem Teufelskreis der Automation noch nicht geschaffen ist und immer noch *human factors* Probleme beim Operateur auftreten können.

Durch Anwendung der Arbeitssystemtheorie kann nun festgestellt werden, dass eine ACU prinzipiell auch auf Seiten der *operating force* eingesetzt werden könnte (vgl. Abbildung 22). Diese Einheit wird *Operating Cognitive Unit* (OCU) genannt und entspricht laut Definition von [Onken & Schulte, 2010] dem Ansatz eines Assistenzsystems. Ein Assistenzsystem versucht nun nicht mehr, ergonomische Probleme durch Ersetzen des Menschen mit weiterer zu bedienender und zu überwachender Automation zu umgehen, sondern den Menschen selbst zu überwachen, Probleme bei der Aufgabenbearbeitung zu erkennen und ihn dabei zu unterstützen. Teil der Motivation eines Assistenzsystems ist es, sich entsprechend dem Arbeitsziel zu verhalten (im Gegensatz zu SCUs, die das Arbeitsziel nicht kennen). Dadurch können *brittleness* sowie *literalism* noch wirkungsvoller vermieden werden. Das Problem von *clumsiness* kann vermieden werden, wenn besonders anspruchsvolle Situationen für den Operateur identifiziert und unterstützt werden. Da ein Assistenzsystem genau wie eine SCU erklären kann, warum es etwas tut, kann das Problem von *opacity* vermieden werden [Onken & Schulte, 2010]. Durch die zusätzliche Aufgabenüberwachung durch das Assistenzsystem können Probleme im Zusammenhang mit dem *monitoring requirement* vermieden werden. Das unabhängige Verständnis der gesamten Arbeitssituation kann außerdem helfen, *data overload* zu vermeiden.

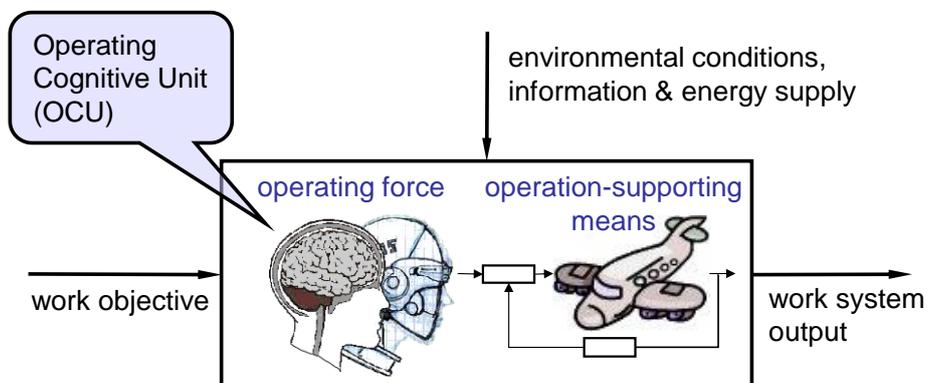


Abbildung 22 Arbeitssystem mit ACU auf Seiten der *operating force* [Onken & Schulte, 2010]

Dadurch, dass das Assistenzsystem nicht vom Operateur bedient und überwacht werden muss, sondern eigenständig die Arbeitssituation überwacht und eingreift, entstehen nicht die *human*

factors Probleme wie bei *supervisory control*. Hierdurch wird der Ausbruch aus dem Teufelskreis der Automation vollzogen (vgl. Abbildung 23). Dieser Ansatz wird in [Onken & Schulte, 2010] auch als *co-operative control* bezeichnet.

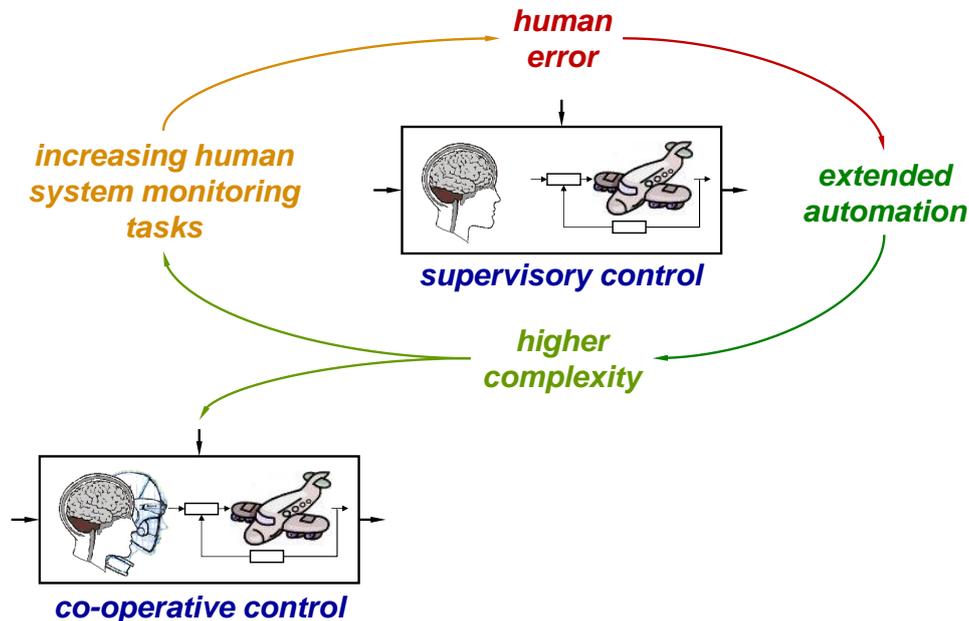


Abbildung 23 Ausbruch aus dem Teufelskreis der fortschreitenden Automation [Onken & Schulte, 2010]

Zusammengefasst kann das in dieser Arbeit betrachtete Ausgangssystem vor diesem Hintergrund als *supervisory control* von mehreren UAVs betrachtet werden, bei dem konventionelle Automation in Form von Autopilot bzw. Flugmanagementsystem vorhanden sind. Auf Seiten der Nutzlastführung befindet sich ebenfalls konventionelle Automation z.B. zur Ausrichtung der Kamera auf einen erdfesten Punkt. Sie wird erweitert durch kognitive Automation in Form einer SCU an Bord jedes UAVs, die eine Führung auf Auftragsebene ermöglicht. Nun stehen prinzipiell mit konventioneller Automation, SCU und OCU wieder verschiedene Erweiterungsmöglichkeiten zur Vermeidung der zu erwartenden ergonomischen Probleme zur Verfügung. Vor dem Hintergrund des Teufelskreises der fortschreitenden Automation erscheint die Entwicklung einer OCU bzw. eines Assistentensystems hier als sinnvollste. Daher wird im Folgenden die Entwicklung eines Assistentensystems angestrebt.

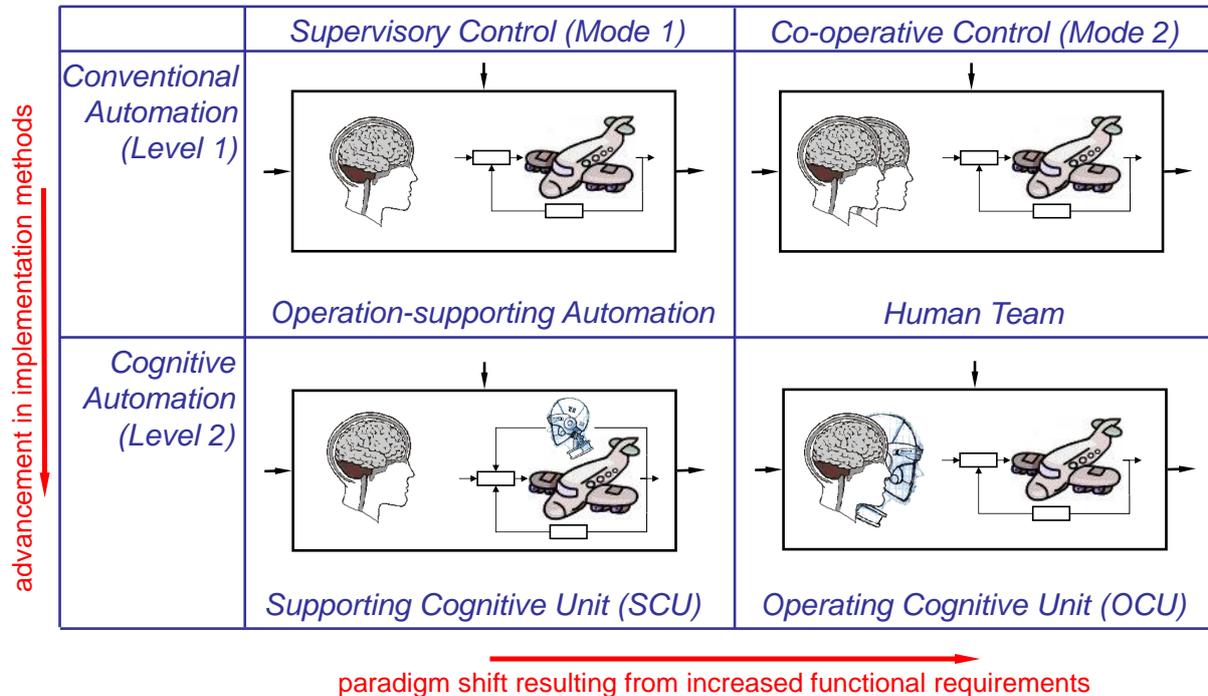
## 2.2 Assistenzsysteme

Im vorigen Kapitel fiel die Entscheidung für ein zusätzliches Assistenzsystem am Arbeitsplatz des Kommandanten, der mit der zusätzlichen UAV-Führung betreut ist. Um einen ersten Ansatzpunkt für die Entwicklung zu finden, beginnt das Kapitel mit der Vorstellung einer Theorie, die Assistenzsysteme genauer charakterisiert und Anforderungen an diese ableitet (Kapitel 2.2.1). Wie daraus hervorgeht, muss ein solches System nicht nur menschliche Probleme erkennen, sondern diesen auch entgegenwirken können. Daher werden im Anschluss verschiedene Möglichkeiten zur Unterstützung des Operators, sogenannte Automationsgrade recherchiert (Kapitel 2.2.2). Das Kapitel schließt mit einem Überblick einiger bereits realisierter Assistenzsysteme, in denen die Anforderungen bereits teilweise umgesetzt wurden (Kapitel 2.2.3).

### 2.2.1 Eigenschaften und Anforderungen aus Arbeitssystemansicht

Im Folgenden wird erläutert, welche Eigenschaften ein Assistenzsystem konkret von einer SCU unterscheiden und welche Anforderungen es daher erfüllen muss.

Der Einsatz kognitiver Automation stellt genau wie bei einer SCU neue Ansprüche an die Implementierungsmethoden im Vergleich zu konventioneller Automation. Zusätzlich stellt der Einsatz eines Assistenzsystems einen Paradigmenwechsel in den Eigenschaften der Automation dar (vgl. Abbildung 24). Ein Assistenzsystem muss im Vergleich zu einer SCU also andere funktionale Anforderungen erfüllen und im Vergleich zu konventioneller Automation zusätzlich kognitiv realisiert werden. Während sich das folgende Kapitel auf die Eigenschaften und funktionalen Anforderungen konzentriert, werden die Anforderungen an kognitive Systeme in Kapitel 2.3 behandelt.



**Abbildung 24** Veränderungen der Arbeitssystemstruktur aufgrund technologischen Fortschritts und erweiterter funktioneller Anforderungen [Onken & Schulte, 2010]

Einen ersten Anhaltspunkt für die Eigenschaften eines Assistenzsystems stellt die Tatsache dar, dass sich dieses im Arbeitssystem nicht mehr auf der Seite der *operation-supporting means*, sondern auf der Seite der *operating force* befindet. Das bedeutet, dass für ein Assistenzsystem ähnliche, aber nicht dieselben Eigenschaften wie auch für den menschlichen Operateur gelten. Abbildung 25 gibt einen Überblick über diese Eigenschaften und die resultierenden Anforderungen, welche teilweise schon im vorigen Kapitel bei der Argumentation, warum ein Assistenzsystem den sinnvollsten Erweiterungsansatz darstellt, genannt wurden.

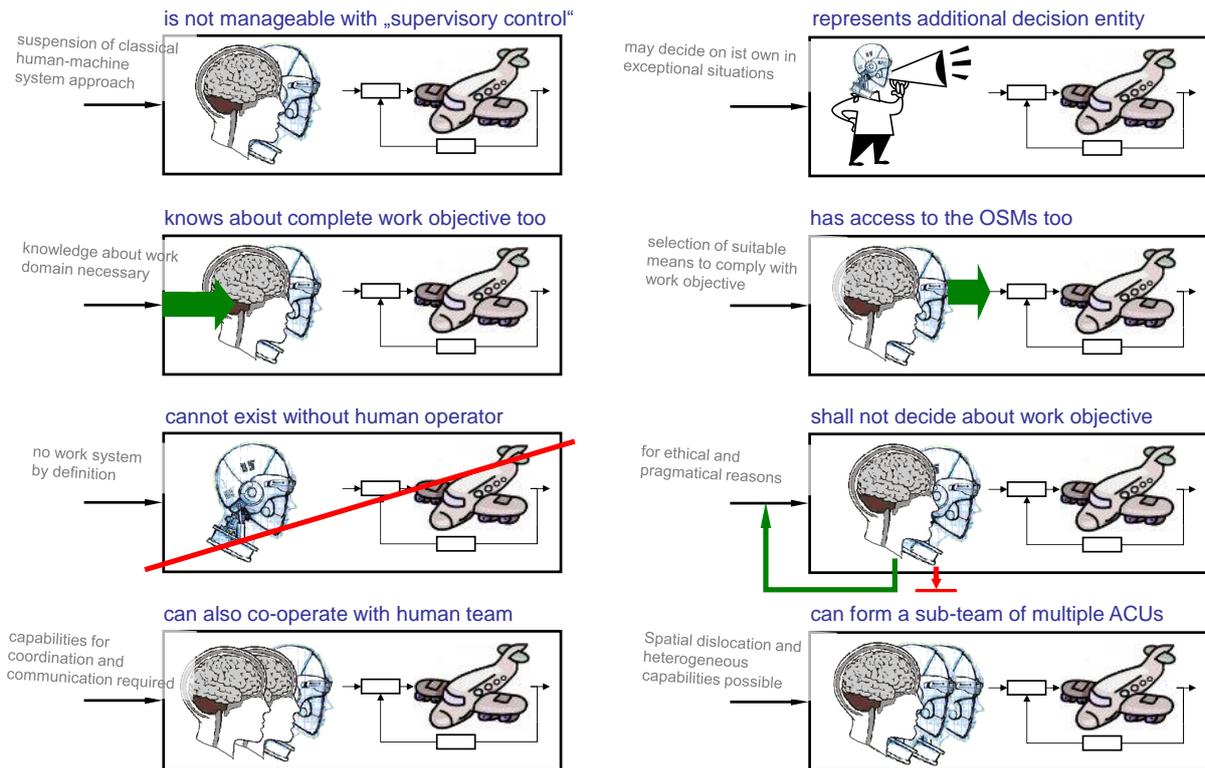


Abbildung 25 Eigenschaften und Anforderungen an ein Assistenzsystem [Onken & Schulte, 2010]

Als erstes kann ein Assistenzsystem nicht mehr mit dem Ansatz von *supervisory control* beschrieben werden, da es nicht vom Menschen bedient und überwacht werden muss. Stattdessen überwacht es selbst den Menschen, ob bei diesem *human factors* Probleme in der Aufgabenbearbeitung auftreten. Genau wie der Mensch muss es das Arbeitsziel kennen und durch entsprechende Kenntnis der Domäne wissen, wie dieses erreicht werden kann. Trotz dieses Wissens kann es ohne einen menschlichen Operateur allerdings nicht existieren, da für ein Arbeitssystem laut Definition immer mindestens ein Mensch benötigt wird. Außerdem hätte es ohne menschlichen Operateur, den es überwachen soll, keine Daseinsberechtigung. Eine weitere Anforderung ist, dass es auch mit einem Team aus mehreren Menschen oder mehreren OCUs zusammenarbeiten können soll. Des Weiteren kann ein Assistenzsystem aufgrund seiner Kenntnis über das Arbeitsziel auch notfalls eigene Entscheidungen innerhalb des Arbeitssystems treffen. Genauso wie der Operateur kann es auch *operation-supporting means* einsetzen, um das Arbeitsziel zu erreichen. Ein Unterschied zum Menschen ist allerdings, dass ein Assistenzsystem nicht selbst das Arbeitsziel bestimmen darf. Zuletzt muss es falls notwendig auch fähig sein, mit mehreren Menschen bzw. OCUs zusammenzuarbeiten.

Aus der Tatsache, dass ein Assistenzsystem per Definition Teil der *operating force* ist, ergibt sich außerdem ein wesentlicher Unterschied zu Automation auf Seiten der *operation-supporting means*, der anhand einer groben Betrachtung der Interaktionen im Arbeitssystem festgestellt werden kann (vgl. Abbildung 26).

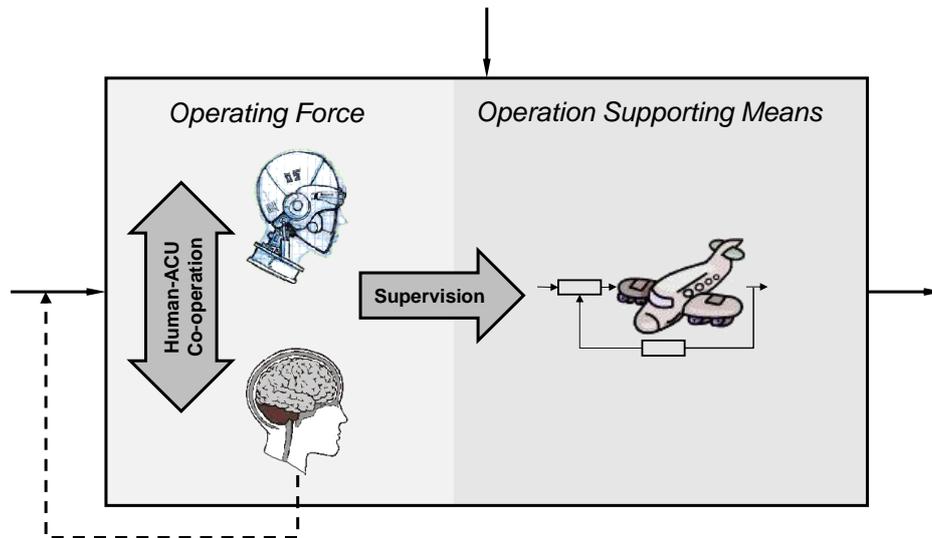


Abbildung 26 Interaktionen im Arbeitssystem mit Assistenzsystem nach [Onken & Schulte, 2010]

Während Automation auf Seiten der OSM bedient und überwacht wird (*Supervision*), muss Automation in Form eines Assistenzsystems mit dem Menschen kooperieren (*Human-ACU Co-operation*) und zusammen mit ihm die OSM bedienen.

Diese Kooperation wurde erstmals in [Onken, 1994a] in Form zweier Verhaltensgrundsätze genauer spezifiziert und in [Onken & Schulte, 2010] noch um eine dritte Anforderung erweitert:

“*Requirement 1:*

*The assistant system has to be able to present the full picture of the work situation from its own perspective and has to do its best by own initiatives to ensure that the attention of the assisted human operator(s) is placed with priority on the objectively most urgent task or subtask.*

*Requirement 2:*

*If according to requirement 1 the assistant system can securely identify as part of the situation interpretation that the human operator(s) cannot carry out the objectively most urgent task because of overtaxing, then the assistant system has to do its best by own initiatives to automatically transfer this situation into another one which can be handled normally by the assisted human operator(s).*

*Requirement 3:*

*If there are cognitive tasks, the human operator(s) is(are) principally not capable to accomplish, or which are of too high risk or likely a cause of too high costs, these tasks are to be allocated to the assistant system or operation supporting means, possibly a supporting cognitive unit.”[Onken & Schulte, 2010]*

Laut der ersten Grundforderung muss ein Assistenzsystem zuallererst fähig sein, sich aus seiner eigenen Perspektive ein vollständiges Bild von der Arbeitssituation zu machen und diese auch dem Operateur darzustellen. Dies stellt bereits eine hohe Anforderung an das zu entwickelnde System dar, da hier im Vergleich zu Automation auf Seiten der OSMs nicht nur ein Teilverständnis für die zu bearbeitende Unteraufgabe notwendig ist. Das Verständnis des Arbeitsziels, wie oben gefordert stellt bereits eine erste Konkretisierung dieser Anforderung dar. Außerdem wird in [Onken & Schulte, 2010] ein Verständnis der Umwelt und des Operateurs gefordert.

Laut der ersten Grundforderung soll das System außerdem mithilfe dieses Wissens aus eigener Initiative sicherstellen, dass der Operateur seine Aufmerksamkeit auf der objektiv dringlichsten Aufgabe bzw. Teilaufgabe hat. In [Onken & Schulte, 2010] wird dazu erläutert, dass das Assistenzsystem aktiv wird, wenn der Operateur im Bereich der Situationswahrnehmung und -interpretation überfordert scheint. Daraufhin soll es dem Operateur Hinweise geben, die er annehmen oder ablehnen kann. Dadurch soll unpassendes Verhalten des Operateurs früh genug erkannt werden, bevor es unter eine unakzeptable Schwelle sinkt. Da die Hinweise vom Operateur genauso wie bei menschlicher Kommunikation nicht verstanden werden könnten, sollte vorgesehen werden, Dialoge mit dem Assistenzsystem zu führen, falls notwendig. Außerdem sollte der Operateur Anweisungen an das Assistenzsystem geben können. Die Modalität der Informationsvermittlung zwischen Mensch und Automation ist nicht näher spezifiziert und stellt ein eigenes Forschungsgebiet dar, welches in dieser Arbeit allerdings nicht näher betrachtet werden soll. Es wird daher auf Arbeiten z.B. von [Vicente & Rasmussen, 1992], [Wickens & Carlswell, 1995] oder aber auch auf Arbeiten am Institut für Flugsysteme [Maiwald & Schulte, 2011] verwiesen.

Durch Erfüllung dieser Forderung wirkt das Assistenzsystem dem in Kapitel 2.1.3.2 identifizierten Problem entgegen, wenn der Operateur fehlendes bzw. falsches Situationsbewusstsein hat und daher Aufgaben nicht rechtzeitig bearbeitet.

Laut der zweiten Grundforderung soll das Assistenzsystem, wenn es feststellt, dass der Operateur die dringendste Aufgabe aufgrund von Überforderung nicht bewältigen kann, wiederum aus eigener Initiative sein bestmögliches tun, um die Situation mithilfe von Automation wieder in eine handhabbare zu überführen. Damit ist laut [Onken & Schulte, 2010] gemeint, dass es die Belastung für die menschlichen Ressourcen auf einem normalen Niveau halten soll. Bei einer Überforderung z.B. durch die Aufgabenvielfalt, einer Überforderung der Aufmerksamkeit oder jeder anderen menschlichen Begrenzung oder Fehler soll zum einen ein Hinweis, wie bei Forderung eins und bei unmittelbarer Gefahr, eine temporäre Übernahme der Aufgabe geschehen. Die Realisierung einer solchen Funktionalität besteht aus zwei Elementen:

1. einer zuverlässigen Identifikation von Überforderung des menschlichen Operateurs, trotz vollen Situationsbewusstseins und
2. einer zuverlässigen Automationsfunktion, um diese Situation zu bewältigen.

Außerdem wird noch der Aspekt der Unterforderung angesprochen, so dass das Assistenzsystem nicht nur eine Aufgabe übernehmen kann, sondern auch Maßnahmen ergreifen können soll, damit der Operateur wieder in den Arbeitsprozess eingebunden werden kann.

Das aus dieser Forderung entstehende Verhalten wirkt der in Kapitel 2.1.3.2 identifizierten Überforderung von UAV-Operateuren entgegen und beseitigt diese durch kurzfristigen vermehrten Automationseinsatz.

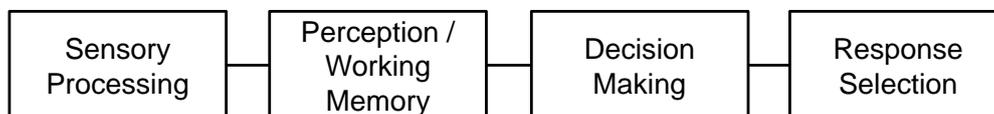
Laut der dritten Grundforderung soll das Assistenzsystem Aufgaben, die der Operateur prinzipiell nicht bewältigen kann oder die zu riskant sind, selbst übernehmen oder einer *operation-supporting means* zuweisen. [Onken & Schulte, 2010] gehen hierbei davon aus, dass Aufgaben bereits beim Design eines Gesamtsystems dem Assistenzsystem zugewiesen werden. Während Assistenzfunktionen gemäß der ersten und zweiten Grundforderung hauptsächlich am Arbeitsplatz des Operateurs durchgeführt werden, können Assistenzfunktionen gemäß der dritten Grundforderung auch an einem anderen Ort ausgeführt werden, z.B. an Bord eines UAV.

Durch die genannten Anforderungen ist nun definiert, wie sich ein Assistenzsystem im Gegensatz zu Automation auf Seiten der OSMs grundsätzlich verhalten sollte. Während der Operateur bei Automation auf Seiten der OSM zuerst eine Anweisung zur Durchführung einer Aufgabe geben muss, die dann selbständig und bestmöglich erfüllt wird, muss ein Assistenzsystem hingegen nicht im eigentlichen Sinne bedient werden, sondern arbeitet eigeninitiativ. Es tritt solange nicht in Erscheinung, bis Probleme des Operateurs eine Aktion erfordern [Schulte & Onken, 2003]. Die drei vorgestellten Grundforderungen an Assistenzsysteme werden in Kapitel 3 „Konzept“ noch näher interpretiert und zusammen mit der Arbeitssystembetrachtung dafür verwendet, die allgemeine Funktionsweise und basierend darauf die einzelnen Assistenzfunktionen sowie die kognitive Struktur des Assistenzsystems ableiten zu können.

## 2.2.2 Automationsgrade

Gemäß den im vorigen Kapitel erwähnten Anforderungen soll das Assistenzsystem bei der Erfüllung der Aufgaben mit dem Kommandanten kooperieren. Diese Art der Interaktion beinhaltet, dass eine Aufgabe nicht unbedingt vollständig, sondern nur teilweise durch das Assistenzsystem automatisiert wird. Dadurch wird der Kommandant nur bei dem Problem, das er hat, unterstützt, er kann die Aufgabe aber immer noch selbst bearbeiten. Das folgende Kapitel stellt daher verschiedene Theorien dar, welche sogenannten Automationsgrade zwischen Mensch und Maschine prinzipiell denkbar sind und interpretiert diese bezüglich einer Anwendung für ein Assistenzsystem.

Die verschiedenen aufgestellten Theorien zu Automationsgraden basieren auf der Annahme, dass eine Aufgabe noch in weitere Teilschritte zerlegt und diese einzeln automatisiert werden können. [Parasuraman et al., 2000] gehen vereinfachend von vier verschiedenen Stufen bei der Aufgabenbearbeitung aus (vgl. Abbildung 27).



**Abbildung 27 Einfaches 4-Stufen-Modell der menschlichen Informationsverarbeitung**  
[Parasuraman et al., 2000]

Die Bearbeitung beginnt mit der Aufnahme und Vorverarbeitung sensorischer Informationen. Diese werden anschließend in einem Wahrnehmungsschritt interpretiert und als Situationswissen in einem Arbeitsspeicher abgelegt. In der dritten Stufe wird eine Entscheidung über das weitere Vorgehen aufgrund des momentanen Situationswissens getroffen. Die vierte Stufe beinhaltet schließlich die Durchführung von Aktionen entsprechend der getroffenen Entscheidung. [Endsley & Kaber, 1999] unterteilen die Aufgabenbearbeitung in die vier Stufen Wahrnehmung des Systemzustands (*monitoring*), Generierung von Handlungsmöglichkeiten zur Erfüllung der Ziele (*generating*), Auswahl einer Handlungsmöglichkeit (*selecting*) und Durchführung dieser (*implementing*). Im Vergleich zu [Parasuraman et al., 2000] wird die Wahrnehmung hier nicht weiter in Akquise und Analyse unterschieden, allerdings wird die Entscheidungsfindung noch in Generierung und Auswahl von Lösungen unterteilt. [Rouse & Rouse, 1983] stellen fest, dass sich die Theorien zu den Stufen der Aufgabenbearbeitung nur in der Detaillierung, aber nicht in der grundlegenden Struktur unterscheiden. Sie definieren neun Stufen und fassen diese auf der abstraktesten Ebene zu den drei Stufen Situationswahrnehmung (1.-4.), Planung (5.-7.) und Kontrolle (8.-9.) zusammen:

1. „*Detection of problem*“
2. *Acquisition of information*

3. *Evaluation of information*
4. *Integration of information*
5. *Generation of alternatives*
6. *Evaluation of alternatives*
7. *Selection among alternatives*
8. *Implementation of choice*
9. *Monitoring of consequences“ [Rouse & Rouse, 1983]*

[Rouse & Rouse, 1983] merken außerdem an, dass z.B. die Informationsakquise je nach Bedarf für den Anwendungshintergrund noch einmal in Wahrnehmung, Schätzung, Vorhersage usw. unterteilt werden könnte. Allerdings wird für die Problemdetektion, also die Feststellung, dass in einer Aufgabe ein Handlungsbedarf besteht, ebenfalls Information benötigt. Daher erscheint eine Positionierung zwischen Punkt 4 und 5 sinnvoller. Das bedeutet, dass ein Operateur den Schritt der Situationswahrnehmung für alle Aufgaben, für die er verantwortlich ist, permanent durchführen muss, um eventuelle Handlungsbedarfe festzustellen. Nur falls ein Problem festgestellt wird, werden die weiteren Schritte der Aufgabenbearbeitung durchgeführt.

Eine der bekanntesten Theorien zu Automationsgraden wurde von [Sheridan & Verplank, 1978] aufgestellt. In der ursprünglichen Fassung wurden nur verschiedene Automationsgrade (engl.: *Levels of Automation - LOA*) für die von ihnen definierten Stufen der Entscheidungsfindung (Planung) und der Aktionsdurchführung (Kontrolle) aufgestellt (vgl. Tabelle 2).

**Tabelle 2 Automationsgrade für Entscheidungsfindung und Aktionsdurchführung [Sheridan & Verplank, 1978]**

1 (low)	The computer offers no assistance: human must take all decision and actions.
2	The computer offers a complete set of decision/action alternatives, or
3	narrows the selection down to a few, or
4	suggests one alternative, and
5	executes that suggestion if the human approves, or
6	allows the human a restricted time to veto before automatic execution, or
7	executes automatically, then necessarily informs humans, and
8	informs the human only if asked, or
9	informs the human only if it, the computer, decides to.
10 (high)	The computer decides everything and acts autonomously, ignoring the human.

Auf dem niedrigsten Automationsgrad 1 erhält der Mensch keine Unterstützung und muss alle Entscheidungen und Aktionen selbst durchführen. Die Automationsgrade 2-4 stellen eine Unterstützung bei der Entscheidungsfindung dar, wobei unterschiedliche Anzahlen von Lösungen angeboten werden. Ab dem Automationsgrad 5 wird der Mensch auch bei der

Aktionsdurchführung unterstützt. Hier werden noch weitere Unterscheidungen bezüglich der Interventionsmöglichkeiten des Menschen und der Information über die durchgeführten Aktionen gemacht. Level 10 schließlich stellt eine volle Automatisierung dar, in der das System die Aufgabe komplett übernimmt. Da die Automation für die Durchführung einer Aufgabe genau wie der Mensch auch zuerst die Situation wahrnehmen und eine Entscheidung bezüglich der durchgeführten Aktion treffen muss, bedeutet das, dass bei LOA 10 alle Schritte der Informationsverarbeitung in dieser Aufgabe automatisiert sind.

Eine ähnliche, nicht ganz so detaillierte Einteilung für die Entscheidungsfindung und Aktionsdurchführung wird von [Endsley, 1987] gemacht. Hier wird zwischen *manual control* (LOA 1), *decision support* (LOA 2 oder 3), *consensual artificial intelligence* (LOA 5), *monitored AI* (LOA 6) und *full automation* (LOA 10) unterschieden.

Unter Zuhilfenahme des Informationsverarbeitungsmodells aus Abbildung 27 wurde das Modell der zehn LOAs in [Parasuraman et al., 2000] noch auf die Informationsaufnahme und -interpretation (Situationswahrnehmung) erweitert. Als Beispiel für einen niedrigen Automationsgrad bei der Informationsaufnahme wird die Steuerung von künstlichen Sensoren zur Regelung der aufgenommenen Informationen genannt. Einen mittleren Automationsgrad bei der Informationsaufnahme stellt z.B. die Priorisierung von Informationen bzw. die Hervorhebung wichtiger Informationen für den Menschen dar. Die Filterung von Informationen wird schließlich als Beispiel für einen hohen Automationsgrad genannt. Bei der Interpretation von Informationen kann auf einem niedrigen Automationsgrad die zukünftige Entwicklung der Situation dargestellt werden, beispielsweise der zukünftige Flugweg eines Luftfahrzeugs. Einen höheren Automationsgrad bei dieser Stufe stellt die Integration mehrerer Daten zu einem Wert dar.

Die Anwendung verschiedener Automationsgrade in den vier Stufen der Informationsverarbeitung kann demnach zu unterschiedlichen Systemen führen (vgl. Abbildung 28).

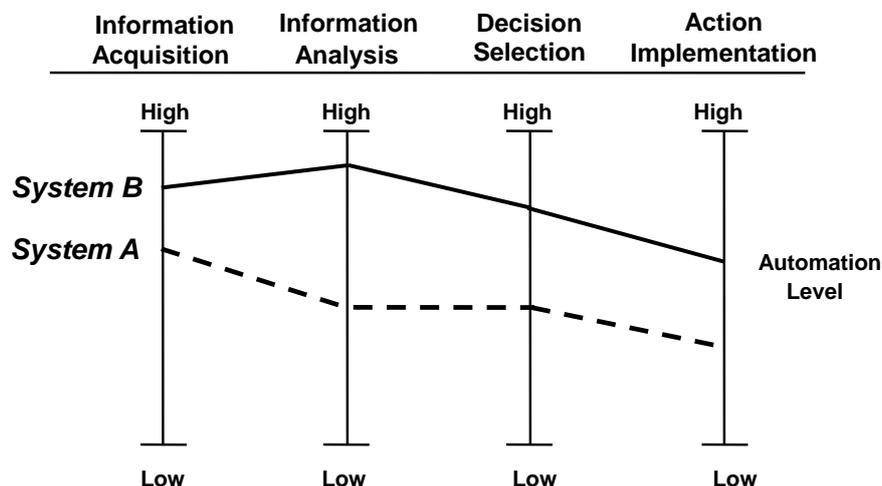


Abbildung 28 Systeme mit verschiedenen Automationsgraden in den vier Stufen bei unabhängigen Aufgaben [Parasuraman et al., 2000]

Auch [Endsley & Kaber, 1999] beschreiben in einer späteren Arbeit die möglichen Automationsgrade mithilfe der von ihnen definierten Informationsverarbeitungsstufen *monitoring*, *generating*, *selecting* und *implementing* noch einmal detaillierter und strukturierter (vgl. Tabelle 3).

**Tabelle 3 Hierarchische Automationsgrade zur Durchführung dynamisch-kognitiver und psychomotorischer Steuerungsaufgaben [Endsley & Kaber, 1999]**

Level	Roles			
	Monitoring	Generating	Selecting	Implementing
(1) Manual Control (MC)	Human	Human	Human	Human
(2) Action support (AS)	Human/Computer	Human	Human	Human/Computer
(3) Batch processing (BP)	Human/Computer	Human	Human	Computer
(4) Shared control (SHC)	Human/Computer	Human/Computer	Human	Human/Computer
(5) Decision support (DS)	Human/Computer	Human/Computer	Human	Computer
(6) Blended decision making (BDM)	Human/Computer	Human/Computer	Human/Computer	Computer
(7) Rigid system (RS)	Human/Computer	Computer	Human	Computer
(8) Automated decision making (ADM)	Human/Computer	Human/Computer	Computer	Computer
(9) Supervisory control (SC)	Human/Computer	Computer	Computer	Computer
(10) Full automation (FA)	Computer	Computer	Computer	Computer

Die in [Parasuraman et al., 2000] nur pauschal beschriebenen Systeme A und B werden hier konkretisiert. Allerdings werden in den einzelnen Stufen nur jeweils drei Automationsgrade (human, human/computer, computer) definiert und nicht wie bei [Parasuraman et al., 2000] bis zu sechs (vgl. LOA 5-10). Da es hier noch mehr mögliche Kombinationen für die Zuständigkeitsverteilung zwischen Mensch und Automation gibt, stellt diese Liste nur eine Auswahl plausibler Varianten dar und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die vorgestellten Theorien stellen eine umfassende Betrachtung verschiedener denkbarer Automationsgrade dar, wobei die schrittweise Bearbeitung von Aufgaben sowie die weitere stufenweise Automation innerhalb dieser Schritte berücksichtigt werden. Es stellt sich die Frage, welche der Automationsgrade für ein Assistenzsystem möglich bzw. sinnvoll sind. Eine Aufstellung, welche Rollen ein Assistenzsystem einnehmen kann, bieten [Onken & Schulte, 2010]:

- *Alerting assistance*: Das Assistenzsystem erkennt unangemessenes menschliches Verhalten und lenkt die Aufmerksamkeit des Menschen auf die entsprechende Aufgabe, falls dieser kein Situationsbewusstsein über diese Tatsache hat. Außerdem darf es dem Menschen wichtige Informationen mitteilen, die es aus der Situationsüberwachung gewonnen hat.
- *Associative assistance*: Das Assistenzsystem präsentiert kontinuierlich Vorschläge, aber lenkt nicht aktiv die Aufmerksamkeit des Operateurs. Der Operateur kann das Assistenzsystem anweisen, die entsprechende Aufgabe automatisch durchzuführen.
- *Substituting assistance*: Das Assistenzsystem kann entweder temporär oder permanent die Aufgabenzuständigkeiten des Menschen übernehmen. Temporäre *substituting assistance* kann durch den Menschen autorisiert werden oder intervenieren, ohne auf eine Autorisierung zu warten. Permanente *substituting assistance* kann zu Beginn des Arbeitsprozesses oder schon im Designprozess autorisiert werden.

Diese Rollen können mit den vorab definierten Automationsgraden verglichen und diesen zugeordnet werden.

Die Aufmerksamkeitslenkung in der *alerting assistance* kann mit dem mittleren Automationsgrad bei der Informationsaufnahme von [Parasuraman et al., 2000] verglichen werden, bei dem Informationen priorisiert bzw. hervorgehoben werden. Im Unterschied zu [Onken & Schulte, 2010] dient die Hervorhebung von Informationen aber lediglich der Lenkung der Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Information, aber nicht auf die damit assoziierte Aufgabe. Im Vergleich mit den Stufen der Aufgabenbearbeitung nach [Rouse & Rouse, 1983] kann festgestellt werden, dass bei der *alerting assistance* eine Automation bei der Situationswahrnehmung stattfindet, bei der nicht nur Informationen in Form von Rohdaten aufgenommen werden, sondern diese auch evaluiert bzw. integriert werden und ein Problem festgestellt wird.

Die Präsentation von Vorschlägen bei der *associative assistance* stellt eine Automation der Planung dar. Die Möglichkeit, das Assistenzsystem anzuweisen, die Aufgabe durchzuführen entspricht dabei dem LOA 5 nach [Sheridan & Verplank, 1978].

Eine Übernahme der Aufgabenzuständigkeit im Rahmen einer *substituting assistance* kann als vollständige Automation auf allen Ebenen der Aufgabenbearbeitung gesehen werden, wie z.B. bei Level 10 nach [Endsley & Kaber, 1999].

Die Rollen von Assistenzsystemen wurden an dieser Stelle bezüglich des repräsentierten Automationsgrades eingeordnet. Eine Auseinandersetzung, unter welchen Umständen das Assistenzsystem diese Rollen einnimmt und wie diese mit den Anforderungen im Zusammenhang stehen, findet in Kapitel 3.1.2 statt.

### **2.2.3 Realisierte Systeme**

Die vorigen Kapitel haben einen Überblick gegeben, welchen Problemen Assistenzsysteme konkret entgegenwirken sollen und wie sie dies umsetzen können. Parallel zu diesen Theorien wurden und werden sowohl im Prototypenbereich als auch im Serienbereich verschiedene Assistenzsysteme entwickelt. Vor allem in den Bereichen der Fahrzeug- und der Flugzeugführung finden sich Realisierungen von Assistenzsystemen, welche im Anschluss vorgestellt und analysiert werden.

#### GIDS

Eine der frühen Studien zu Assistenzsystemen in der Fahrzeugführung stellt die Entwicklung des *Generic Intelligent Driver Support (GIDS)* Systems dar, die zwischen 1989 und 1992 von 13 europäischen Universitäten, Verkehrsforschungsinstituten und Automobilherstellern durchgeführt wurde. [Michon, 1993] gibt einen Überblick der Aktivitäten, die Teil des Programms *Dedicated Road Infrastructure for Vehicle safety in Europe (DRIVE)* waren. Ziel von GIDS war die kontrollierte Ausgabe von Information an den Fahrer je nach Wichtigkeit und Angebrachtheit, um eine Überforderung zu vermeiden. Außerdem sollte es als erstes System die individuellen Fähigkeiten, Absichten und Einschränkungen unterschiedlicher Fahrer berücksichtigen. Die Szenarien wurden so gewählt, dass typische Merkmale, wie Kreuzungen, Kreisverkehre, kurvige Straßen und Hindernisse enthalten waren. Danach wurden die häufigsten Aufgaben des Fahrers, wie z.B. Abbiegen, Umdrehen oder Überholen definiert und modelliert. Die Unterstützungsfunktionen zielten darauf ab, dem Fahrer auf den verschiedenen Aufgabenebenen, wie z.B. Navigation, Ausweichen und direkte Kontrolle des Fahrzeugs zu helfen. Von der Architektur her bestand das System aus einem Planer, einer Datenbank mit Informationen über verschiedene Fahrer und einer Dialogsteuerung. Die Interaktion mit dem System konnte über Spracheingabe bzw. -ausgabe, über Anzeigen und Bedienelemente inklusive des Lenkrads und des Gaspedals geschehen. Funktional gesehen empfängt das GIDS Informationen von verschiedenen Sensoren und Anwendungen, um sich ein Situationsbild aufzubauen. Dieses Wissen formt die Basis für die Nachrichten, die an den Fahrer gesendet werden. Es können Warnungen, Hinweise und Interventionen durch das

System durchgeführt werden. Die Entscheidung, ob eine Nachricht an den Fahrer gesendet wird, gründet sich dabei auf den Vergleich zwischen dem beobachteten Verhalten und dem erwarteten Referenzverhalten sowie den Bedürfnissen und Absichten des Fahrers. Allerdings wurde bereits hier festgehalten, dass es noch nicht klar ist, ob die Bedürfnisse und Absichten allein aus den Eingangsdaten von Sensoren abgeleitet werden können. Sobald der Unterstützungsbedarf des Fahrers festgestellt wurde, wählt das System eine (Teil-)Aufgabe aus, die zu der Situation passt. Sofern der Fahrer innerhalb der vorgegebenen Grenzen bleibt, wird keine Nachricht generiert. Zusätzlich zu diesem normalen Betrieb des GIDS Systems kann es jederzeit dringliche Eingriffe zulassen. In Abbildung 29 sind die wesentlichen Komponenten des Systems noch einmal dargestellt.

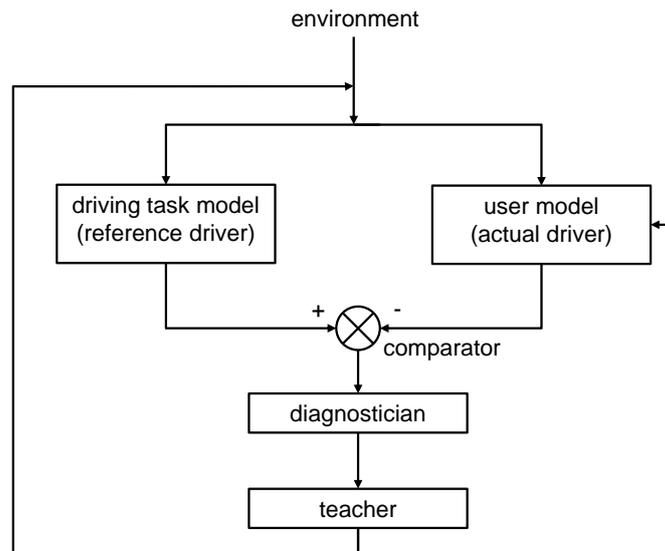


Abbildung 29 Konzeptionelle Sicht von GIDS [Michon, 1993]

[Stanton, 1995] beschreibt in einer Buchkritik, dass die Evaluierung des Systems eher Wert auf das generelle Konzept anstelle einer Leistungsbewertung der Prototypen legte. Die Ergebnisse zeigen, dass das System einen positiven Einfluss auf die Fahrleistung haben könnte. Ob das System vom Fahrer akzeptiert wird, hänge allerdings stark davon ab, wie die verschiedenen Funktionen implementiert sind und wie sie dem Fahrer präsentiert werden.

### DAISY

Eine weitere Studie zu Assistenzsystemen für die Fahrzeugführung wurde am Vorgängerinstitut des Instituts für Flugsysteme, dem Institut für Systemdynamik und Flugmechanik der Universität der Bundeswehr München durchgeführt. Hier wurde das sogenannte *Driver Assistant System* (DAISY) entwickelt, das Teil von PROMETHEUS (Programm für ein europäisches Transportsystem höchster Effizienz und unübertroffener Sicherheit) war. In [Onken & Schulte, 2010] wird ein Überblick dieser Aktivität gegeben. Eine erste Version des Systems, die in [Kopf, 1994], [Onken, 1994b] und [Kopf & Onken, 1992] beschrieben ist, war für die Fahrt auf Autobahnen ausgelegt. Später wurde der Anwendungsbereich auch auf den Stadtverkehr ausgeweitet. Außerdem wurde das System weiterentwickelt, so dass sich die Verhaltensmodellierung adaptiv auf individuelle Fahrer anpasst [Grashey & Onken, 1998][Grashey, 1998]. Ziel des Assistenzsystems war vorwiegend, Auffahrunfälle und Unfälle durch Verlassen der Spur durch Warnungen an den Fahrer zu verhindern. Es entspricht dabei laut [Onken & Schulte, 2010] einer *alerting assistance*. Die Architektur der Funktionsmodule ist in Abbildung 30 dargestellt.

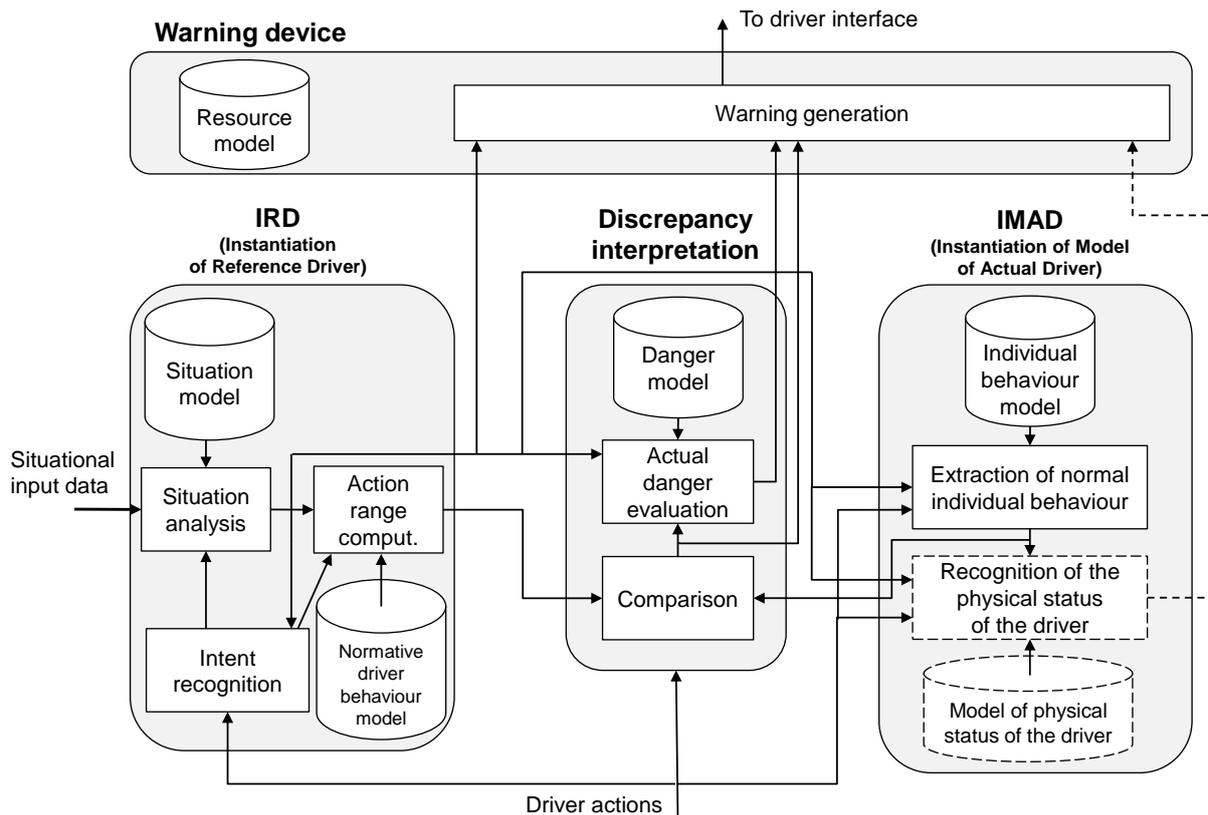


Abbildung 30 Architektur von DAISY [Kopf, 1994]

Das System besteht dabei aus vier Kernkomponenten:

- Dem *Reference Driver*, der aus einer Situationsbeobachtung die Grenzen des normalen Fahrverhaltens berechnet.
- Dem *Model of Actual Driver*, das Informationen über das individuelle Verhalten des Fahrers enthält.
- Der *Discrepancy Interpretation*, die die beiden Verhalten anhand eines Gefahrenmodells vergleicht.
- Der *Warning Device*, die die Ausgaben an den Fahrer macht.

Die Evaluierung des Systems zeigte dabei folgende Erkenntnisse:

- Die Realisierung eines Überwachungs- und Warnsystems ist mithilfe von computerunterstütztem Sehen möglich.
- Die Modellierung individuellen Fahrerverhaltens ist mit einer angemessenen Trainingszeit möglich.
- Das Konzept fahreradaptiver Warnungen wird von Fahrern gut akzeptiert.
- Ein haptisches Warnsignal ist geeignet und führt zu den gewünschten Reaktionen.
- DAISY erhöht die Fahrsicherheit in Ablenkungssituationen.
- Negative Langzeiteffekte können durch geeignetes Wissen darüber vermieden werden.

Als Gemeinsamkeit zwischen den Ansätzen von GIDS und DAISY ist die Bestimmung eines Referenzverhaltens und der Vergleich mit dem aktuellen Verhalten zu erkennen. Aus dieser Differenz wird schließlich in einem extra Modul festgestellt, ob ein Eingriff durch das Assistenzsystem notwendig ist. Außerdem verfügen beide Systeme über ein explizites Modul zur Ausgabe der Nachrichten an den Fahrer.

### Fahrerassistenzsysteme

Abgesehen von den in der Vergangenheit durchgeführten Studien zu Assistenzsystemen für die Fahrzeugführung ist in aktuellen Fahrzeugen eine Reihe von sogenannten

Fahrerassistenzsystemen verfügbar [ADAC, 2012]. Diese Systeme sollen im Straßenverkehr hauptsächlich dazu beitragen, Unfälle zu vermeiden bzw. deren Schwere zu verringern [BASt, 2006]. Ein prinzipieller Unterschied der heute serienmäßig verfügbaren Systemen zu den erwähnten Studien ist, dass der Fahrer nicht durch **ein** Assistenzsystem in seinem gesamten Aufgabenspektrum unterstützt wird, sondern durch **mehrere** unabhängige Assistenzfunktionen bei einzelnen ausgewählten Teilaufgaben. Außerdem entsprechen nicht alle Systeme, die als Fahrerassistenzsysteme bezeichnet werden in ihrem Verhalten der in Kapitel 2.2.1 verwendeten Definition eines Assistenzsystems. Ein Beispiel hierfür ist der Tempomat mit Abstandsregelung (engl.: *Adaptive Cruise Control – ACC*), bei dem der Fahrer durch das System bei der Längsführung des Fahrzeugs unterstützt wird. Da das System aber vom Fahrer über einen Bedienelement jederzeit ein- und ausgeschaltet werden kann und überwacht werden muss, handelt es sich hier eher um eine Automation auf Seiten der *operation-supporting means*. Allerdings gibt es auch viele Fahrerassistenzsysteme, wie z.B. den Spurverlassenswarner (engl.: *Lane Departure Warning System – LDWS*), die dem hier verfolgten Ansatz der Assistenzsysteme in gewissen Teilaspekten entsprechen (vgl. Abbildung 31).

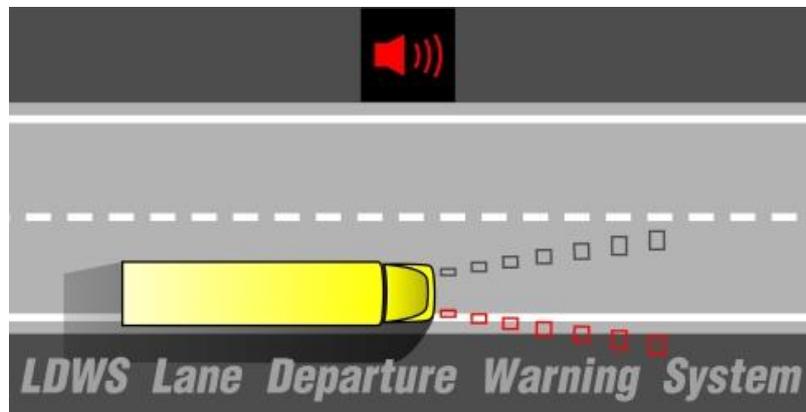


Abbildung 31 Schema eines Spurverlassenswarnersystems [DAF, 2012]

Dieses System stellt ein vom Fahrer unbeabsichtigtes Spurverlassen des Fahrzeugs fest, wodurch das Spurhalten zu einer dringenden Aufgabe wird. Zur Sicherstellung, dass der Fahrer die Aufmerksamkeit auf dieser Aufgabe hat, gibt es eine Warnung in Form einer *alerting assistance* aus. Das System verhält sich somit entsprechend der ersten Verhaltensgrundforderung von [Onken & Schulte, 2010]. Allerdings wird nur eine Teilaufgabe und nicht der gesamte Aufgabenkontext des Fahrers betrachtet, weshalb auch nicht evaluiert werden kann, ob es sich um die dringendste Aufgabe handelt. Ein weiteres erwähnenswertes Fahrerassistenzsystem stellt das „ATTENTION ASSIST“ System in der Mercedes E-Klasse und S-Klasse, Modell 2009 [Mercedes, 2008] dar: anhand v.a. von Lenkbewegungen wird eine Ermüdung des Fahrers festgestellt und dieser aufgefordert, eine Pause zu machen (vgl. Abbildung 32). Hier wird im Sinne der zweiten Verhaltensforderung von [Onken & Schulte, 2010] erkannt, dass der Fahrer bei der Gesamtaufgabe des Fahrens aufgrund von Ermüdung überfordert ist. Basierend darauf wird vergleichbar mit einer *alerting assistance* die Lösung vorgeschlagen, die Aufgabenbearbeitung zu unterbrechen.



Abbildung 32 Visuelle Aufforderung durch das ‚ATTENTION ASSIST‘ System [Mercedes, 2008]

### PA und RPA

Im Bereich der Flugzeugführung lassen sich die bisherigen Systeme in Assistenzsysteme für den Piloten eines Flugzeugs und in Assistenzsysteme für den Operateur von UAVs unterscheiden. Bei den Pilotenassistenzsystemen war das erste größere Programm der von der Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) und der US Air Force entwickelte *Pilot's Associate* (PA). In [Banks & Lizza, 1991] wird ein Überblick der Aktivitäten zu einer mittleren Phase des Projekts gegeben. Informationen zu einem späteren Zeitpunkt sind nicht mehr verfügbar. Das Programm, das 1986 gestartet wurde, hatte zum Ziel, den Piloten eines einsitzigen Kampfflugzeugs in einer militärischen Mission zu unterstützen. Es sollte sichergestellt werden, dass der Pilot den Zustand der Umgebung (z.B. Bedrohungen) und des Flugzeugs kennt und bei Systemfehlungen Handlungsoptionen hat. Der PA bestand dabei aus mehreren, miteinander kooperierenden, wissensbasierten Modulen (vgl. Abbildung 33).

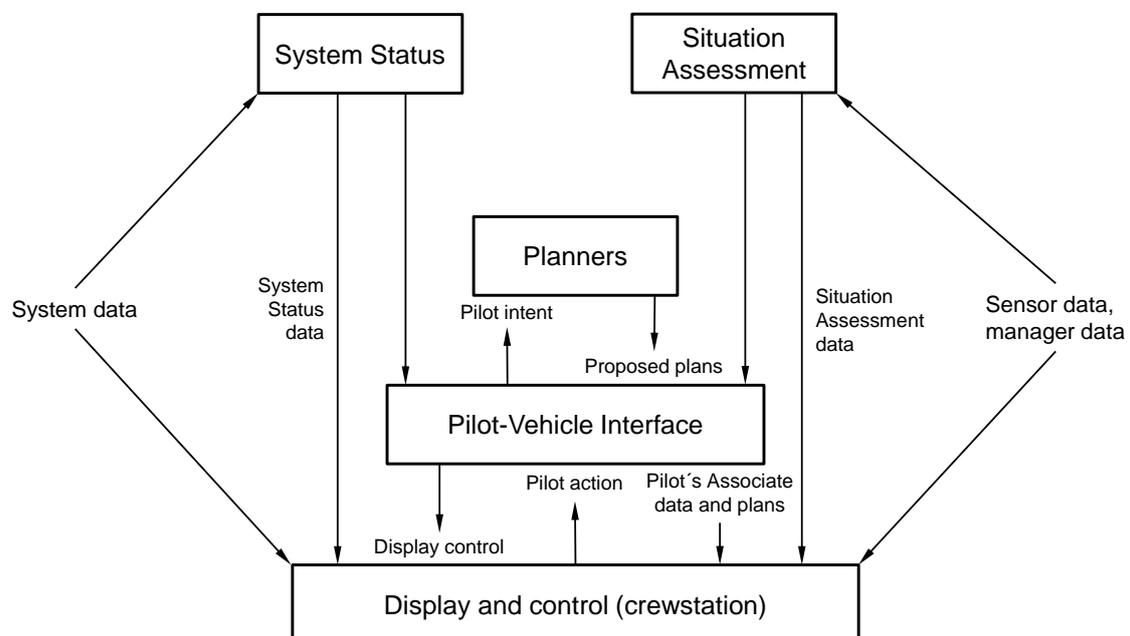


Abbildung 33 Architektur des Pilot's Associate [Banks & Lizza, 1991]

Die Module *System Status* und *Situation Assessment* erfassen dabei den Zustand der Flugzeugsysteme einerseits und den Zustand der Umgebung andererseits. Das Modul *Planners*, das aus einem Missionsplaner und einem taktischen Planer besteht, reagiert auf die sich ändernde Umgebung durch angepasste Missionspläne. Das *Pilot-Vehicle Interface* stellt den wichtigsten Teil des Systems dar, da hier die Verbindung zum Piloten (*Display and*

control) geschaffen wird. Das Modul stellt sicher, dass der Pilot die benötigten Informationen zum richtigen Zeitpunkt erhält.

Es kann leider nicht genau festgestellt werden, ob der PA Informationen nur darstellt oder auch wie eine *alerting assistance* darauf bzw. auf die damit zusammenhängende Aufgabe hinweist. Die Präsentation neuer Missionspläne stellt eine *associative assistance* für die Aufgabe der Missionsplanung dar. Das Ergebnis der ersten Phase des Programms war ein Prototyp, in dem die grundlegende Architektur implementiert war und der die anvisierten funktionalen Fähigkeiten besaß. Dennoch fehlte dem Prototyp die entsprechende Wissenstiefe für eine Produktentwicklung. Außerdem konnten die Funktionen nicht in Echtzeit ausgeführt werden.

Im Anschluss an das Programm PA wurde das Programm *Rotorcraft Pilot's Associate* (RPA) aufgelegt, welches die Weiterentwicklung der Ansätze eines intelligenten künstlichen Teammitglieds in der Domäne der Kampfhubschrauber zum Ziel hatte. Das Ergebnis war eine ähnliche Architektur wie beim PA (vgl. Abbildung 34).

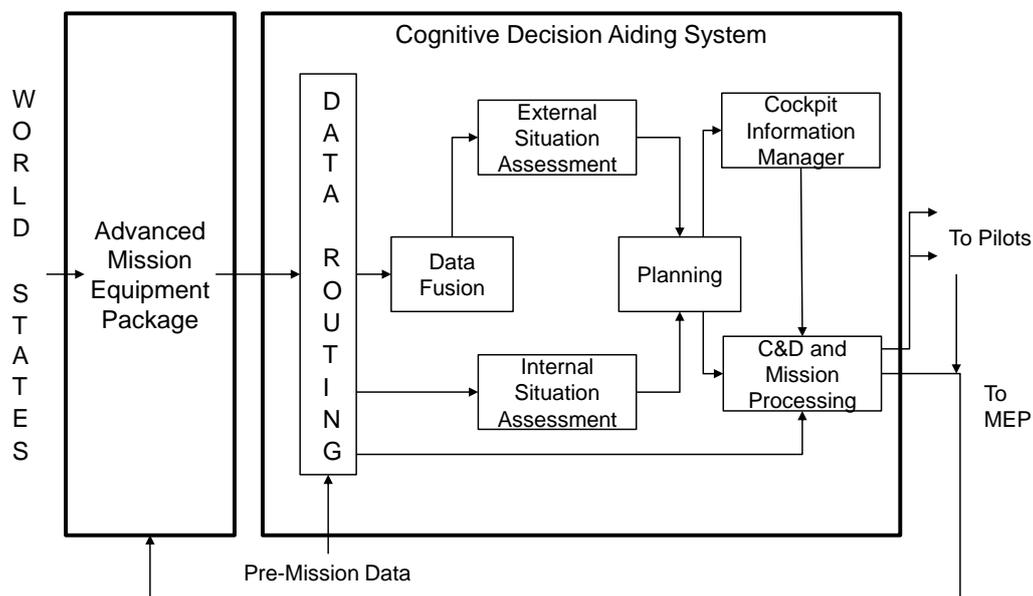


Abbildung 34 Architektur des RPA [Miller & Hannen, 1999]

Das System baut laut [Miller & Hannen, 1999] auf einem Paket von hoch entwickelten Sensoren, Zielerfassungs- und Kommunikationssystemen auf (*Advanced Mission Equipment Package*). Die Daten, die durch diese Systeme geliefert werden, werden über eine Datenlenkung (*Data Routing*) und eine Datenfusion (*Data Fusion*) weitergeleitet und verarbeitet. Sie werden anschließend dafür verwendet, sowohl die eigene Situation der Hubschraubersysteme (*Internal Situation Assessment*) als auch die Umgebungssituation, wie z.B. Hindernisse, Bedrohungen oder Zielobjekte (*External Situation Assessment*) zu interpretieren. Im nachfolgenden Schritt werden die Route, die Kommunikation, die Überlebensfähigkeit, das Sensormanagement und Angriffe sowie Aufklärung mit dem Ziel der Missionserfüllung geplant (*Planning*). Die Pläne werden schließlich im entscheidenden Modul mit den Absichten der Crew abgeglichen, um die Notwendigkeit eines Eingriffs zu überprüfen (*Cockpit Information Manager*). Außerdem wird in diesem Schritt festgestellt, wie eine optimale Verteilung der Aufgaben auf Crew und Automation aussehen könnte. Die Ausgaben des Systems und die Darstellung der Mission geschehen schließlich über die Anzeige- und Bedienelemente (*Control & Display and Mission Processing*). Subjektive Bewertungen durch Piloten zeigten eine gute Akzeptanz des Verhaltens des CIM, eine Abnahme der Beanspruchung und eine Erhöhung der Effektivität.

## COGPIT

Ein weiteres verfolgtes Projekt zur Pilotenassistenz wird in [Taylor, 2001] und [Bonner et al., 2000] beschrieben. Das sogenannte *Cognitive Cockpit* (COGPIT) wurde unter der Leitung der DERA entwickelt. Der Pilot sollte dadurch in der Lage sein, seine Aufmerksamkeit zur richtigen Zeit auf den relevanten Ereignissen zu haben. Das Ziel wurde durch eine Architektur erreicht, die gleichzeitig den Piloten, die Umwelt und den Missionsplan überwacht (vgl. Abbildung 35).

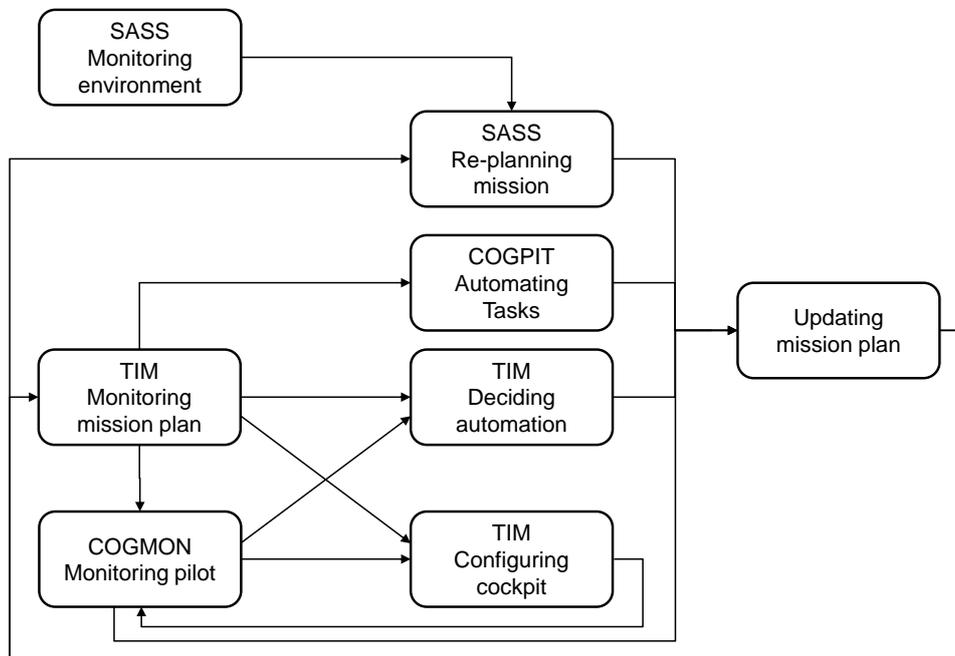


Abbildung 35 COGPIT Agenten, Prozesse und Aufgaben [Taylor, 2001]

Das System besteht aus den folgenden grundlegenden Modulen:

- dem *Cognition Monitor* (COGMON), der den Pilotenzustand in Form von Beanspruchung inklusive Über- und Unterforderung, aktueller Aufmerksamkeit und Absichten erfasst
- dem Situation Assessor Support System (SASS), das sowohl den Flugzeugzustand und die Umwelt überwacht als auch Entscheidungshilfen liefert
- dem Task Interface Manager (TIM), der den Missionsplan überwacht, sich um die Zuweisung von Aufgaben an die Automation kümmert und die Schnittstelle zum Piloten verwaltet
- und dem COGPIT, das Veränderungen der Anzeige und der Automation interpretiert und auf Anfrage initiiert.

In einer abschließenden Demonstration wurde die Machbarkeit eines Unterstützungssystems für einen Jetpiloten in der Simulationsumgebung *COGPIT simulation environment* (COGSIM) gezeigt.

Im Vergleich zu den bisherigen vorgestellten Assistenzsystemen werden bei COGPIT nicht nur das tatsächliche Verhalten und die Absichten des Piloten mit einem Bereich möglichen Referenzverhaltens verglichen. Zusätzlich werden für die Eingriffsentscheidung weitere relevante Situationselemente, wie Beanspruchung und Aufmerksamkeit des Piloten berücksichtigt, was in den Grundforderungen von [Onken & Schulte, 2010] auch bereits gefordert wird. Dies stellt einen wichtigen Schritt in der Weiterentwicklung von Assistenzsystemen dar, da hierdurch Eingriffe besser an die menschlichen Bedürfnisse und Problemstellungen angepasst werden können, was zu einer erhöhten Leistungsfähigkeit des Operators und einer verbesserten Akzeptanz des Systems führt.

ASPIO, CASSY und CAMA

An der Professur für Flugmechanik und Flugführung der Universität der Bundeswehr München wird schon seit den frühen 90er Jahren im Bereich der Pilotenassistenzsysteme geforscht. Im Rahmen dieser Forschung wurden mehrere Prototypen entwickelt und bis zum Realflug getestet.

Das erste hier zu erwähnende System ist der *Assistant for Single Pilot IFR Operation* (ASPIO) [Dudek, 1990], der Ende der 80er Jahre entwickelt wurde. Das System war für die Phase des Landeanflugs und der Landung bei IFR-Flügen (Instrument Flight Rules) in der zivilen Luftfahrt konzipiert. Das Nachfolgeprojekt *Cockpit Assistant System* (CASSY) [Onken & Prevot, 1994] war ebenfalls für den zivilen Instrumentenflug entwickelt. Hier sollte das System sowohl das Situationsbewusstsein der Crew bei der Abarbeitung eines Flugplans aufrechterhalten sowie bei Überlastungssituationen durch automatische Generierung eines neuen Flugplans die Beanspruchung reduzieren. Im teilweise parallel laufenden Projekt *Crew Assistant Military Aircraft* (CAMA) [Lenz & Onken, 2000] wurden die Erkenntnisse der vorangehenden Projekte in die Domäne militärischer Transportmissionen übertragen. Dadurch erweiterte sich das Aufgabenspektrum der Crew um den taktischen Tiefflug in feindlichem Gebiet. Da die Architektur in diesem Projekt am weitesten vorangeschritten war, wird diese im Folgenden erläutert.

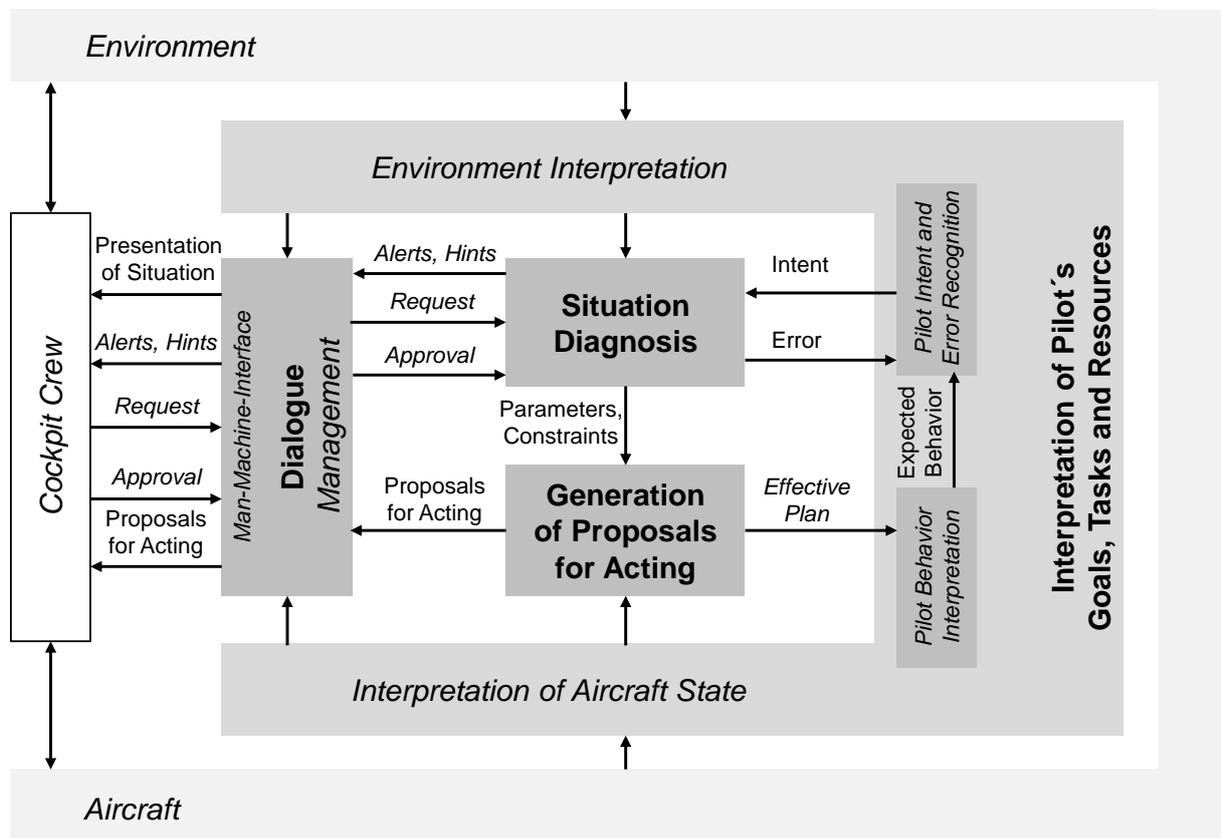


Abbildung 36 Architektur von CAMA [Lenz & Onken, 2000]

In der äußeren Schicht werden die Umwelt und der Flugzeugzustand interpretiert (*Environment Interpretation, Interpretation of Aircraft State*). Anhand des verfügbaren Flugplans (*Effective Plan*) wird mithilfe eines Modells das erwartete Verhalten des Piloten abgeleitet (*Expected Behavior*). Bei Abweichungen kann es sich entweder um einen Fehler (*Error*) oder um eine Absicht (*Intent*) des Piloten handeln. Aufgrund des fest vorgegebenen erwarteten Verhaltens durch den Flugplan, wird bei der Absichtserkennung der Bereich der zulässigen Verhaltens nachträglich erweitert, indem mögliche alternative Flugpläne anhand der gegebenen Situation generiert werden [Strohal & Onken, 1998]. Bei Feststellung eines Fehlers wird eine Warnung erstellt (*Alerts, Hints*) und über den Dialogmanager an den Piloten

geschickt. Bei Erkennung einer Absicht wird der Flugplan automatisch angepasst. Außerdem können auf Anfrage (*Request*) Handlungsvorschläge (*Proposals for Acting*) angeboten werden, was eine Planungs- und Entscheidungshilfe darstellt.

Damit erfüllt das System ebenfalls die Kriterien von *alerting* und *associative assistance*. Außerdem verhält es sich mit der Erkennung von Pilotenfehlern entsprechend der ersten Grundforderung. Die zweite Grundforderung wird insofern erfüllt, als dass Handlungsvorschläge eine Überforderung des Piloten reduzieren können. Die Überforderung wird allerdings nicht selbständig vom System erkannt, sondern wird in bestimmten Aufgabensituationen (z.B. Änderung der taktischen Lage) vom System pauschal unterstellt beziehungsweise muss vom Piloten per Anfrage an das System kommuniziert werden. Außerdem bilden die Funktionen von CAMA laut [Onken & Lenz, 2000] eine Architektur, die der menschlichen Aufgabenbearbeitung mit Situationswahrnehmung, Planung und Kontrolle ähnelt (vgl. Kapitel 2.2.2).

### IAI

Die Forschung für Assistenzsysteme breitet sich zunehmend auch auf das neue Forschungsgebiet der UAV-Führung aus, für das diese Arbeit ebenfalls einen Beitrag leisten soll. Ein Beispiel für ein Unterstützungssystem in diesem Bereich stellt das *Intelligent Adaptive Interface* (IAI) dar [Hou & Kobierski, 2006], das von der *Defence Research and Development Canada* (DRDC) entwickelt wurde. Hier sollen die insgesamt sechs Bediener bei der Führung mehrerer UAVs ähnlich wie beim PA und RPA bei der Aufnahme der großen Menge an Informationen unterstützt werden, um die Entscheidungsfindung zu verbessern. Als Eingriffsmöglichkeiten kann das System entweder Informationen darstellen, Handlungsschritte vorschlagen oder Aktionen durchführen. Die Softwareagenten gehen dabei nach folgendem festgelegtem Prinzip vor:

1. Sammle Informationen über den Zustand aller UAVs, die zugehörigen Routen und die Anzeigenkonfiguration
2. Analysiere die Informationen gemäß vordefinierter Regeln und stelle fest, welche Ereignisse sich ergeben haben
3. Priorisiere die Ereignisse gemäß vordefinierter Regeln
4. Führe vorgefertigte Aufgaben in der Reihenfolge entsprechend der Priorisierung aus

Das System unterstützt dabei den Operateur bei den Aufgaben Routenplanung, Routenabflug, Anzeigenkonfiguration, Crewkommunikation, Sensorverwaltung und Datenlinküberwachung mit jeweils verschiedenen Modulen, die teilweise Assistenzfunktionalitäten darstellen aber auch teilweise OSMs. Die Funktionalität für die Anzeigenkonfiguration weist z.B. die Crew auf neue wichtige Ereignisse durch scrollen und zoomen der Kartenansicht hin, was einer *alerting assistance* entspricht. Beim Verlust des Datenlinks zu einem UAV weist das System auf dieses Ereignis hin, was ebenfalls einer *alerting assistance* entspricht. Allerdings wird hier nicht festgestellt, ob eventuell noch andere, dringendere Aufgaben als die Wiederherstellung des Datenlinks zu erledigen sind und es wird implizit davon ausgegangen, dass die Crew das Ereignis noch nicht bemerkt hat.

Die Aufgabe der Führung mehrerer UAVs bewirkte in Experimenten eine hohe Beanspruchung für die Operateure. Mit dem IAI konnte eine Reduzierung der Beanspruchung sowie eine Steigerung des Situationsbewusstseins und der Leistung festgestellt werden.

### Intelligent Aiding

Am Massachusetts Institute of Technology (MIT) wird ebenfalls an der Optimierung typischer Human Factors Probleme im Bereich der UAV-Führung geforscht. Während sich

die meisten der Entwicklungen eher den *operation-supporting means* zuschreiben lassen, kann bei dem *Intelligent Aiding* [Cummings et al., 2007b] von einer Assistenzfunktion gesprochen werden. Bei der Führung von UAVs auf einer niedrigen Ebene kann es zu Zeiten kommen, in denen der Operateur die Systeme (z.B. Kamera, Waffenauslösung) mehrerer UAVs gleichzeitig bedienen muss. Diese Zeiten hoher Beanspruchung werden durch das *Intelligent Aiding* identifiziert und der Operateur im Voraus darüber informiert. Als Lösung kann der Operateur einzelne UAVs verzögern, so dass die erforderlichen Aktionen wieder zeitlich getrennt sind.

Der Hinweis des Systems auf das Problem stellt eine *alerting assistance* dar. Hierbei wird implizit angenommen, dass der Operateur das Problem noch nicht selbst erkannt hat. Eine *associative assistance* in Form eines Lösungsvorschlags, welches UAV z.B. verzögert werden sollte, wird hier nicht gegeben.

Das System stellt hier fest, dass eine Umplanung des Zeitplans der UAVs erforderlich ist und warnt den Operateur im Sinne der ersten Grundforderung. Eine Erkennung gemäß der zweiten Grundforderung, dass der Operateur bei der momentan dringlichsten Aufgabe überfordert ist, findet hier nicht statt. Allerdings wird bei dieser Funktion nicht der gesamte Aufgabenkontext des Operateurs betrachtet und daher nicht festgestellt, ob die Umplanung momentan die dringendste Aufgabe ist. Beispielsweise könnte auch im selben Moment eine Systembedienung an einem UAV erforderlich sein, die dann als dringender zu bewerten ist. Dieser Effekt konnte auch in Experimenten festgestellt werden, weshalb sich die Leistung durch den Einsatz des Systems eher verschlechterte als verbesserte.

Die Recherche zu bereits realisierten Assistenzsystemen hat ergeben, dass die ergonomischen Probleme bereits durch verschiedene Ansätze angegangen werden und sich die Assistenzfunktionen auch in den in Kapitel 2.2.2 vorgestellten Rollen *alerting assistance* und *associative assistance* ausprägen. *Substituting assistance* wird bisher nur auf Anforderung durch den Operateur, z.B. bei der Eingabe eines vorgeschlagenen neuen Missionsplans genutzt. Eine Übernahme von Aufgaben ohne vorherige Aufforderung durch den Operateur wurde noch nicht realisiert. Von den Anwendungen her wurden umfassende Ansätze in den Bereichen Fahrzeug- und Flugzeugführung gefunden. Bei der UAV-Führung wurden bisher einzelne Assistenzfunktionen realisiert, Ansätze, die den gesamten Aufgabenbereich des Kommandanten berücksichtigen, fehlen allerdings noch. Die in Kapitel 2.1.2 vorgestellten Assistenzsysteme MCA und WA stellen zwar umfassende Ansätze im MUM-T Kontext dar, allerdings wird hier mit einer kleineren Führungsspanne geführt und die UAVs besitzen wesentlich weniger Automation. Zuletzt kann festgehalten werden, dass die Architekturen der Assistenzsysteme mit einem umfassenden Ansatz eine Tendenz zu ähnlicher Bearbeitung der Aufgabe wie der Mensch mit Situationswahrnehmung, Planung und Kontrolle erkennen lassen. Inwiefern diese Architekturen noch weiter optimiert werden können, wird im folgenden Kapitel erläutert.

### **2.3 Kognitive Systeme**

In Kapitel 2.2.2 wurde bereits darauf eingegangen, dass der Mensch Aufgaben in mehreren Schritten bearbeitet. Die genaue Beschreibung dieser Schritte ist Gegenstand der Forschungsrichtung der Kognitionswissenschaften. Obwohl der Begriff der Kognition aufgrund verschiedener Forschungsschwerpunkte unterschiedlich verwendet wird, kann er laut [Solso, 2005] zusammenfassend als alle menschlichen Wahrnehmungs-, Gedächtnis- und Denkprozesse beschrieben werden. Der Grundgedanke kognitiver Automation ist demnach, die Informationsaufnahme und -verarbeitung des Menschen im Rechner nachzubilden, dadurch menschähnliches, rationales Verhalten zu erzeugen und somit die Fähigkeiten der Automation zu erweitern.

Da der Ausgangspunkt kognitiver Automation das Verständnis der menschlichen Kognition ist, geht das folgende Kapitel zuerst auf Modelle menschlicher Kognition ein (Kapitel 2.3.1). Diese Modelle könnten nachfolgend theoretisch in einer gängigen Programmiersprache, wie z.B. C++ umgesetzt werden. Allerdings spielt laut [Lehman et al., 2006] auch die verwendete Architektur eine entscheidende Rolle für das Verhalten des Systems:

„Verhalten = Architektur + Inhalt“

Daher werden anschließend verschiedene Ansätze vorgestellt, bei denen die menschliche Kognition bereits in der Architektur berücksichtigt ist (Kapitel 2.3.2). Das Kapitel schließt letztendlich mit einigen Beispielen, in denen kognitive Architekturen bereits für verschiedene Anwendungen genutzt wurden (Kapitel 2.3.3).

### 2.3.1 Modelle menschlicher Kognition

In [Lipshitz, 1993] wird ein Überblick über verschiedene Modelle menschlicher Kognition gegeben. Eines davon ist das sogenannte *Recognition Primed Decision* (RPD) Modell von [Klein, 1989][Klein, 2008] welches davon ausgeht, dass Menschen aus ihrer Erfahrung bereits verschiedene Muster gespeichert haben (vgl. Abbildung 37).

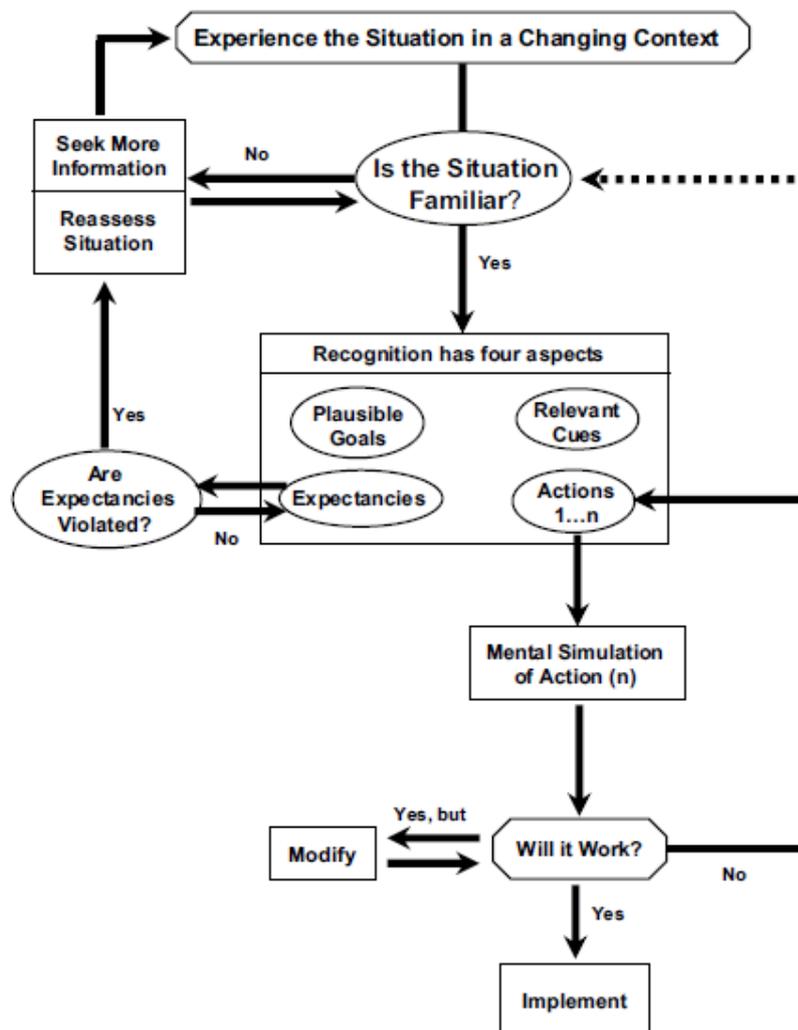


Abbildung 37 Modell des *Recognition Primed Decision Making* [Klein, 2008]

Diese Muster heben die relevantesten Situationsmerkmale hervor, liefern Erwartungen, identifizieren plausible Ziele und schlagen typische Reaktionen für diese Art von Situation vor. Wenn ein Mensch nun eine Entscheidung treffen muss, kann er die momentane Situation

schnell mit den gelernten Mustern abgleichen. Bei einem Treffer kann er so schnell zu einer Entscheidung kommen [Klein, 2008]. Das Modell erklärt demnach, wie Menschen zu schnellen Entscheidungen kommen können, ohne lange verschiedene Optionen gegeneinander abwägen zu müssen. Ein weiterer Aspekt des Modells ist die mentale Simulation der durchgeführten Aktionen und die Evaluierung, ob die Aktionen funktionieren. Hier kann auch bei geringen Abweichungen noch einmal der Handlungsplan angepasst werden. Eine offene Frage bleibt bei diesem Modell, was der Mensch in unbekannten Situationen macht, in denen kein erlerntes Muster zutrifft. Hier kann laut Modell nur die Situation noch einmal beurteilt und mehr Informationen gesammelt werden.

Eine Antwort auf die Frage nach unbekanntem Situationen kann das Modell menschlicher Informationsaufnahme und -verarbeitung von [Rasmussen, 1983] geben (vgl. Abbildung 38).

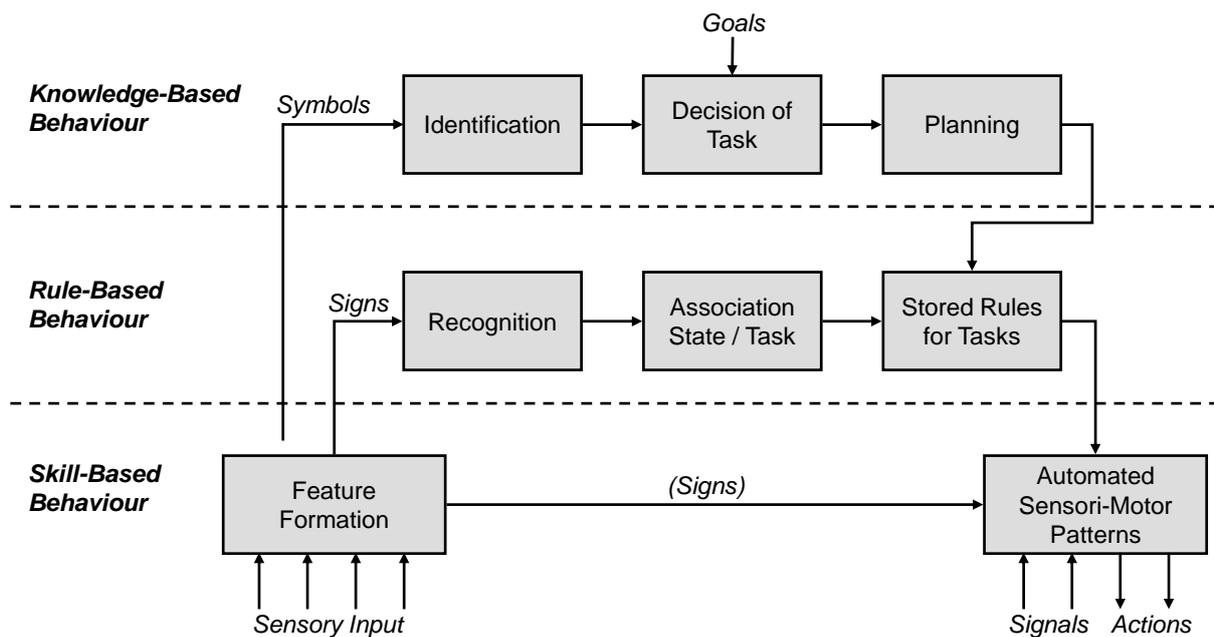


Abbildung 38 Vereinfachte Darstellung der drei Verhaltensebenen von Operateuren [Rasmussen, 1983]

Es unterscheidet zwischen Routineaufgaben und ungewohnten Aufgabensituationen und geht davon aus, dass dafür verschiedene Prozesse im Menschen ablaufen. Das Modell sieht daher menschliches Verhalten auf drei Ebenen vor: fertigkeitbasiertes (*Skill-Based*), regelbasiertes (*Rule-Based*) und wissensbasiertes (*Knowledge-Based*) Verhalten.

Auf der fertigkeitbasierten Ebene findet senso-motorisches Verhalten statt, welches sich durch unbewusste, hochintegrierte, automatisierte Verhaltensmuster äußert. Dabei können auch mehrere gespeicherte Verhaltensmuster durch abstraktere Verhaltensebenen aneinandergereiht werden, um eine komplette Aufgabe zu erfüllen (*Stored Rules for Tasks*). Eine Aneinanderreihung durch die fertigkeitbasierte Ebene findet hingegen nur selten statt. Die Rückkopplung mit der Außenwelt geschieht meist direkt über Signale (*Signals*), die die Aktionen (*Actions*) kontrollieren. Als Beispiele für dieses Verhalten werden Schreiben oder Sport genannt.

Die Aneinanderreihung von Verhaltensmustern geschieht auf der nächst höheren Ebene des regelbasierten Verhaltens. Die Abfolge kann einerseits bereits bekannt sein, da dieselbe Aufgabe früher schon einmal erledigt wurde. Dafür muss in einem vorangehenden Schritt die Situation erkannt (*Recognition*) und der entsprechenden Aufgabe zugeordnet werden (*Association State / Task*). Außerdem kann die Abfolge von außen über Personen oder Bücher mitgeteilt werden. Die dritte Möglichkeit ist, dass die Abfolge durch bewusste Problemlösung und Planung (*Planning*) entsteht. Das Verhalten ist auf der regelbasierten Ebene zwar

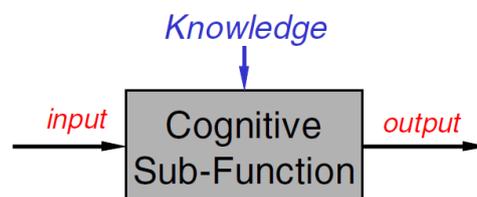
zielorientiert, aber nur vorwärts gekoppelt in Form von Prozeduren gespeichert. Daher sind die Ziele meist nicht explizit repräsentiert und eine Rückwärtskopplung, ob diese erreicht werden ist meist nicht möglich.

Auf der wissensbasierten Verhaltensebene können bisher unbekannte Situationen behandelt werden, für die noch keine Abfolge von Verhaltensmustern gespeichert sind. Hierfür wird zuerst die Umwelt auf symbolischer Ebene interpretiert (*Identification*). Da der Situation nicht wie auf der regelbasierten Ebene direkt eine Aufgabe zugeordnet werden kann, muss eine Entscheidung getroffen werden, welche Handlungsziele erreicht werden sollen (*Decision of Task*). Die Handlungsziele (*Goals*) sind hierbei im Vergleich zur regelbasierten Ebene explizit repräsentiert. In einem nachfolgenden Schritt muss eine Abfolge von Handlungsschritten zur Erreichung der Ziele geplant werden (*Planning*), die dann auf der regelbasierten Ebene wieder abgearbeitet werden kann. Wenn diese Abfolge gespeichert wird, kann dieselbe Situation bei erneutem Auftreten über die regelbasierte Ebene abgehandelt werden. Dieser Vorgang kann auch als Lernen bezeichnet werden.

Der Weg über die wissensbasierte Ebene hat große Ähnlichkeit mit den verschiedenen Modellen menschlicher Informationsverarbeitung, die in Kapitel 2.2.2 für die Definition von Automationsgraden verwendet wurden. Hier wurde in Situationswahrnehmung (*Feature Formation & Identification*), Planung (*Decision of Task & Planning*) und Kontrolle (*Stored Rules for Tasks & Automated Senso-Motor Patterns*) unterschieden.

Das Modell geht außerdem davon aus, dass Informationen je nach Verhaltensebene als Signale (*Signals*), Zeichen (*Signs*) oder Symbole (*Symbols*) aufgenommen werden. Zur Steuerung des menschlichen Körpers wird auf der fertigkeitbasierten Ebene das zeitlich-räumliche Verhalten der Umwelt als Signale ohne spezielle Bedeutung wahrgenommen. Zeichen können immer mit Namen benannt werden und entsprechen einem Zustand der Umwelt oder den Zielen und Aufgaben von Personen. Symbole hingegen stellen Konzepte im Kopf des Menschen dar und beschreiben Eigenschaften der Umwelt [Rasmussen, 1983].

Das Modell von Rasmussen stellt eines der bekanntesten Modelle menschlicher Kognition dar und wurde bereits als Grundlage für einige weiterführende Modelle verwendet. Eine informationstechnische Interpretation findet sich beispielsweise in [Onken & Schulte, 2010]. Der Schwerpunkt liegt hier auf der Darstellung von Wissen und dessen Verarbeitung in einem Prozess. Daher wird definiert, dass ein Funktionsblock immer eine kognitive Sub-Funktion beschreibt, in die Wissen miteinfließt und deren Ein- und Ausgänge bewusste Erfahrungszustände beschreiben (vgl. Abbildung 39).



**Abbildung 39 Formale Beschreibung einer kognitiven Sub-Funktion und des zugehörigen Wissens**  
[Onken & Schulte, 2010]

Das Ergebnis der Interpretation ist in Abbildung 40 dargestellt. Das Modell wurde zuerst mit der Arbeitsumgebung verbunden, wobei Eingaben über Sinnesempfindungen und Ausgaben über Kommandos an die menschlichen Effektoren erfolgen. Die drei Ebenen des Rasmussen-Modells wurden beibehalten, jedoch wurde die Benennung der mittleren und oberen Ebene in *procedure-based* und *concept-based* angepasst, um die bedeutungsvollste Art von Wissen auf diesen Ebenen hervorzuheben. Die Benennung der einzelnen Funktionsblöcke wurde ebenfalls teilweise angepasst, um zu verdeutlichen, dass es sich um kognitive Subfunktionen handelt.

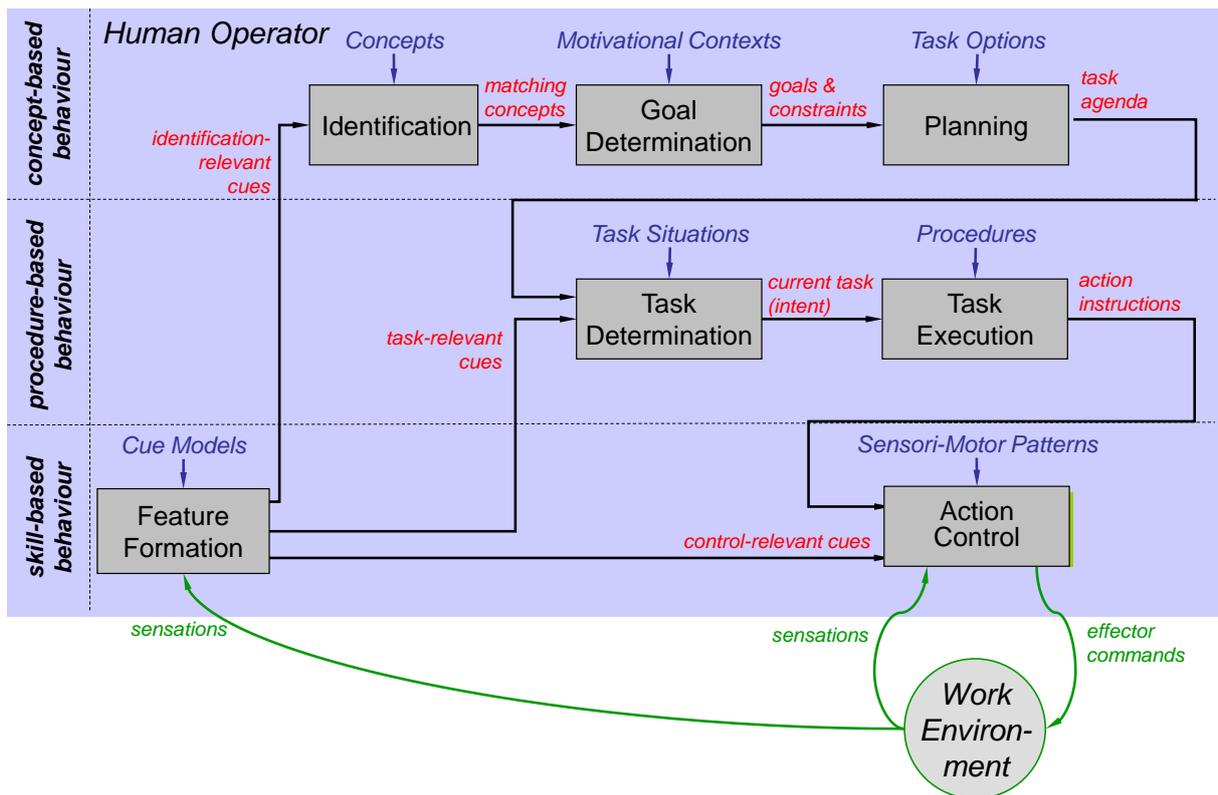


Abbildung 40 Informationstechnologische Interpretation des Rasmussen-Modells menschlicher Informationsverarbeitung [Onken & Schulte, 2010]

Die *Feature Formation* auf der untersten Ebene stellt einen unterbewussten Prozess dar, mit dem aus den Sinnesempfindungen Situationsmerkmale (*Cues*) generiert werden. Damit handelt es sich hier um den in diesem Zusammenhang unbewusst ablaufenden Teil der Wahrnehmung. Je nachdem, auf welcher Ebene die Weiterverarbeitung stattfindet, können die Situationsmerkmale von unterschiedlicher Form sein. In der Aktionskontrolle sind dies regelungsrelevante Merkmale, wie z.B. die Position eines Fingers im Verhältnis zu einem Knopf, der gedrückt werden soll.

In der Aufgabenbestimmung (*Task Determination*) werden aufgabenrelevante Merkmale mit bereits bekannten Aufgabensituationen abgeglichen und bei einem Treffer diese Aufgabe bewusst verfolgt. Ein Beispiel stellt nach [Onken & Schulte, 2010] eine rote Ampel dar, der sich ein Mensch in einem Fahrzeug nähert. Auf diese Merkmale trifft die Aufgabe Bremsen zu, wie dies bereits in der Fahrschule gelernt wurde. Um die Aufgabe ausführen zu können, wird auf Wissen über Prozeduren für diese konkrete Aufgabe zurückgegriffen und dies in Aktionsanweisungen umgesetzt. In dem Beispiel könnten verschiedene Aktionen für die Aufgabe Bremsen das Wegnehmen des Gaspedals und das Treten des Bremspedals sein.

Auf der *concept-based* Ebene werden identifikationsrelevante Merkmale mit erlernten Konzepten abgeglichen. Die zutreffenden Konzepte liefern im Anschluss einen Zustand der Welt, welcher gegebenenfalls mit dem gewünschten Zustand (*motivational contexts*) nicht übereinstimmt. Dies bewirkt die Aktivierung von Zielen und Rahmenbedingungen, welche die Teile des gewünschten Weltzustands widerspiegeln, die nicht zutreffen. Aufgrund dieser Vorgaben kann in der darauffolgenden Planungsfunktion eine Liste an zu erledigenden Aufgaben (*task agenda*) bestimmt werden, um die momentane Situation in die gewünschte zu überführen. Die Planungsfunktion hat hierzu Wissen über Handlungsoptionen des Menschen. Diese Aufgabenliste kann im Anschluss auf der mittleren und unteren Ebene wieder abgearbeitet werden.

Die hier vorgestellten Modelle menschlicher Kognition versuchen zu erklären, wie Menschen einerseits in bekannten Situationen schnell gute Entscheidungen und andererseits in unbekanntem Situationen überhaupt Entscheidungen treffen und entsprechend handeln können. Da die Modelle als Prozesse dargestellt sind, erleichtern diese eine Umsetzung von Kognition im Rechner und bieten eine Grundlage für Architekturen künstlicher Kognition. Für weiterführende Arbeiten in diesem Bereich sei an dieser Stelle auf [Brüggenwirth & Schulte, 2012] verwiesen.

### 2.3.2 Architekturen für künstliche Kognition

In den vergangenen Jahrzehnten wurde eine Reihe von kognitiven Architekturen entwickelt, die versuchen, die Nachbildung menschlichen Verhaltens im Rechner zu unterstützen. Im Folgenden wird nur auf die bekanntesten bzw. für diese Arbeit relevanten Architekturen eingegangen. Für eine weitergehende Recherche sei an dieser Stelle beispielsweise auf die Architekturen EPIC [Meyer & Kieras, 1997], Clarion [Sun et al., 2001], CHREST [Gobet & Lane, 2010] oder PRS [Georgeff & Ingrand, 1989] hingewiesen.

Die *Adaptive control of thought-rational* (ACT-R) Theorie [Anderson et al., 2004] [Anderson & Lebiere, 1998] weist eine modulare Struktur auf [Taatgen & Anderson, 2008], wobei durch rationale Analyse [Anderson, 1990] ein schlüssiges Verhalten erzeugt wird (vgl. Abbildung 41). Schwerpunkt dieser Architektur ist die möglichst genaue Nachbildung des menschlichen Gehirns, weshalb die einzelnen Module auch bestimmten Gehirnregionen zugeordnet sind.

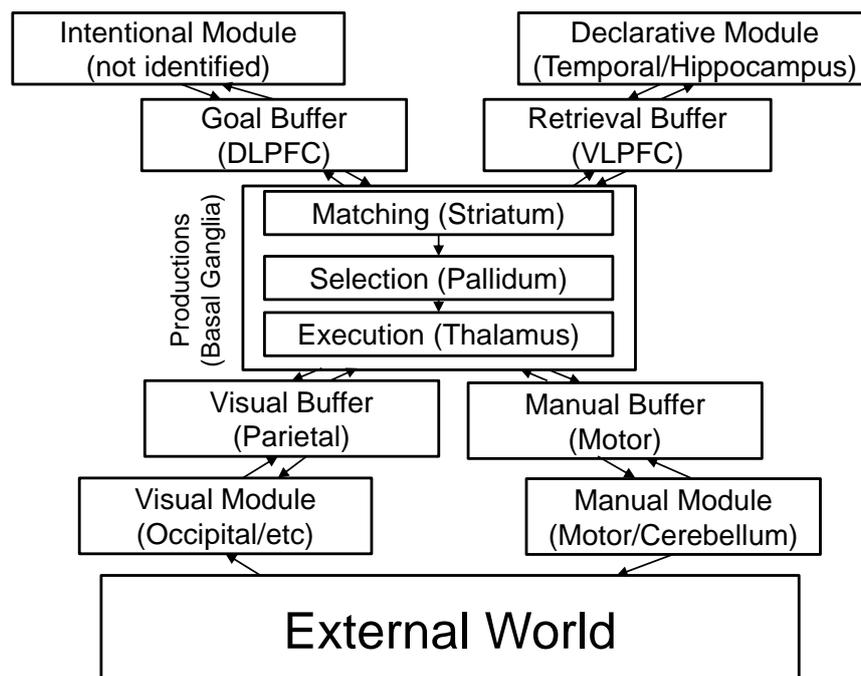


Abbildung 41 Informationsorganisation in ACT-R 5.0 [Anderson et al., 2004]. DLPFC = dorsolateral prefrontal cortex; VLPFC = ventrolateral prefrontal cortex

Das visuelle Modul nimmt Objekte in der Umwelt wahr, während das manuelle Modul Bewegungen z.B. der Hände kontrolliert. Das deklarative Modul hat Hintergrundwissen gespeichert, das abgerufen werden kann und das intentionale Modul behält den Überblick über die aktuellen Absichten bzw. Ziele. Die Puffer dienen dabei einer Vorauswahl relevanter Informationen, z.B. einzelner Objekte im visuellen Umfeld. Das zentrale Element ist ein Produktionensystem, wodurch das prozedurale Wissen vom deklarativen Wissen getrennt wird [Taatgen & Anderson, 2008]. Dieses wählt anhand der momentan vorliegenden Informationen in den Puffern zu jedem Zeitpunkt eine Regel aus und führt diese durch. Dabei wird das Wissen in den Puffern verändert, z.B. im manuellen Puffer zur Durchführung einer

Aktion. Durch Veränderung des Wissens können auch Abkürzungen für ursprünglich umständliche Lösungsfindungen entstehen, weshalb diese Architektur auch lernfähig ist. Da in jedem Zyklus nur eine Regel ausgewählt wird, entsteht bewusst ein Flaschenhals für die Leistung des Systems, ähnlich den menschlichen Grenzen der Leistungsfähigkeit. Daher wird die Architektur vorwiegend zur exakten Nachbildung menschlichen Verhaltens bzw. Lernverhaltens verwendet (siehe hierzu z.B. [Anderson et al, 2004]).

Einen weiteren Ansatz, rationales Verhalten im Rechner nachzubilden, stellt die *Belief-Desire-Intention* (BDI) Agententheorie [Rao & Georgeff, 1995] dar. Diese stellt zwar nicht direkt eine kognitive Architektur dar, wird aber aufgrund der Berührungspunkte mit den Kognitionsmodellen an dieser Stelle trotzdem erwähnt. Die *Beliefs* stellen dabei die Informationen des Agenten über die Umwelt dar, während die *Desires* die Motivation des Agenten repräsentieren. Durch die *Intentions* wird angegeben, welches der Ziele momentan verfolgt wird. Der Ansatz ähnelt der wissensbasierten Ebene aus dem Modell von Rasmussen, wobei der Planungsschritt hier nicht enthalten ist.

Die *States, Operators, And Reasoning* (Soar) Architektur [Laird et al., 1987] wurde entwickelt, um generelle intelligente Systeme im Rechner zu modellieren [Laird et al., 2006]. Das System teilt das Wissen in einen symbolischen Langzeitspeicher (*long-term memories*) und einen Arbeitsspeicher (*working memory*) auf (vgl. Abbildung 42).

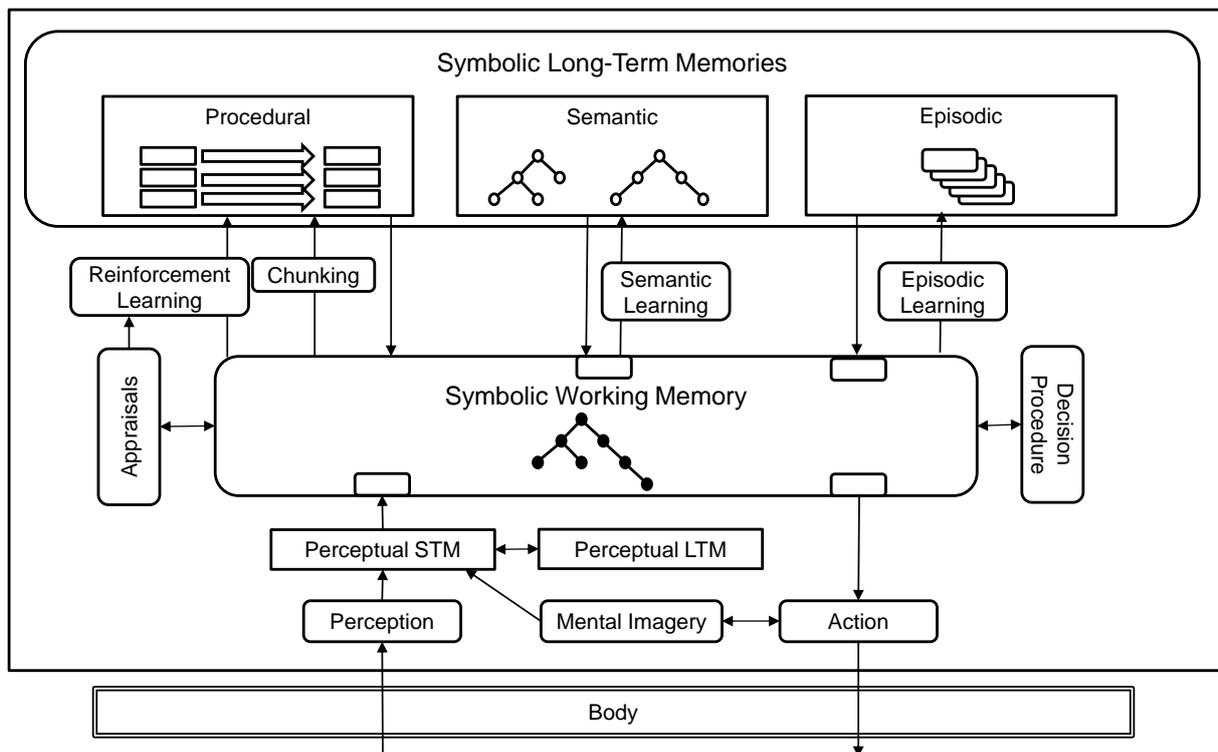


Abbildung 42 Aktueller Stand der kognitiven Architektur Soar [Durbinsky & Laird, 2011]

Der Langzeitspeicher enthält viele Informationen für verschiedene Situationen und wird in den Arbeitsspeicher geholt, der die aktuelle Situation widerspiegelt. Das Wissen im Langzeitspeicher ist in Form von Wenn-Dann Regeln gespeichert, die durch die *decision procedure* ausgewertet werden. Im Wenn-Teil der Regel wird auf eine Wahrnehmung (*Perception*) oder ein anderes Element des Arbeitsspeichers getestet. Wenn die Annahmen zutreffen, feuert die Regel und bewirkt entweder eine Aktion (*Action*) mit der Umwelt oder eine Veränderung des Arbeitsspeichers [Lehman et al., 2006]. Außerdem kann der Langzeitspeicher zur Laufzeit des Systems durch verschiedene Lernmechanismen erweitert werden. Da in jedem Zyklus nur eine Aktion durchgeführt werden soll, gibt es sogenannte Operatoren, die den Ablauf steuern (vgl. Abbildung 43).

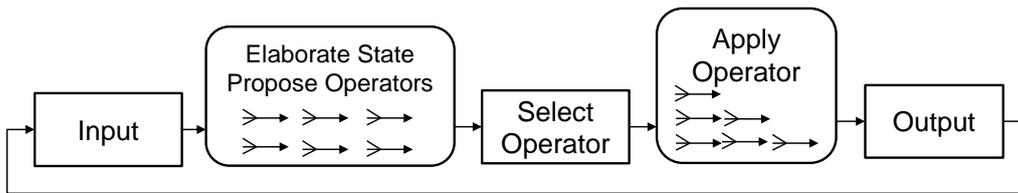


Abbildung 43 Funktionaler Ablauf in Soar [Laird, 2006]

Wenn eine Regel feuert, schlägt sie damit einen Operator vor (*Propose Operators*). Durch zusätzliches Wissen über die Priorisierung von Operatoren kann ein Operator ausgewählt werden (*Select Operator*), welcher dann mithilfe weiterer Regeln ausgeführt wird (*Apply Operator*) und eine Veränderung des Wissens zum Start des nächsten Zyklus bewirkt. Durch wiederholtes Anwenden von Operatoren wird schließlich das Grundproblem gelöst. Falls kein Operator vorgeschlagen oder ausgewählt werden kann, gerät das System in einen Unterzustand, in dem es versucht, wiederum dieses Unterproblem zu lösen. Gelingt dies, wird im Rahmen eines Lernprozesses Wissen hinzugefügt, um dieses Unterproblem beim nächsten Auftreten zu vermeiden.

Bei Soar besteht der Schwerpunkt des intelligenten Verhaltens im Lösen von Problemen. Andere Teile der Kognition, die nicht unmittelbar mit der Anwendung von Wissen zur Problemlösung zu tun haben, werden nicht behandelt. Ähnlich wie bei ACT-R wird auch hier nur eine Aktion pro Zyklus zugelassen. Außerdem weist Soar im Vergleich z.B. zu ACT-R eine unitäre Architektur mit nur einer Wissensbasis und einem Verarbeitungsalgorithmus auf. Die einheitliche Wissensbasis bringt den Vorteil mit sich, dass jedes Wissensselement von überall aus abgerufen werden kann.

Die Speicher- und Verarbeitungsstruktur und der daraus entstehende Vorteil der einheitlichen Wissensrepräsentation wurden von der Universität der Bundeswehr München dazu verwendet, aufbauend auf Soar die *Cognitive System Architecture* (COSA) [Putzer, 2004] zu entwickeln. Die Architektur baut auf dem sogenannten kognitiven Prozess [Putzer, 2004] auf (vgl. Abbildung 44), welcher als Vorbild das wissensbasierte Verhalten des Rasmussen-Modells hat. Im Vordergrund steht hierbei nicht die exakte Nachbildung der menschlichen Denkprozesse sondern eher die Ermöglichung menschähnlichen, rationalen Verhaltens im Rechner durch eine einheitliche Struktur [Putzer, 2004].

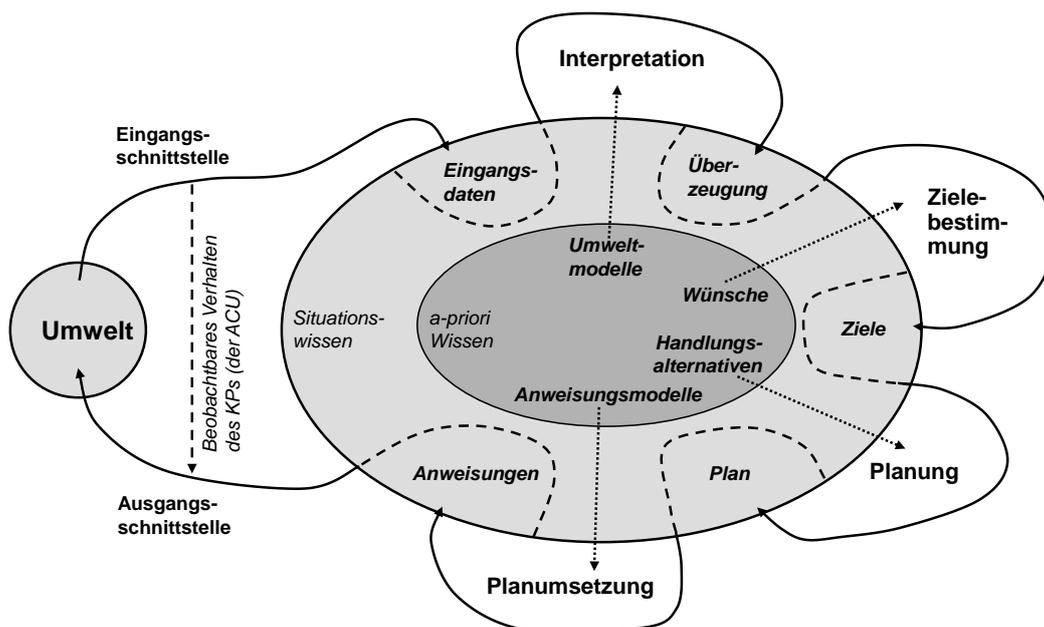
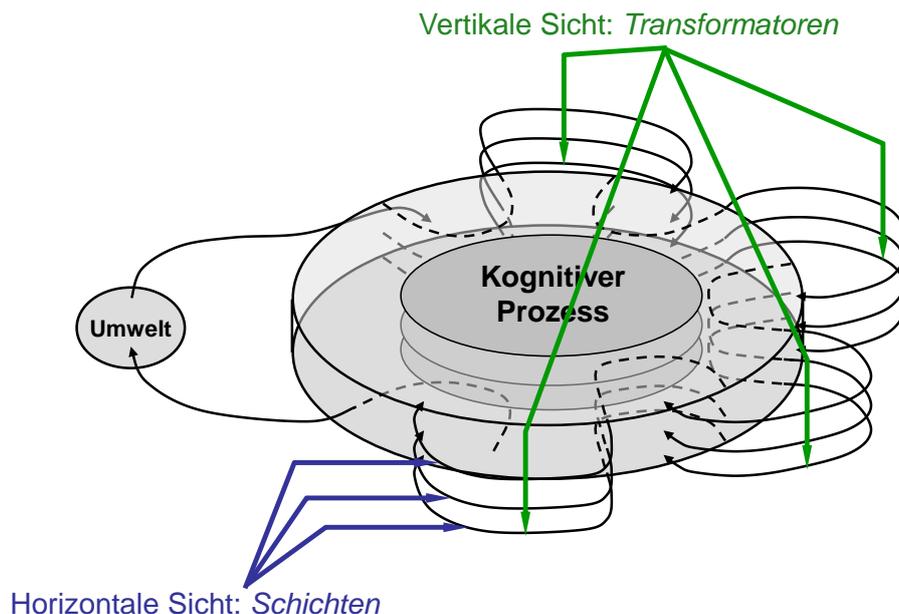


Abbildung 44 Der kognitive Prozess [Putzer, 2004]

Der kognitive Prozess besteht aus einem Wissensteil (Oval) und den Transformatoren (Pfeile). Er ist über Eingangs- und Ausgangsschnittstellen mit der Umwelt verbunden. Der Prozess realisiert bei Betrachtung der Eingangs- und Ausgangsschnittstellen ein beobachtbares Verhalten. Das Wissen kann noch einmal unterteilt werden in a-priori Wissen, welches von Anfang an in dem Prozess vorhanden ist und Situationswissen, welches durch die Eingangsdaten und die Transformatoren dynamisch generiert wird. Die Transformatoren greifen auf Elemente des Situationswissens zu, die vornehmlich aus ihrem zugeordneten Bereich stammen. Durch Anwendung von Modellen des a-priori Wissens wird weiteres Situationswissen in einem definierten Bereich generiert. Das a-priori Wissen ist dabei in die Bereiche Umweltmodelle, Wünsche, Handlungsalternativen und Anweisungsmodelle unterteilt. Funktional wird aus den Eingangsdaten des kognitiven Prozesses eine Überzeugung als internes Bild der Umgebung interpretiert. Dieses ist die Grundlage für die Bestimmung der aktuell verfolgten Ziele. Für die Erfüllung der Ziele muss in einem Planungsschritt ein Plan erstellt werden. Dieser besteht aus einer oder mehreren Anweisungen, die über die Ausgangsschnittstelle an die Umwelt weitergegeben werden. Die Anweisungen bewirken eine Veränderung der Umwelt, wodurch bei wiederholtem Durchlaufen des kognitiven Prozesses die Ziele letztendlich erfüllt werden.

Im Vergleich zur vertikalen Sicht auf den kognitiven Prozess, bei dem eine Unterteilung in die Transformatoren möglich ist, kann der kognitive Prozess auch horizontal geteilt werden (vgl. Abbildung 45).



**Abbildung 45** Sichtweisen auf den kognitiven Prozess [Putzer, 2004]

Hierdurch entstehen mehrere Schichten, die auch als Pakete bezeichnet werden. Diese Schichten können auch als Dekomposition des Gesamtverhaltens in einzelne Teilfunktionalitäten gesehen werden. In [Putzer, 2004] wird hier bereits auf die Möglichkeit hingewiesen, Wissen in Pakete für Domänen (z.B. Land-, Luft-, Wasserfahrzeuge, Energieanlagen, Börsenmanagement etc.) und Anwendungen (z.B. autonome Systeme, Assistenz- / Tutorsysteme) zu trennen.

Die Einbettung des kognitiven Prozesses in die Systemarchitektur von COSA ist in Abbildung 46 dargestellt.

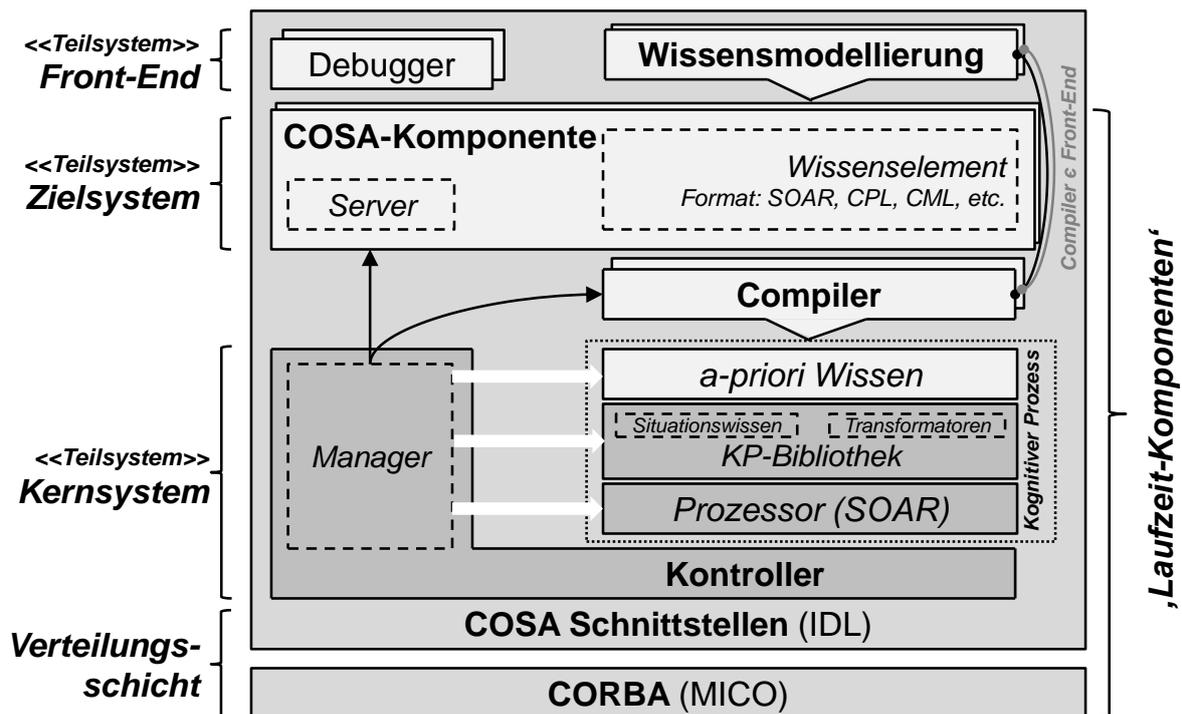


Abbildung 46 Architektur von COSA [Putzer, 2004]

Die Wissensmodellierung geschieht über eine eigene COSA-Komponente, wobei die Wissenselemente über einem Compiler in für den Soar Prozessor verständliches a-priori Wissen (vgl. Langzeitspeicher) übersetzt werden. Die Anbindung an die Umwelt geschieht ähnlich wie in Soar über Input- und Outputserver. Eine zusätzliche KP-Bibliothek passt das Verhalten von Soar an, so dass z.B. nicht in jedem Zyklus ein Operator für eine Aktion vorgeschlagen werden muss. Dies ist speziell für ein Assistenzsystem nützlich, welches vorwiegend die Situation beobachten soll und nicht in jedem Zyklus zwingend eine Aktion durchführen muss. Allerdings muss angemerkt werden, dass hierdurch der Lernmechanismus von Soar nicht mehr nutzbar ist. Außerdem ist es möglich, mehrere Aktionen in einem Zyklus durchzuführen, so dass dieser Vorteil technischer Systeme gegenüber dem Menschen durch die Architektur unterstützt wird.

### 2.3.3 Realisierte Systeme

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick, welche Arten von Systemen bereits mit den vorgestellten kognitiven Architekturen realisiert wurden. Die Recherche geht dabei sofern möglich auf Anwendungen in den Bereichen Assistenzsysteme und UAV-Automatisierung ein.

Die ACT-R Architektur wurde bereits zur Modellierung eines weiten Bereichs menschlichen Verhaltens von der Wahrnehmung und Aufmerksamkeit über Lernen, Problemlösen und Entscheidungsfindung bis hin zu Sprachverarbeitung verwendet. Ein Beispiel aus dem militärischen Bereich stellt die Modellierung des Verhaltens eines Anti-Air Warfare Coordinators (AAWC) [Anderson et al., 2004] dar, der an Bord von Marineschiffen für die Luftraumüberwachung zuständig ist. Der AAWC muss dafür auf einem Radarschirm Reflektionen von noch unidentifizierten Flugobjekten suchen (engl.: „tracks“), Informationen z.B. bezüglich Höhe und Geschwindigkeit darüber sammeln und die Flugzeuge nach Typ und Feindseligkeit klassifizieren. Das Beispiel wurde ausgewählt, da der Kommandant im MUM-T Kontext ebenfalls Aufklärungsinformationen der UAVs auswerten und Objekte identifizieren muss. ACT-R wurde hier allerdings nicht als Assistenzsystem zur Überwachung der Aufgabenausführung eingesetzt, sondern um die Aufgabenbearbeitung durch den

Menschen und im Speziellen die Lernphase von Probanden bezüglich der benötigten Zeit bei den einzelnen Teilaufgaben nachzubilden. Die Ergebnisse zeigen, dass es mit ACT-R möglich ist, die Zeit zur Aufgabenbearbeitung in der Lernphase relativ genau zu reproduzieren. Neben der nachträglichen Modellierung menschlichen Verhaltens kann ACT-R außerdem in Szenarien, in denen eine vorherige Datenerhebung nicht möglich ist, auch zur Verhaltensprädiktion verwendet werden [Anderson et al., 2004].

Die momentane Forschung um die Architektur Soar konzentriert sich auf die Erweiterung spezieller kognitiver Teilfunktionen, wie z.B. dem Sprachverständnis bei mehrdeutigen Worten anhand vergangener Speicherzugriffe [Derbinsky & Laird, 2011b], der Kombination von diskreten und kontinuierlichen Handlungsplänen bei einem mobilen Roboter [Xu & Laird, 2011] oder der automatischen Verwaltung des Arbeitsspeichers zur Erhaltung der Performanz auch bei großen Datenmengen [Derbinsky & Laird, 2011a]. Das Zusammenwirken der Teilfunktionen in einem einheitlichen Rechnermodell zur prinzipiellen Demonstration kognitiven Verhaltens wurde ebenfalls in einigen früheren Anwendungen dargestellt. Für einen Überblick sei auf [Lehman et al., 2006] verwiesen. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die Anwendung TacAirSoar [Jones et al., 1999]. Hier wurde Soar für die Nachbildung des Verhaltens von Jet- bzw. Hubschrauberpiloten in simulierten taktischen Flugmissionen des U.S. Militärs eingesetzt. Mithilfe eines Soar Agenten pro Luftfahrzeug, können diese selbständig bzw. unbemannt Missionen durchführen. Über Kommunikation mit den anderen Missionsteilnehmern können sie auch mit sich dynamisch ändernden Missionen und Kommandostrukturen umgehen. Mit über 8000 Regeln stellt TacAirSoar eine der größten Anwendungen von Soar dar. Für Agenten, die sich gemäß dem Assistenzsystemparadigma verhalten, wurde die Architektur allerdings bisher nicht verwendet.

Das *Cognitive System for the Flight-Domain* (COSY<sup>flight</sup>) [Putzer, 2004] diente als erste Anwendung von COSA hauptsächlich der Validierung der kognitiven Architektur. Hier wird ein einzelnes UAV befähigt, durch zielebasiertes Verhalten selbständig eine militärische Aufklärungsmission durchzuführen. In [Frey, 2005] werden die kognitiven Fähigkeiten des Systems mit COSA um eine Überwachungs- und Kontrollfunktion erweitert. Auf einer übergeordneten Ebene werden Fehler und Abweichungen (z.B. Kraftstoff reicht für geplante Mission nicht aus) erkannt und durch direkten Eingriff in das Wissen der niedrigeren Wissensebene korrigiert. Somit wird das System zu einem teilautonomen System, welches weniger Überwachung durch einen Operateur benötigt. In [Meitinger, 2008] werden COSY<sup>flight</sup> kooperative Fähigkeiten hinzugefügt, wodurch mehrere UAVs eine Mission gemeinsam erfüllen können. Die Fähigkeiten werden dabei durch explizite Repräsentation von Zielen zur Kooperation ermöglicht (vgl. Abbildung 47).

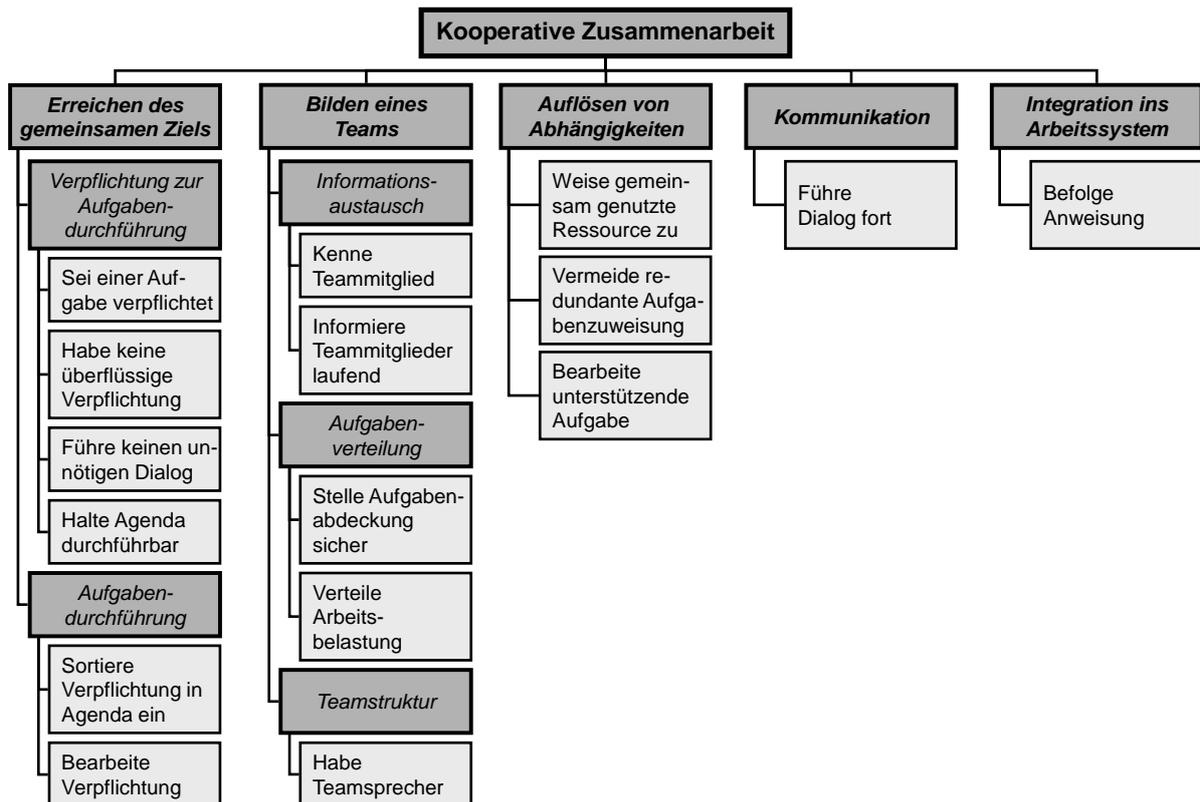


Abbildung 47 Hierarchische Ziele zur Kooperation von UAVs [Meitinger, 2008]

Die Kooperation bezieht sich einerseits auf die Bildung einer Teamstruktur und die interne Kommunikation. Andererseits sollen die Aufträge gleichmäßig auf die UAVs verteilt und Abhängigkeiten aufgelöst werden. In [Uhrmann, in Vorb.] schließlich werden die UAVs mit weiteren kooperativen Fähigkeiten ausgestattet, so dass sie Aufträge gemeinsam koordiniert durchführen können. Neben der selbständigen Durchführung von Aufträgen wird verstärkt die Führung von UAVs durch einen Operator berücksichtigt. Hier können die UAVs vom Operator eingegebene Teilaufträge, die nicht den Einsatzgrundsätzen entsprechen (z.B. Einflugkorridor wird nicht verwendet), automatisch korrigieren. Diese bisher aktuellste Version teilautonomer UAV-Führung mit COSA wird in der vorliegenden Arbeit als Grundlage für die Entwicklung des UAV-Operator Assistenzsystems verwendet.

In [Groth et al., 2006] wird COSA für ein Pilotenassistenzsystem im Rahmen der Situationserfassung schwerpunktmäßig zur Interpretation eines Auftrags für einen Rettungshubschrauber verwendet. Dabei werden eine Auftragsauffassung (Transit zu x, Aufnehmen Person z, Transit nach y...), eine Aufgabenliste für den Hubschrauber (Starten bei x, Landen bei y, Transitflug von x nach y...) und der Gesamtressourcenbedarf (Missionsdauer, benötigter Treibstoff usw.) für die Mission abgeleitet. Obwohl diese Funktion im Prinzip eine Missionsplanung darstellt, werden die Planelemente als Umweltmodelle im Situationswissen repräsentiert. Dies hängt damit zusammen, dass die Planelemente nicht durch das System selbst durchgeführt werden sollen, sondern für die Unterstützung des Piloten bei der Missionsdurchführung und der Entscheidung über die Auftragsannahme oder -ablehnung verwendet werden sollen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass COSA bzw. kognitive Architekturen bisher noch nicht zur Realisierung eines Kommandanten- bzw. UAV-Operator-Assistenzsystems verwendet wurden. Allerdings wurden am Institut für Flugsysteme bereits im Rahmen des Forschungsprojekts PILAS [Donath & Schulte, 2008] Ansätze zur Realisierung eines Assistenzsystems für den Piloten eines Rettungshubschraubers unter Verwendung von COSA untersucht. Daher soll mit dieser Arbeit der Anwendungsbereich kognitiver Architekturen

auch auf UAV-Operator-Assistenzsysteme bzw. Kommandanten-Assistenzsysteme erweitert und eingehend untersucht werden.

## **2.4 Aufgabenstellung der Arbeit**

Zu Beginn der Arbeit wurde festgestellt, dass beim Kommandant des führenden Helikopters in einer militärischen bemannt-unbemannten Mission durch die zusätzliche Führung mehrerer UAVs ergonomische Probleme zu erwarten sind. Die Literaturrecherche hat ergeben, dass bereits verschiedene Ansätze zur UAV-Führung in bemannt-unbemannten Missionen vorhanden sind. Einerseits wird versucht, durch Reduzierung der Führungsspanne und Einschränkung der Führungsmöglichkeiten die Beanspruchung des Kommandanten zu verringern und so die Führung zu ermöglichen. Diese Lösung erfüllt allerdings nicht mehr die an die Führung gestellten Anforderungen der multi-UAV-Führung und der vollständigen Kontrolle. Einen anderen verfolgten Ansatz stellt Automatisierung einzelner Aufgaben der UAV-Führung zur Reduktion der Beanspruchung des Operators dar. Dieser Ansatz ermöglicht die Führung mehrerer UAVs entsprechend der Anforderungen. Im weiteren Verlauf der Recherche stellte sich heraus, dass diese auf den ersten Blick erfolgversprechende Möglichkeit allerdings weitere ergonomische Probleme verursacht und die Problemstellung somit nicht abschließend gelöst ist. Wie sich herausstellte, gibt es noch den weiteren Ansatz, die ergonomischen Probleme durch den zusätzlichen Einsatz eines Assistenzsystems zu vermindern. Daher wurde der Ansatz eines Assistenzsystems als Gegenstand der Arbeit festgelegt und Anforderungen an die Entwicklung eines solchen Systems untersucht. Im Rahmen der weiteren Recherche stellten sich zwei Aufgabengebiete in der Entwicklung heraus, die noch weiteren Forschungsbedarf benötigen und welche im Folgenden dargestellt werden.

### **2.4.1 Kommandantenassistenzsystem für auftragsbasierte Führung unbemannter Luftfahrzeuge**

Die Recherche zu bisherigen repräsentativen Beispielen von Assistenzsystemen ergab, dass diese vorwiegend in der Domäne der Pilotenassistenzsysteme und der Fahrerassistenzsysteme entwickelt und erforscht wurden. Die Domäne der UAV-Führung stellt hier noch ein relativ junges Forschungsgebiet dar, in dem bisher noch wenige umfassende Ansätze vorhanden sind. Auch im Bereich der bemannt-unbemannten Missionen stellen der MCA bzw. WA die einzigen derartigen Entwicklungen dar. Die Arbeitsplätze unterscheiden sich allerdings von dem in dieser Arbeit betrachteten, da die UAVs nicht auf auftragsbasierter Ebene geführt werden und es sich auch nicht um multi-UAV-Führung handelt. Aufgrund der in geringerem Maße zur Verfügung stehenden Automation muss das eine UAV entweder von mehreren Operateuren (MCA) oder nicht mit dem vollen Führungsumfang / LOI (WA) geführt werden. Ein Assistenzsystem für den in dieser Arbeit betrachteten Arbeitsplatz eines Hubschrauberkommandanten, der gleichzeitig die Mission leitet und mehrere UAVs auftragsbasiert führt, stellt daher eine Neuerung dar und wird als einer von zwei Schwerpunkten untersucht. Die sich daraus ableitende Forschungsfrage lautet:

„Wie kann ein Kommandantenassistenzsystem zur auftragsbasierten multi-UAV Führung in bemannt-unbemannten Flugmissionen realisiert werden?“

Die Beantwortung der Frage soll klären, mit welchen Aufgaben der Kommandant konfrontiert ist, welche Fehler er dabei machen kann und durch welche Assistenzfunktionen diese Fehler vermindert werden können.

### **2.4.2 Kognitives Assistenzsystem**

Der zweite Schwerpunkt der Arbeit ergibt sich aus der Erkenntnis, dass die vorgestellten Assistenzsysteme eine Tendenz zur Nachbildung der menschlichen Informationsverarbeitung

bzw. Kognition haben. Die Recherche zu kognitiven Systemen zeigte, dass die Verwendung einer kognitiven Architektur diese Entwicklung unterstützen kann. Hier stellt die explizite und symbolische Modellierung der Ziele und des weiteren Wissens des Assistenzsystems ebenfalls eine Neuerung dar, weshalb dieses Thema als zweiter Schwerpunkt der Arbeit behandelt wird. Die sich daraus ergebende Forschungsfrage lautet daher:

„Wie kann ein Assistenzsystem unter Verwendung eines kognitiven, wissensbasierten Ansatzes realisiert werden?“

Durch die Beantwortung dieser Frage soll eine kognitive Architektur entstehen, in welcher die wesentlichen Wissens Elemente, die ein Assistenzsystem benötigt, identifiziert sind und welche diese zu einem intelligenten Verhalten verknüpft. Die Assistenzfunktionen für die auftragsbasierte multi-UAV Führung in MUM-T Missionen bieten dabei eine Möglichkeit, die abstrakten Wissens Elemente mit Anwendungswissen zu befüllen. Dies soll jedoch aufgrund des Aufwands nur exemplarisch durchgeführt werden und Anstoß für weitere Forschungsarbeiten in diesem Bereich liefern.

Im Anschluss wird unter Zuhilfenahme der in der Recherche gewonnenen Erkenntnisse das Konzept für das Assistenzsystem abgeleitet. Die wissenschaftlichen Fragestellungen stellen dabei den Schwerpunkt des Konzepts dar und beleuchten verschiedene Sichtweisen auf das System.

### 3 Konzept

Das folgende Kapitel stellt die Schritte der Konzepterstellung für das zu entwickelnde Assistenzsystem mit Schwerpunkt auf den beiden Forschungsfragen dar. Die Vorgehensweise ist dabei in Abbildung 48 dargestellt. Im ersten Teil wird die Forschungsfrage beantwortet, wie das Assistenzsystem den Kommandanten in der Domäne der bemannt-unbemannten Flugmissionen unterstützen kann. Dies beinhaltet die Definition konkreter Assistenzfunktionen und der Interaktionen, die dafür im Arbeitssystem notwendig sind (Kapitel 3.1). Nachdem die Wechselwirkungen des Assistenzsystems mit seiner Umgebung definiert wurden, wird im weiteren Verlauf darauf eingegangen, wie das System Informationen intern als Wissen verarbeiten muss, um die entsprechenden Handlungen generieren zu können. Daraus leitet sich eine kognitive Verarbeitungsarchitektur ab, welche im Rahmen der zweiten Forschungsfrage einen weiteren Schritt bei der Entwicklung kognitiver Ansätze für Assistenzsysteme darstellt (Kapitel 3.2).

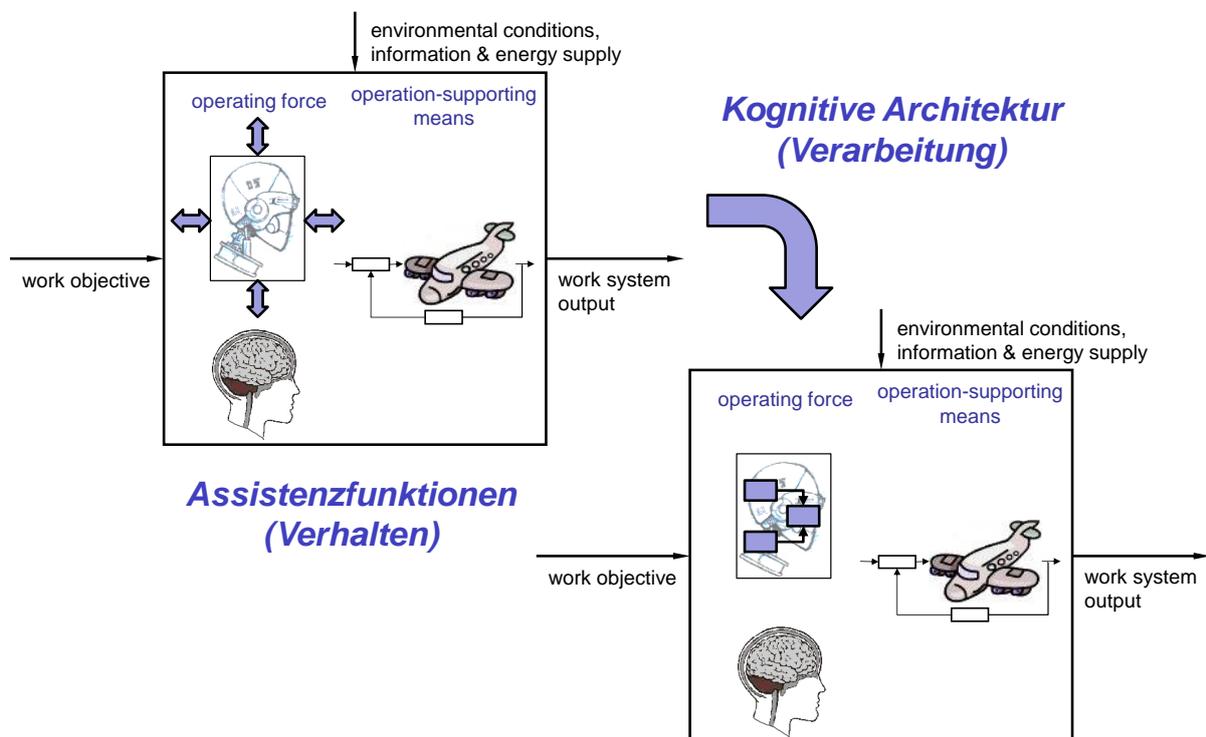


Abbildung 48 Schrittweises Vorgehen zur Konzepterstellung

#### 3.1 Assistenzkonzept für multi-UAV-Führung in bemannt-unbemannten Flugmissionen

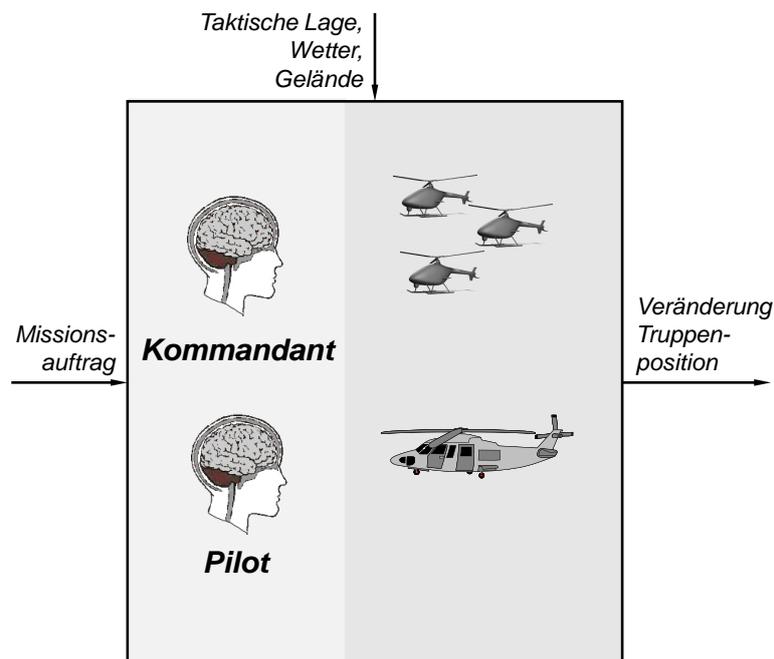
Ziel des folgenden Kapitels ist es, Assistenzfunktionen zu definieren, um den Kommandanten bei seinen Aufgaben zu unterstützen. Daher beginnt die Konzeptionierung mit einer Untersuchung des Kommandantenarbeitsplatzes, um die Aufgaben, bei denen er unterstützt werden kann, identifizieren und analysieren zu können (Kapitel 3.1.1). Außerdem werden basierend auf der in Kapitel 2.2 vorgestellten Assistenzsystemtheorie die prinzipiellen abstrakten Funktionen und Interaktionen des Assistenzsystems definiert (Kapitel 3.1.2). Mithilfe dieser beiden Ergebnisse können abschließend domänenspezifische Funktionen für die verschiedenen Kommandantenaufgaben abgeleitet werden (Kapitel 3.1.3).

##### 3.1.1 Aufgabenanalyse des Kommandantenarbeitsplatzes

Die Aufgabenanalyse des Kommandantenarbeitsplatzes beginnt mit einer Beschreibung des gesamten Arbeitssystems, welches im Folgenden schrittweise in Richtung des konkreten

Kommandantenarbeitsplatzes detailliert wird. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass der Arbeitsplatz in seiner speziellen Ausprägung erst während des Projekts entstanden ist und dass diese natürlich für das Konzept des Assistenzsystems sehr entscheidend ist. Zuerst werden allgemeine Aufgaben im MUM-T Arbeitssystem und deren Aufteilung auf Pilot und Kommandant festgelegt. Die weitere Aufteilung der Kommandantenaufgaben zwischen Mensch und Automation kann anhand einer Darstellung der Interaktionen zwischen Kommandant und Arbeitsmitteln festgestellt werden. Dadurch verändert sich der Aufgabenbereich des Kommandanten noch weiter. Schließlich können die Aufgaben genauer analysiert und notwendige Informationen sowie resultierende Handlungen des Kommandanten identifiziert werden.

Das Arbeitssystem für die bemannt-unbemannte Flugmissionen wurde analog zur Arbeitssystemdefinition aus Kapitel 2.1.3.1 definiert (vgl. Abbildung 49).



**Abbildung 49 Arbeitssystem in bemannt-unbemannten Flugmissionen**

Das zugrundeliegende Arbeitsziel ist die Durchführung einer militärischen Mission, bei der Truppen in ein Einsatzgebiet transportiert werden sollen. Am Ausgang des Systems zeigen sich laut Definition die für das Arbeitsziel relevanten Veränderungen der Umwelt, d.h. die Einwirkung des Arbeitssystems auf die Position der Truppen. Umwelteinflüsse sind das Gelände, in dem sich die Missionsteilnehmer bewegen, das Wetter und die taktische Lage, die z.B. aus den Freund- und Feindkräften oder den Flughäfen bzw. Landezonen besteht. Im Arbeitssystem befinden sich als *operating force* zunächst nur der Kommandant und der Pilot, die den Missionsauftrag in Form eines Briefings erhalten. Zur Erfüllung des Arbeitsziels stehen ihnen als Arbeitsmittel einen Transporthubschrauber und mehrere UAVs (hier: drei) zur Verfügung. Der Transporthubschrauber bewirkt dabei die Veränderung der Truppenposition, während die UAVs innerhalb des Arbeitssystems durch Aufklärung den Transport sichern.

Mithilfe dieser Arbeitssystemdefinition und der in Kapitel 2.1.1 recherchierten Aufgaben bei der UAV-Führung kann im Anschluss eine Hierarchie allgemeiner Aufgaben in bemannt-unbemannten Flugmissionen bestimmt werden (vgl. Abbildung 50). Die Betrachtung erfolgt dabei aus einer abstrakten, konzeptionellen Sicht (*top-down*), welche durch die Darstellung der eingesetzten technischen Hilfsmittel und Automationsfunktionen noch weiter konkretisiert wird.

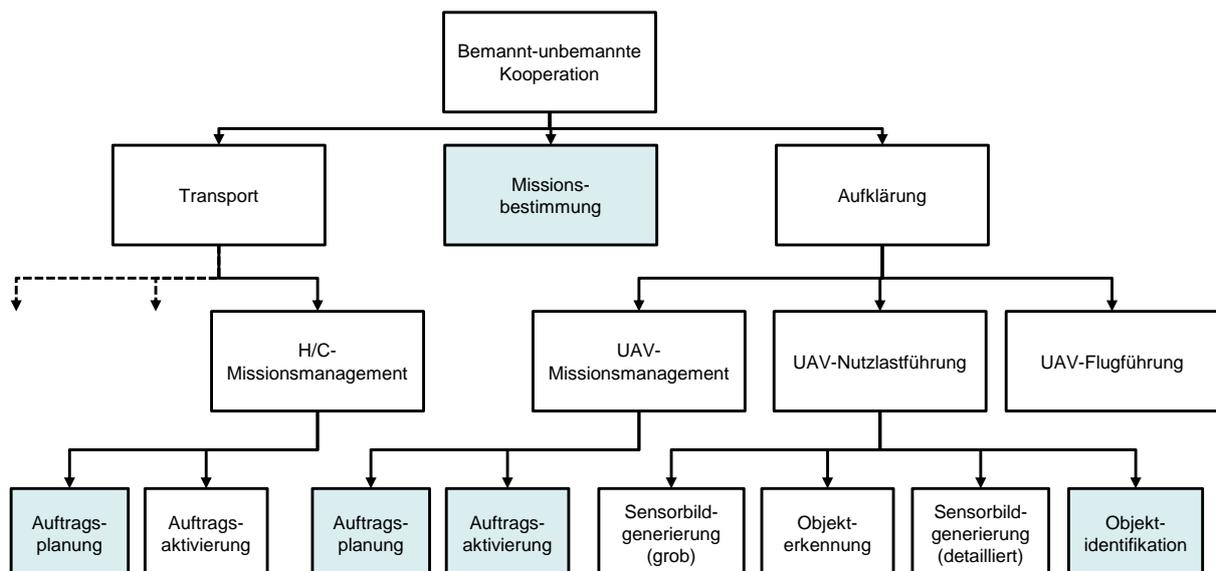




falls diese notwendig sind, aber weggelassen wurden. Dies kann z.B. der Fall sein, wenn in das feindliche Gebiet nicht über einen entsprechenden Korridor eingeflogen wird. Zum Missionsmanagement gehört auch die Feststellung, wann ein Auftrag ausgeführt werden muss. Hierfür kann der Kommandant Aufträge aktivieren und stoppen bzw. Aufträge in der Liste auch überspringen. Allerdings schalten die SCUs automatisch zum nächsten Auftrag, sobald ein Auftrag abgeschlossen wurde. Damit ist der Kommandant im Rahmen des Missionsmanagements der UAVs teilweise für die Auftragsaktivierung der UAVs zuständig.

Die Flugführung der UAVs wird von den SCUs zusammen mit einem Flight Management System übernommen. Auch die Nutzlastführung der UAVs wird weitestgehend von den SCUs automatisiert. Bei den Aufklärungsaufträgen sollen Kräfte, die bisher nicht in der taktischen Lage enthalten sind, in einem mehrstufigen Verfahren zuerst aus den Sensorbildern der Kamera erkannt und danach anhand detaillierterer Sensorbilder identifiziert werden. Daher kann die abstrakte Aufgabe der Nutzlastführung für diese Anwendung noch einmal in weitere Aufgaben unterteilt werden. Die Aufgabe der Generierung grober Sensorbilder für die Erkennung von Kräften wird durch die SCUs übernommen. Für die Objekterkennung an sich wird ein automatisches Zielerkennungssystem (engl.: *automated target recognition* – ATR) verwendet, welches die Ergebnisse direkt in die taktische Lage einfügt, so dass diese Teilaufgabe der Nutzlastführung ebenfalls automatisiert ist. Die SCUs lenken die Kamera im Anschluss außerdem auf das Objekt, um vergrößerte perspektivische Sensorbilder für eine Identifikation zu erhalten. Die Generierung der Sensorbilder für die Identifikation ist demnach ebenfalls automatisiert. Letztlich übernimmt der Kommandant im Rahmen der Nutzlastführung nur noch die Aufgabe der Objektidentifikation, wobei er anhand der detaillierten Sensorbilder das Objekt in der taktischen Lage hinsichtlich Typ und Feindseligkeit klassifiziert.

Zusammengefasst konnten somit anhand der soeben dargestellten Aufgabenteilung zwischen Kommandant und Automationsfunktionen die Aufgaben noch einmal weiter spezifiziert und folgende Aufgaben für den Kommandanten identifiziert werden: Missionsbestimmung, H/C-Auftragsplanung, UAV-Auftragsplanung, UAV-Auftragsaktivierung und Objektidentifikation (vgl. Abbildung 52).



**Abbildung 52 Aufgabenspektrum des Kommandanten**

Bei der Bearbeitung der Aufgaben nimmt der Kommandant über die Benutzerschnittstelle wie in Abbildung 51 dargestellt relevante Informationen auf und wandelt diese in beobachtbare Handlungen um. Diese Interaktionen wurden für die soeben bestimmten Kommandantenaufgaben noch einmal detailliert dargestellt. Die folgenden Bilder sind im

Vergleich zu Abbildung 51 um 90° gedreht, so dass sich der Kommandant oberhalb des HMI und die Arbeitsmittel darunter befinden.

Für die Missionsbestimmung muss der Kommandant zuerst auf der *Control and Display Unit* (CDU) in das Untermenü INDEX und das darunter liegende Menü MISSION wechseln (vgl. Abbildung 53). Nachdem er überprüft hat, dass noch keine Missionsziele eingegeben sind, lädt er diese über den Upload Button von einem externen Speichermedium in das Missionssystem. Diese Missionsziele sind über den gesamten Missionsverlauf gültig, außer es tritt eine Situation ein, in der die Mission abgebrochen werden muss. Dann kann der Kommandant per Knopfdruck die Missionsziele dahingehend ändern, dass alle Kräfte wieder zur Basis zurückkehren sollen.

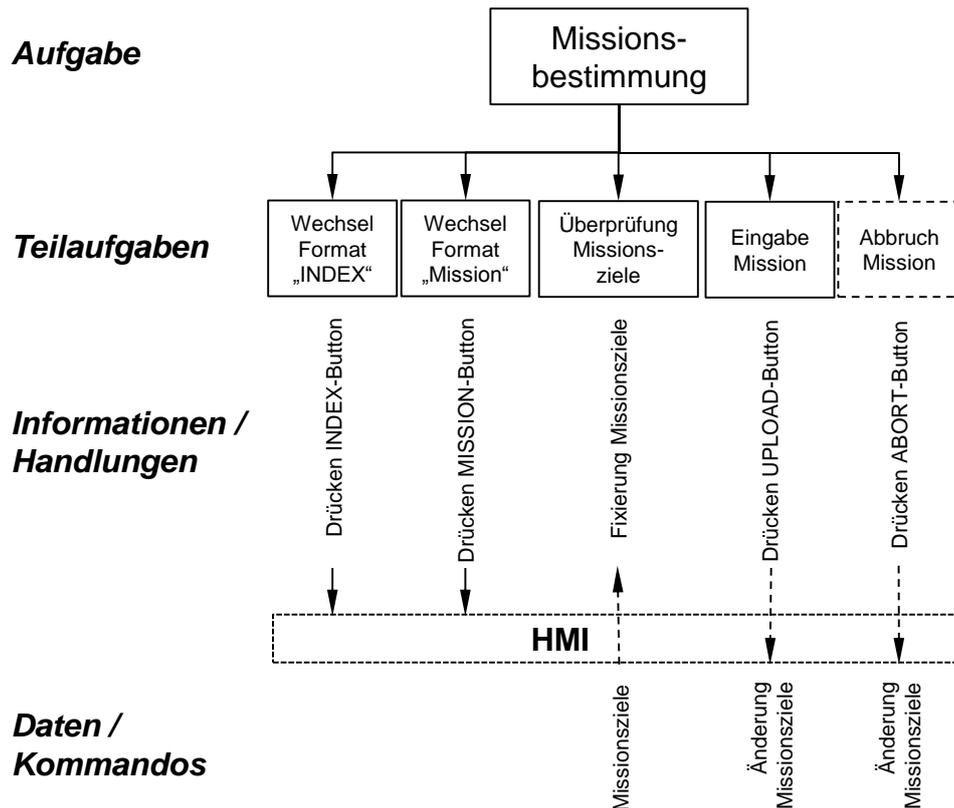
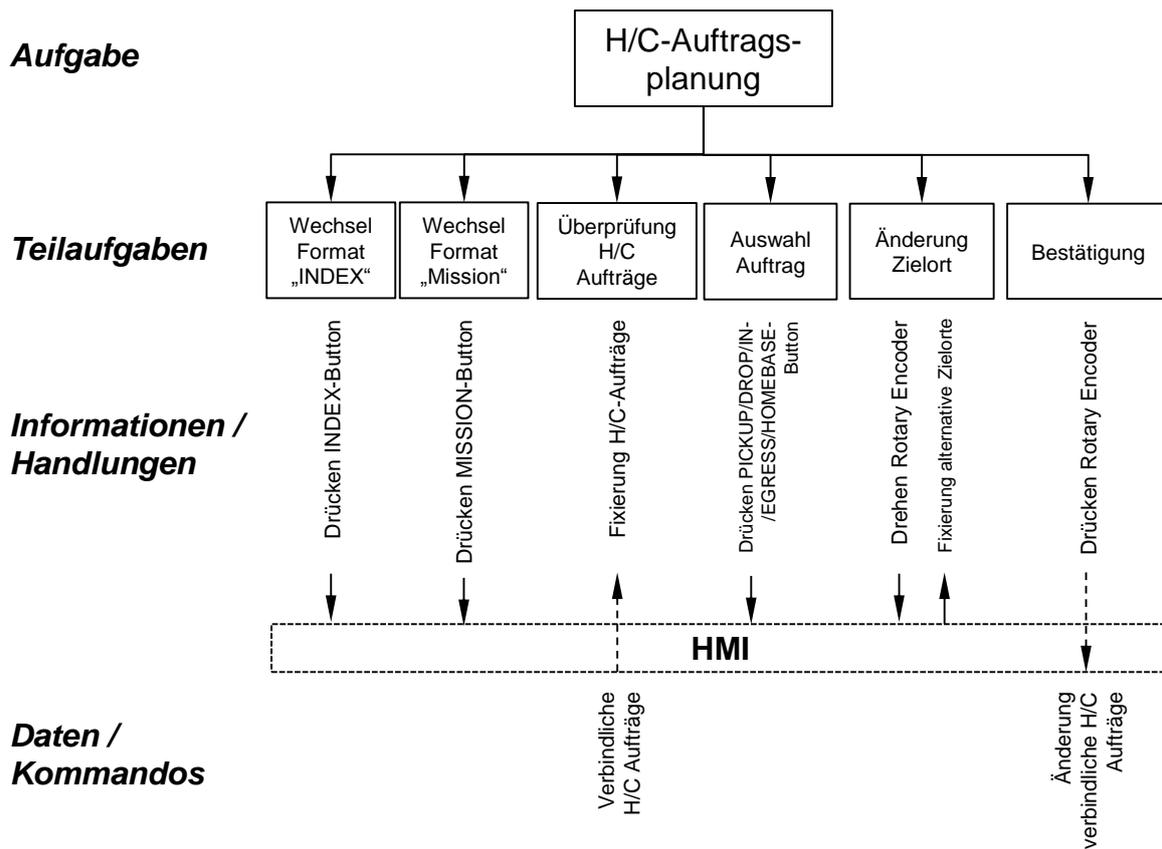


Abbildung 53 Teilaufgaben bei der Aufgabe „Missionsbestimmung“ und ideale Interaktionen des Kommandanten

Die Planung der H/C-Aufträge geschieht über dasselbe Menü der CDU wie die Missionsbestimmung und schließt sich an diese an. Zusammen mit den Missionszielen werden die bereits aus dem Briefing bekannten und für den Missionsplaner bindenden H/C-Aufträge in das Missionssystem geladen. Im weiteren Verlauf der Mission überprüft der Kommandant, ob die H/C-Aufträge die Mission noch bestmöglich erfüllen (vgl. Abbildung 54). Dies kann entweder über die Darstellung der verbindlichen Aufträge in der CDU, die Darstellung der kompletten Auftragsliste im Flight Log oder die Darstellung der Route in der Kartenansicht geschehen. Falls dies nicht der Fall ist, wählt er in der CDU den entsprechenden Auftrag (z.B. PICKUP/DROP) aus, ändert diesen auf ein anderes Ziel (z.B. LANDING SITE 2) und bestätigt diese Änderung. Dadurch wird der Missionsplaner automatisch angestoßen und es wird eine neue H/C Auftragsliste generiert.



**Abbildung 54** Teilaufgaben bei der Aufgabe „H/C-Auftragsplanung“ und ideale Interaktionen des Kommandanten

Die Auftragsplanung für die UAVs erfolgt hingegen nicht über die CDU, sondern über eines der beiden MHDDs (Multifunctional Head-Down Displays). Hier gibt es mehrere Möglichkeiten, eine Auftragsliste für ein UAV zu erstellen, die vom Einfügen eines einzelnen Auftrags über das automatische Einfügen fehlender Aufträge durch die SCUs und dem Bearbeiten einzelner Aufträge bis zum Ersetzen der gesamten Auftragsliste durch einen einzelnen Auftrag reichen. Im Folgenden soll nur der Fall des Einfügens eines einzelnen Auftrags dargestellt werden. Der Kommandant wählt hierfür zuerst das entsprechende UAV aus und überprüft dessen Auftragsliste in einer Kartenansicht (vgl. Abbildung 55). Falls er Aufträge hinzufügen möchte, muss er in das Format „TASK MGT“ und das Untermenü „INS TASK“ wechseln. Hier kann er auswählen, welchen Auftragsstyp er einfügen möchte (z.B. Departure, Recce Area, Surveillance). Optional kann der Kommandant bestimmen, nach welchem der bereits vorhandenen UAV-Aufträge der neue Auftrag eingefügt werden soll. Geschieht dies nicht, wird der Auftrag ans Ende der Auftragsliste eingefügt. Abschließend muss der Kommandant noch einen missionsrelevanten Punkt anwählen, an dem der Auftrag ausgeführt werden soll. Hierdurch wird ein Kommando an das UAV abgesendet, den Auftrag an der entsprechenden Stelle in der Liste einzufügen.

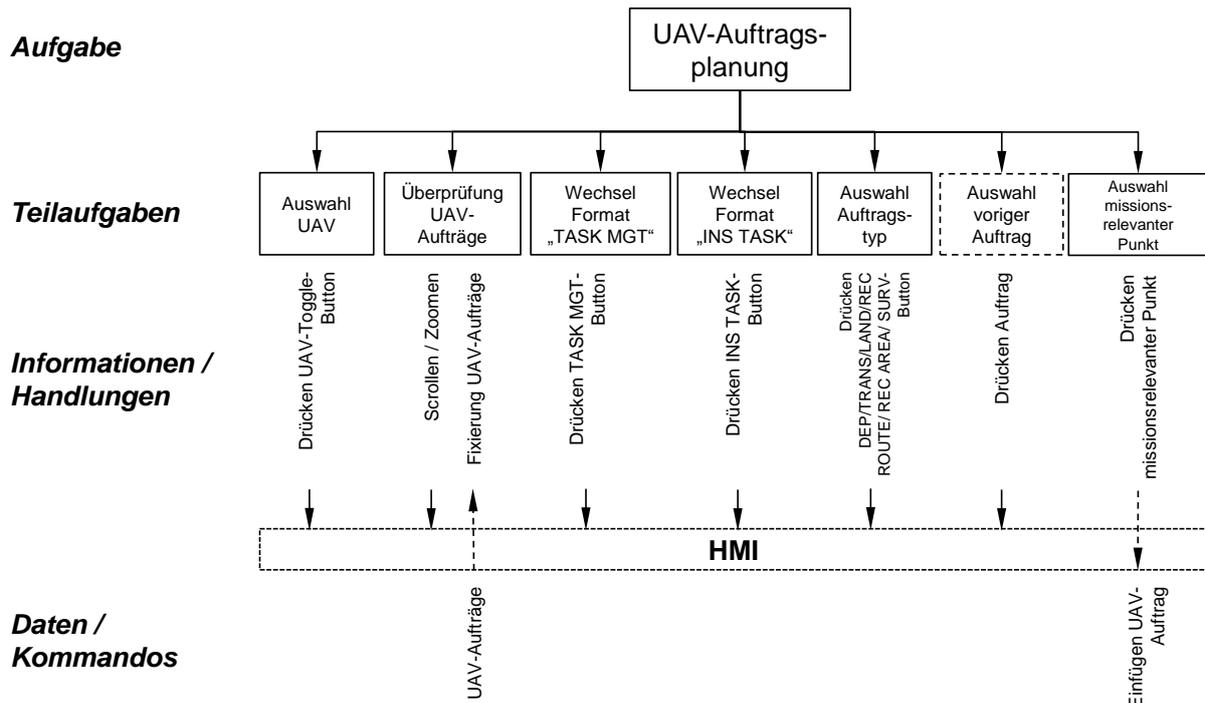


Abbildung 55 Teilaufgaben bei der Aufgabe „UAV-Auftragsplanung“ und ideale Interaktionen des Kommandanten

Die Aktivierung von UAV-Aufträgen beginnt ähnlich der Definition von Aufträgen mit der Auswahl des entsprechenden UAVs (vgl. Abbildung 56). Der Kommandant überprüft anschließend in einer Kartenansicht, ob momentan der richtige Auftrag ausgeführt wird. Wenn er einen anderen Auftrag ausführen lassen will, muss er in das Format „TASK MGT“ wechseln und dort den Modus „EXEC TASK“ aktivieren. Jetzt kann er über Anklicken in der Kartenansicht ein Kommando an die entsprechende SCU schicken, den Auftrag durchzuführen. Eine weitere Möglichkeit im Rahmen der Auftragsaktivierung ist das Stoppen der Auftragsbearbeitung. Hierfür wird bis zum Wechsel in das Format „TASK MGT“ gleich verfahren. Ab hier muss als weiterer Schritt nur der Button „STOP“ gedrückt werden, um dem UAV ein Kommando zu schicken, die Bearbeitung des aktuellen Auftrags abubrechen.

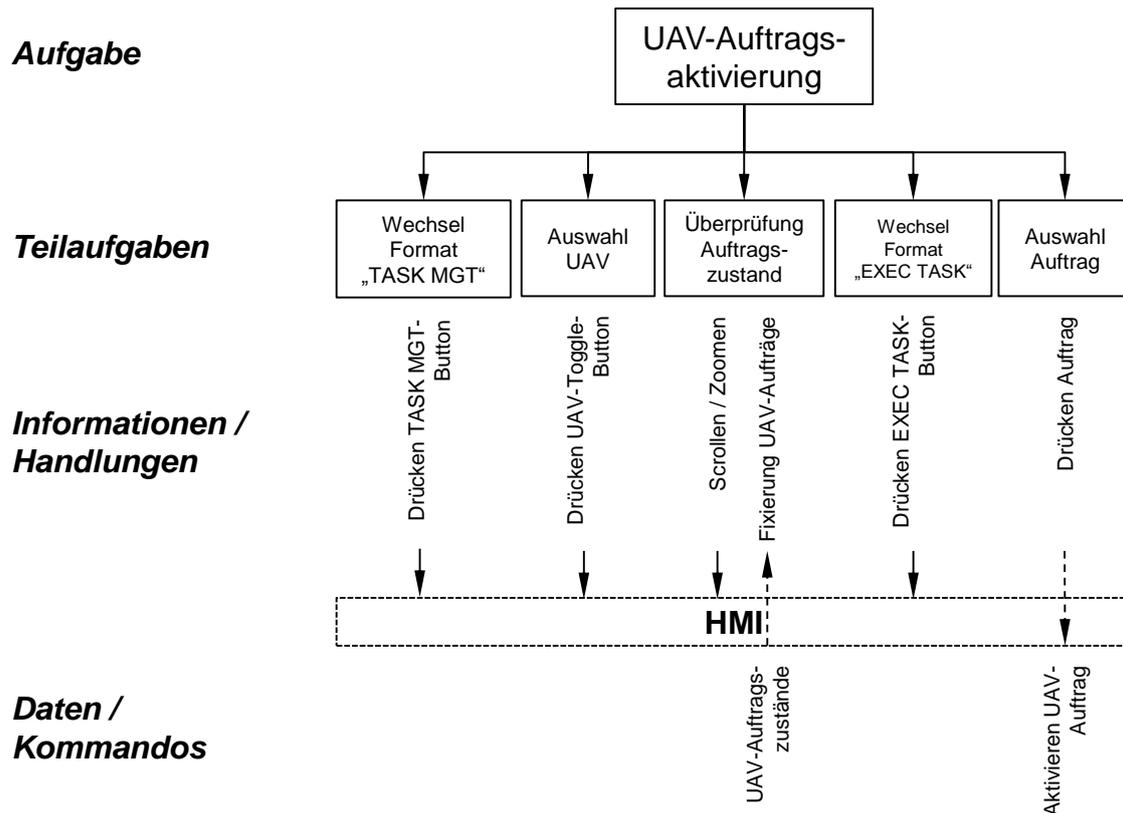


Abbildung 56 Teilaufgaben bei der Aufgabe „UAV-Auftragsaktivierung“ und ideale Interaktionen des Kommandanten

Bei der Objektidentifikation beginnt der Kommandant mit der Suche der von der ATR-Funktion in der taktischen Lage markierten Objekte (vgl. Abbildung 57). Hierfür muss sich die Anzeige in einem der verschiedenen Kartenformate befinden, auf der der Kommandant dann mit scrollen und zoomen den Kartenausschnitt verändern kann. Hat er ein markiertes Objekt gefunden, so muss er das HMI in das Format „ID“ ändern, um die Identifikation vornehmen zu können. Das Objekt, das in dem Format betrachtet und bearbeitet werden soll, kann entweder über Anklicken der Markierung in der Kartenansicht oder im Format „ID“ mit den Buttons NEXT / PREV TGT ausgewählt werden. Falls das erste perspektivische Sensorbild, welches von den UAVs gemacht wurde, nicht aussagekräftig genug ist, kann der Kommandant außerdem weitere Sensorbilder des Objekts aus anderen Blickwinkeln auswählen. Ist der Kommandant zu einer Entscheidung gelangt, so wählt er den Typ (Person, ziviles Fahrzeug, militärisches Fahrzeug, Panzer) und die Feindseligkeit (freundlich, zivil, feindlich) aus und speichert diese Auswahl für das Objekt. Hiermit wird ein Kommando an die taktische Lageverwaltung gesendet. Das identifizierte Objekt wird nun in der Kartenansicht, welche auch die taktische Lage beinhaltet, entsprechend dargestellt. Der Kommandant kann abschließend seine Auswahl durch Wechsel in ein Kartenformat noch einmal überprüfen.

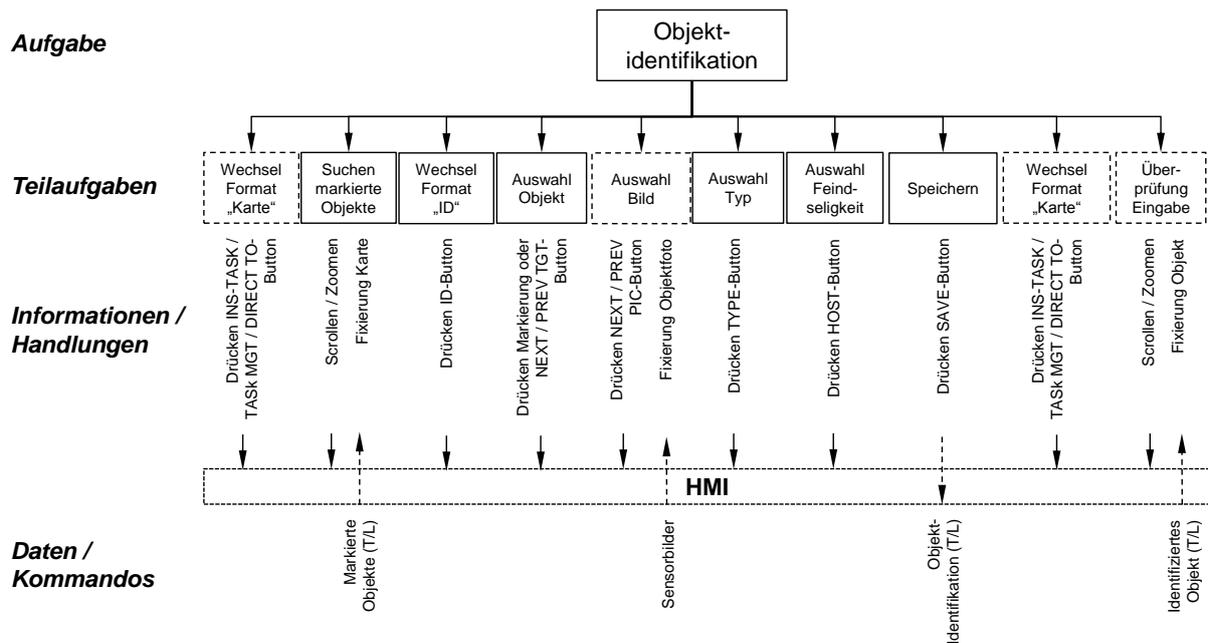


Abbildung 57 Teilaufgaben bei der Aufgabe „Objektidentifikation“ und ideale Interaktionen des Kommandanten

In diesem Kapitel wurden die Aufgaben des Kommandanten identifiziert und analysiert. Den Aufgaben ist gemein, dass der Kommandant über ein HMI aufgabenspezifische Informationen über den Zustand technischer Systeme und über die Konfiguration des HMI selbst wahrnimmt. Diese Informationen verwendet er in seinem internen Informationsverarbeitungsprozess, um daraus Handlungen zu generieren, die die entsprechende Aufgabe erfüllen. Die Handlungen können sich dabei wieder auf die verwendeten technischen Systeme auswirken oder nur der Konfiguration des HMI dienen.

### 3.1.2 Allgemeine Funktionsweise des Assistenzsystems

Ziel dieses Kapitels ist es, das prinzipielle Verhalten des Assistenzsystems zu definieren, damit dieses im Anschluss auf die einzelnen Kommandantenaufgaben übertragen werden kann. Hierfür wird zuerst festgelegt, unter welchen Umständen Eingriffe des Assistenzsystems in die Aufgabenbearbeitung ausgelöst werden (Kapitel 3.1.2.1). Im Anschluss wird definiert, mit welchen Mitteln bzw. Automationsgrad das Assistenzsystem eingreifen muss, um den entsprechenden Umständen bestmöglich entgegenwirken zu können (Kapitel 3.1.2.2). Daraufhin wird die Frage geklärt, ob die Eingriffe parallel durchgeführt werden können oder wie diese ggf. priorisiert werden müssen (Kapitel 3.1.2.3). Zuletzt wird darauf eingegangen, wie der Kommandant auf die Assistenzsystemeingriffe reagieren kann und wie sich die Interaktion des Kommandanten mit dem Assistenzsystem gestaltet (Kapitel 3.1.2.4).

#### 3.1.2.1 Eingriffsauslöser

Die Grundforderungen von [Onken & Schulte, 2010], welche in Kapitel 2.2.1 vorgestellt wurden, geben eine relativ systemnahe Beschreibung des gewünschten Verhaltens eines Assistenzsystems. In jeder der drei Forderungen ist auch ein Hinweis enthalten, unter welchen Umständen ein Assistenzsystem einzugreifen hat. Daher wurden die Anforderungen verwendet, um die folgenden drei Eingriffsauslöser eines Assistenzsystems festzulegen:

### 1. Ungünstige Aufmerksamkeitsverteilung

Die erste Grundforderung besagt, dass das Assistenzsystem sicherstellen soll, dass die Aufmerksamkeit des Operateurs auf der momentan dringlichsten Aufgabe liegt. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass es eingreifen muss, wenn der Operateur seine Aufmerksamkeit ungünstig verteilt und diese nicht auf der momentan dringlichsten Aufgabe ist. Hierdurch wird dem menschlichen Problem des unzureichenden Situationsbewusstseins entgegengewirkt. Das Assistenzsystem muss dafür einerseits die momentane **Aufmerksamkeit des Operateurs** und andererseits die momentan **dringlichste Aufgabe** feststellen. Dies beinhaltet einerseits die Feststellung, dass es in einer Aufgabe einen **Handlungsbedarf** für den Operateur gibt. Ein Handlungsbedarf kann anders ausgedrückt eine Abweichung zwischen dem Referenzzustand und dem Ist-Zustand der Arbeitsumgebung sein. Andererseits muss das Assistenzsystem auch feststellen können, dass diese Handlung eine gewisse **Dringlichkeit** hat und bei mehreren dringenden Handlungsbedarfen **priorisieren** können, welcher am dringendsten ist.

### 2. Überforderung

Gemäß der zweiten Grundforderung sollte ein Assistenzsystem eingreifen, wenn der Operateur dabei überfordert ist, die momentan dringlichste Aufgabe durchzuführen, um die Beanspruchung wieder auf ein akzeptables Niveau zu senken. Die Überforderung bei der Aufgabenbearbeitung kann dabei in jedem Schritt der menschlichen Informationsverarbeitung auftreten, welche laut Kapitel 2.2.2 grob in Situationswahrnehmung, Planung und Kontrolle unterschieden werden kann. Da Überforderung bei der Situationswahrnehmung, was zu einem falschen Situationsbewusstsein führt, bereits über den ersten Eingriffsauslöser behandelt wird, soll in diesem Fall nur ein Eingriff durch **Überforderung bei der Planung oder Kontrolle** ausgelöst werden.

### 3. Missionsrisiko

Die dritte Grundforderung besagt schließlich, dass ein Eingriff erfolgen soll, wenn die Durchführung einer Aufgabe durch den Operateur zu hohe Risiken birgt oder er nicht in der Lage ist, diese durchzuführen. Beide Situationen führen dazu, dass die Aufgabe nicht nur suboptimal bzw. gar nicht erfüllt wird, sondern dass die Leistung unter eine akzeptable Schwelle sinkt und dies auch ein Scheitern der gesamten Mission bewirken kann. Beispiele für inakzeptable Missionskosten sind bei MUM-T Missionen der Verlust des bemannten H/C oder von UAVs. Daher sollte ein Eingriff des Assistenzsystems erfolgen, wenn allgemein gesprochen ein **Missionsrisiko** besteht. Dieser Eingriffsauslöser ist schwer zu detektieren, da das System auf der einen Seite über die Fähigkeiten des Operateurs entscheiden und andererseits eine Prädiktion über die zukünftige Situationsentwicklung treffen muss.

Die verschiedenen Auslöser kann man folgendermaßen grob zusammenfassen: Das Assistenzsystem soll eingreifen, wenn der Operateur entweder eine dringend notwendige Aufgabe nicht bearbeitet, eine Aufgabe nicht alleine erledigen kann oder die Bearbeitung durch den Operateur ein zu hohes Risiko darstellen würde.

#### **3.1.2.2 Eingriffsarten**

Nachdem festgelegt wurde, in welchen Situationen das Assistenzsystem eingreifen soll, muss definiert werden, wie diese Eingriffe durchgeführt werden sollen. Die Rollen von Assistenzsystemen von [Onken & Schulte, 2010] aus Kapitel 2.2.2 legen dabei drei verschiedene Eingriffsarten fest und können direkt den Auslösern zugeordnet werden:

##### 1. Aufmerksamkeitslenkung

Falls das Assistenzsystem aufgrund ungünstig verteilter Aufmerksamkeit eingreifen soll, benötigt der Operateur Hilfe im Rahmen der Situationswahrnehmung. Hierfür wurde die

*alerting assistance* als passendste Eingriffsart für die Interaktion mit dem Operateur gewählt. Durch die Lenkung der Aufmerksamkeit wird Situationsbewusstsein über die momentan dringlichste Aufgabe an den Operateur übermittelt. Zusätzlich zu dem **Hinweis auf** einen Handlungsbedarf in einer **Aufgabe**, sollte das Assistenzsystem dem Operateur auch mitteilen, aufgrund welchen Ereignisses in dieser Aufgabe eine Handlung notwendig ist. Ansonsten könnte der Operateur durch die Warnung verwirrt werden und den Handlungsbedarf nicht verstehen. Durch diese **Situationspräsentation** wird das Situationsbewusstsein des Operateurs ergänzt. Außerdem sollten Entscheidungshilfen nicht sofort, sondern erst auf Anfrage gegeben werden, da zuerst davon auszugehen ist, dass der Operateur die Aufgabe ohne weitere Hilfe bewältigen kann. Diese Art der Assistenz stellt bezüglich der menschlichen Informationsverarbeitung eine Unterstützung bei der Situationswahrnehmung dar.

Das Assistenzsystem interagiert bei dieser Eingriffsart mit dem Operateur über geeignete Benutzerschnittstellen, wobei das HMI auch für die Verdeutlichung der Situation verwendet werden kann.

## 2. Aufgabenvereinfachung

Wenn Überforderung der Auslöser für einen Eingriff ist, muss die Beanspruchung des Operateurs durch Vereinfachung der Aufgabe gesenkt werden. Eine reine Hilfe bei der Situationswahrnehmung wie bei einer *alerting assistance* reicht in diesem Fall nicht mehr aus, da der Operateur bei der Planung und/oder der Kontrolle überfordert ist. Eine komplette Übernahme der Aufgabe wie bei der *substituting assistance* ist allerdings noch nicht notwendig, da der Operateur noch in der Lage ist, die Aufgabe mit akzeptablen Missionskosten zu bearbeiten. Daher wurde eine Eingriffsart gewählt, die in den Grundzügen der *associative assistance* entspricht. Die Präsentation von Lösungen kann hierbei die Überforderung bei der Planung reduzieren. Laut der LOA aus Kapitel 2.2.2 besteht in der Realisierung dieser Eingriffsart die Möglichkeit, mehrere Lösungen, nur ausgewählte oder nur eine Lösung zu präsentieren. Da diese Art der Assistenz in Fällen angewendet wird, in denen der Operateur bereits überfordert ist, sollte keine weitere Beanspruchung durch die Präsentation mehrerer Lösungen generiert werden, die der Operateur erst evaluieren muss. Daher soll gemäß LOA 4 nur eine Lösung angeboten werden. Der Eingriff und die damit verbundene **Präsentation der Lösung** ist im Gegensatz zum Grundgedanken der *associative assistance* allerdings an das Vorliegen der Überforderung gebunden und soll nicht als permanent gegeben realisiert werden. Zusätzlich zu den Aktionen bei der *associative assistance* kann die Überforderung bei der Kontrolle, speziell Probleme bei der Bedienung der Benutzerschnittstelle, durch automatische Handlungen zur **Konfiguration des HMI** reduziert werden. **Bedienhilfen**, wie die gewünschten Systemkommandos durch weitere Handlungen ausgelöst werden können, reduzieren zudem Bedienprobleme. Ein anderer Weg, Überforderung des Operateurs bei der Bedienung entgegenzuwirken, wird bei der *associative assistance* durch automatische Aufgabendurchführung auf Anfrage vorgeschlagen und soll ebenfalls für den Eingriff verwendet werden.

Das Assistenzsystem interagiert bei dieser Eingriffsart ebenfalls mit dem Operateur über ein eigenes HMI, um ihm den Lösungsvorschlag zu unterbreiten, Bedienhinweise zu geben und eine automatische Durchführung anzubieten. Außerdem sendet es Kommandos an das HMI des Operateurs, um dieses zu konfigurieren. Soll eine Aufgabe auf Anfrage automatisiert werden, so sendet das Assistenzsystem auch Kommandos an die hinter dem HMI liegenden Arbeitsmittel.

## 3. Aufgabenübernahme

Wenn der Operateur selbst nicht fähig ist, drohende inakzeptable Missionskosten zu vermeiden, soll die Durchführung der entsprechenden Aufgabe komplett automatisiert

werden. Dies entspricht einer temporären *substituting assistance*. Unterstützungen bzw. Automatisierung nur im Bereich der Situationsinterpretation oder der Planung durch *alerting* oder *associative assistance* würden in diesem Fall zu kurz greifen.

Prinzipiell gibt es laut den LOA von Sheridan mehrere Abstufungen, die Ausführung einer Aufgabe zu übernehmen. Zur Vereinfachung sind die Möglichkeiten in der folgenden Tabelle dargestellt und bewertet.

**Tabelle 4 Bewertung der möglichen Automationsgrade für die Aufgabenübernahme**

Automationsgrad nach Sheridan	Beschreibung	Operateur wird informiert	Operateur hat Autorität	Assistenzsystem hat Autorität
5	Ausführung einer Lösungsalternative, wenn der Operateur bestätigt	X	X	
6	Automatische Ausführung nach Ablauf einer Veto-Zeit	X	X	
7	Automatische Ausführung und Information des Operateurs	X		X
8	Information nur, wenn gefragt	(X)		X
9	Information nur, wenn Computer dies entscheidet	(X)		X
10	Computer entscheidet und führt autonom aus; ignoriert den Operateur			X

Bei der am wenigsten automatisierten Stufe (LOA 5) würde eine Lösung durch das Assistenzsystem vorgeschlagen und diese nur nach Bestätigung durch den Operateur durchgeführt, wie es bei der Aufgabenvereinfachung gemacht wird. Ein Vorteil dieser Lösung ist, dass der Operateur die Autorität selbst behält. Allerdings wird eine Aufgabenübernahme meist in zeitkritischen Situationen angewandt, in denen es dem Menschen nicht mehr möglich wäre, adäquat zu reagieren. Daher ist ein Warten auf eine Bestätigung durch den Operateur in diesen Fällen nicht angebracht und ein Ausschlusskriterium für diese Stufe.

Beim nächst höheren Automationsgrad (LOA 6) würde die vorgeschlagene Lösung nach Ablauf einer Veto-Zeit durchgeführt werden. Hier behält der Mensch teilweise die Autorität und das Zeitproblem könnte durch variable Veto-Zeiten verringert werden. Allerdings ist auch hier in zeitkritischen Situationen irgendwann die Veto-Zeit kürzer als die Zeit, die der Operateur benötigt, um die vorgeschlagene Lösung zu erfassen, zu bewerten und gegebenenfalls die Ausführung über Interaktion mit einer Benutzerschnittstelle abubrechen. Daher könnte dieser Automationsgrad nicht in zeitkritischen Situationen verwendet werden, weshalb er ebenfalls nicht favorisiert wird.

Beim nächst höheren Automationsgrad (LOA 7) würde die vorgeschlagene Lösung selbständig durchgeführt und der Operateur darüber informiert. Hier könnte das Assistenzsystem selbst in zeitkritischen Situationen ohne Verzögerung reagieren. Der Operateur wird weiterhin über die Aktionen des Assistenzsystems informiert. Daher wird dieser Automationsgrad favorisiert. Allerdings hat der Operateur nun nicht mehr die Autorität, welche Kommandos an die technischen Systeme geschickt werden. Als Lösung dieses

Problems wird dem Operateur daher die Möglichkeit gegeben, im Vorhinein (z.B. bei Missionsstart) festzulegen, ob das Assistenzsystem diese Aufgabe überhaupt übernehmen darf.

Die weiteren Automationsgrade wurden nicht in die nähere Auswahl für eine Implementierung genommen, da erwartet wird, dass durch die sporadische bzw. fehlende Information des Operateurs über Aufgabenübernahmen dessen Situationsbewusstsein negativ beeinflusst wird.

Bei der Aufgabenübernahme schickt das Assistenzsystem direkt **Kommandos** an technische Systeme. Außerdem benutzt es das eigene HMI, um **Informationen an den Operateur** über die durchgeführten Kommandos zu senden.

### 3.1.2.3 Priorisierung der Eingriffe

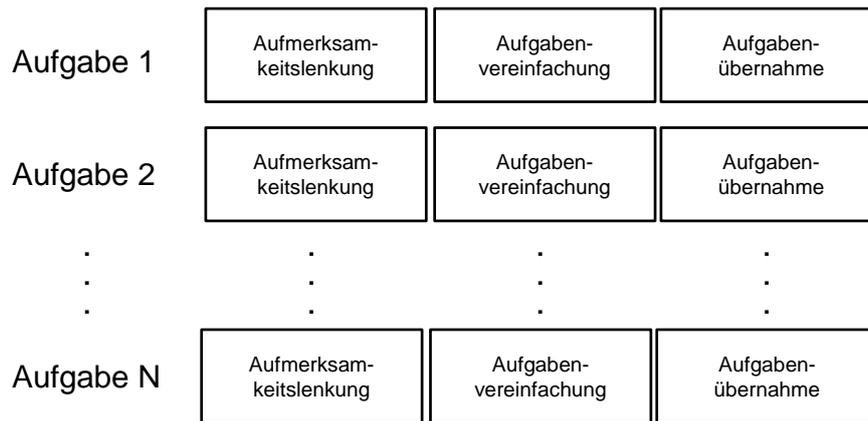
Betrachtet man nur eine einzelne Kommandantenaufgabe, so kann es vorkommen, dass mehrere verschiedene Eingriffsauslöser gleichzeitig zutreffen, d.h. dass der Operateur dieser Aufgabe keine Aufmerksamkeit schenkt, obwohl sie dringend zu erledigen ist, bei der Bearbeitung dieser Aufgabe aber überfordert wäre und dies gegebenenfalls zusätzlich noch inakzeptable Kosten verursachen würde. Eine gleichzeitige Durchführung zweier oder gar aller drei Eingriffe würde allerdings keinen Sinn machen. Beispielsweise muss der Operateur nicht darauf hingewiesen werden, dass er in einer Aufgabe etwas zu tun hat, wenn sie bereits vom Assistenzsystem übernommen wird. Daher wurden die Eingriffsarten bei gleichzeitigem Zutreffen mehrerer Auslöser in derselben Aufgabe folgendermaßen priorisiert:

1. Aufgabenübernahme
2. Aufmerksamkeitslenkung
3. Aufgabenvereinfachung

Falls der Operateur überfordert ist, die Aufgabe selbst mit akzeptablen Kosten zu bearbeiten, ist es nicht sinnvoll, die Aufmerksamkeit darauf zu lenken, damit er diese selbst bearbeitet. Die Überforderung könnte zwar durch eine Aufgabenvereinfachung reduziert werden, allerdings ist es nicht sicher, ob der Operateur die angebotene Hilfe für die Kontrolle in zeitkritischen Situationen rechtzeitig aktiviert und die inakzeptablen Kosten mit dieser Funktion vermieden würden. Daher ist die Aufgabenübernahme am höchsten priorisiert. Nach Durchführung der Aufgabenübernahme entfällt auch die Grundlage für die beiden anderen Funktionen, da kein Handlungsbedarf mehr in der Aufgabe besteht.

Eine Aufgabenvereinfachung kann nur angeboten werden, wenn der Operateur die Aufgabe auch bearbeitet, bzw. die Aufmerksamkeit auf dieser hat. Daher ist die Aufmerksamkeitslenkung höher priorisiert und die Aufgabenvereinfachung wird im Anschluss durchgeführt.

Da der Kommandant mehr als eine Aufgabe hat, kann es vorkommen, dass die verschiedenen Assistenzeingriffe in jeder Kommandantenaufgabe ausgelöst werden können (vgl. Abbildung 58).



**Abbildung 58 Zuordnung von Assistenzeingriffen zu Aufgaben**

Zuerst wird der Fall betrachtet, dass dieselbe Funktion (z.B. Aufgabenübernahme) mehrfach ausgelöst wird. Bei der Aufmerksamkeitslenkung soll laut Grundforderung nur die momentan dringendste Aufgabe berücksichtigt werden. Da es nur eine dringendste Aufgabe geben kann, kann die Assistenzfunktion Aufmerksamkeitslenkung zu jeder Zeit nur einmal ausgelöst werden. Bei der Aufgabenvereinfachung kann es vorkommen, dass der Operateur gleichzeitig bei mehreren Aufgaben überfordert ist. Hier wird die Aufgabenvereinfachung nur in derjenigen Aufgabe durchgeführt, auf der der Operateur momentan seine Aufmerksamkeit hat. Bei der Aufgabenübernahme ist es wichtig, dass die Kommandos an die technischen Systeme sofort gesendet werden können. Eine parallele Funktionsdurchführung ist hier erlaubt und gewünscht. Lediglich die Informationen über die durchgeführten Aufgaben dürfen nicht gleichzeitig an den Operateur geschickt werden, da dieser die Nachrichten nicht gleichzeitig verarbeiten kann. Daher werden sie nacheinander versendet.

Zuletzt ist noch wichtig, wie verfahren wird, wenn z.B. eine Aufmerksamkeitslenkung in Aufgabe 1 und eine Aufgabenübernahme in Aufgabe 2 ausgelöst wird.

Prinzipiell werden Aufgabenübernahmen immer sofort durchgeführt und die Informationsdialoge ggf. im Anschluss an andere Dialoge gesendet. Einzelne Aufmerksamkeitslenkungen oder Aufgabenvereinfachungen können daher parallel mit Aufgabenübernahmen durchgeführt werden.

Wird eine Aufmerksamkeitslenkung in Aufgabe 1 und eine Aufgabenvereinfachung in einer Aufgabe 2 ausgelöst, so hat die Aufmerksamkeitslenkung eine höhere Priorität, da hier Handlungen dringend erfolgen müssen und ansonsten Kosten entstehen können.

Damit sind die Prioritäten für die denkbaren Konstellationen von ausgelösten Funktionen definiert und dem Assistenzsystem ist somit eine Entscheidungsgrundlage gegeben, mit der es sein Vorgehen planen kann.

### 3.1.2.4 Mögliche Reaktionen des Operateurs

Im Hinblick auf die Wechselwirkung von Operateur und Assistenzsystem ist es nur das Assistenzsystem, welches die Initiative für einen Eingriff ergreift und Dialoge mit dem Operateur startet. Allerdings hat der Operateur verschiedene Möglichkeiten, auf die Eingriffe zu reagieren, indem er über die Benutzerschnittstellen entweder mit dem Assistenzsystem oder den weiteren technischen Systemen interagiert. Bei der Aufmerksamkeitslenkung stehen dem Operateur die folgenden drei Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Er akzeptiert den Hinweis des Assistenzsystems und richtet seine Aufmerksamkeit auf die entsprechende Aufgabe. Das Assistenzsystem erkennt dies und der zugehörige Dialog verschwindet. Nach Bearbeitung der Aufgabe durch den Operateur sollte sie erledigt sein.

Ist dies nicht der Fall, warnt das Assistenzsystem erneut, sobald sich der Operateur einer anderen Aufgabe zuwendet.

2. Er teilt dem Assistenzsystem mit, dass er mit der Bearbeitung überfordert ist und fordert vom Assistenzsystem Hilfe bei der Aufgabe an. Das Assistenzsystem wechselt zur Aufgabenvereinfachung.
3. Er nimmt den Hinweis des Assistenzsystems nicht an und teilt dem Assistenzsystem mit, den Handlungsbedarf in dieser Aufgabe zu ignorieren. Das Assistenzsystem beendet den Dialog und weist im Folgenden auch nicht mehr auf den Handlungsbedarf hin.

Bei einer Aufgabenvereinfachung hat der Operateur folgende Optionen:

1. Er erledigt die Aufgabe und der Dialog verschwindet. Dabei ist es nicht relevant, ob der vom Assistenzsystem vorgeschlagene Lösungsweg oder ein eigener durchgeführt wird. Allein das Ergebnis ist hier entscheidend.
2. Er beauftragt das Assistenzsystem mit der Durchführung der Aufgabe. Das Assistenzsystem wechselt zur Funktion Aufgabenübernahme.
3. Der Operateur will die Aufgabe nicht mehr bearbeiten und ignoriert die Meldung. Sobald er sich einer anderen Aufgabe zuwendet, ist die Aufgabenvereinfachung abgebrochen. Das Assistenzsystem beendet den Dialog und bietet für diesen Handlungsbedarf auch keine weitere Unterstützung an.

Bei einer Aufgabenübernahme kann der Operateur nicht weiter mit dem Assistenzsystem interagieren. Das Assistenzsystem schickt hier nur einen Informationsdialog, welche Aufgaben bearbeitet wurden. Jedoch kann der Operateur bei dieser Funktion vor einer Aufgabenübernahme mit dem Assistenzsystem interagieren, um diesem eine Aufgabenübernahme für einzelne Aufgaben zu verbieten (vgl. Kapitel 3.1.2.2).

Durch die Möglichkeit des Operateurs, eine Aufgabenvereinfachung und eine Aufgabenübernahme selbst anzufordern, sind die Eingriffsarten nicht mehr explizit an die Erkennung der entsprechenden Auslöser gebunden und können unabhängig von der Möglichkeit der Erkennung der Auslöser implementiert und angewendet werden.

In diesem Kapitel wurde in einer allgemeingültigen Weise definiert, welche Funktionen ein Assistenzsystem aufweisen sollte. Darauf aufbauend können die Funktionen im Folgenden auf die MUM-T Anwendung übertragen werden.

### **3.1.3 Definition von Assistenzfunktionen für multi-UAV-Führung in MUM-T Missionen**

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der beiden vorigen Kapitel zusammengeführt und dadurch Funktionen für ein Kommandanten-Assistenzsystem in MUM-T Flugmissionen abgeleitet (Kapitel 3.1.3.1). Außerdem können anhand der Funktionsdefinition als weiterer wesentlicher Teil des Konzepts die konkreten Interaktionen des Assistenzsystems im Arbeitssystem abgeleitet und dargestellt werden (Kapitel 3.1.3.2).

#### **3.1.3.1 Assistenzfunktionen**

Die allgemeinen Eingriffsauslöser (ungünstige Aufmerksamkeitsverteilung, Überforderung, drohende inakzeptable Missionskosten) und Eingriffsarten (Aufmerksamkeitslenkung, Aufgabenvereinfachung, Aufgabenübernahme) aus Kapitel 3.1.2 werden nachfolgend für jede der Kommandantenaufgaben aus Kapitel 3.1.1 konkretisiert. Dies beinhaltet die Erläuterung, wie die für die Eingriffsauslöser erforderlichen Informationen (Aufmerksamkeit, Handlungsbedarf, Dringlichkeit, dringendste Aufgabe, Überforderung, drohende inakzeptable Missionskosten) aus den Umgebungsdaten interpretiert werden sowie die Darstellung, welche

Handlungen das Assistenzsystem bei den drei Eingriffsarten (Situationspräsentation, Hinweis auf Aufgabe, Konfiguration HMI, Lösung, Bedienhilfe, Kommandos an OSM, Information an Kommandant) durchführt.

Eine Überforderung kann dem Assistenzsystem dabei vom Kommandanten für jede Aufgabe bei einer Aufmerksamkeitslenkung (vgl. Kapitel 3.1.2.4) mitgeteilt werden. Eine automatische Überforderungserkennung könnte vom Assistenzsystem zwar berücksichtigt werden, wurde allerdings nicht realisiert, da dies für sich ein komplexes Thema darstellt und nicht Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit war. Für weiterführende Forschungsarbeiten im Bereich der automatischen Überforderungserkennung bei der UAV-Führung sei an dieser Stelle z.B. auf [Donath, 2012] verwiesen. Die Priorisierung der dringenden Handlungsbedarfe zur Feststellung der dringendsten Aufgabe wird im Anschluss an die einzelnen Kommandantenaufgaben erläutert.

Es werden die Kommandantenaufgaben „Objektidentifikation“, „UAV-Auftragsaktivierung“, „UAV-Auftragsplanung“ und „H/C Auftragsplanung“ betrachtet. Die Aufgabe „Missionsbestimmung“, bei der der Kommandant das Arbeitsziel bestimmen kann, wird dabei nicht vom Assistenzsystem unterstützt, und damit die Autonomie des Assistenzsystems an dieser Stelle bewusst begrenzt. Maximal wäre der Vorschlag eines Missionsabbruchs im Rahmen einer Aufgabenvereinfachung denkbar, wenn die Kriterien dafür erfüllt sind, was aber nicht weiter verfolgt wurde.

#### Objektidentifikation

Für die Objektidentifikation sucht der Kommandant zuerst von der ATR-Funktion markierte Objekte. Ein Handlungsbedarf ergibt sich demnach, wenn ein unidentifiziertes Objekt in der taktischen Lage vorhanden ist (vgl. Tabelle 5). Sofern sich der H/C nicht in der Nähe des Objekts befindet, besteht keine Gefahr für die Soldaten und eine Objektidentifikation ist nicht dringend. Will der Kommandant das Objekt identifizieren, so muss er das HMI in das Format „ID“ wechseln und das entsprechende Objekt auswählen. Hierdurch kann auch das Assistenzsystem die Aufmerksamkeit des Kommandanten feststellen. Da noch nicht sicher ist, ob das Objekt freundlich oder feindlich gesinnt ist, kann nicht entschieden werden, ob eine Gefahr für die Mission besteht, wenn sich der H/C dem Objekt nähert und es können keine drohenden inakzeptablen Missionskosten festgestellt werden.

**Tabelle 5 Assistenzsysteminformationen zur Unterstützung der Objektidentifikation**

<i><b>Information</b></i>	<i><b>Beschreibung</b></i>
Aufmerksamkeit	HMI ist im Format „ID“ und es ist ein entsprechendes Objekt ausgewählt
Handlungsbedarf	In der taktischen Lage ist ein unidentifiziertes Objekt
Dringlichkeit	Der bemannte H/C befindet sich in der Nähe des Objekts
Drohende inakzeptable Missionskosten	-

Mit den festgestellten Informationen kann beim Assistenzsystem eine Aufmerksamkeitslenkung ausgelöst werden. Hier wird das markierte Objekt in der Karte hervorgehoben und ein Hinweis gegeben, dass dieses identifiziert werden sollte (vgl. Tabelle 6). Fordert der Kommandant eine Aufgabenvereinfachung an, so wechselt ihm das Assistenzsystem das HMI in das benötigte Format, so dass er die perspektivischen Fotos des Objekts direkt betrachten kann. Eine weitere Unterstützung in Form eines Lösungsvorschlags

und einer Aufgabenübernahme ist nicht möglich, da keine Mustererkennung zur Verfügung steht, die eine Identifikation anhand der Sensorbilder vornehmen kann.

**Tabelle 6 Assistenzsystemhandlungen zur Unterstützung bei der Objektidentifikation**

<i>Eingriffsart</i>	<i>Handlung</i>	<i>Beschreibung</i>
Aufmerksamkeitslenkung	Situationspräsentation	Hervorhebung Objekt in Karte
	Hinweis auf Aufgabe	Empfehlung zur Identifikation
Aufgabenvereinfachung	Konfiguration HMI	Wechsel Format „ID“, Auswahl Objekt
	Lösung	-
	Bedienhilfe	-
Aufgabenübernahme	Kommandos an OSM	-
	Info an Kommandant	-

### UAV-Auftragsaktivierung

UAV-Aufträge, welche nicht automatisch von der SCU an Bord der UAVs aktiviert werden, müssen vom Kommandanten manuell aktiviert werden. Dies betrifft den initialen Startauftrag der UAVs und alle Aufträge, die auf Gebietsaufklärungs- und Überwachungsaufträge folgen. Das Assistenzsystem stellt einen Handlungsbedarf fest, wenn der nächste Auftrag in der Liste diese Anforderungen erfüllt (vgl. Tabelle 7). Eine Dringlichkeit kann erst festgestellt werden, wenn die Auftragsaktivierung vom Kommandanten verpasst wurde und dieser bereits durchgeführt werden sollte. Für die Durchführung der Aufgabe ohne Unterstützung durch das Assistenzsystem muss der Kommandant zuerst in das Format „TASK MGT“ wechseln, den Modus „TASK EXEC“ aktivieren und das entsprechende UAV auswählen. Diese HMI Konfiguration kann zur Feststellung der Aufmerksamkeit verwendet werden. Anschließend wählt er den durchzuführenden Auftrag. Wenn die Auftragsaktivierung nicht durchgeführt wird, treten Verzögerungen in der Mission auf, welche allerdings nicht als inakzeptable Missionskosten betrachtet werden.

**Tabelle 7 Assistenzsysteminformationen zur Unterstützung der UAV-Auftragsaktivierung**

<i>Information</i>	<i>Beschreibung</i>
Aufmerksamkeit	HMI ist im Format „TASK MGT“ und „TASK EXEC“ und ein entsprechendes UAV ist ausgewählt
Handlungsbedarf	Der nächste in einer UAV-Auftragsliste vorhandene Auftrag ist noch nicht aktiviert
Dringlichkeit	Der Auftrag sollte momentan schon durchgeführt werden
Drohende inakzeptable Missionskosten	-

Hat das Assistenzsystem mit diesen Informationen festgestellt, dass ein Handlungsbedarf besteht und der Kommandant seine Aufmerksamkeit nicht auf der Aufgabe hat, so weist es darauf hin, dass bei dem entsprechenden UAV der nächste Auftrag aktiviert werden sollte (vgl. Tabelle 8). Die Aufgabenvereinfachung beinhaltet dieselben HMI-

Konfigurationsschritte, die auch der Kommandant durchführen müsste. Als Lösung wird ihm mitgeteilt, welchen Auftrag er aus der Liste anwählen muss und dieser als Bedienhilfe in der Karte hervorgehoben. Wird die automatische Aktivierung angefordert, so schickt das Assistenzsystem ein Aktivierungskommando an das entsprechende UAV und teilt dem Kommandanten die Aktivierung mit.

**Tabelle 8 Assistenzsystemhandlungen zur Unterstützung bei der UAV-Auftragsaktivierung**

<i><b>Eingriffsart</b></i>	<i><b>Handlung</b></i>	<i><b>Beschreibung</b></i>
Aufmerksamkeitslenkung	Situationspräsentation	-
	Hinweis auf Aufgabe	Empfehlung, UAV sollte nächsten Auftrag starten
Aufgabenvereinfachung	Konfiguration HMI	Auswahl UAV, Wechsel Format „TASK MGT“, Wechsel Format „EXEC TASK“
	Lösung	Benennung des entsprechenden Auftrags
	Bedienhilfe	Hervorhebung des entsprechenden Auftrags in Karte
Aufgabenübernahme	Kommandos an OSM	Aktivierung UAV-Auftrag
	Info an Kommandant	UAV-Auftrag wurde aktiviert

Bei dieser Kommandantenaufgabe kann neben der Aktivierung auch ein Handlungsbedarf entstehen, einen UAV-Auftrag zu deaktivieren bzw. das UAV zu stoppen. Dies kann vorkommen, wenn der Zielpunkt eines UAV-Auftrags von einem feindlichen Objekt bedroht ist und das UAV ohne manuellen Eingriff des Kommandanten in den Bedrohungsradius einfliegen würde (vgl. Tabelle 9). Liegt hingegen nur ein Zwischenstück eines UAV-Auftrags in einem bedrohten Gebiet, so kann die SCU das UAV selbständig um die Bedrohung manövrieren. Es wird angenommen, dass der Kommandant nicht mehr selbst in der Lage ist, das UAV zu stoppen, wenn es den Auftrag bereits durchführt und sich unmittelbar vor Eintritt in den Bedrohungsradius befindet. Das Stoppen von Aufträgen wurde dem Konzept noch kurzfristig als beispielhafte Erkennung drohender inakzeptabler Missionskosten hinzugefügt. Daher ist eine Erkennung der Dringlichkeit und der Aufmerksamkeit des Operators für diese Aufgabe nicht vorgesehen, aber dennoch sinnvoll.

**Tabelle 9 Assistenzsysteminformationen zur Unterstützung beim UAV-Auftragsstopp**

<i><b>Information</b></i>	<i><b>Beschreibung</b></i>
Aufmerksamkeit	-
Handlungsbedarf	Ein Zielpunkt eines UAV-Auftrags ist von einem feindlichen Objekt bedroht
Dringlichkeit	-
Drohende inakzeptable Missionskosten	Das UAV führt den betroffenen Auftrag aus und befindet sich unmittelbar vor dem Bedrohungsradius

Wird die Aufgabenübernahme ausgelöst, so schickt das Assistenzsystem ein Kommando an das entsprechende UAV, den aktuellen Auftrag abzubrechen (vgl. Tabelle 10). Außerdem teilt es dem Kommandanten mit, dass es die Auftragsbearbeitung des UAVs aufgrund einer Bedrohung abgebrochen hat. Hier sind wie oben ebenfalls noch eine zusätzliche Aufmerksamkeitslenkung und Aufgabenvereinfachung denkbar.

**Tabelle 10 Assistenzsystemhandlungen zur Unterstützung beim UAV-Auftragsstopp**

<i>Eingriffsart</i>	<i>Handlung</i>	<i>Beschreibung</i>
Aufmerksamkeitslenkung	Situationspräsentation	-
	Hinweis auf Aufgabe	-
Aufgabenvereinfachung	Konfiguration HMI	-
	Lösung	-
	Bedienhilfe	-
Aufgabenübernahme	Kommandos an OSM	Stoppen UAV-Auftrag
	Info an Kommandant	UAV-Auftrag wurde gestoppt aufgrund Bedrohung

### UAV-Auftragsplanung

Bei der H/C Auftragsplanung sind durch den Einsatz des Missionsplaners immer vollständige Missionspläne vorhanden. Bei der UAV-Auftragsplanung ist dies aufgrund der manuellen Auftragseingabe durch den Kommandanten nicht notwendigerweise der Fall, weshalb ein Handlungsbedarf besteht, wenn eine der UAV-Auftragslisten unvollständig ist (vgl. Tabelle 11). Dringend wird dieser Handlungsbedarf kurz bevor das UAV das Ende seiner Auftragsliste erreicht bzw. falls es noch keine Aufträge hat, kurz bevor es starten soll. Für die Aufmerksamkeitserkennung stellt das Assistenzsystem fest, wenn der Kommandant das HMI in das Format „INS TASK“ wechselt und das entsprechende UAV auswählt. Wenn die Auftragsplanung nicht durchgeführt wird, verursacht das wie bei der Auftragsaktivierung eine Missionsverzögerung, welche aber wie oben nicht als inakzeptable Kosten betrachtet werden.

**Tabelle 11 Assistenzsysteminformationen zur Unterstützung bei der UAV-Auftragsplanung**

<i>Information</i>	<i>Beschreibung</i>
Aufmerksamkeit	HMI ist im Format „INS TASK“ und ein entsprechendes UAV ist ausgewählt
Handlungsbedarf	Eine UAV-Auftragsliste ist unvollständig
Dringlichkeit	Der fehlende Auftrag sollte in Kürze durchgeführt werden
Drohende inakzeptable Missionskosten	-

Bei der Aufmerksamkeitslenkung weist das Assistenzsystem darauf hin, dass das entsprechende UAV einen nächsten Auftrag erhalten sollte (vgl. Tabelle 12). Bei der Aufgabenvereinfachung konfiguriert das Assistenzsystem das HMI in das Format „INS TASK“ und wählt das entsprechende UAV aus. Als Lösung schlägt es einen Auftrag vor, der angefügt werden könnte und illustriert den Vorschlag auch in der Karte. Dies beinhaltet den

Vorschlag eines Aufgabentyps (z.B. Start, Gebietsaufklärung...) und eines Zielpunkts. Zur Eingabe des vorgeschlagenen Auftrags gibt es keine weitere Bedienungshilfe. Fordert der Kommandant eine Aufgabenübernahme an, so fügt das Assistenzsystem den Auftrag in die Liste des UAVs ein und bestätigt dies dem Kommandanten.

**Tabelle 12 Assistenzsystemhandlungen zur Unterstützung bei der UAV-Auftragsplanung**

<i><b>Eingriffsart</b></i>	<i><b>Handlung</b></i>	<i><b>Beschreibung</b></i>
Aufmerksamkeitslenkung	Situationspräsentation	-
	Hinweis auf Aufgabe	Empfehlung, UAV sollte nächsten Auftrag erhalten
Aufgabenvereinfachung	Konfiguration HMI	Auswahl UAV, Wechsel Format „INS TASK“
	Lösung	Vorschlag eines nachfolgenden Auftrags & Darstellung in Karte
	Bedienhilfe	-
Aufgabenübernahme	Kommandos an OSM	Einfügen UAV-Auftrag
	Info an Kommandant	UAV-Auftrag wurde eingefügt

### H/C-Auftragsplanung

In der H/C-Auftragsplanung entsteht ein Handlungsbedarf, wenn entweder kein Missionsplan vorhanden ist, der den Missionsauftrag erfüllt oder der vorhandene Missionsplan aufgrund neuer Bedrohungen neu geplant werden muss (vgl. Tabelle 13). Das Assistenzsystem kann feststellen, dass der Kommandant den H/C Missionsplan ändern will, wenn er den Missionsplaner durch die Änderung der bindenden H/C-Aufträge startet. Da die Missionsziele unmittelbar vor dem Missionsstart in das System geladen werden bzw. Folgeaufträge während der Missionslaufzeit eintreffen, muss die Planung bzw. Umplanung der H/C-Aufträge sofort geschehen. Wenn der H/C noch eine größere Vorlaufzeit hat, bevor er Bedrohungen erreicht, so ist die Umplanung dennoch dringend, da die UAVs die Flugstrecke noch vorher aufklären sollen und von den H/C-Aufträgen abhängig sind. Wird die H/C-Auftragsplanung nicht durchgeführt, so kann dies wieder zu Verzögerungen führen, welche allerdings keine missionskritischen Kosten darstellen<sup>2</sup>.

**Tabelle 13 Assistenzsysteminformationen zur Unterstützung bei der H/C-Auftragsplanung**

<i><b>Information</b></i>	<i><b>Beschreibung</b></i>
Aufmerksamkeit	Der Kommandant hat den Missionsplaner durch eine Änderung der bindenden H/C Aufträge gestartet
Handlungsbedarf	Die H/C-Auftragsliste erfüllt nicht den Missionsauftrag (Transport) / enthält eine Landung in einer bedrohten Landezone / enthält einen

<sup>2</sup> Wird bei einer Bedrohung auf dem H/C-Flugweg nicht umgeplant, so entsteht vielmehr wie oben ein Handlungsbedarf, den bedrohten H/C-Auftrag zu stoppen und es würden durch die Aufgabe H/C-Auftragsaktivierung inakzeptable Missionskosten entstehen.

	Flug durch einen bedrohten Korridor
Dringlichkeit	Sofort
Drohende inakzeptable Missionskosten	-

Bei der Aufmerksamkeitslenkung weist das Assistenzsystem auf die Ursache des Handlungsbedarfs hin (Bedrohung, Missionsauftrag) und empfiehlt eine Neuplanung der Aufträge (vgl. Tabelle 14). Da die Aufklärungsaufträge der UAVs stark von den Transportwegen des H/C abhängen, werden bei der Aufgabenvereinfachung und Aufgabenübernahme nicht nur eine neue H/C-Auftragsliste, sondern auch neue UAV-Auftragslisten als Lösung vorgeschlagen bzw. eingegeben. Hierfür illustriert das Assistenzsystem die vorgeschlagenen Auftragslisten wie bei der UAV-Auftragsplanung wieder auf der Karte. Da diese Funktion nicht nur eine Umplanung des H/C, sondern auch der UAVs beinhaltet, ist es schwierig, eine angemessene Bedienhilfe bzw. Konfiguration des HMI anzubieten.

**Tabelle 14 Assistenzsystemhandlungen zur Unterstützung bei der H/C-Auftragsplanung**

<i>Eingriffsart</i>	<i>Handlung</i>	<i>Beschreibung</i>
Aufmerksamkeitslenkung	Situationspräsentation	Bedrohung / neuer Missionsauftrag
	Hinweis auf Aufgabe	Planungsempfehlung
Aufgabenvereinfachung	Konfiguration HMI	Wechsel Kartenansicht
	Lösung	Vorschlag von Auftragslisten für H/C & UAVs & Darstellung in Karte
	Bedienhilfe	-
Aufgabenübernahme	Kommandos an OSM	Ersetzen H/C & UAV-Auftragslisten
	Info an Kommandant	Umplanung durchgeführt

Abschließend wird noch festgelegt, wie bei mehreren dringenden Handlungsbedarfen die **dringendste Aufgabe** ermittelt werden kann. Hier kann grundsätzlich in zwei Fälle unterschieden werden:

- Die Handlungsbedarfe betreffen denselben Aufgabentyp
- Die Handlungsbedarfe betreffen unterschiedliche Aufgabentypen

Betreffen mehrere dringende Handlungsbedarfe denselben Aufgabentyp (z.B. es müssen mehrere Objekte identifiziert werden, mehrere UAVs benötigen einen Folgeauftrag...), so handelt es sich um voneinander unabhängige Aufgaben. Das bedeutet, dass eine Handlung des Kommandanten in einer Aufgabe keine Auswirkung auf den Handlungsbedarf in der anderen Aufgabe hat. Daher kann die Aufgabe, die am ehesten abgeschlossen sein muss, als die dringendste Kommandantenaufgabe angesehen werden. Dies bedeutet z.B. bei der Objektidentifikation, dass das Objekt, welches sich am nächsten zum H/C befindet, am dringendsten identifiziert werden muss.

Sind hingegen mehrere dringende Handlungsbedarfe in unterschiedlichen Aufgabentypen vorhanden, so müssen auch die Abhängigkeiten zwischen den Aufgaben berücksichtigt werden. Aufgaben, deren Handlungsbedarf von einer anderen Aufgabe abhängig ist, müssen niedriger priorisiert werden. Demnach ergibt sich folgende Priorisierung der verschiedenen Aufgabentypen:

1. Objektidentifikation
2. H/C-Auftragsplanung
3. UAV-Auftragsplanung
4. UAV-Auftragsaktivierung

Durch die Identifikation eines Objekts kann eine neue Bedrohung an einer Landezone oder einem Korridor, welche der H/C verwenden wollte, entstehen. Dies macht eine Umplanung der H/C-Auftragsliste erforderlich und ein bereits bestehender Handlungsbedarf in der H/C-Auftragsplanung kann damit hinfällig sein oder sich ändern. Die H/C Auftragsplanung ist demnach von der Objektidentifikation abhängig, weshalb die Objektidentifikation höher priorisiert wurde und als erstes ausgeführt werden muss. Die Aufträge der UAVs sind wie oben bereits erwähnt von den Aufträgen des H/C abhängig, da die UAVs u.a. für die Aufklärung der Route des H/C eingesetzt werden. Daher ist die H/C-Auftragsplanung höher priorisiert. Schließlich ist ein Handlungsbedarf in der UAV-Auftragsaktivierung von den Aufträgen in den UAV-Auftragslisten abhängig. Diese werden in der UAV-Auftragsplanung erstellt und geändert, weshalb die Aktivierung von der Planung abhängig ist und niedriger priorisiert ist.

In diesem Kapitel wurden konkrete Assistenzfunktionen für den Arbeitsplatz des Kommandanten bei der multi-UAV Führung in MUM-T Flugmissionen definiert. Dabei wurden vor allem die Interaktionen des Assistenzsystems mit seiner Umgebung beschrieben. Anhand dieser Erkenntnisse können im folgenden Kapitel die Interaktionen des Assistenzsystems im Arbeitssystem dargestellt werden.

### **3.1.3.2 Assistenzsysteminteraktionen im MUM-T Arbeitssystem**

Die Beschreibung der Assistenzsysteminteraktionen beginnt mit den vom System benötigten Informationen. Diese muss es sich aus seiner Umgebung beschaffen und interpretieren.

Neben den bereits erwähnten Informationen benötigt das Assistenzsystem die grundlegende Information, welche Aufgaben der Kommandant an seinem Arbeitsplatz bearbeitet. Diese hängen gemäß Kapitel 3.1.1 einerseits vom Arbeitsziel, den verwendeten Maschinen (UAVs & H/C), der Aufgabenverteilung zwischen Pilot und Kommandant sowie Kommandant und Automation ab. Außerdem können durch neue Umweltinformationen Kommandantenaufgaben situationsabhängig generiert werden (z.B. neues markiertes Objekt in der taktischen Lage generiert Identifikationsaufgabe für dieses Objekt). Den Missionsauftrag kann das Assistenzsystem aus dem Missionssystem ablesen, während die Verwendung eines H/C und von UAVs sowie neue Umweltinformationen aus dem taktischen Lagesystem erkannt werden kann. Die Aufgabenverteilung zwischen Pilot und Kommandant ist in diesem Fall vorgegeben. Evtl. könnte eine Änderung der Aufgabenverteilung über Aussagen des Piloten und des Kommandanten oder über deren Handlungen mit den HMIs erkannt werden, was aber in diesem Fall nicht weiter verfolgt wurde. Die Aufgabenteilung zwischen Kommandant und Automation kann einfach anhand der Zustände der Automationssysteme abgelesen werden. In diesem Fall ist die Aufgabenteilung zwar fest, allerdings könnte sich das Assistenzsystem bei variablen Führungsebenen an die geänderte Aufgabenteilung anpassen.

Für die Erkennung eines Handlungsbedarfs muss das Assistenzsystem Informationen über die taktische Lage, die UAV-Auftragslisten bzw. -zustände und die H/C Auftragsliste haben und

diese miteinander in Beziehung setzen. Außerdem benötigt es interne Aufgabenmodelle, mit denen es einen Referenzzustand ermitteln kann, der dann mit dem aktuellen Zustand verglichen wird. Derartige Aufgaben- bzw. Pilotenmodelle wurden bereits in früheren Projekten wie DAISY, CASSY und CAMA zum Einsatz gebracht (vgl. Kapitel 2.2.3) und stellten hier eines der zentralen Systemelemente dar.

Für die Dringlichkeit von Handlungsbedarfen muss das Assistenzsystem außerdem feststellen, wann der Referenzzustand erreicht worden sein muss. Dies kann eine zeitliche (z.B. wann muss ein UAV-Auftrags durchgeführt werden) oder örtliche Angabe (z.B. wie nah darf sich der H/C einem unidentifizierten Objekt nähern) sein. Diese Angabe erhält das Assistenzsystem für die UAV-Auftragsaktivierung und die UAV-Auftragsplanung vom Missionsplaner, welcher neben den H/C-Aufträgen auch die UAV-Aufträge planen und mit Startzeiten versehen kann. Den aktuellen Zustand erhält das System aus den Positionen von H/C und UAVs bzw. der aktuellen Uhrzeit im taktischen Lagesystem.

Für die Priorisierung der dringenden Handlungsbedarfe benötigt das Assistenzsystem keine weiteren externen Informationen.

Für die Erkennung der Aufmerksamkeit des Kommandanten stehen verschiedene Informationsquellen zur Verfügung. Zum einen wird festgelegt, dass der Kommandant eine Aufgabe bearbeitet, wenn er für diese im Dialog mit dem Assistenzsystem eine Aufgabenvereinfachung anfordert. Zum anderen können die weiteren Handlungen des Kommandanten interpretiert werden. Da die Bearbeitung von Aufgaben am vorliegenden Arbeitsplatz immer mit der Bedienung des HMI verbunden ist, stellt die Beobachtung der HMI-Bedieninteraktionen eine weitere sehr sichere Variante für die Aufmerksamkeitserkennung dar. Da die Bedieninteraktionen bereits im Datenstrom vorhanden sind, können diese zudem sehr einfach erfasst werden. Daher wurde diese Möglichkeit der Aufmerksamkeitserkennung in der vorliegenden Arbeit verwendet. Eine weitere Möglichkeit stellt die Beobachtung der Blickbewegungen des Kommandanten dar (vgl. [Donath, 2012][Strenzke et al., 2011]). Beispielsweise könnten auf diese Weise die vom Operateur erfassten Informationen einer bestimmten Aufgabe zugeordnet werden. Die Erkennung der Fixierung von Knöpfen im Moment der Bedienung stellt allerdings eine redundante Informationsquelle dar, da diese Information bereits über die Bedieninteraktionen (s.o.) sicher erfasst wird. Außerdem ist die Verfügbarkeit und Validität der Daten trotz der technischen Verbesserungen in den letzten Jahren immer noch bei einigen Personen nicht hoch genug, um sichere Aussagen treffen zu können, weshalb diese Daten nicht zusätzlich verwendet wurden. Zuletzt könnten noch über die verbalen Aussagen der Piloten Rückschlüsse über deren momentane Aufmerksamkeit gezogen werden. Hier bedarf es allerdings einer aufwändigen semantischen Interpretation der Aussagen, um diese den Aufgaben zuordnen zu können. Außerdem werden nicht alle Aufgaben vom Kommandanten kommentiert, weshalb die Informationen unvollständig sind. Daher wurde diese Möglichkeit ebenfalls nicht weiter verfolgt.

Für die Erkennung der Überforderung des Kommandanten gibt es wiederum verschiedene Möglichkeiten. In dem hier verwendeten Ansatz geht die Überforderung aus dem Dialog mit dem Kommandanten hervor, wenn dieser eine Aufgabenvereinfachung anfragt. Dies stellt eine sehr sichere Methode dar, da der Kommandant dem Assistenzsystem explizit mitteilt, dass er überfordert ist. Außerdem könnte eine Überforderung noch automatisch entweder anhand der Aufgabenbelastung abgeschätzt oder anhand der Handlungen des Kommandanten erkannt werden. Eine automatische Überforderungserkennung könnte vom Assistenzsystem zwar berücksichtigt werden, wurde allerdings nicht realisiert, da dies für sich ein komplexes Thema darstellt und nicht Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit war. Für weiterführende Forschungsarbeiten im Bereich der automatischen Überforderungserkennung bei der UAV-Führung sei an dieser Stelle z.B. auf [Donath, 2012] verwiesen.

Für die Abschätzung drohender inakzeptabler Missionskosten bei der UAV-Auftragsaktivierung benötigt das Assistenzsystem Informationen und Hintergrundwissen über Bedrohungen in der taktischen Lage, die Auftragslisten und Positionen der UAVs. Zusätzlich können drohende inakzeptable Missionskosten durch Aufgaben festgestellt werden, wenn der Kommandant im Dialog mit dem Assistenzsystem eine Aufgabenübernahme anfordert. Theoretisch könnte es auch Rückschlüsse über die Fähigkeit des Kommandanten, die Situation selbst zu klären aus seinen aktuellen Handlungen erhalten.

Nachdem diskutiert wurde, wie und woher das Assistenzsystem die benötigten Informationen erhält, werden noch die Handlungen des Assistenzsystems im Arbeitssystem erklärt.

Im Rahmen der Aufmerksamkeitslenkung präsentiert das Assistenzsystem dem Kommandanten die für den Handlungsbedarf relevanten Situationselemente. Dies erfolgt über ein zusätzliches Dialogsystem, mit welchem das Assistenzsystem entweder Situationselemente im bereits vorhandenen HMI hervorheben kann oder neue Dialoge starten kann. Der Hinweis auf die zu bearbeitende Aufgabe erfolgt ebenfalls in einem neuen Dialog über das zusätzliche Dialogsystem.

Bei der Aufgabenvereinfachung konfiguriert das Assistenzsystem das HMI und führt daher Handlungen direkt damit aus. Die Präsentation von Lösungen erfolgt über das Dialogsystem wiederum entweder in einem neuen Dialog oder über das bereits vorhandene HMI. Ein Beispiel hierfür ist die grafische Darstellung der vorgeschlagenen Auftragslisten in der Kartenansicht. Für eine Bedienhilfe kann das Assistenzsystem einerseits mittels des Dialogsystems zu drückende Knöpfe auf dem HMI hervorheben. Zum anderen kann es die Bedienhinweise über das Dialogsystem auch in einem extra Dialog an den Kommandanten geben.

Bei der Aufgabenübernahme hingegen werden Kommandos an die Automation oder andere Systeme geschickt. Das Assistenzsystem muss hierfür nicht den Umweg über das HMI wie der Kommandant nehmen und kann direkt Handlungen mit den hinter dem HMI liegenden Arbeitsmitteln durchführen. Die Information an den Kommandanten, welche Aufgaben bearbeitet wurden, erfolgt wieder per Dialog über das Dialogsystem.

Die Handlungen des Assistenzsystems können demnach konzeptionell gesehen folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Dialog führen
- HMI konfigurieren
- Automation / Maschine anweisen

Die gesamten Interaktionen des Assistenzsystems (Informationen und Handlungen) wurden in Abbildung 59 noch einmal grafisch dargestellt. Die Informationen und Handlungen, die sich auf die hinter dem HMI liegende Arbeitsmittel beziehen, wurden zur einfacheren Darstellung zusammengefasst.

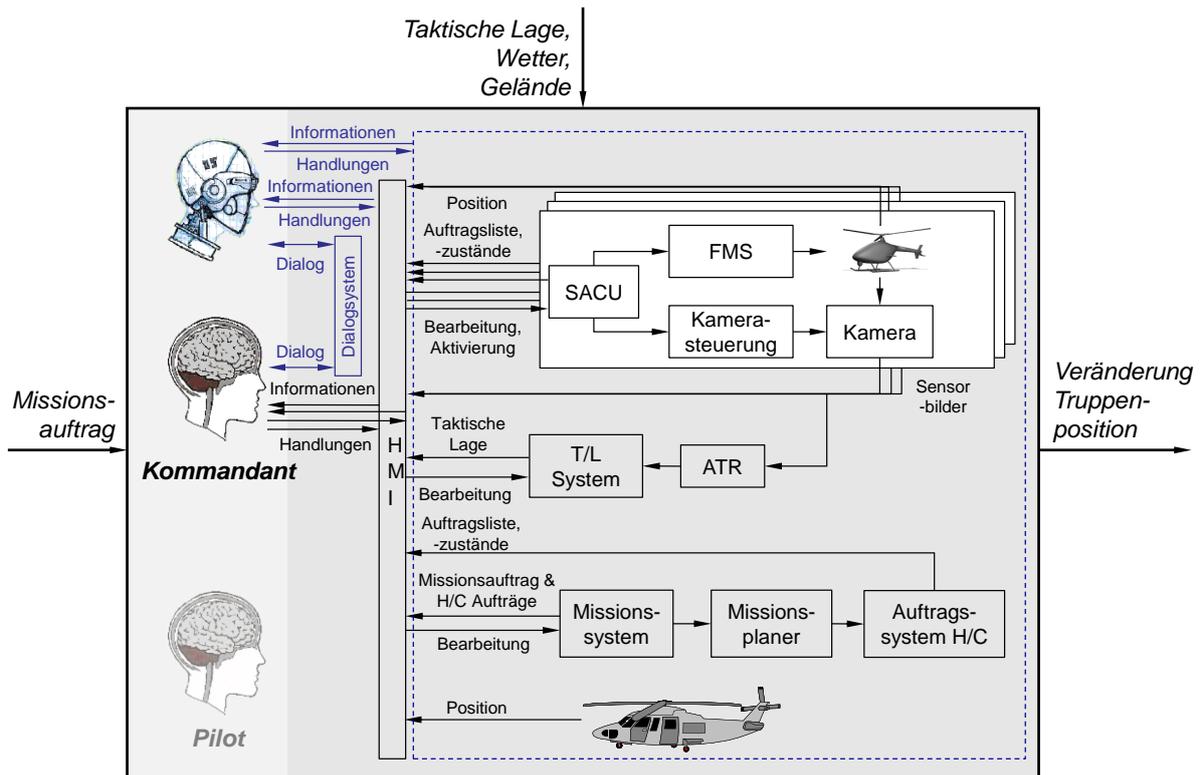


Abbildung 59 Interaktionen des Kommandanten-Assistenzsystems im MUM-T Arbeitssystem

Damit ist der erste Teil des Konzeptes abgeschlossen, in dem die konkreten Funktionen des Kommandanten-Assistenzsystems festgelegt und die resultierenden Interaktionen im Arbeitssystem abgeleitet wurden. Das nachfolgende Kapitel wird die vorangehenden Konzeptelemente nutzen, um eine Architektur für die interne Verarbeitung des Assistenzsystems abzuleiten.

### 3.2 Konzept eines kognitiven Assistenzsystems

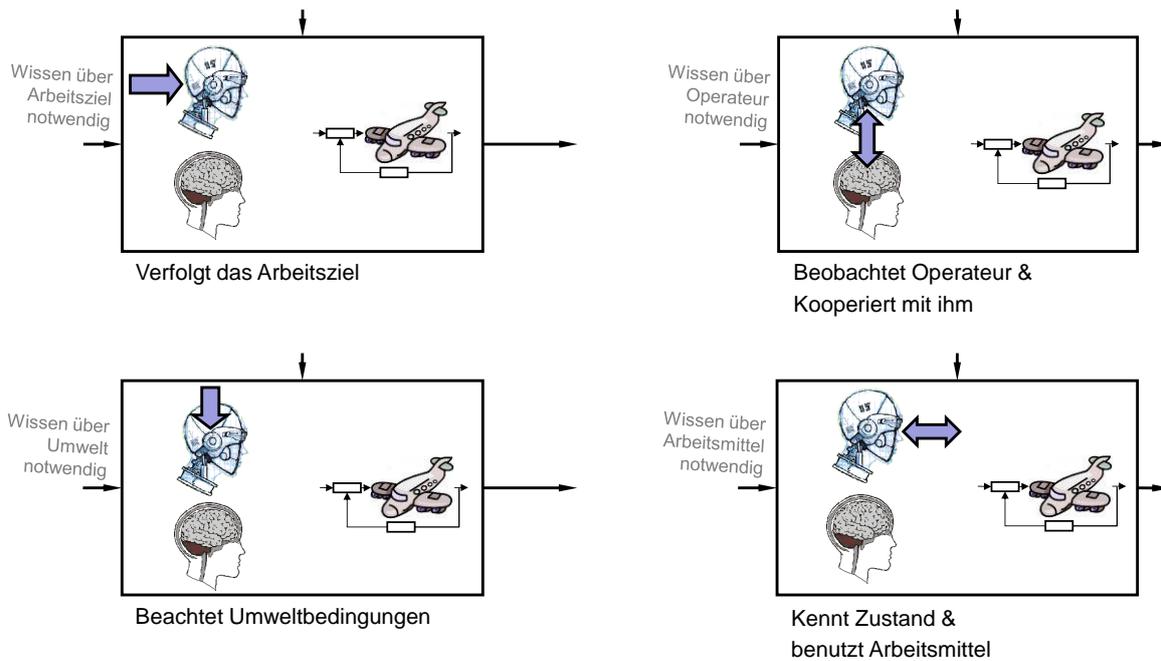
Für die Weiterentwicklung der kognitiven Architektur von Assistenzsystemen wird zuerst das relevante Wissen für die Informationen und Handlungen abgeleitet (Kapitel 3.2.1). Im nächsten Schritt wird dieses Wissen strukturiert und dabei in verschiedene ineinander greifende kognitive Teilprozesse unterteilt (Kapitel 3.2.3). Ausgehend davon kann festgelegt werden, wie die einzelnen Wissens Elemente zusammenwirken und damit eine neue Verarbeitungsarchitektur abgeleitet werden (Kapitel 3.2.2).

#### 3.2.1 Identifikation relevanten Wissens

Für die Realisierung der oben definierten Assistenzfunktionen muss das Assistenzsystem internes Wissen haben. In Kapitel 2.2.1 wurden bereits einige Wissensanforderungen recherchiert und diese mithilfe der Arbeitssystembetrachtung und den Interaktionen des Assistenzsystems noch erweitert. Es ergibt sich, dass das Assistenzsystem über Wissen in den folgenden vier Bereichen verfügen muss (vgl. Abbildung 60):

- Arbeitsziel
- Operateur
- Umwelt
- Arbeitsmittel

Hierbei muss angemerkt werden, dass dies eine konzeptionelle Betrachtung darstellt und das Assistenzsystem die Interaktionen immer über entsprechende Arbeitsmittel realisiert.



**Abbildung 60 Wissensbereiche des Assistenzsystems nach [Donath et al., 2010]**

Der Wissensbereich des Arbeitsziels ist notwendig, um die Arbeitssituation des Kommandanten inklusive seiner Aufgaben umfassend einschätzen zu können. Wissen über die Manipulation des Arbeitsziels ist nicht notwendig, da eine sich darauf erstreckende Autorität (d.h. Autonomie) des Assistenzsystems nicht gewünscht ist.

Das Wissen über den Operateur kann weiter unterteilt werden in Wissen über den aktuellen Zustand des Operators und Wissen über die Kooperation mit dem Operateur. Der momentane Zustand des Operators stellt eine wichtige Wissenskomponente dar, da ansonsten die Auslöser für die Aufmerksamkeitslenkung und die Aufgabenvereinfachung nicht ermittelt werden können bzw. die Eingriffe nicht an die Bedürfnisse des Kommandanten angepasst sind. Das Wissen über die Kooperation mit dem Operateur steuert hingegen die Eingriffe des Assistenzsystems, so dass eine optimale Mensch-Maschine-Interaktion erreicht werden kann.

Da der Operateur für die Bearbeitung seiner Aufgaben Umweltwissen miteinbezieht, muss das Assistenzsystem ebenfalls Wissen haben, was in der Umwelt des Arbeitssystems geschieht. Erst hiermit kann das Assistenzsystem einschätzen, ob der Operateur die richtigen Handlungen durchführt. Außerdem können Ereignisse in der Umwelt (z.B. neue Bedrohungen) Handlungsbedarfe hervorrufen oder das Missionsrisiko erhöhen. Eine direkte Veränderung der Umwelt ist dem Assistenzsystem nicht möglich.

Das Wissen über die Arbeitsmittel kann schließlich in Wissen über den aktuellen Zustand und über die Bedienung der Arbeitsmittel unterteilt werden. Der Zustand der Arbeitsmittel wird verwendet, um überprüfen zu können, ob der Operateur diese zur Erreichung des Arbeitsziels richtig einsetzt und z.B. Handlungsbedarfe ableiten zu können. Die Arbeitsmittel werden vom Assistenzsystem im Rahmen der Aufgabenübernahme bedient, um Aufgaben erfüllen zu können.

Das Wissen aus den unterschiedlichen Bereichen wird vom Assistenzsystem verwendet, um die benötigten Informationen für die Eingriffsauslöser zu erhalten (vgl. Kapitel 3.1.2.1). Außerdem können durch das Wissen die Eingriffsauslöser mit den entsprechenden Handlungen versehen werden (vgl. Kapitel 3.1.2.2). Dies führt zu einem abstrakten Wissenskonzept für das Assistenzsystem (vgl. Abbildung 61).



Bei COSA passt im Gegensatz zu Soar eine zusätzliche KP-Bibliothek das Verhalten so an, dass nicht in jedem Zyklus ein Operator für eine Aktion vorgeschlagen werden muss. Dies ist speziell für ein Assistenzsystem nützlich, welches vorwiegend die Situation beobachten soll und nicht in jedem Zyklus zwingend eine Aktion durchführen muss. Außerdem ist es möglich, mehrere Aktionen in einem Zyklus durchzuführen, so dass dieser Vorteil technischer Systeme gegenüber dem Menschen durch die Architektur unterstützt wird. Da COSA eine Architektur ist, mit der menschähnliches Verhalten nachgebildet werden kann, die aber dennoch die Vorzüge technischer Systeme beibehält, wurde entschieden, das Assistenzsystem mit COSA und dem zugrundeliegenden kognitiven Prozess zu entwickeln.

Das Ergebnis ist eine kognitive Funktionsarchitektur, welche in Abbildung 62 dargestellt ist.

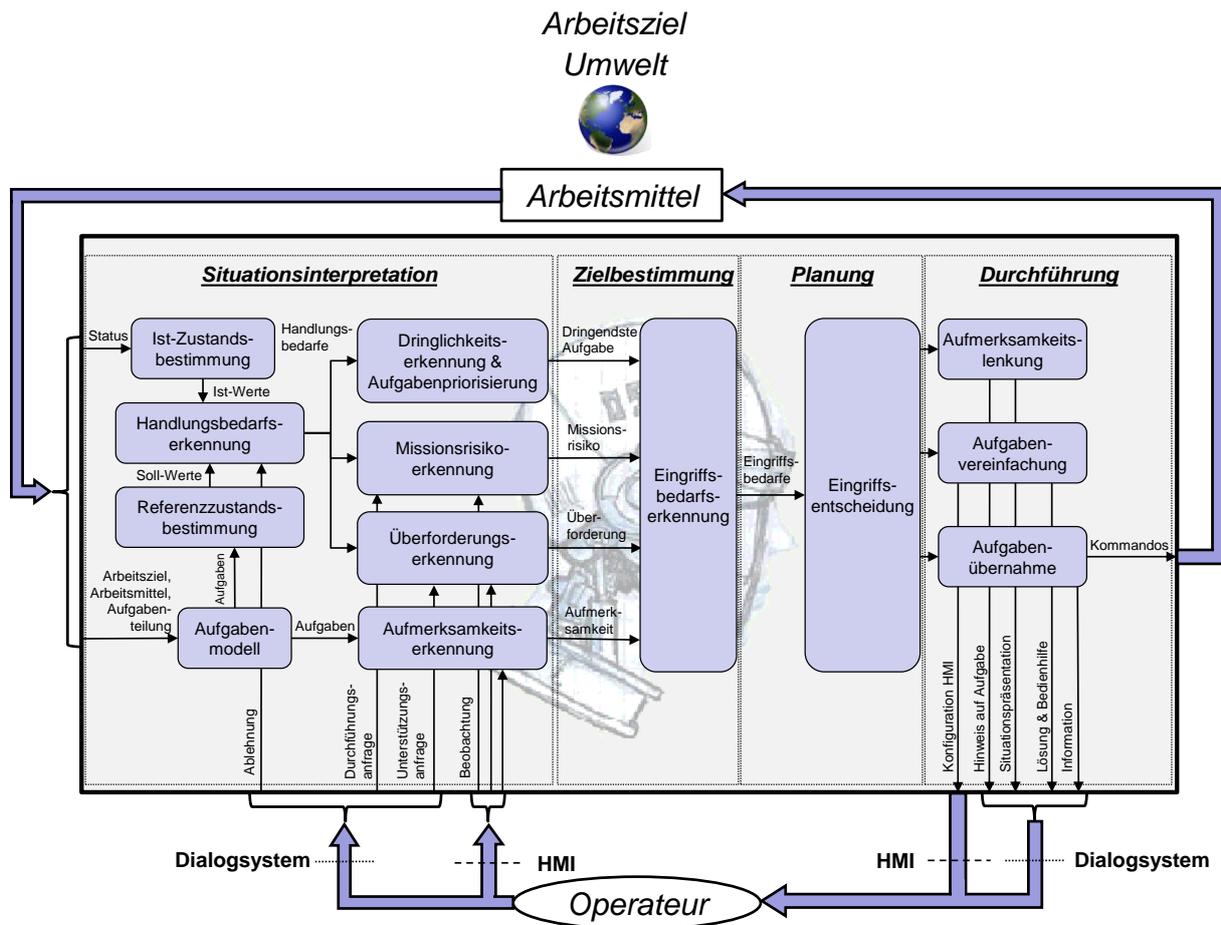


Abbildung 62 Prozessorientierte kognitive Funktionsarchitektur des Assistenzsystems

Wie in Abbildung 59 ersichtlich erhält das Assistenzsystem Informationen von den Arbeitsmitteln, über die es auch Handlungen ausführen kann. Vom Missionssystem erfährt es vom Arbeitsziel und über das taktische Lagesystem von den Umweltbedingungen. Mit dem Operateur interagiert es über das HMI und das Dialogsystem. Weitere Arbeitsmittel, von denen es Informationen erhält oder mit denen es Aufgaben erfüllen kann, sind die UAVs und deren SCUs sowie der H/C und dessen Auftragsystem.

Das Assistenzsystem ist gemäß des kognitiven Prozesses in die Teilschritte Situationsinterpretation, Zielbestimmung, Planung und Durchführung unterteilt, welche aus weiteren Transformationsschritten bestehen (Kästen). Die dabei verwendeten bzw. entstehenden Wissens-elemente sind als Pfeile dargestellt.

Der kognitive Prozess beginnt mit der Erkennung, welche Aufgaben dem Kommandanten zugewiesen sind. Dies geschieht in einem Aufgabenmodell, welches dafür Informationen über

das Arbeitsziel (Missionsauftrag), die verwendeten Arbeitsmittel (UAVs & H/C), und die Aufgabenteilung zwischen Kommandant und Pilot / Automation benötigt. Sind die Aufgaben bekannt, so kann das Assistenzsystem anhand der Handlungen des Kommandanten (z.B. Interaktionen mit HMI, Blickbewegungen, Aussagen) erkennen, auf welcher dieser Aufgaben er seine Aufmerksamkeit hat. Außerdem können bei bekannten Aufgaben die Referenzzustände für diese bestimmt werden, ggf. unter Zuhilfenahme weiterer Umgebungsinformationen. Beispiele hierfür sind, dass die Objekte in der taktischen Lage identifiziert sein müssen oder dass der H/C eine Auftragsliste haben muss, die den Missionsauftrag erfüllt und frei von Bedrohungen ist. Im nächsten Schritt werden durch einen Abgleich der Referenzzustände (Soll-Werte) mit den Ist-Werten eventuelle Handlungsbedarfe in den Aufgaben erkannt (z.B. ein markiertes Objekt muss identifiziert werden). Ist in einer Aufgabe ein Handlungsbedarf festgestellt, so wird im folgenden Schritt erkannt, ob dieser dringend ist. Hierfür werden weitere Informationen von den Arbeitsmitteln herangezogen, z.B. die Entfernung des H/C zum markierten Objekt. Die Priorisierung zur dringendsten Aufgabe geschieht mit internem Wissen gemäß Kapitel 3.1.3.1. Für die Erkennung eines Missionsrisikos aufgrund eines Handlungsbedarfs muss das Assistenzsystem einerseits den Kommandanten beobachten und einschätzen, ob er fähig ist, diese Aufgabe selbst zu bewältigen und andererseits präzisieren, ob ohne Eingriff missionskritische Ereignisse eintreten werden. Außerdem kann der Kommandant über eine Durchführungsanfrage bei einer Aufgabenvereinfachung auch direkt festlegen, dass er die Aufgabe nicht durchführt und sie vom Assistenzsystem übernommen werden soll. Die Überforderung kann ebenfalls aus einem Dialog mit dem Kommandanten hervorgehen, wenn dieser eine Unterstützung bei einer Aufmerksamkeitslenkung anfragt. Außerdem könnte eine Überforderung noch anhand der Aufgabenbelastung oder einer Beobachtung der Handlungen des Kommandanten erkannt werden.

Damit sind die wichtigsten Umweltmodelle im Rahmen der Situationsinterpretation festgestellt und das Assistenzsystem kann darauf aufbauend bestimmen, in welchen Aufgaben es eingreifen und den Kommandanten unterstützen muss. Ein zu erreichendes Ziel des Assistenzsystems könnte sein, dass der Kommandant seine Aufmerksamkeit auf der Identifikation eines markierten Objekts hat.

Im nächsten Schritt plant das System, welche Eingriffe es wirklich durchführt. Hier können Eingriffe parallelisiert oder serialisiert werden. Die Vorgehensweise orientiert sich an der Priorisierung der Eingriffsarten gemäß Kapitel 3.1.2.3. Eine Planung von mehreren Handlungsschritten zur Erreichung des Ziels findet hier nicht statt, da zuerst die Reaktion des Operateurs auf den Dialog abgewartet werden muss.

Bei der Durchführung der Eingriffe führt das Assistenzsystem Handlungen aus, die entweder an den Kommandanten oder die UAVs bzw. den H/C gerichtet sind und in Kapitel 3.1.2.2 abstrakt bzw. in Kapitel 3.1.3.1 konkret erläutert wurden. Die Handlungen bei einem Eingriff werden in der Regel alle gleichzeitig durchgeführt. Eine Ausnahme bildet hier die Aufgabenübernahme, bei der die Kommandos an die UAVs bzw. den H/C sofort gesendet werden und die Information an den Operateur ggf. zeitlich versetzt gesendet wird, bis andere laufende Dialoge beendet worden sind.

### **3.2.3 Kognitive Teilprozesse**

Die im vorigen Kapitel definierte Architektur beschreibt die prinzipielle Wissensverarbeitung des Assistenzsystems in einem kognitiven Prozess. Bei genauerer Betrachtung kann das Wissen noch einmal in verschiedene kognitive Teilprozesse unterschieden werden.

Einerseits muss ein Assistenzsystem die Kommandantenaufgaben, die es überwacht, nachbilden, um die korrekte Durchführung überprüfen zu können. Hierfür ist im Prinzip jede

Aufgabe einzeln zu modellieren. Das Wissen dafür wird im Teilprozess „Mission“ zusammengefasst. Die Verwendung einer einheitlichen Wissensbasis schafft hier den Vorteil, dass Informationen, die für mehrere Aufgaben relevant sind, nur einmal im Arbeitsspeicher abgelegt werden müssen und mehrfach genutzt oder interpretiert werden können.

Außerdem durchläuft das Assistenzsystem einen weiteren kognitiven Prozess, der die abstrakte Aufgabe der Kommandantenüberwachung nachbildet. Dieses Wissen wird im Teilprozess „Assistenz“ modelliert.

Die beiden Prozesse können getrennt voneinander betrachtet werden, sie greifen aber durch die Verflechtung des Situationswissens ineinander, um letztendlich das Verhalten zu erzeugen (vgl. Abbildung 63).

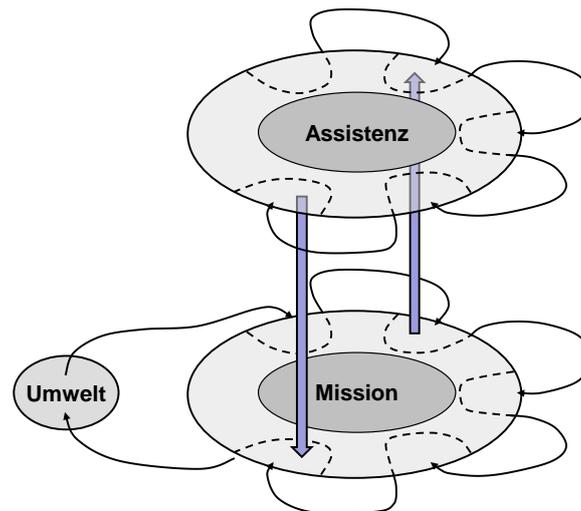


Abbildung 63 Kognitive Teilprozesse des Assistenzsystems

Die Umgebungsdaten gehen zuerst in den Prozess „Mission“ und werden dort in konkrete aufgabenrelevante Informationen interpretiert. Der hierarchisch darüber stehende Prozess „Assistenz“ baut sich daraus ein abstraktes Bild der gesamten Arbeitssituation auf. Stellt das Assistenzsystem Probleme des Kommandanten bei der Aufgabenbearbeitung fest, so plant es auf der abstrakten Ebene, wie es eingreifen kann, um die Situation zu lösen. Die Handlungen, die daraus resultieren, müssen wiederum auf die konkreten Kommandantenaufgaben bezogen sein und sind daher im Prozess „Mission“ verankert.

Im Folgenden wird für die Strukturierung der einzelnen Wissensmodelle der kognitive Prozess nach [Putzer, 2004] verwendet. Dieser unterteilt das Wissen in Umweltmodelle, Wünsche, Handlungsalternativen und Anweisungsmodelle.

### 3.2.3.1 Teilprozess „Mission“

In diesem Teilprozess sind die Wissensmodelle enthalten, welche einen direkten Zusammenhang zur multi-UAV-Führung in MUM-T Missionen haben.

#### Umweltmodelle

Die in Kapitel 3.2.1 identifizierten Wissensmodelle, die auf die benötigten Informationen des Assistenzsystems für die Ermittlung der Eingriffsauslöser abzielen, können im kognitiven Prozess als Umweltmodelle angesehen werden. Die Kommandantenaufgaben **H/C-Auftragsplanung**, **UAV-Auftragsplanung**, **UAV-Auftragsaktivierung** und **Objektidentifikation** sind dabei konkret hinterlegt. Für die Ermittlung eines **Handlungsbedarfs** in einer Aufgabe muss das Assistenzsystem außerdem ein Modell vom **Referenzzustand** der Umgebung haben, den es mit dem realen Zustand vergleichen kann. Die **Dringlichkeit** des Handlungsbedarfs stellt ein weiteres Umweltmodell dar. Alle

dringenden Aufgaben werden gegeneinander priorisiert und dabei **weniger dringende Aufgaben** bestimmt. Das Ergebnis der Priorisierung ist dann die **dringendste Aufgabe**. Außerdem sind die **Aufmerksamkeit** des Kommandanten bezüglich der Aufgaben, die **Überforderung** bezüglich der Aufgaben und das **Missionsrisiko** bezüglich der Aufgaben als Umweltmodell hinterlegt.

Die Umweltmodelle können anhand von Eingangsdaten interpretiert werden. Diese sind gemäß Abbildung 59 die **Missionsziele** und die **verbindlichen H/C Aufträge**, der **H/C** und die **UAVs** inklusive deren **Position**, die **Auftragslisten** und **-zustände** der **UAVs**, die **Auftragsliste** des **H/C** und die **taktische Lage** inklusive der von der ATR-Funktion markierten Objekte.

### Wünsche

Wünsche ziehen bei ihrer Aktivierung zu Zielen auch immer eine Handlung nach sich, mit der das Ziel erreicht werden kann. Da das Assistenzsystem die Kommandantenaufgaben nicht selbständig und unabhängig vom Kommandanten bearbeiten soll, kann der Wunsch des Assistenzsystems in diesem Prozess nicht die Erfüllung der Aufgaben sein. Stattdessen ist es Wunsch des Assistenzsystems, dass alle Umweltmodelle, insbesondere die Referenzzustände, vorhanden sind, um eventuelle Handlungsbedarfe interpretieren zu können. Außerdem müssen entsprechende Lösungen für die Aufgaben vorhanden sein. Da das Assistenzsystem selbst keinen Missionsplan mit Aufträgen für H/C und UAVs generieren kann, aber für diese Aufgabe ein Missionsplaner zur Verfügung steht, ist ein Wunsch des Assistenzsystems, einen **aktuellen Missionsplan** zu **haben**. Diesen kann es dann mit dem Missionsplan des Kommandanten abgleichen und eventuelle Handlungsbedarfe bei der Auftragsgenerierung ableiten. Außerdem kann es einen Lösungsvorschlag für die H/C Auftragsliste und für nachfolgende UAV-Aufträge anbieten. Die anderen Referenzzustände kann es sich über interne Aufgabenmodelle ableiten und muss dafür keine Handlungen durchführen. Daher sind keine weiteren Wünsche explizit zu modellieren.

### Handlungsalternativen

Die Handlungsalternativen, die in einem kognitiven Prozess abzubilden sind, hängen von den zu erreichenden Wünschen ab. Handlungen, die nicht in irgendeiner Weise den Wünschen dienen, müssen demnach nicht modelliert werden. Da das Assistenzsystem keine Missionsplanung intern durchführen kann, bleibt ihm nur die Alternative, den externen **Missionsplaner** zu **aktivieren**.

### Anweisungsmodelle

Die Handlungen, die das Assistenzsystem durchführen können muss, sind unterteilt in Handlungen für den eigenen Prozess und Handlungen für den abstrakten Prozess „Assistenz“.

Für den eigenen Prozess muss die Aktivierung des Missionsplaners durchgeführt werden. Dies erfolgt über die Generierung von Vorgaben für den Missionsplaner, wie z.B. Missionsziele und bindende H/C Aufträge. Auch die bereits vom Kommandanten eingegebenen UAV-Aufträge sind hier analog zu den H/C-Aufträgen bindend.

Für die Durchführung der Eingriffsart „Aufmerksamkeitslenkung“ muss das Assistenzsystem einerseits den Kommandanten auf die entsprechende **Aufgabe hinweisen** und ihm die **Situation präsentieren**. Die Aufgabenvereinfachung verlangt die **Präsentation einer Lösung**, die **Hilfe bei der Bedienung** und das **Konfigurieren des HMI**. Bei der Aufgabenübernahme muss das Assistenzsystem eine **Automation** an Bord der UAVs / des H/C **bzw.** eine **Maschine** (den H/C und die UAVs selbst) **anweisen** und eine **Information** über die durchgeführte Aufgabe an den Kommandanten **senden**.

Die Reaktionen des Kommandanten auf die Anweisungen bewirken eine neue Interpretation der Situation, was die Aktivierung von Zielen, die ausgewählten Handlungsalternativen und die durchgeführten Anweisungen ändern kann (Rückkopplung).

### 3.2.3.2 Teilprozess „Assistenz“

Dieses Paket enthält die abstrakten Wissensmodelle, welche für das generelle Verhalten des Assistenzsystems zuständig sind.

#### Umweltmodelle

Die in Kapitel 3.2.1 identifizierten Wissensmodelle **Aufgabe**, **Handlungsbedarf**, **Dringendste Aufgabe**, **Aufmerksamkeit**, **Überforderung** und **Missionsrisiko** stellen Umweltmodelle im kognitiven Prozess dar, auf Basis deren sich das Assistenzsystem das Situationsbild aufbaut. Sie hängen wie in Abbildung 64 dargestellt miteinander zusammen. Auf dieser Ebene werden die Umweltmodelle abstrakt betrachtet und beziehen sich auf die konkreten Aufgaben und Handlungsbedarfe im Prozess „Mission“.

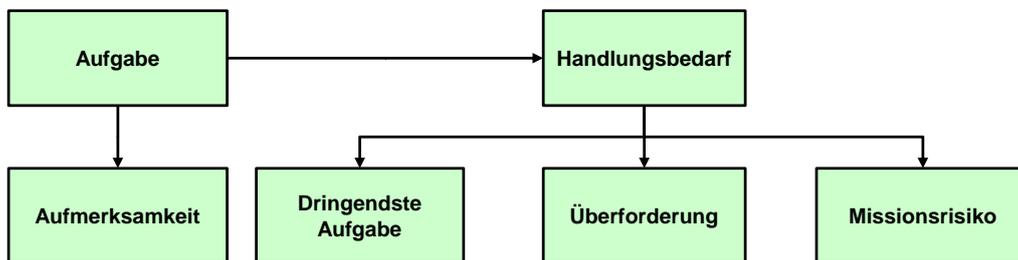


Abbildung 64 Umweltmodelle im kognitiven Teilprozess „Assistenz“

#### Wünsche

Als abstrakten Wunsch hat das Assistenzsystem, dass die Mission erfüllt wird. Dieser Wunsch wird erfüllt, wenn keiner der Eingriffsauslöser aktiviert wird bzw. der Kommandant seine Aufgaben ohne Probleme bearbeitet. Hat der Kommandant jedoch seine Aufmerksamkeit nicht auf der dringendsten Aufgabe, so wird beim Assistenzsystem der Wunsch „**Operateur bearbeitet dringendste Aufgabe**“ aktiv. In gleicher Weise aktiviert sich der Wunsch „**Operateurbeanspruchung ist ausgeglichen**“ bei einer Überforderung des Kommandanten und der Wunsch „**Es besteht kein Missionsrisiko**“, wenn ein Missionsrisiko festgestellt wird (vgl. Abbildung 65).

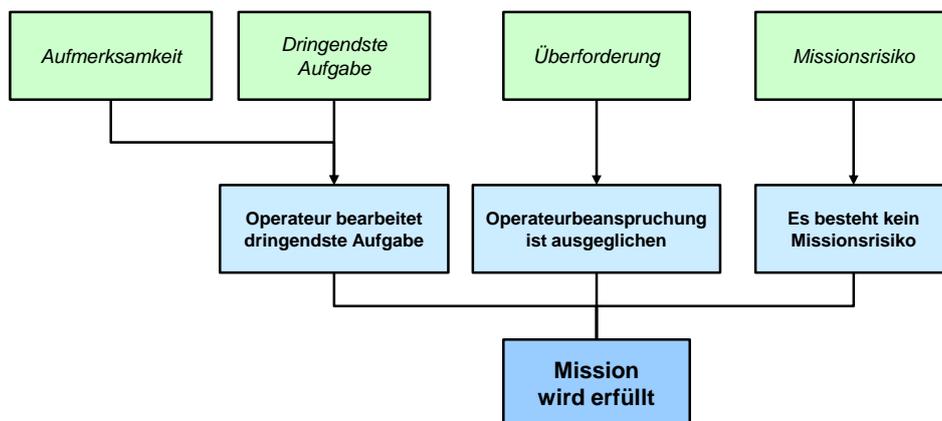


Abbildung 65 Wünsche im kognitiven Teilprozess „Assistenz“

#### Handlungsalternativen

Das Assistenzsystem hat je nach Problemstellung des Kommandanten verschiedene Alternativen für einen Eingriff. Die Wissensmodelle „Aufmerksamkeitslenkung“, „Aufgabenvereinfachung“ und „Aufgabenübernahme“ aus Kapitel 3.2.1 können direkt als

Handlungsalternativen für die zu erreichenden Ziele gesehen werden (vgl. Abbildung 66). An dieser Stelle wird auch festgelegt, ob Eingriffe parallel durchgeführt werden können (vgl. Kapitel 3.1.2.3).

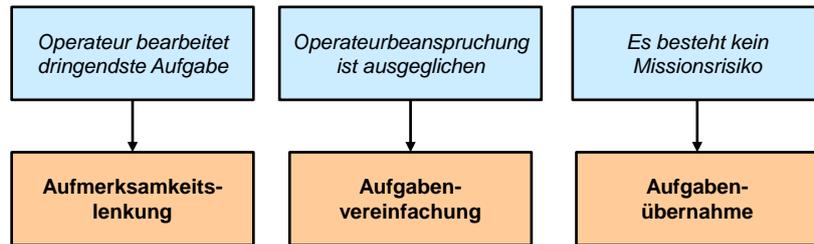


Abbildung 66 Handlungsalternativen im kognitiven Teilprozess „Assistenz“

### Anweisungsmodelle

Das Assistenzsystem kann verschiedene detaillierte Handlungen, wie z.B. Senden von Informationen oder Konfigurieren des HMI durchführen. Diese Handlungen wurden noch einmal zu den drei grundlegend unterschiedlichen Anweisungen des Assistenzsystems „**Führe Dialog**“, „**Konfiguriere HMI**“ und „**Weise Automation / Maschinen an**“ zusammengefasst (vgl. Abbildung 67), welche auch anhand der Interaktionen im Arbeitssystem erkennbar sind (vgl. Abbildung 59).

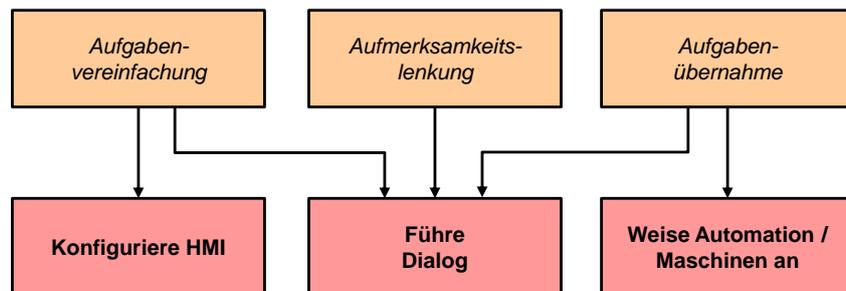


Abbildung 67 Anweisungsmodelle im kognitiven Teilprozess „Assistenz“

Die abstrakten Anweisungsmodelle werden je nach ausgewählter Handlungsalternative, für die sie verwendet werden, in die detaillierteren Anweisungsmodelle des Pakets „Mission“ zerlegt. Während die Konfiguration des HMI und das Anweisen der Automation / von Maschinen direkt umgesetzt werden kann, beinhaltet das Führen eines Dialogs den Hinweis auf die Aufgabe, das Präsentieren der Situation, das Präsentieren einer Lösung, das Helfen bei der Bedienung und das Informieren über die übernommene Aufgabe.

Durch die Definition der kognitiven Funktionsarchitektur und der kognitiven Teilprozesse wurde der zweite Teil des Konzeptes abgeschlossen, welcher die Beschreibung der internen Verarbeitung des Assistenzsystems zum Ziel hatte.

## 4 Implementierung

Im Folgenden werden die in Kapitel 3.1 definierten Funktionen und die in Kapitel 3.2 definierte kognitive Architektur in einem Funktionsprototyp integriert.

Das Kapitel beginnt mit der Präsentation der für die Implementierung verwendeten kognitiven Architektur (Kapitel 4.1). Auf dieser Basis wird das dynamische Verhalten in den kognitiven Teilprozessen modelliert (Kapitel 4.2). Abschließend wird auf die Ausführung der Benutzeroberfläche eingegangen (Kapitel 4.3).

### 4.1 Verwendete kognitive Systemarchitektur

Für das Assistenzsystem wurde im vorigen Kapitel eine kognitive Funktionsarchitektur vorgeschlagen. Daher bietet es sich an, eine Systemarchitektur zu wählen, die diese kognitive Struktur unterstützt und die Implementierung erleichtert. Eine der Anforderungen an das Assistenzsystem stellt die parallele Interpretation aller Umweltdaten sowie bei Bedarf die parallele Durchführung mehrerer Funktionen bzw. Aktionen dar. Da ACT-R die menschliche Schwäche der begrenzten Aufmerksamkeit in Form eines Flaschenhalses bei der Aktionsdurchführung und der Situationsinterpretation nachmodelliert, ist diese Systemarchitektur nicht geeignet. Bei Soar ist ein ähnlicher Flaschenhals durch die Anwendung nur eines Operators pro Zyklus vorhanden. Außerdem ist das Situationswissen bei diesen beiden Systemarchitekturen nicht strukturiert, was die Implementierung eines kognitiven Prozesses erschwert. Da die beiden Kriterien der Parallelität und der Wissensstruktur bei der kognitiven Systemarchitektur COSA erfüllt sind, wurde diese für die Implementierung gewählt.

Die Architektur COSA wurde in Kapitel 2.3.2 bereits kurz vorgestellt. Es handelt sich dabei um ein wissensbasiertes System, bei dem vom Entwickler definiertes a-priori Wissen über den Soar-Prozessor zur Laufzeit in Situationswissen übersetzt wird. Zur Programmierung des Wissens wird die deklarative *Cognitive Programming Language* (CPL) verwendet. Abbildung 68 zeigt einen beispielhaften Ausschnitt von CPL-Code, anhand dessen die wesentlichen Aspekte erläutert werden können.

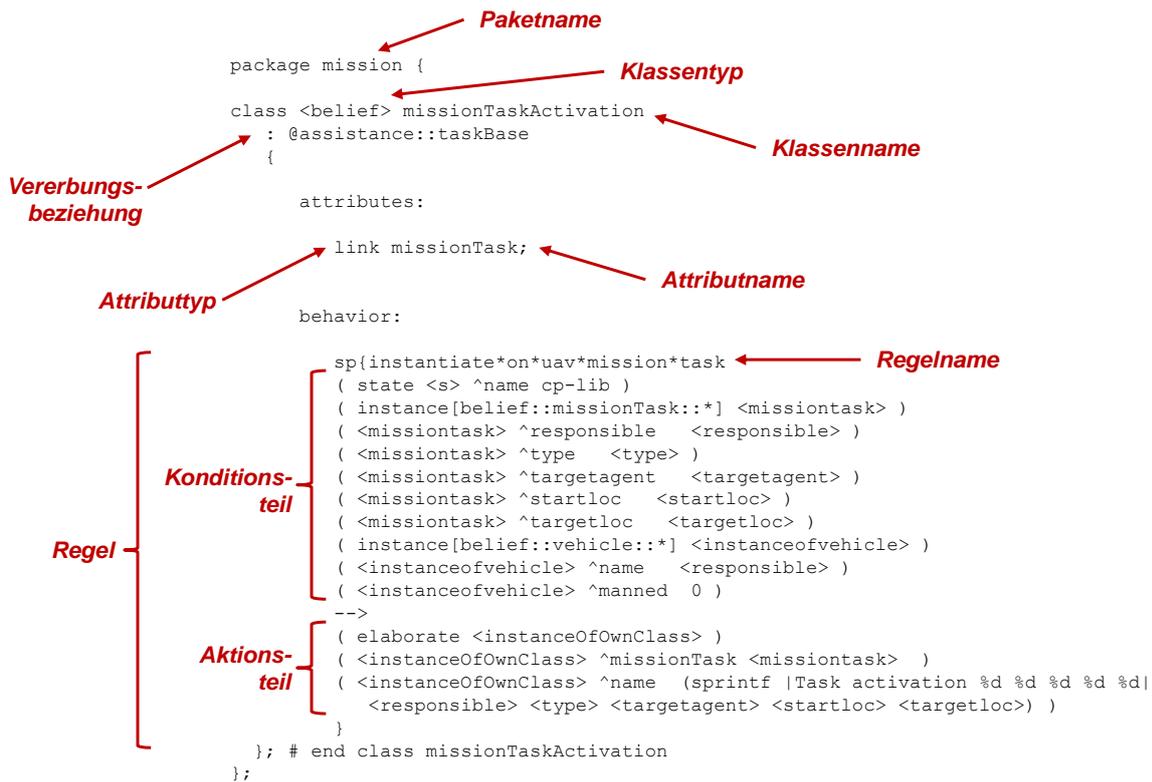


Abbildung 68 CPL-Code Beispiel

Das Wissen ist in COSA objektorientiert aufgebaut und in Pakete unterteilt, welche Klassen enthalten. Die Pakete dienen dabei der besseren Übersichtlichkeit für den Programmierer. Die Klassen können von vier Typen sein, welche die unterschiedlichen a-priori Wissenstypen aus dem kognitiven Prozess (Umweltmodelle, Wünsche, Handlungsalternativen, Anweisungsmodelle) repräsentieren. Außerdem können Vererbungsbeziehungen zu anderen Klassen hergestellt werden.

Jede Klasse besitzt eigene Attribute, welche vom Typ *string*, *int*, *bool*, *real* oder *link* sein können. Attribute vom Typ *link* verweisen dabei auf andere Klassen. Das Verhalten der Klassen wird deklarativ über Regeln bestimmt. Eine Regel besteht dabei aus einem Konditions- und einem Aktionsteil. Im Konditionsteil wird geprüft, ob bestimmte Klassen im Situationswissen instanziiert sind und deren Attribute entsprechende Werte haben. Außerdem können Daten am Inputlink, der auch Teil des Situationswissens ist, abgefragt werden. Im Aktionsteil kann sich eine Klasse selbst instanziiieren und ihre Attribute ändern. Hier können auch Daten auf den Outputlink gelegt werden, um Aktionen durchzuführen.

Das Wissen kann entweder direkt in CPL programmiert oder wie in dieser Arbeit mithilfe des Entwicklungstools *Cognitive Modelling Language* (CML) [Meitinger et al., 2009] modelliert werden. Mit CML werden die Pakete, Klassen und deren Attribute sowie deren Verhalten grafisch, z.B. in einer Baumstruktur (vgl. Abbildung 69), modelliert und im Anschluss mithilfe einer automatisierten Codegenerierung in CPL-Code umgesetzt. Im Vergleich zu einer direkten Programmierung in CPL, welche vom Entwickler ein hohes Maß an Disziplin bei der Erstellung der Ontologie und Anwendung der Syntax verlangt, ermöglicht CML eine übersichtliche und fehlerrobustere Wissensmodellierung. CML ist als Plugin für die Entwicklungsumgebung Eclipse angelegt, so dass außerdem eine Projektverwaltung möglich ist.

Da sich CML zum Zeitpunkt der Arbeit noch im Aufbau befand, wurde im Rahmen der Wissensmodellierung die Mächtigkeit des Tools noch erheblich erweitert, so dass ähnliche Möglichkeiten wie bei einer direkten Programmierung in CPL gegeben sind.

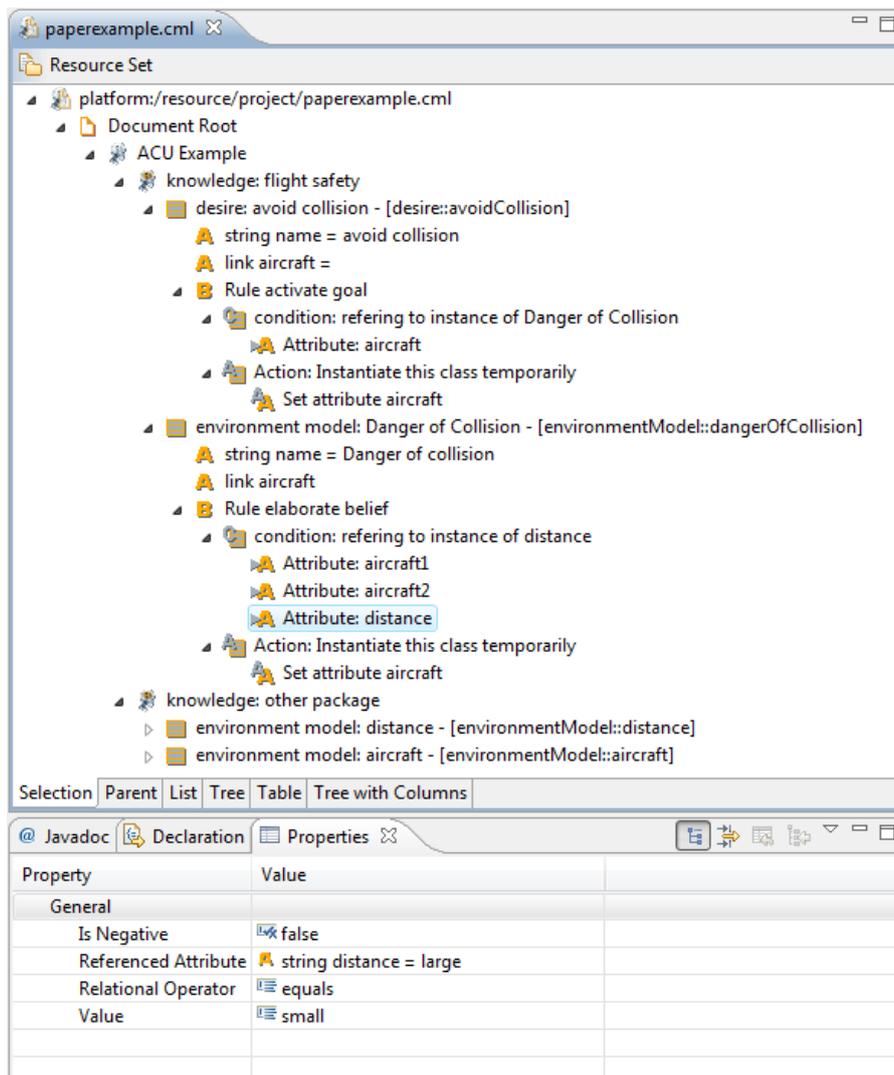


Abbildung 69 CML-Editor zur Wissensmodellierung [Meitinger et al., 2009]

## 4.2 Wissensmodellierung

Die Modellierung des internen Assistenzsystemwissens schließt an die Definition der unterschiedlichen kognitiven Teilprozesse aus Kapitel 3.2.3 an. Analog hierzu wurde ein Wissenspaket „Mission“ sowie ein Wissenspaket „Assistenz“ implementiert. Der Zustand der Umwelt ist zudem im Paket „Input“ repräsentiert. Außerdem wurde ein weiteres Paket „Operateurinteraktion“ implementiert, welches über das Dialogsystem die Interaktion mit dem Kommandanten steuert. Um das Gesamtverhalten zu erzeugen, wurden insgesamt 61 Klassen mit 252 Regeln modelliert, welche sich wie in Tabelle 15 dargestellt auf die verschiedenen Pakete aufteilen.

Tabelle 15 Anzahl der Klassen und Regeln in den Paketen

Paket	Klassen	Regeln
<b>Input</b>	15	53
<b>Mission</b>	22	159
<b>Assistance</b>	18	21
<b>Operator Interaction</b>	6	19
$\Sigma$	61	252

Nachdem in Kapitel 3.2.3 bereits die statische Wissensstruktur beschrieben wurde, konzentriert sich die folgende Beschreibung auf das wesentliche dynamische Verhalten der Wissensmodelle. Die verschiedenen Wissenstypen des kognitiven Prozesses werden dabei wie in Abbildung 70 ersichtlich farblich kodiert. Gestrichelte Kästen stellen Klassen des a-priori-Wissens dar, während deren Instanzen im Situationswissen mit durchgezogenen Linien dargestellt werden. Die spezifischen Attribute der Instanzen werden außerdem unter dem Namen der Instanz angezeigt.

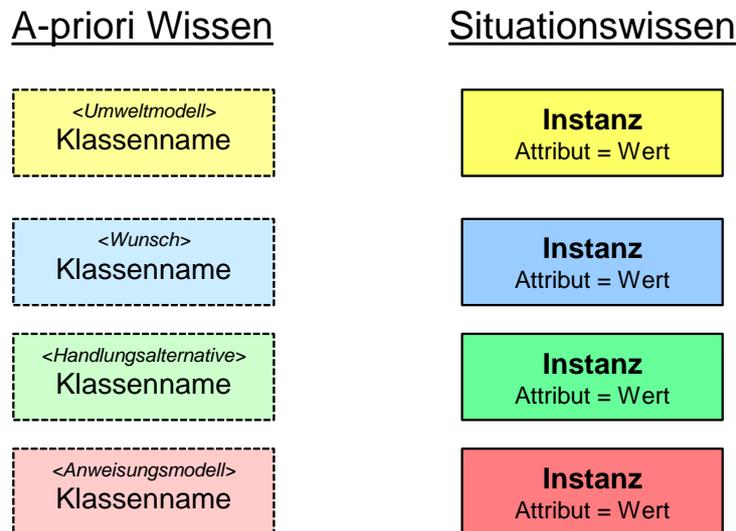


Abbildung 70 Darstellungsweise der kognitiven Wissenstypen

Zwischen den Wissensmodellen können bestimmte Beziehungen bestehen (vgl. Abbildung 71), die in einer UML-ähnlichen Syntax dargestellt werden. Klassen können von anderen generelleren Klassen abgeleitet werden, was durch einen nicht ausgefüllten Pfeil dargestellt wird. Die Zugehörigkeit von Instanzen zu deren Klassen wird durch eine gestrichelte Linie dargestellt. Zuletzt können Instanzen auch auf andere Instanzen verweisen, was durch einen ausgefüllten Pfeil dargestellt wird.



Abbildung 71 Darstellung von Beziehungen zwischen Klassen bzw. Objekten

Für die Erläuterung des dynamischen Verhaltens der Wissensmodelle wurde als durchgehendes Beispiel eine Aufmerksamkeitslenkung auf die Aufgabe „UAV-Auftragsaktivierung“ gewählt.

#### 4.2.1 Analyse Handlungsbedarf

Einer der ersten Schritte im kognitiven Prozess ist die Analyse der momentanen Situation und die Feststellung, in welchen Aufgaben der Kommandant handeln sollte (vgl. Abbildung 72).

Für die Feststellung, welche Aufgaben im Arbeitssystem generell zu erledigen sind, wird wie bereits erwähnt Wissen über das Arbeitsziel, die Arbeitsmittel und die Aufgabenteilung benötigt. Da im Beispiel das Wissen über die Umwelt ein `Vehicle` mit dem Namen `'UAV2'` enthält und dieses einen Auftrag (`MissionTask`) hat, gibt es die Aufgabe, diesen Auftrag zur Durchführung zu aktivieren (`MissionTaskActivation`). Im Paket „Assistance“ ist eine Basisklasse für Aufgaben (`TaskBase`) definiert, welche u.a. die Attribute `AssignedTo` und `InterventionAllowed` vererbt. Von dieser Klasse leiten sich alle Kommandantenaufgaben ab. Der Abgleich des Auftragsstatus mit dem entsprechenden vom Missionsplaner erzeugten Auftrag (`PlannerMissionTask`) ergibt,

dass der Auftrag bald durchgeführt werden muss ( $TimeToExec=Approaching$ ), aber noch nicht wird ( $Status=Queued$ ). Da die Aktivierung des Auftrags im Verantwortungsbereich des Kommandanten liegt ( $AssignedTo=Operator$ ), muss er eine Handlung durchführen ( $NeedForAction$ ). Für die Handlungsbedarfe wird im Paket „Assistance“ wieder eine Basisklasse mit einem Link auf die entsprechende Aufgabe und anderen allgemeingültigen Attributen zur Verfügung gestellt (NFABase).

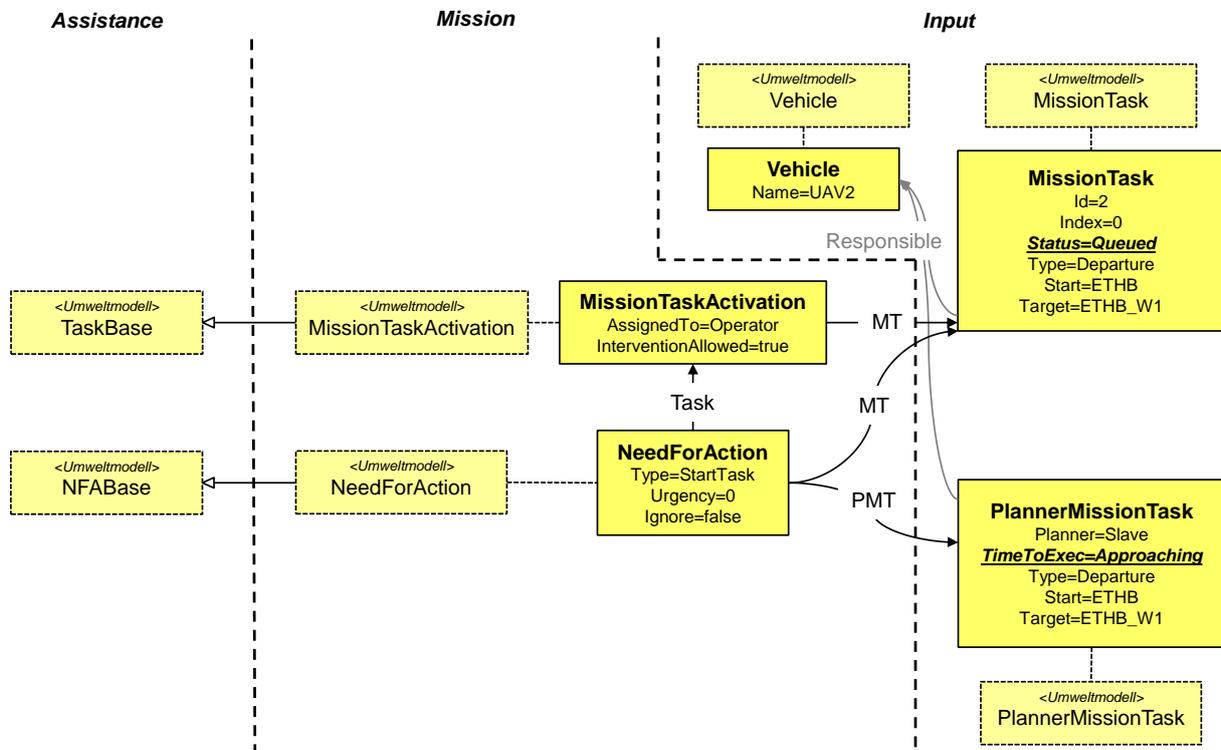


Abbildung 72 Wissensmodellierung zum Feststellen eines Handlungsbedarfs

#### 4.2.2 Analyse Eingriffsbedarf

Das Vorhandensein eines Handlungsbedarfs bedingt noch nicht sofort einen Eingriff des Assistenzsystems, da der Operateur die Aufgabe auch ohne zusätzliche Hilfe erledigen könnte. Für eine Aufmerksamkeitslenkung muss in weiteren Schritten festgestellt werden, dass der Handlungsbedarf die Aufgabe zur dringendsten macht und der Kommandant diese nicht bearbeitet (vgl. Abbildung 73).

Rückt der Zeitpunkt der Auftragsausführung näher ( $TimeToExec=Close$ ) und wird diese noch nicht durchgeführt ( $Status=Queued$ ), so wird der Handlungsbedarf dringend ( $Urgency=2$ ). Gibt es weitere dringende Handlungsbedarfe ( $NeedForAction$ ) für den Kommandanten, so wird gemäß Kapitel 3.1.3.1 bestimmt, welche Handlungsbedarfe weniger dringend sind ( $LessUrgentNFA$ ), bis nur noch ein dringendster Handlungsbedarf übrig bleibt ( $MostUrgentNFA$ ). Parallel hierzu wird permanent festgestellt, an welcher Aufgabe der Kommandant gerade tatsächlich arbeitet ( $ActualTask$ ). Auch hierfür gibt es eine Basisklasse im Paket „Assistenz“ ( $ActualTaskBase$ ). Wenn der Kommandant wie in diesem Beispiel nicht an der dringendsten Aufgabe, sondern an einer anderen ( $OtherTask$ ) bzw. gar keiner Aufgabe arbeitet, so instanziiert sich im Assistenzsystem der Wunsch, dass der Kommandant die dringendste Aufgabe bearbeitet ( $OpMindsMUNFA$ ). Die Instanz des Wunschs verweist dabei auf den Handlungsbedarf.

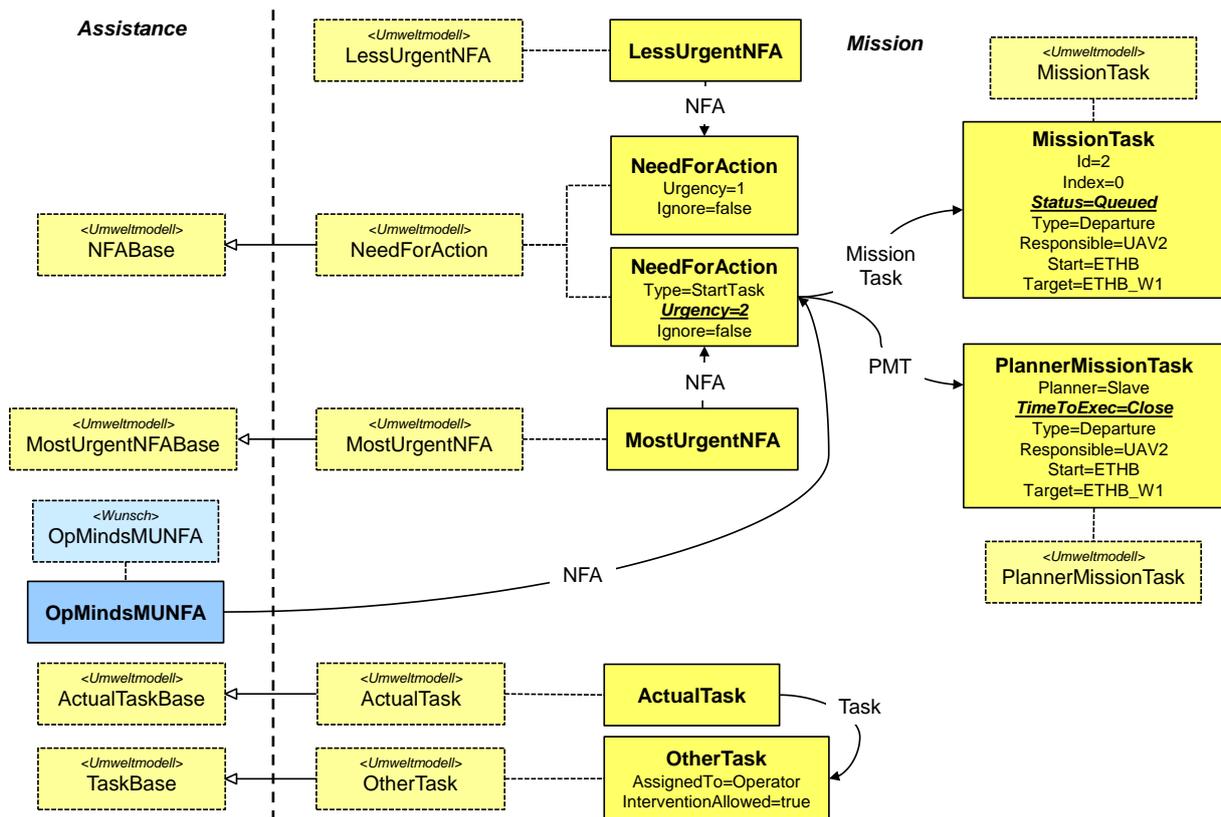


Abbildung 73 Wissensmodellierung zur Feststellung eines Eingriffsbedarfs des Assistenzsystems

### 4.2.3 Eingriffsentscheidung

Das Assistenzsystem kann neben diesem einen Wunsch noch weitere Wünsche verfolgen. Da die zur Auswahl stehenden Handlungsalternativen allerdings immer nur einen Wunsch erfüllen können, müssen die Wünsche, wie in Kapitel 3.1.2.3 definiert, priorisiert werden.

In diesem Beispiel gibt es noch eine Instanz des Wunsches „Beanspruchung des Operators ist ausgeglichen“ (vgl. Abbildung 74). Da dieser Wunsch allerdings niedriger priorisiert ist, wird entschieden, die Aufmerksamkeit des Kommandanten zu lenken (DirectAttention). Neben dieser Handlungsalternative gibt es noch Klassen zur Aufgabenvereinfachung (EaseTask) und Aufgabenübernahme (ReallocateTask), welche alle von der Klasse GeneralAction abgeleitet sind. Die Basisklasse definiert die Verlinkung zum entsprechenden Wunsch und den Status der Durchführung der Handlungsalternative für die Ablaufsteuerung (State=init). Im Vergleich zum Konzeptkapitel, in dem die Handlungen des Assistenzsystems noch in „Dialog führen“, „HMI konfigurieren“ und „Automation / Maschine anweisen“ unterteilt wurden, findet bei der Implementierung eine andere Unterteilung statt. Das Führen von Dialogen besteht technisch aus verbalen Nachrichten an den Operateur und Hervorheben von Elementen auf dem HMI. Während das Senden von verbalen Nachrichten als ein Anweisungsmodell modelliert wird (SendMessageBase), wird das Hervorheben von Elementen auf dem HMI, das Konfigurieren des HMI und die Anweisungen an die Automation / Maschine unter dem Anweisungsmodell InstructOSMBase zusammengefasst, da sich die Kommandostruktur ähnelt. Die beiden Anweisungen sind mit dem Handlungsbedarf verlinkt, um der Aufgabe entsprechende Ausgaben des Assistenzsystems zu ermöglichen.

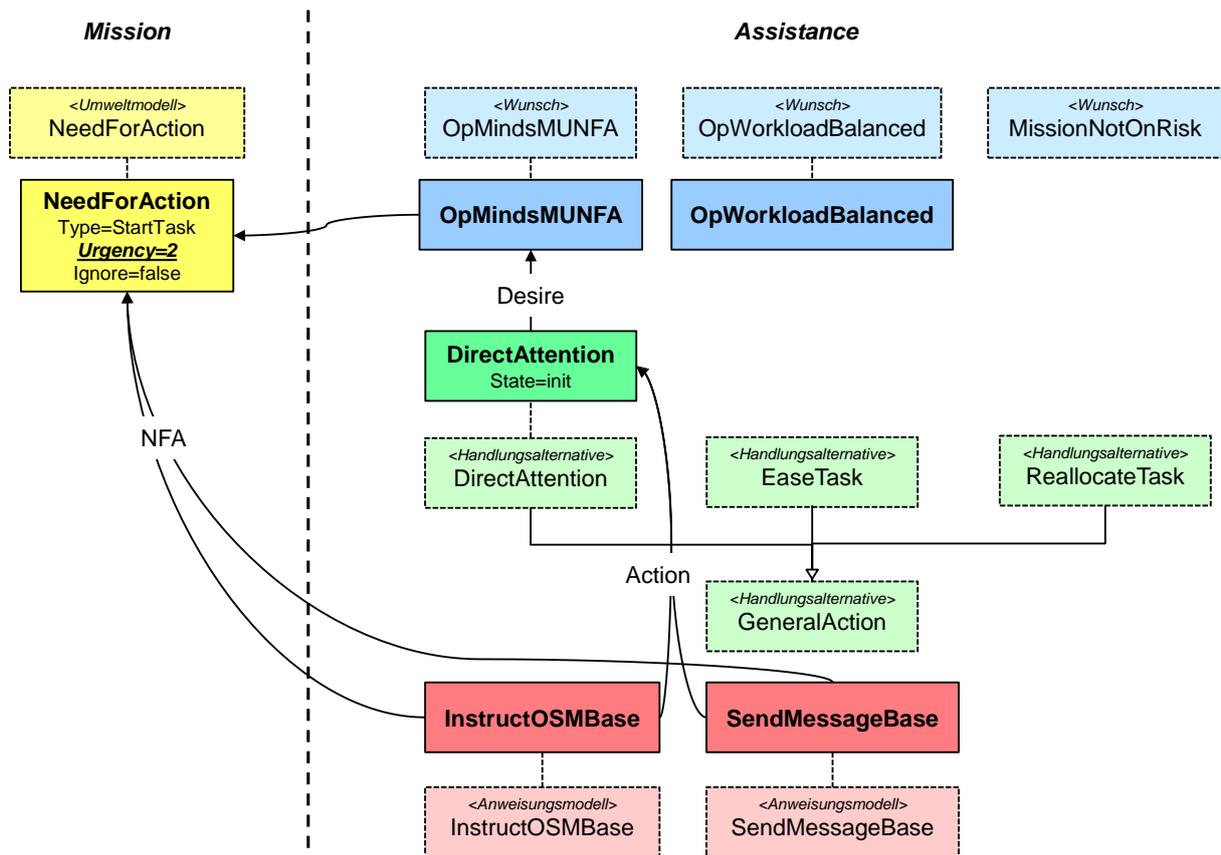


Abbildung 74 Wissensmodellierung bei der Eingriffsentscheidung

#### 4.2.4 Senden einer Nachricht

Die Erläuterung der Anweisungen geht zuerst auf das Senden von verbalen Nachrichten ein (vgl. Abbildung 75). Dafür muss im Paket „Assistance“ die Klasse `SendMessageBase` instanziiert sein und dabei Eingriffsart sowie konkreten Handlungsbedarf spezifizieren. Gibt es einen Handlungsbedarf in einer Aufgabe, so kann das Assistenzsystem im Paket „Mission“ Nachrichten an den Operator für die verschiedenen Eingriffsarten vorbereiten (`MessageToOp`, `Type=DirectAttention`). Falls das Assistenzsystem die Entscheidung trifft, in dieser Aufgabe einzugreifen, so wird die entsprechende Nachricht in das Paket „Operator Interaction“ in die Instanz `MessageBase` kopiert. Nun kann das System dem Operator die Nachricht auf verschiedene Arten mitteilen. Es stehen Anweisungsmodelle für visuelle (`ControlDialogBox`) und für auditive Nachrichten (`GenerateSpeech`) zur Verfügung, welche beide vom Modell `SendMessageBase` abgeleitet sind. Das Anweisungsmodell `GenerateSpeech` bewirkt die Ansteuerung eines Sprachsynthesystems über den Output Link. Das Anweisungsmodell `ControlDialogBox` ist dafür zuständig, die Nachricht auf der Anzeige darzustellen (`Cmd=ShowMessage`) und auch wieder auszublenden. Hier werden außerdem entsprechende Buttons (`Button1=Proposal`, `Button2=Reject`) als Reaktionsmöglichkeit für den Operator dargestellt. Im momentanen Entwicklungsstand werden diese beiden Möglichkeiten immer parallel durchgeführt. Allerdings wäre auch eine Auswahl der jeweils am besten passenden Modalität denkbar. Hierfür sei z.B. auf [Strenzke et al., 2010] verwiesen.

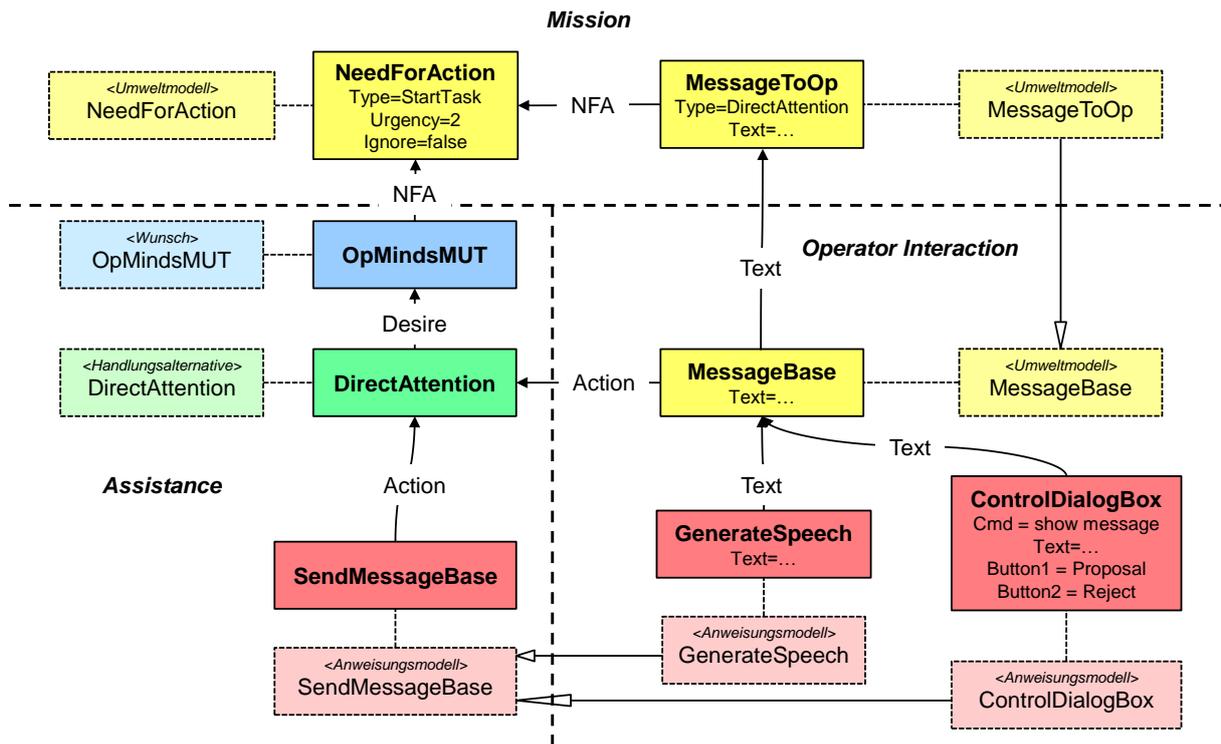


Abbildung 75 Wissensmodellierung zum Senden einer Nachricht

#### 4.2.5 Reaktion des Operators

Die Nachrichten auf der Anzeige beinhalten auch die Möglichkeit für den Operator, mit Buttons auf die Eingriffe zu reagieren. Eine Reaktion per Spracheingabe wurde in diesem Fall nicht realisiert, wäre aber problemlos denkbar. Die Arbeitsweise der Wissensmodelle würde dadurch nicht beeinflusst werden (vgl. Abbildung 76).

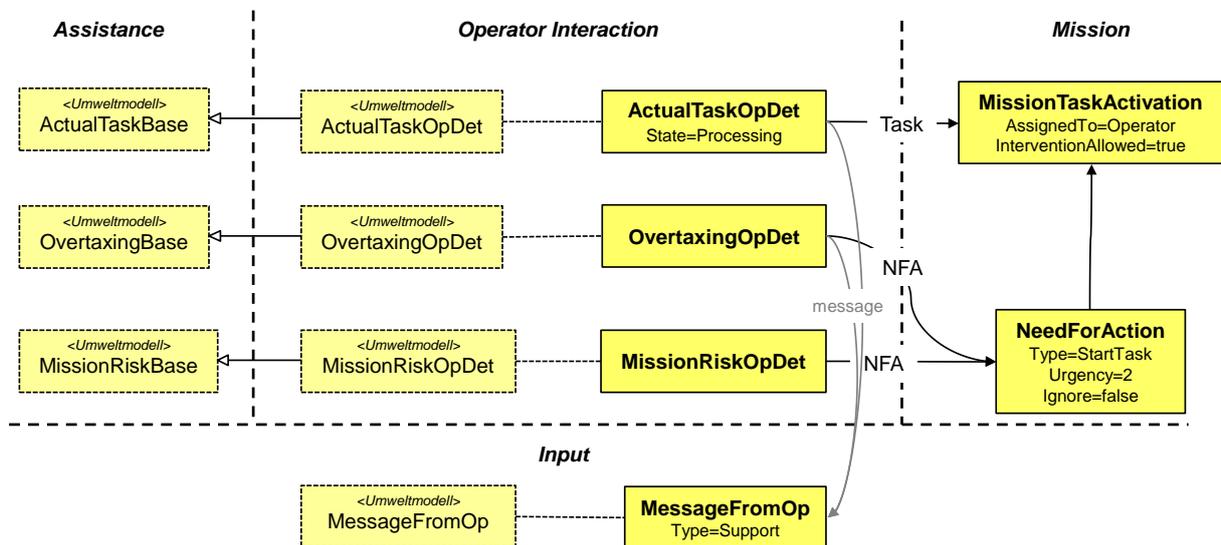


Abbildung 76 Wissensmodellierung von Operateurreaktionen

Die Reaktionen des Operators werden hier nicht nachrangig über die Anwendungsmodelle behandelt, sondern sie beeinflussen wieder die Situationsinterpretation des Assistenzsystems und somit den gesamten kognitiven Prozess. Demnach können durch Reaktionen des Operators auch neue Ziele und Handlungsalternativen ausgewählt werden. In diesem Beispiel gelangt eine Nachricht (**MessageFromOp**) mit einer Unterstützungsanfrage (Type=Support) in das Situationswissen. Dadurch teilt der Operator dem

Assistenzsystem mit, dass er die Aufgabe, auf das ihn das System hingewiesen hat, bearbeitet und dabei überfordert ist. Klassen zur Repräsentation z.B. der aktuellen Aufgabe des Operators finden sich nicht nur im Paket „Mission“, sondern auch im Paket „Operator Interaction“. In diesem Fall erstellt das Assistenzsystem Instanzen der Klassen `ActualTaskOpDet` und `OvertaxingOpDet`, welche auf die entsprechende Aufgabe bzw. den Handlungsbedarf in dieser Aufgabe verweisen. Dies bewirkt, dass statt dem Wunsch `OpMindsMUT` der Wunsch `OpWorkloadBalanced` instanziiert wird und die Handlungsalternative `EaseTask` ausgewählt wird bzw. eine Aufgabenvereinfachung durchgeführt wird. Entsprechend teilt der Operateur durch den Button `Execute` dem Assistenzsystem mit, dass er die Aufgabe nicht selbst erfüllen kann, wodurch eine Instanz von `MissionRiskOpDet` erstellt wird. Dies bewirkt im Anschluss eine Aufgabenübernahme. Schließlich kann der Operateur über den `Ignore`-Button noch bewirken, dass bei dem entsprechenden Handlungsbedarf das Flag `Ignore` auf `true` gesetzt wird, so dass keine weiteren Eingriffe des Assistenzsystems bezüglich dieses Handlungsbedarfs erfolgen.

#### **4.2.6 Kommando an die OSM**

Neben den Nachrichten an den Operateur muss das Assistenzsystem wie in Kapitel 4.2.3 beschrieben auch die übrigen OSMs auf unterschiedliche Arten anweisen können (vgl. Abbildung 77).

Wurde im Paket „Assistance“ das Anweisungsmodell `InstructOSMBase` instanziiert, so bewirkt dies die Instanziierung der Kindklasse `InstructOSM` im Paket „Mission“. Für jede Anweisung, die durchgeführt werden soll, wird die Klasse einmal instanziiert. Die Art des Kommandos wird durch den Verweis auf den Handlungsbedarf bzw. die entsprechende Aufgabe bestimmt. In diesem Beispiel soll die Aufmerksamkeit des Operators auf die UAV-Auftragsaktivierung gelenkt werden. Dafür wird neben anderen Anweisungen der entsprechende Auftrag auf dem HMI hervorgehoben. Dies wird durch eine Instanz der Klasse `InstructOSM` mit dem Kommando `To=OwnShip`, `Type=HMICmd`, `HMIId=3`, `Cmd=HighlightTask` bewirkt. Die Parameter `Name=UAV2` und `TaskId=2` sind aus dem entsprechend verlinkten UAV-Auftrag bekannt.

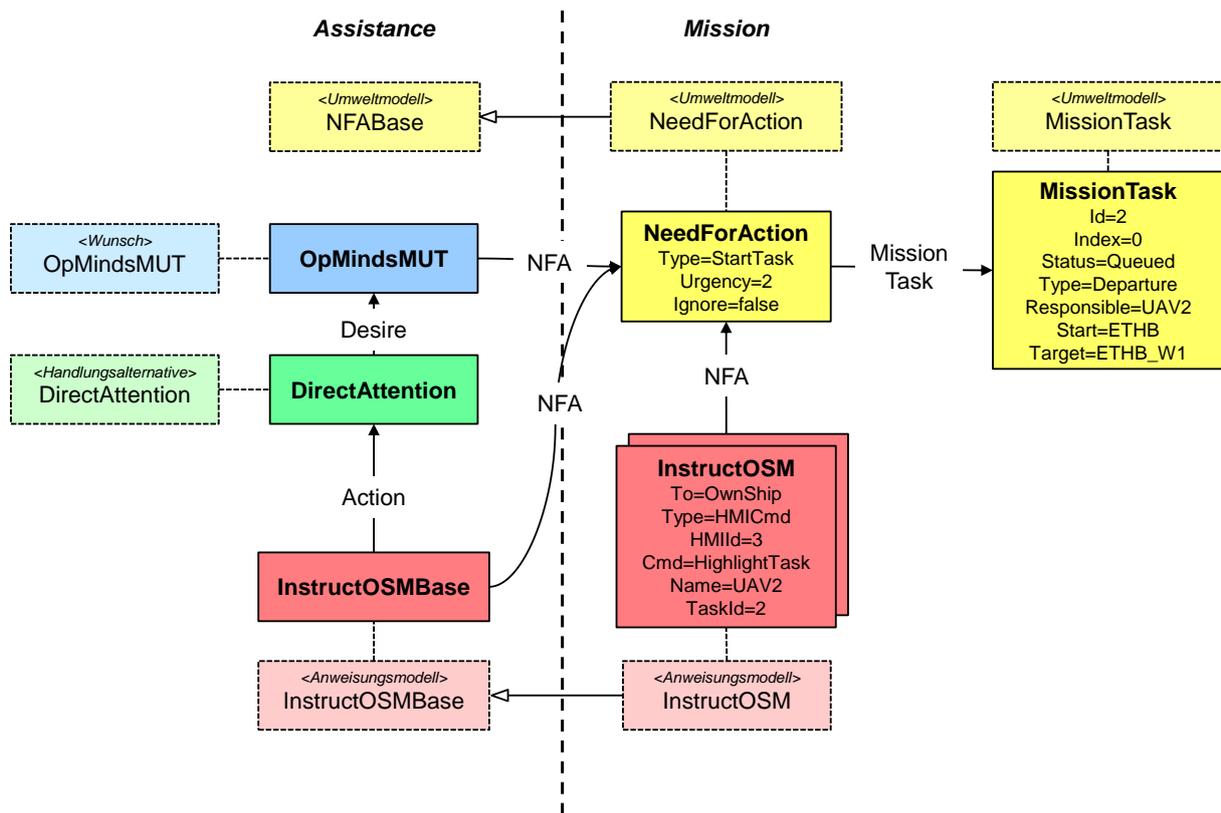


Abbildung 77 Wissensmodellierung von Kommandos an die OSM

### 4.3 Mensch-Maschine-Schnittstelle

Die Kommunikation des Kommandanten mit dem Assistenzsystem findet über ein eigenes Dialogsystem statt, welches bereits in Kapitel 3.2.2 eingeführt wurde. Das Dialogsystem unterteilt sich in verbale visuelle Kommunikation mit dem Kommandanten über ein Dialogfeld (Kapitel 4.3.1), verbale auditive Kommunikation über eine Sprachausgabe (Kapitel 4.3.2) und non-verbale visuelle Kommunikation über zusätzliche Anzeigen auf dem HMI (Kapitel 4.3.3). Die Wahl der Ausgabemodalitäten für die Assistenzsystemeingriffe ist hier statisch. Für weiterführende Arbeiten in diesem Bereich wird z.B. auf [Maiwald & Schulte, 2011] verwiesen. Hier werden abhängig von den momentan freien Ressourcen des Kommandanten adaptiv verschiedene Ausgabemodalitäten gewählt. Neben dem Dialogsystem verfügt das Assistenzsystem zusätzlich über ein Konfigurationsmenü, mit dem die selbständige Aufgabenübernahme erlaubt bzw. verboten werden kann (Kapitel 4.3.4). Außerdem wurde noch eine Entwickleroberfläche implementiert, welche für den Kommandanten allerdings nicht sichtbar ist (Kapitel 4.3.5).

#### 4.3.1 Dialogfeld

Das Assistenzsystem kommuniziert mit dem Kommandanten bei den verschiedenen Eingriffsarten über ein Dialogfeld, welches in das HMI integriert ist (vgl. Abbildung 78, oben). Auf der linken Seite des Dialogfelds kann eine mehrzeilige Nachricht an den Kommandanten dargestellt werden. Die Darstellung mehrerer paralleler Nachrichten ist nicht möglich, da dies im Konzept nicht vorgesehen ist. Auf der rechten Seite befinden sich Buttons, mit denen der Kommandant dem Assistenzsystem antworten kann. Je nach Eingriffsart sind die Buttons „Support“ zur Anfrage eines Aufgabenvereinfachung, „Accept“ zur Anfrage einer Aufgabenübernahme und „Ignore“ zur Ablehnung der Unterstützung verfügbar.

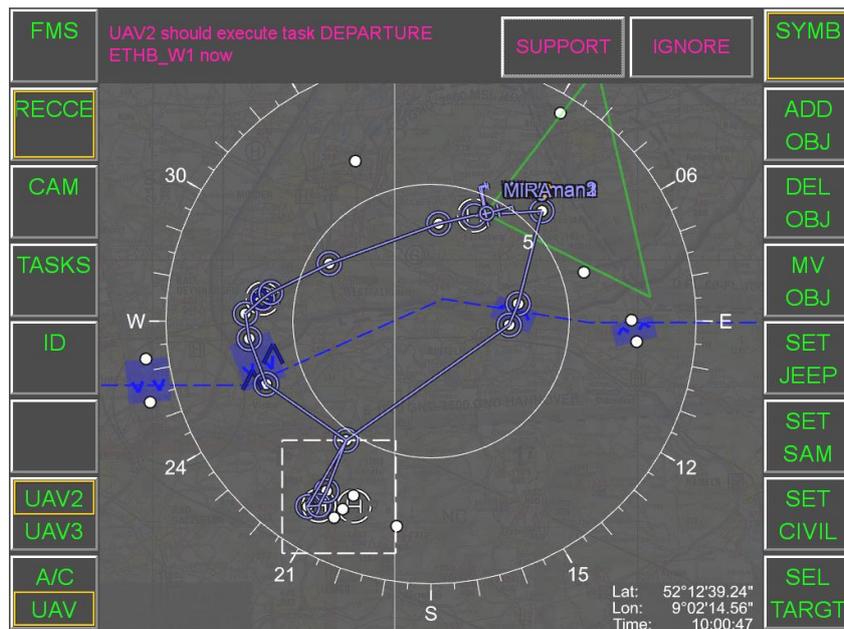


Abbildung 78 MHDD mit Dialogfeld des Assistenzsystems

### 4.3.2 Sprachausgabe

Die Nachrichten auf dem Dialogfeld werden dem Kommandanten zusätzlich auditiv über eine Sprachausgabesoftware mitgeteilt, um sicherzustellen, dass er diese auch wahrnimmt. Hierfür wurde die Bibliothek AT&T Natural Voices™ Text-to-Speech (TTS) verwendet. Die Ausgaben erfolgen auf den Kopfhörer des Kommandanten. Falls ein Kommando an die Sprachausgabe gesendet wird, während noch eine andere Ausgabe läuft, wird dieses in eine Warteschlange eingereiht, so dass es nicht zu Überschneidungen kommt.

### 4.3.3 Zusätzliche Anzeigen auf dem HMI

Neben den sprachlichen Äußerungen kann das Assistenzsystem mit dem Kommandanten auch visuell über das HMI kommunizieren. Durch grafische Einblendungen kann ein direkter Bezug zur Benutzeroberfläche hergestellt werden. Dadurch sind vom Kommandanten keine so großen Transferleistungen wie bei der verbalen Kommunikation nötig und Meldungen können schneller wahrgenommen und verstanden werden.

Eine zusätzliche Anzeige auf dem HMI stellt das Hervorheben von Objekten in der Kartenansicht durch ein rotes Fadenkreuz dar (vgl. Abbildung 79). Durch diese Anzeige kann das Assistenzsystem auf bestimmte Situationselemente hinweisen, die der Kommandant eventuell nicht registriert hat oder Bedienhilfen geben, welche Elemente der Kommandant auf dem Touchscreen anwählen soll.

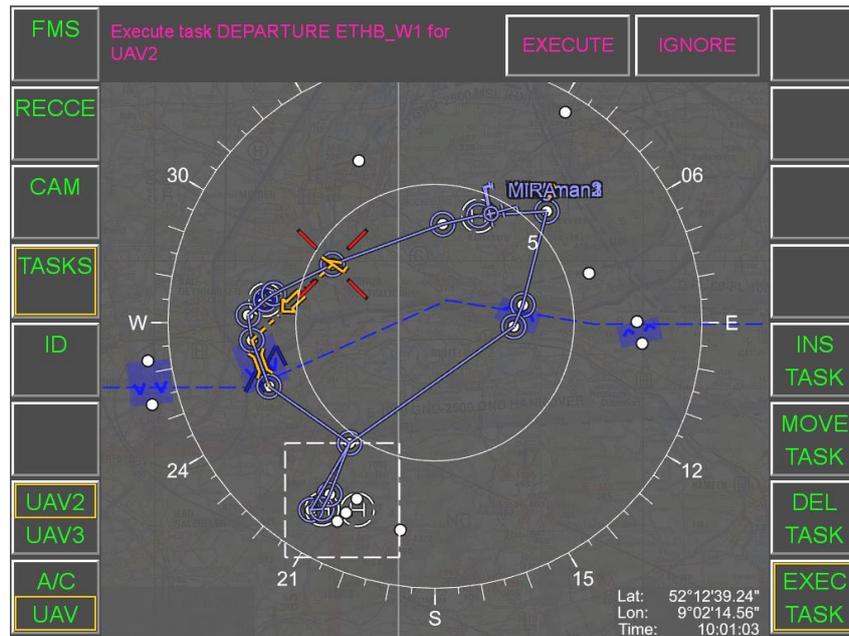


Abbildung 79 MHDD mit Hervorhebung von Elementen der Kartenansicht

Die zweite zusätzliche Anzeige auf dem HMI ist der Vorschlag von Aufträgen in der Kartenansicht durch türkis farbene Symbole (vgl. Abbildung 80). Hierdurch kann dem Operateur ein gesamter Missionsplan als Lösung bei der Aufgabenvereinfachung schnell und verständlich dargestellt werden. Außerdem ist diese Anzeige nicht nur bei der H/C Auftragsplanung, sondern auch bei der UAV-Auftragsplanung verfügbar.

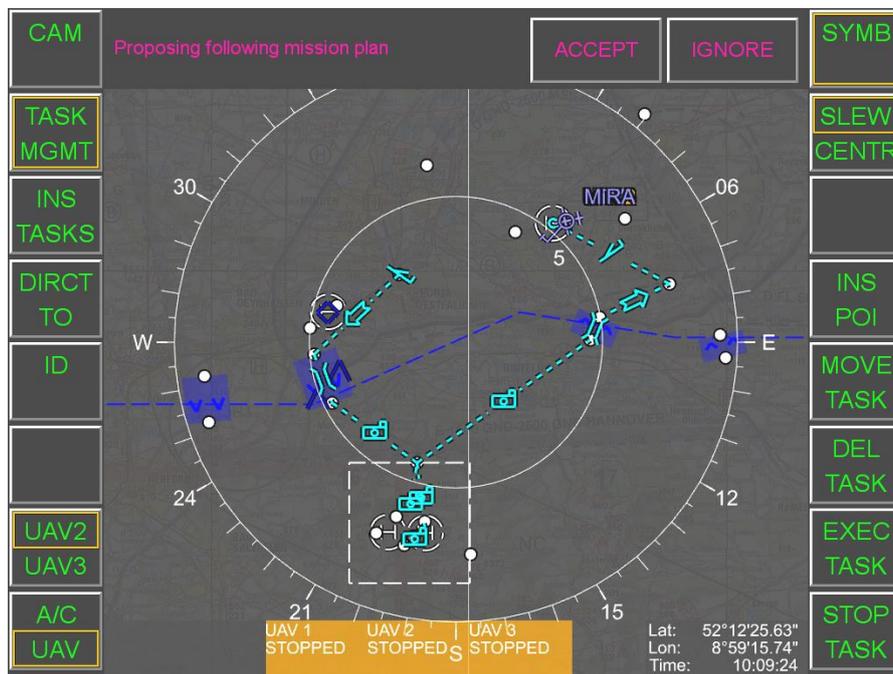


Abbildung 80 MHDD mit Anzeige von Assistenzsystemvorschlägen

#### 4.3.4 Konfigurationsmenü

Bei der Definition der generellen Assistenzfunktionen in Kapitel 3.1.2.2 und 3.1.2.4 wurde bereits angesprochen, dass der Kommandant eine Aufgabenübernahme durch das Assistenzsystem im Vorfeld verbieten können soll, um die letztendliche Autorität über seine Aufgaben zu behalten. Dies wurde mittels eines neuen Konfigurationsmenüs auf der CDU realisiert, welches in Abbildung 81 dargestellt ist.

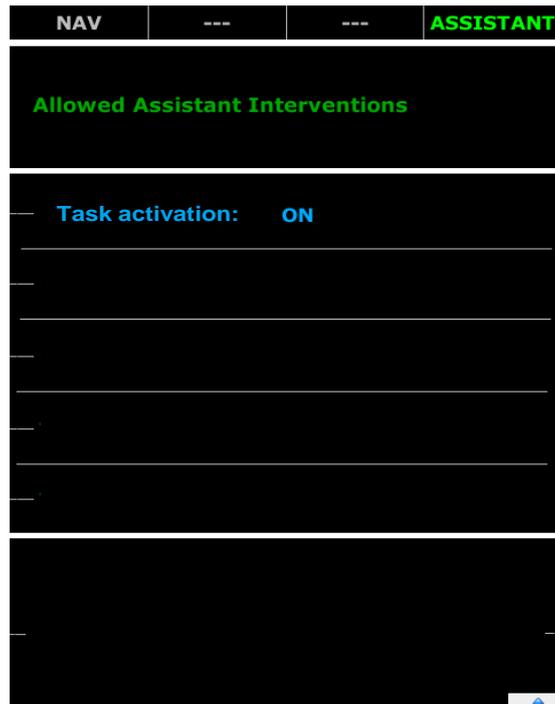


Abbildung 81 Konfigurationsmenü für die Aufgabenübernahme auf der CDU

In der Abbildung ist die Übernahme der Aufgabe „UAV-Auftragsaktivierung“ erlaubt. Mithilfe eines Softkeys links des Aufgabennamens (in der Abbildung nicht sichtbar) kann der Kommandant die Aufgabenübernahme verbieten („OFF“) bzw. wieder erlauben („ON“). Für die anderen Kommandantenaufgaben wurde an dieser Stelle keine Konfiguration vorgesehen, da in diesen keine drohenden inakzeptablen Missionskosten erkannt werden und daher auch keine eigeninititative Aufgabenübernahme durch das Assistenzsystem stattfindet (vgl. Kapitel 3.1.3.1).

#### 4.3.5 Entwickleroberfläche

Neben den Benutzerschnittstellen wurde noch eine Entwickleroberfläche programmiert, welche die wichtigsten Elemente aus dem momentanen Situationswissen des Assistenzsystems darstellt (vgl. Abbildung 82). Anhand dieser Oberfläche konnten während der Entwicklungszeit die Entscheidungen des Assistenzsystems transparent gemacht und Verhalten, welches von der Spezifikation abweicht, schneller identifiziert werden.

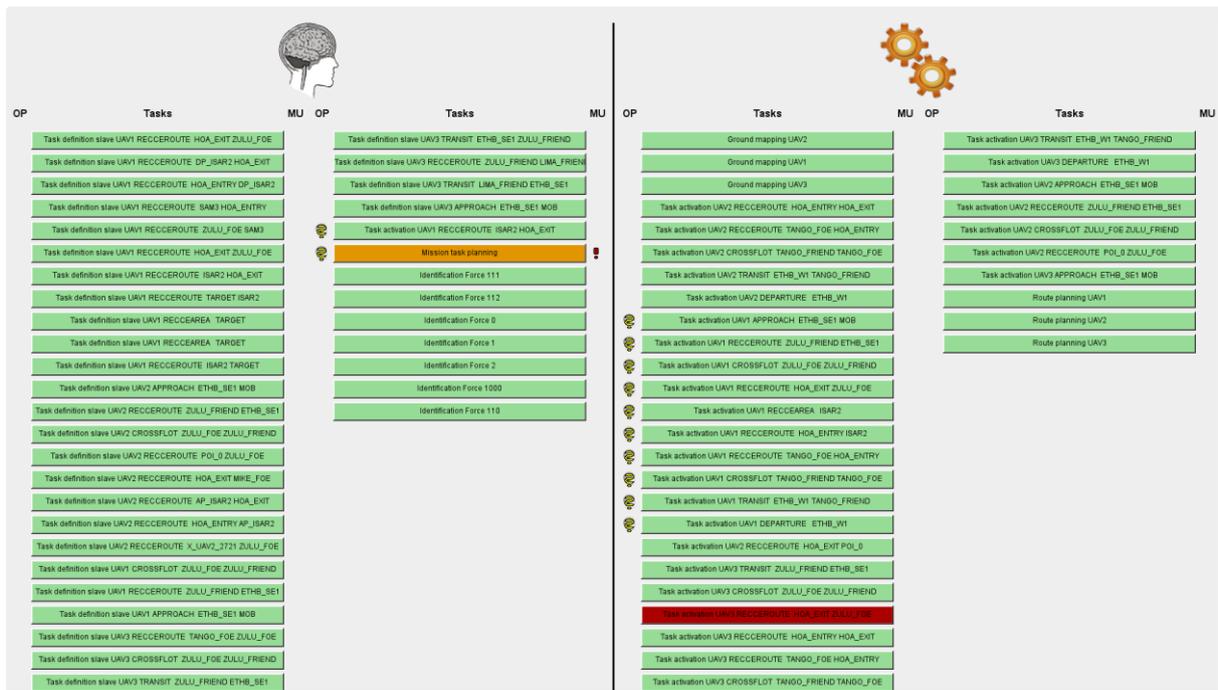


Abbildung 82 Entwickleroberfläche für das Assistenzsystem

Auf der Oberfläche werden prinzipiell die Aufgaben des Kommandanten und deren Status aus Sicht des Assistenzsystems dargestellt. Sind beispielsweise in der taktischen Lage mehrere Objekte vorhanden, so stellt deren Identifikation jedes Mal eine eigene Aufgabe desselben Aufgabentyps Objektidentifikation dar (Identification Force 1, Identification Force 2...). Auf der linken Seite befinden sich Aufgaben, für deren Durchführung der Kommandant zuständig ist, auf der rechten Seite finden sich Aufgaben, welche der Kommandant an Automationsfunktionen abgegeben hat. In diesem Fall sind z.B. die Objekte stets durch den Kommandanten zu identifizieren, während die Routenplanung der UAVs in der auftragsbasierten Führung automatisiert ist. Ist eine Aufgabe grün eingefärbt, so ist in dieser Aufgabe aktuell kein Handlungsbedarf. Wechselt die Farbe auf gelb, so besteht in dieser Aufgabe ein Handlungsbedarf. Eine orangene Färbung bedeutet, dass die Aufgabe dringend zu bearbeiten ist. Die rote Färbung bedeutet, dass in dieser Aufgabe ein Missionsrisiko besteht. In diesem Beispiel, muss ein Auftrag von UAV3 abgebrochen werden, da dieses ansonsten in die Waffenreichweite eine Luftabwehrstellung fliegt. Sind mehrere dringende Handlungsbedarfe vorhanden, so zeigt das rote Ausrufezeichen rechts neben der Aufgabe an, welche Aufgabe momentan die dringendste ist. Ein Kopfsymbol links neben einer Aufgabe zeigt an, dass der Operator diese Aufgabe momentan bearbeitet. Ist vor dem Kopf zusätzlich ein gelbes Fragezeichen dargestellt, so bedeutet das, dass der Operator bei dieser Aufgabe überfordert ist.

#### 4.4 Technische Schnittstellen

Das in COSA modellierte Wissen des Assistenzsystems wurde über die CORBA-Middleware MiCO [Puder & Römer, 2000] in die Simulationsumgebung integriert. Dabei verfügt jede Schnittstelle über einen Server, auf dem Daten zwischengespeichert und wieder abgeholt werden können. Grundsätzlich sind zwei verschiedene Schnittstellentypen vorgesehen: Datakeys und Queues.

Bei Datakeys (vgl. Abbildung 83, links) schreibt **ein** Modul Daten in den Server, welche dann von **beliebig** vielen Modulen ausgelesen werden können. Dieser Servertyp eignet sich für die Anzeige des Status von Modulen. Der letzte Eintrag wird immer durch den neueren ersetzt.

Bei Queues (vgl. Abbildung 83, rechts) hingegen können **beliebig** viele Module Daten auf den Server schreiben, welche dort in einer FIFO-Queue als einzelne Einträge gespeichert werden. Die Daten können allerdings nur von **einem** Modul ausgelesen werden. Dieser Servertyp eignet sich für das Versenden von Kommandos an Module, bei denen kein Kommando überschrieben werden soll.



Abbildung 83 Symbol für einen Datakey (links) und eine Queue (rechts)

In Abbildung 84 sind die Schnittstellen des Assistenzsystems dargestellt. Auf der linken Seite befinden sich die Eingangs- und auf der rechten Seite die Ausgangsschnittstellen.

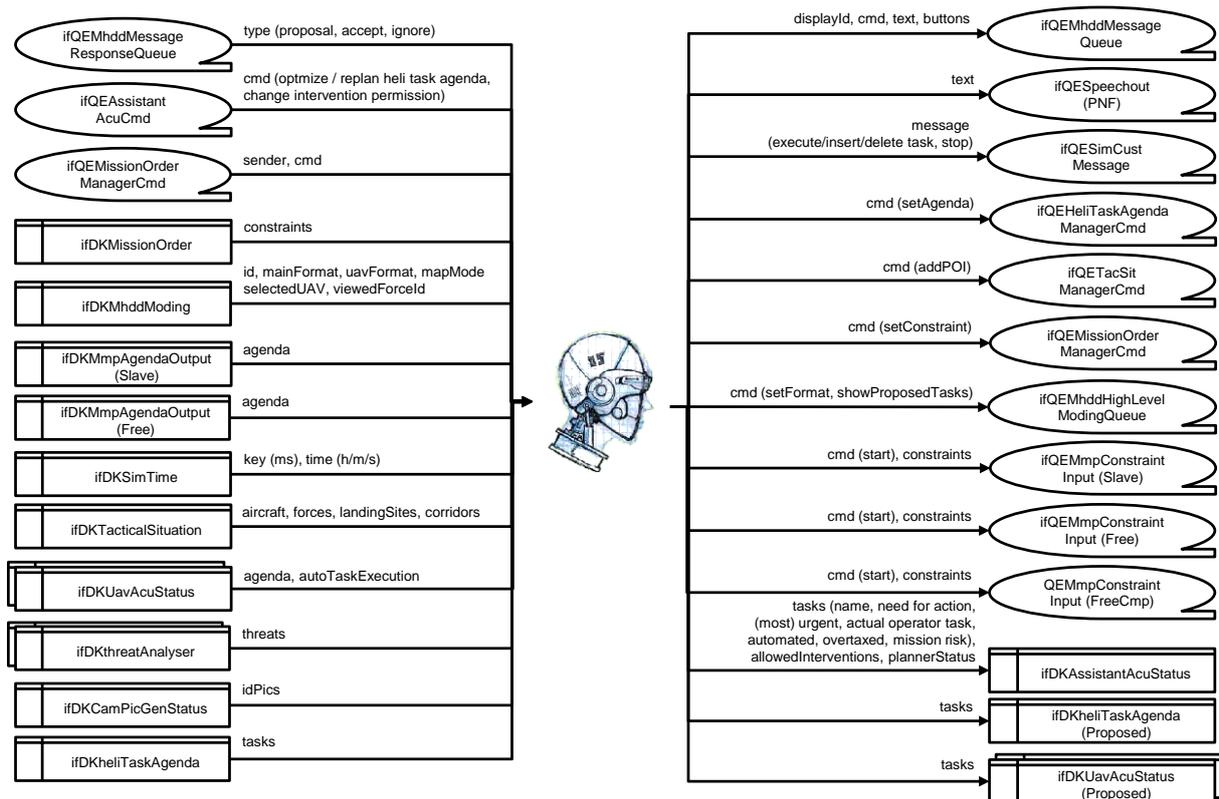


Abbildung 84 Technische Schnittstellen des Assistenzsystems

Auf der Eingangsseite empfängt das Assistenzsystem über die *MHDDMessageResponseQueue* vom Kommandanten Anfragen bezüglich der Assistenzfunktionen (vgl. Kapitel 4.3.1). Über die *AssistantAcuCmdQueue* kann der Kommandant noch zusätzlich die Erlaubnis zur Aufgabenübernahme für einzelne Aufgaben steuern. Da das Assistenzsystem außerdem den Missionsplaner steuert, empfängt es auch die Kommandos zum optimieren bzw. umplanen der H/C-Auftragsliste. Die Kommandos in der *MissionOrderManagerCmdQueue* werden nicht aus der Queue entfernt, sondern nur zur Information verwendet, von welchem Modul Veränderungen im *MissionOrderDatakey* vorgenommen wurden. Hieraus leitet sich das Assistenzsystem eigenständig ab, ob die Auftragslisten veraltet sind und der Missionsplaner neu gestartet werden muss. Die Informationen des *MhddModingDatakey* werden zur Erkennung der aktuellen Operateuraufgabe verwendet. Mithilfe der Agendas im *MmpAgendaOutputDatakey* und dem Vergleich mit der Agenda im *UavAcuStatusDatakey* bzw. *HeliTaskAgendaDatakey* und der aktuellen Uhrzeit im *SimTimeDatakey* kann das Assistenzsystem feststellen, ob und wann ein Handlungsbedarf in der UAV-Auftragsaktivierung bzw. der UAV- oder H/C-Auftragsplanung

vorhanden ist und entsprechende Vorschläge bieten. Durch die Analyse des *TacticalSituationDatakey* wird festgestellt, welche UAVs überhaupt an der Mission teilnehmen und eine Verbindung mit den UAV-eigenen Datakeys hergestellt. Aus der taktischen Lage werden außerdem Bedrohungen von Korridoren und Landing Sites erkannt. Weitere Bedrohungen der UAV-Routen werden aus dem *ThreatAnalyserDatakey* gelesen. Im *CamPicGenStatusDatakey* steht schließlich, von welchen Objekten bereits Fotos erstellt wurden.

Auf der Ausgangsseite sendet das Assistenzsystem Nachrichten für den Kommandanten an die *MhddMessageQueue*, welche ebenfalls an die *SpeechoutQueue* zur Sprachausgabe gesendet werden. Die Änderung der Auftragslisten der UAVs erfolgt über die *SimCustMessageQueue*, die des H/C über die *HeliTaskAgendaManagerCmdQueue*. Hier kann es vorkommen, dass neue Punkte in die taktische Lage eingefügt werden müssen, was über die *TacSitManagerCmdQueue* erfolgt. Außerdem werden die Vorgaben für den H/C über die *MissionOrderManagerCmdQueue* angepasst. Über die *MhddHighLevelModingQueue* kann entweder das HMI konfiguriert oder Hinweise sowie Vorschläge an den Kommandanten gegeben werden. Werden Vorschläge für neue UAV- bzw. H/C-Aufträge gegeben, so werden diese im *UavAcuStatusDatakey* (Proposed) bzw. im *HeliTaskAgendaDatakey* (Proposed) für die Darstellung im MHDD zwischengespeichert. Startet das Assistenzsystem den Missionsplaner, so sendet es Kommandos zusammen mit den Vorgaben an die *MmpConstraintInputQueue* (Slave/Free/FreeCmp). Zuletzt gibt das Assistenzsystem seine interne Situationsinterpretation im *AssistantAcuStatusDatakey* aus, welcher dann auf der Entwickleroberfläche angezeigt wird (vgl. Kapitel 4.3.4). Zusätzlich werden noch weitere missionsplanerspezifische Zustände für andere Module ausgegeben.

## 5 Evaluierung

Das in den vorangegangenen Kapiteln beschriebene Assistenzsystemkonzept und dessen Implementierung soll im Folgenden evaluiert werden, um die Effekte dessen Einsatzes zu erfassen. Hierfür wurde ein Mensch-Maschine Experiment durchgeführt, in denen der Kommandant in einer MUM-T Mission durch das Assistenzsystem unterstützt wird.

Das Kapitel beginnt mit der Beschreibung des Versuchsdesigns (Kapitel 5.1) und der Durchführung des Versuchs (Kapitel 5.2). Daraufhin werden die Ergebnisse des Experiments präsentiert (Kapitel 5.3) und diese schließlich hinsichtlich der Forschungsschwerpunkte diskutiert (Kapitel 5.4).

### 5.1 Versuchsdesign

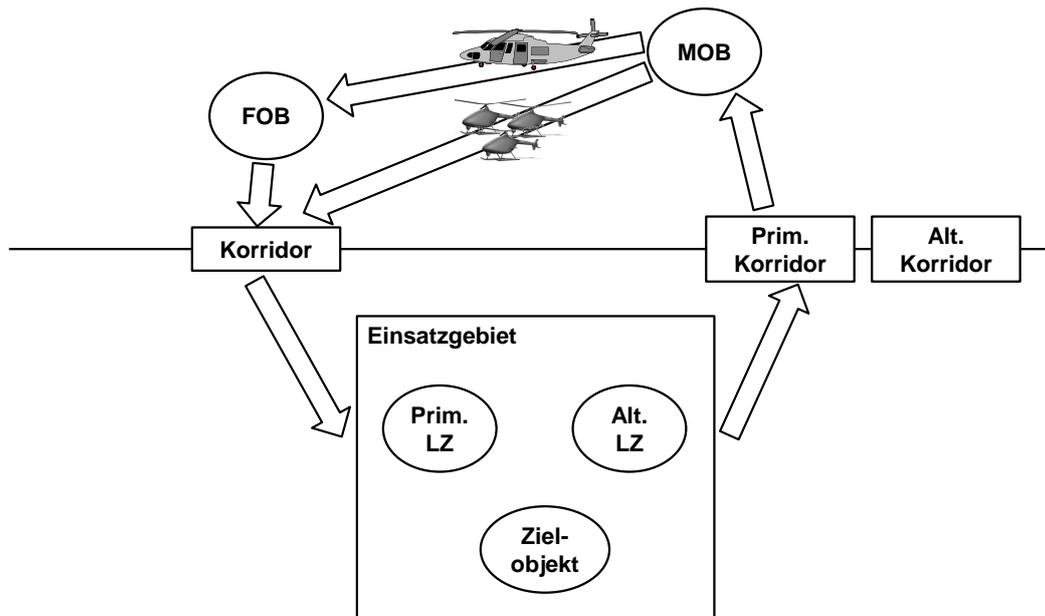
Bei der Versuchsplanung wird zuerst erläutert, welche Aufgaben die Probanden zu erfüllen hatten (Kapitel 5.1.1) und welche Experimentalumgebung dafür verwendet wurde (Kapitel 5.1.2). Daraufhin folgt die Beschreibung, welche unterschiedlichen Versuchskonfigurationen gewählt wurden (Kapitel 5.1.3), um geeignete Messdaten erheben zu können (Kapitel 5.1.4).

#### 5.1.1 Aufgabenstellung

Die Probanden hatten bei den Experimenten die Aufgabe, eine komplette militärische Mission als Kommandant eines bemannten Hubschraubers durchzuführen und dabei zusätzlich mehrere UAVs zu führen. Das Design lehnte sich hierbei an Einsatzgrundsätze für Hubschrauber in militärischen Missionen [NATO, 2004a][NATO, 2004b] an, um ein möglichst realistisches Szenario zu bieten, welches in ähnlicher Weise auch in heutigen Einsätzen auftreten könnte.

Der Missionsauftrag bestand im Transport von Truppen, welche von einer vorgelagerten Basis (engl.: *Forward Operations Base* – FOB) zu einer Landezone in einem Einsatzgebiet verbracht werden und daraufhin ein Zielobjekt einnehmen sollten (vgl. Abbildung 85). Dies sollte mit Hilfe eines Transporthubschraubers und mehrerer UAVs geschehen, welche im Anschluss wieder zur Heimatbasis (engl.: *Main Operations Base* – MOB) zurückkehren. Die UAVs sollten bei dieser Mission zur Vorabauflklärung der Routen, des Einsatzgebiets, der Landezone und des Objekts sowohl für den H/C als auch für die Truppen eingesetzt werden.

Der H/C und die UAVs starteten beide gleichzeitig an der MOB. Durch die Zwischenlandung des H/C an der FOB erhielten die UAVs einen zeitlichen Vorsprung von ca. fünf Minuten zur Vorabauflklärung. Bei dieser Vorabauflklärung konnten verschiedene im Missionsgebiet verteilte Objekte erkannt und identifiziert werden: zivile Fahrzeuge, feindliche leicht gepanzerte Fahrzeuge, welche nur für den H/C aufgrund dessen geringerer Flughöhe bedrohlich waren und feindliche Luftabwehrstellungen, welche sowohl für den H/C als auch für die UAVs bedrohlich waren. Bedrohungen auf der Route des H/C erforderten eine Mitteilung des Kommandanten an seinen Piloten, so dass dieser die Bedrohung umfliegen konnte. Eine Bedrohung an der primären Landezone machte eine Umplanung des H/C auf die alternative Landezone und ggf. die Umplanung der UAVs zur Aufklärung der alternativen Landezone notwendig. Nachdem die Truppen im Einsatzgebiet sicher abgesetzt waren, folgte ein weiterer Truppentransportauftrag, der eine Neuplanung der Aufträge sowohl für den H/C als auch für die UAVs im Flug erforderte. Auf dem Rückweg machten Bedrohungen an den Korridoren eine Umplanung des H/C und ggf. auch der UAVs über einen alternativen Korridor nötig. Die Dauer der Mission betrug inklusive des Folgeauftrags ca. 60 Minuten.



**Abbildung 85** Schematische Darstellung der Experimentalmission (MOB=Main Operations Base, FOB=Forward Operations Base, LZ=Landezone)

Die Probanden hatten bei dieser Mission gemäß der Analyse aus Kapitel 3.1.1 die Aufgabe, als Kommandant den H/C zu führen, indem sie die Aufträge für diesen definierten und ggf. umplanten. Außerdem lag es in ihrer Verantwortung, die Aufträge für die UAVs zu definieren bzw. umzuplanen, die Ausführung bzw. den Abbruch der Aufträge zu befehlen und von der ATR-Funktion markierte Objekte zu identifizieren. Das folgende Kapitel beschreibt, welche Experimentalumgebung zur Erledigung dieser Aufgaben und für die Durchführung der Versuche im Allgemeinen zur Verfügung stand.

### 5.1.2 Experimentalumgebung

Die Experimente wurden im MUM-T Simulator des Instituts für Flugsysteme an der Universität der Bundeswehr München durchgeführt.



**Abbildung 86** Cockpit des Hubschraubersimulators des Instituts für Flugsysteme

Dieser verfügt sowohl über ein zwei-Mann-Hubschraubercockpit mit Arbeitsplätzen für den Kommandanten (Abbildung 86, links) und den Piloten (Abbildung 86, rechts) als auch über mehrere simulierte UAVs, die von diesem aus geführt werden können. Die Flugdynamik der UAVs und grundlegende Autopilotenfunktionen werden über eine am Institut entwickelte Drehflüglersimulation [Vohla, 2010] realisiert. Die Kameras der UAVs werden über die kommerzielle Software „X-Plane“ [X-Plane, 2012] simuliert. Außerdem verfügt jedes der UAVs über eine ACU, welche die auftragsbasierte Führung ermöglicht [Uhrmann, in Vorb.]. Die Flugdynamik des Hubschraubers wird mit dem Modell einer EC-135 in „X-Plane“ simuliert. Im Cockpit befinden sich neben Stick und Collective zur Steuerung des Hubschraubers sechs 10 Zoll Touchscreens (TS), die gleichmäßig auf den Kommandanten und den Piloten aufgeteilt sind. Außerdem befinden sich in der Mittelkonsole zwei Control and Display Units (CDU), welche über Line Select Tasten, einen doppelstöckigen Drehgeber, ein Touchpad und einen Nummernblock bedient werden können. Der Kommandant verwendet zur Auftragsplanung des H/C wie bereits in Kapitel 3.1.1 analysiert zur Informationsaufnahme das Flight Log oder die Kartenansicht in den Touchscreens. Zur Anpassung der H/C-Aufträge verwendet er die CDU, welche über das Missionssystem den Missionsplaner ansteuert. Für die UAV-Auftragsplanung, -aktivierung und die Objektidentifikation verwendet der Kommandant ebenfalls die Touchscreens. Auf dem linken Touchscreen erscheinen die Nachrichten und Hinweise des Kommandanten-Assistenzsystems. Hier erfolgt auch die Konfiguration des HMI zur Aufgabenvereinfachung.

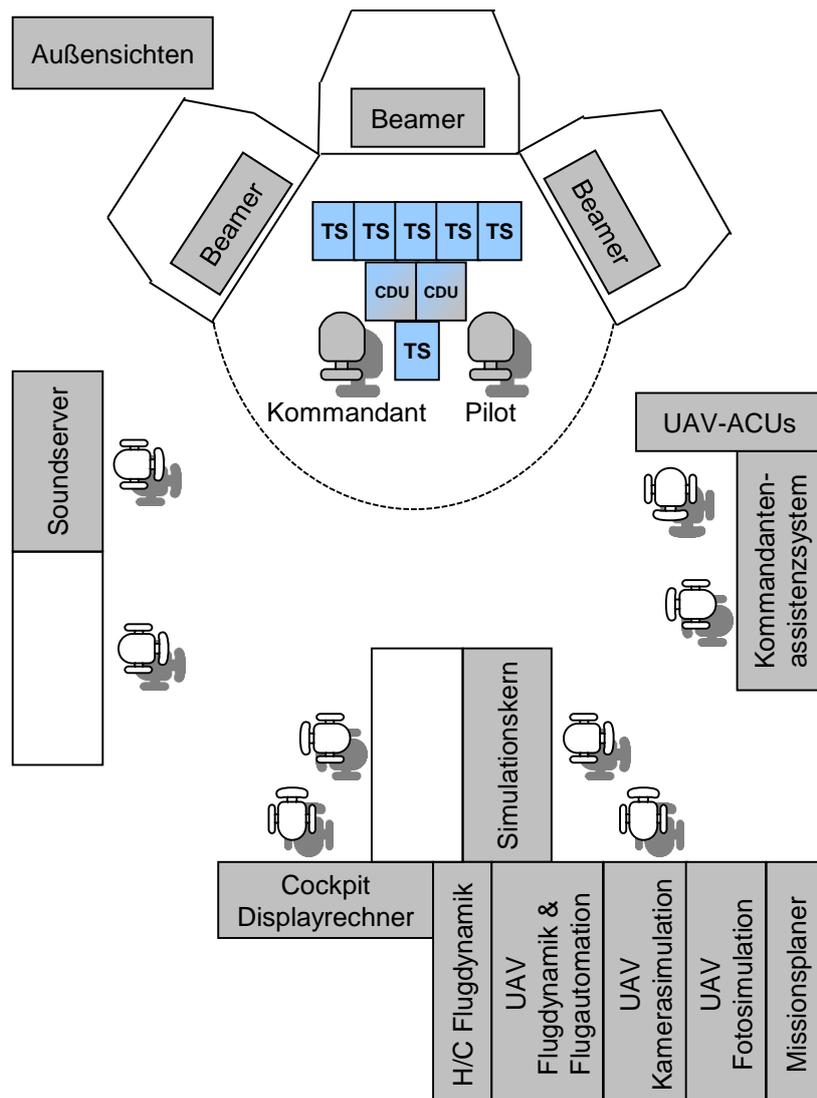


Abbildung 87 Aufbau des Simulators (TS=Touchscreen, CDU=Control and Display Unit)

Der Simulator verfügt außerdem über einen Soundserver mit Headsets für Pilot und Kommandant, über den die Funkkommunikation innerhalb des Cockpits und mit externen Stellen realisiert wird. Die Sprachausgaben des Assistenzsystems erfolgen ebenfalls über den Soundserver. Die Außensicht des Hubschraubers wird auch über „X-Plane“ simuliert und über drei Rückprojektionssysteme visualisiert, welche einen horizontalen Winkel von 180 Grad abdecken. Der Aufbau des Simulators mit den erwähnten Komponenten ist in Abbildung 87 noch einmal dargestellt.

### 5.1.3 Konfigurationen

Um die Effekte des Assistenzsystemeinsatzes messen zu können, wurden prinzipiell zwei verschiedene Versuchskonfigurationen miteinander verglichen: mit und ohne Assistenzsystem. Die in den Konfigurationen durchgeführten Missionen waren in ihren Grundzügen (Missionsart, Dauer, Folgeauftrag, s.o.) gleich gestaltet, um die Vergleichbarkeit zwischen den Konfigurationen zu gewährleisten. Allerdings wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen, um eine Vorhersehbarkeit des Missionsablaufs aufgrund der vorangegangenen Missionen zu verhindern. Zum einen wurden, da sich in zwei aufeinander folgenden Versuchsdurchläufen dieselben zwei Probanden in vertauschten Rollen (Pilot/Kommandant) befanden, nicht nur zwei, sondern vier verschiedene Missionen gestaltet. Außerdem wurde in jeder Mission das Einsatzgebiet bzw. die Strecke geändert und die Positionen der Objekte variiert. Des Weiteren war abwechselnd einmal die Landezone des ursprünglichen Auftrags und einmal die des Folgeauftrags bedroht, so dass eine Umplanung der Landezone zwar in jeder Mission notwendig war, aber nicht zum selben Zeitpunkt im Missionsverlauf. Die Art des Folgeauftrags unterschied sich zwischen einer Pilotenrettungsmission aus feindlichem Gebiet zur Heimatbasis und einem weiteren Truppentransport innerhalb des feindlichen Gebiets. Die Bedrohung des Ausgangs-Korridors wurde in der Form variiert, dass abwechselnd eine Bedrohung durch eine Flugabwehr-Stellung (engl.: *surface-to-air-missile* – SAM) und durch einen Jeep vorhanden war, wodurch eine Umplanung des verwendeten Korridors notwendig wurde. Die verschiedenen Konfigurationen und Missionen sind in Tabelle 16 noch einmal zusammengestellt.

**Tabelle 16 Versuchskonfigurationen (K=Konfiguration, M=Mission, AS=Assistenzsystem)**

<b>K</b>	<b>M</b>	<b>Pilot/Kommandant</b>	<b>AS</b>	<b>Folgeauftrag</b>	<b>Relevante Bedrohungen</b>
1	1	A/B	Ohne	Pilotenrettung	Primäre Landezone Prim. Exit-Korridor (SAM)
1	2	B/A	Ohne	Truppentransport	Prim. Landezone (Folgeauftr.) Prim. Exit-Korridor (Jeep)
2	3	A/B	Mit	Truppentransport	Prim. Landezone (Folgeauftr.) Prim. Exit-Korridor (SAM)
2	4	B/A	Mit	Pilotenrettung	Primäre Landezone Prim. Exit-Korridor (SAM)

### 5.1.4 Datenerhebung & -auswertung

Um mit dem Experiment die gewünschten Eigenschaften des Systems nachweisen zu können, müssen geeignete Daten erhoben und diese entsprechend ausgewertet werden. Daher wurden in Anlehnung an die in einem Mensch-Maschine-System relevanten Größen (vgl. Kapitel 2.1.3.1) Daten zur Auswertung der Leistung, des Verhaltens, der Beanspruchung, dem Situationsbewusstsein und zusätzlich der Systemakzeptanz der Probanden erhoben, welche im Folgenden erläutert werden.

### 5.1.4.1 Leistung

Die Leistung der Probanden in ihren Kommandanten- bzw. UAV-Führungsaufgaben wurde durch Aufzeichnung objektiver Daten festgehalten. Dabei wurde Wert auf die Korrektheit bzw. Qualität und die Schnelligkeit der Aufgabendurchführung gelegt. Ziel war die Feststellung, ob sich die Leistung durch den Einsatz des Assistenzsystems verbesserte. Die gemessenen Leistungskriterien sind in Tabelle 17 dargestellt. Die Leistungskriterien wurden sowohl anhand der während den Versuchsdurchläufen aufgezeichneten Daten als auch anhand von Video- und Audioaufzeichnungen der Probanden ausgewertet.

**Tabelle 17 Leistungskriterien**

<b>Relevante Aufgabe</b>	<b>Leistungskriterium</b>	<b>Erhobene Daten</b>
Objektidentifikation	Anzahl identifizierter Objekte	Taktische Lage des H/C
Objektidentifikation	Korrektheit der Identifikation	Taktische Lage des H/C, reale taktische Lage
Objektidentifikation	Dauer bis zur Identifikation	Taktische Lage des H/C, Operateurinteraktionen, Assistenzsystemeingriffe
Objektidentifikation	Dauer der Identifikation	Taktische Lage des H/C, Operateurinteraktionen, Assistenzsystemeingriffe
UAV-Auftragsaktivierung	Durchführung der Aktivierung	Taktische Lage des H/C, UAV-Auftragslisten, /-status
UAV-Auftragsaktivierung	Dauer bis zum Beginn der Aktivierung	UAV-Auftragslisten /-status, taktische Lage des H/C, Operateurinteraktionen
UAV-Auftragsaktivierung	Dauer der Aktivierung	UAV-Auftragsstatus, Operateurinteraktionen
UAV-Auftragsaktivierung	Durchführung Auftragsstopp / Umplanung UAV bei Bedrohung	Beschuss von UAVs
UAV-Auftragsplanung	Qualität Auftragslisten	UAV-Auftragslisten, Taktische Lage H/C
UAV-Auftragsplanung	Dauer Umplanungen	UAV-Auftragslisten, taktische Lage des H/C, Mission Order
H/C Auftragsplanung	Umplanungsdurchführung	Mission Order, Auftragsliste H/C
H/C Auftragsplanung	Dauer bis Beginn Umplanung	Taktische Lage des H/C, Mission Order, Operateurinteraktionen
H/C Auftragsplanung	Dauer für Umplanung	Mission Order, Operateurinteraktionen

### 5.1.4.2 Interaktionen mit dem Assistenzsystem

Für eine Analyse, ob und wie die Probanden das Assistenzsystem bedienen, wurden die Interaktionen während den Versuchsdurchläufen aufgezeichnet. Die Architektur zur Aufzeichnung ist in Abbildung 88 dargestellt.

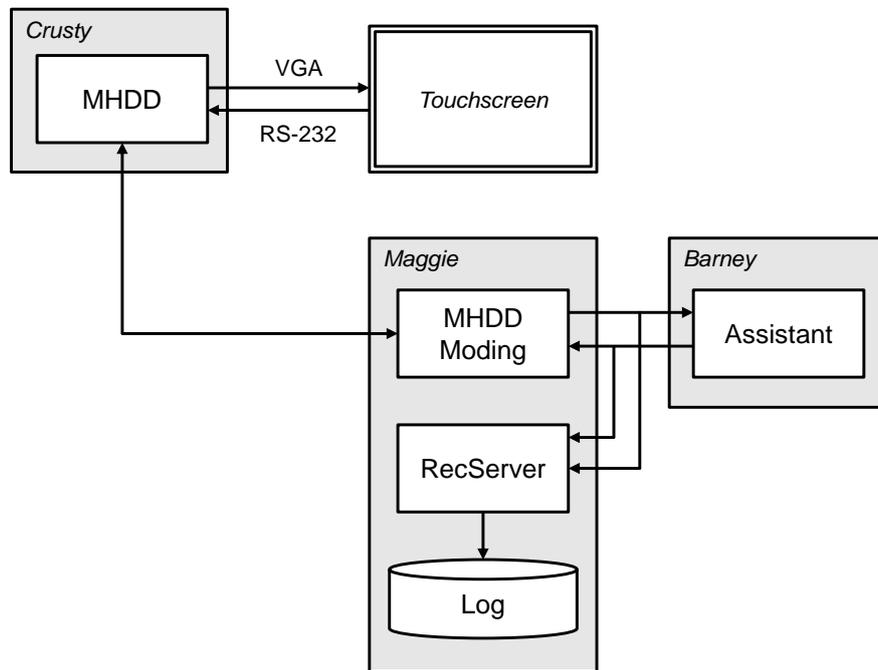


Abbildung 88 Architektur zur Aufzeichnung der Interaktionen mit dem Assistenzsystem

Entscheidet sich das Assistenzsystem (*Assistant*) für einen Eingriff, so sendet es eine Nachricht an ein zentrales Moding für die Displays (*MHDD Moding*). Diese Nachricht wird von einem zentralen Aufzeichnungsmodul (*RecServer*) registriert und in einer Logdatei gespeichert. Die Nachricht wird vom Moding an die entsprechende Displayanwendung (*MHDD*) weitergeleitet, welche die Nachricht daraufhin auf dem zugehörigen Touchscreen anzeigt (vgl. Kapitel 4.3.1). In der Nachricht sind bereits die Antwortmöglichkeiten für den Probanden enthalten. Wählt der Proband eine Antwort aus, so registriert die Displayanwendung die Interaktion und leitet diese wieder an das zentrale Moding weiter. Das Moding setzt die Interaktion in eine Bedeutung um und schickt die Antwort an das Assistenzsystem. Diese Antwort wird wiederum vom Aufzeichnungsmodul registriert und gespeichert. Hierdurch kann die gesamte Interaktion zwischen Assistenzsystem und Probanden verfolgt werden.

Die Daten wurden ausgewertet, um festzustellen, ob die Probanden durch den Einsatz des Assistenzsystems ihre Aufgaben in Kooperation mit dem System bearbeiten. Außerdem wurden die Daten dafür verwendet, um eine Abschätzung machen zu können, ob das Assistenzsystem von den Probanden akzeptiert wird und sie die Hilfestellungen annehmen.

### 5.1.4.3 Interaktionen mit den OSM

Durch die Aufzeichnung der Interaktionen mit dem Assistenzsystem kann zwar die explizite Kooperation erfasst werden, allerdings hat der Operateur z.B. bei der Aufmerksamkeitslenkung die Möglichkeit, die entsprechende Aufgabe selbständig zu bearbeiten ohne weiter mit dem Assistenzsystem zu interagieren. Dies stellt eine implizite Kooperation dar, aus der auch Rückschlüsse auf die Akzeptanz der Eingriffe gezogen werden können. Daher wurden die Interaktionen der Probanden mit den OSMs aufgezeichnet, um umfassend feststellen zu können, ob sie die Unterstützung des Assistenzsystems nutzten. Einerseits wurden Daten aufgezeichnet, andererseits wurden Video- und

Audioaufzeichnungen von den Probanden gemacht, um die Reaktionen auf die Eingriffe festzuhalten.

#### 5.1.4.4 Beanspruchung

Die Beanspruchung der Probanden bei der Durchführung der Missionen wurde mittels des von [Hart & Staveland, 1988] entwickelten NASA-TLX (*Task Load Index*) Verfahrens erhoben. Ziel war es, den Einfluss des Assistenzsystems auf die Beanspruchung des Kommandanten festzustellen. Da eine objektive Messung der Beanspruchung schwierig ist und immer noch einen Forschungsgegenstand darstellt, wurde dieses Verfahren gewählt, welches die subjektive Erfassung der Beanspruchung unter Zuhilfenahme eines standardisierten Fragebogens ermöglicht. In dem Fragebogen wird die Beanspruchung in sechs verschiedene Dimensionen (geistige, körperliche, zeitliche Anforderung, Leistung, Anstrengung und Frustration) aufgeteilt, welche zuerst gegeneinander gewichtet werden, um die Art der Beanspruchung zu charakterisieren. Anschließend werden die einzelnen Dimensionen in ihrer absoluten Höhe bewertet. Die Auswertung des Fragebogens liefert einen Wert zwischen 0% und 100% und das Verhältnis der verschiedenen Dimensionen zueinander. Vom absoluten Wert selbst können keine Rückschlüsse auf z.B. eine Überforderung gezogen werden, da keine Schwellwerte definiert sind. Allerdings kann ein Vergleich mit weiteren Messungen Aufschluss über Veränderungen der Beanspruchung bei Veränderung der Belastung bzw. Aufgabensituation geben. Es wurden daher einerseits Messungen in den verschiedenen Konfigurationen (ohne/mit Assistenzsystem) und zum anderen in den folgenden Missionsabschnitten festgelegt:

- Auf dem Weg in das Einsatzgebiet (Ingress), nach Aufnahme der Truppen und bevor die UAVs in das Einsatzgebiet einflogen
- Im Einsatzgebiet (HOA), nachdem der H/C die Truppen abgesetzt, die Crew den Folgeauftrag erhalten und der Kommandant die UAVs bzw. den H/C umgeplant hatte
- Auf dem Rückweg (Egress), wenn der Folgeauftrag abgeschlossen war, und die Umplanung auf den alternativen Korridor erledigt war

#### 5.1.4.5 Situationsbewusstsein

Das Situationsbewusstsein der Probanden bei der Missionsdurchführung wurde mithilfe des *Situation Awareness Rating Technique* Verfahrens (SAGAT) [Endsley, 2000] gemessen. Ziel war hier die Beeinflussung des Situationsbewusstseins durch das Assistenzsystem zu messen. Das Verfahren bietet eine objektive Möglichkeit, das Situationsbewusstsein zu erfassen, indem die Versuchsdurchführung an verschiedenen Stellen unterbrochen wird, die informationstragenden Anzeigen verdeckt werden und dem Probanden Fragen zur Situation gestellt werden.

Als erste Datenerhebung zum Situationsbewusstsein wurden die Probanden über den aktuellen Bedrohungs- und Aufklärungsstatus, und die aktuellen und zukünftigen Aufträge für den H/C und die UAVs befragt (vgl. Tabelle 18). Korrekte und annähernd korrekte Antworten wurden dabei mit 2 Punkten bewertet, akzeptable Antworten wurden mit 1 Punkt bewertet und bei einer falschen oder keiner Antwort wurde kein Punkt gegeben.

**Tabelle 18 Fragen zum Situationsbewusstsein der Probanden**

Frage
Welche Bedrohungen sind aktuell relevant?
Welchen zeitlichen Vorlauf hat die Aufklärung vor dem Helikopter?
Welche Funkmeldung ist als nächstes abzusetzen und an wen?
Was ist der aktuelle Auftrag des Helikopters?

Was ist der aktuelle Auftrag von UAV1?
Was ist der aktuelle Auftrag von UAV2?
Was ist der aktuelle Auftrag von UAV3?
Was ist der nächste Auftrag von UAV1?
Was ist der nächste Auftrag von UAV2?
Was ist der nächste Auftrag von UAV3?

Außerdem wurde auf die Variante zurückgegriffen, eine elektronische Karte zur Messwerterfassung zu verwenden [Jeannot et al., 2003]. Hier sollten die Probanden die Positionen der eigenen Kräfte und der Feindkräfte eintragen. Die ebenfalls in der taktischen Lage vorhandenen zivilen Objekte wurden dabei nicht bewertet, da diese keinen Einfluss auf den Missionsverlauf hatten und somit kein relevantes Wissen darstellten. Die eingetragenen Positionen wurden mit den realen Positionen zu dieser Zeit verglichen und die Distanz berechnet. Bei einer Distanz von weniger als 0.75nm wurden 2 Punkte gegeben, bei einer Distanz bis zu 1.5nm wurde 1 Punkt vergeben und bei einer größeren Distanz oder fehlenden Eingaben kein Punkt.

Anhand der Punktebewertung konnte im Anschluss ein Vergleich des Wissens bei den verschiedenen Konfigurationen angestellt werden.

Die Zeitpunkte der Befragung wurden mit denen der Beanspruchungsmessung zusammgelegt, um den Versuch nicht unnötig oft zu unterbrechen. Allerdings wurde das Situationsbewusstsein in jeder Mission nur zweimal erfasst: einmal während dem Ingress und einmal in der HOA. Auf eine Befragung beim Egress wurde verzichtet, da hier keine relevanten Bedrohungen mehr vorhanden waren und die Aufträge für die UAVs und den H/C nur noch im Rückflug zur Heimatbasis bestanden.

#### **5.1.4.6 Akzeptanz**

Ein letztes wichtiges Kriterium für den Einsatz eines Assistenzsystems war die Akzeptanz durch den Benutzer. Ziel war hier die Feststellung, ob das System grundlegenden *Usability*-Anforderungen genügt, für die Probanden transparent und angemessen reagiert und gehandelt hat und die Probanden einen spürbaren Nutzen durch das zusätzliche Assistenzsystem empfanden. Dieses rein subjektive Kriterium wurde mithilfe eines Fragebogens erfasst, welchen die Probanden nach dem Versuchsdurchlauf mit eingeschaltetem Assistenzsystem erhielten. Der Bogen umfasste 14 Fragen mit 7-stufigen Likert-Skalen [Likert, 1932], welche jeweils mehrere Items hatten sowie Möglichkeiten, freie Anmerkungen zum System und den speziellen Funktionen zu machen. Die Anzahl der Antworten auf jedem Skalenwert wurden zusammengezählt, um ein Stimmungsbild zu erhalten.

Außerdem umfasste der Bogen noch mehrere Fragen zur subjektiven Einschätzung der Beanspruchung und des Situationsbewusstseins.

## **5.2 Durchführung**

### **5.2.1 Versuchspersonen**

An dem beschriebenen Experiment nahmen acht Piloten der Bundeswehr-Heeresflieger teil (vgl. Tabelle 19). Das Alter der Probanden lag zwischen 28 und 51 Jahren mit einem Durchschnitt von 37 Jahren. Die jeweilige Flugerfahrung reichte von 650 bis 6400 Stunden bei einem Durchschnitt von 1971 Stunden. Sechs von acht Probanden hatten bereits Erfahrung als Kommandant. Die hauptsächlich geflogenen Muster waren BO-105 und Alouette. Die Versuchspersonen wurden in vier Zweier-Crews aufgeteilt (VP1&VP2, VP3&VP4 usw.),

welche die Experimentalmissionen immer zusammen abwechselnd als Pilot und Kommandant durchführten.

**Tabelle 19 Angaben zu Alter und Flugerfahrung der Probanden (K=Kommandant, P=Pilot)**

VP	Alter [a]	Flugerfahrung [h]		Muster
		Kommandant	Pilot	
1	29	100	550	Bo-105, Alouette 2, EC-135
2	28	200	450	Bo-105, EC-135
3	33	200	975	Bo-105, Alouette 2, SA-341
4	50	1850	330	Alouette 2, CH-53, NH 90
5	33	0	900	Bo-105, Alouette 2
6	31	0	890	Bo-105, OH 58
7	38	650	2270	Bo-105, Alouette, UH-1D
8	51	600	5800	Bo-105, Mi-24, Mi-8

### 5.2.2 Ablauf

Zur Eingewöhnung in die UAV-Führung und das Assistenzsystem erhielt jede Crew ca. einen Tag Training am Kommandantenarbeitsplatz. Das Training begann mit einer Einweisung in den Simulator und den Versuchsaufbau. Dabei wurde auch das Konzept bemannt-unbemannter Missionen erläutert. Im Anschluss erhielt jede Versuchsperson ein angeleitetes Training, bei dem ihr die Bedienung der MHDDs zur Führung der UAVs, die Bedienung der CDU zur Führung des H/C und das Assistenzsystem erläutert wurden. Im Rahmen des Trainings wurden bereits vollständige Missionen durchgeführt, so dass sich die Probanden auf die später folgenden Messmissionen einstellen konnten. Die erlernte Bedienung und Vorgehensweisen konnten die Probanden bei der Beobachtung des anderen Crewmitglieds bei dessen angeleitetem Training noch einmal reflektieren. Auf dieses erste Training folgte die Einweisung in die Befragungen, die während der Versuchsdurchläufe durchgeführt wurden. Das zweite Training wurde unter Versuchsbedingungen durchgeführt, so dass die Probanden die Missionen selbständig erfüllen mussten und auch zu Beanspruchung und Situationsbewusstsein befragt wurden. Nach den Trainingsdurchläufen hatten die Probanden noch einmal die Gelegenheit, eventuelle Fragen zur Bedienung bzw. Schwierigkeiten bei der Durchführung der Missionen zu klären. Der Ablauf des Trainings ist noch einmal in Tabelle 20 dargestellt.

**Tabelle 20 Versuchsablauf für das Training**

Dauer	Beschreibung
30 min.	Einweisung Simulator <i>Erläuterung Versuchsaufbau &amp; Messeinrichtungen</i>
60 min.	Angeleitetes Training
60 min.	Beobachtung angeleitetes Training
30 min.	Einweisung Befragung <i>NASA-TLX &amp; SAGAT</i>
60 min.	Freies Training <i>Inkl. Befragung NASA-TLX &amp; SAGAT</i>
60 min.	Beobachtung freies Training
30 min.	Nachbesprechung Training <i>Klärung offener Fragen</i>

Nach Abschluss des Trainings wurden die Messungen durchgeführt (vgl. Tabelle 21). Hier erhielten die Crews zuerst ein militärisches Briefing für die zu fliegende Mission. Dabei erhielten sie auch ausreichend Zeit, um die Mission vorzubereiten bzw. den UAV-Einsatz im Detail zu planen. Bei der Durchführung der Missionen wurden die entsprechenden Messdaten aufgezeichnet. Im anschließenden Debriefing konnten die Probanden ihre Erfahrungen während den Missionen mitteilen und konkrete Situationen nachbesprochen werden. Nach der Versuchsmission ohne Assistenzsystem führten die Probanden die Mission mit Assistenzsystem durch und beantworteten daraufhin noch die Fragen zur Akzeptanz des Assistenzsystems. Da die Probanden die Experimentaldurchläufe in Zweierteams als Pilot bzw. Kommandant absolvierten, war in Mission 1 und 3 der eine der beiden Probanden Kommandant und in Mission 2 bzw. 4 der andere.

**Tabelle 21 Versuchsablauf bei den Messungen**

30 min.	Briefing Mission 1/2 <i>Konf. 1 (Ohne Assistenzsystem)</i>
60 min.	Durchführung Mission 1/2 <i>Konf. 1 (Ohne Assistenzsystem), inkl. NASA-TLX &amp; SAGAT</i>
30 min.	Debriefing
30 min.	Briefing Mission 3/4 <i>Konf. 2 (Mit Assistenzsystem)</i>
60 min.	Durchführung Mission 3/4 <i>Konf. 2 (Mit Assistenzsystem), inkl. NASA-TLX &amp; SAGAT</i>
30 min.	Debriefing
60 min.	Befragung <i>Akzeptanz</i>

### 5.3 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse geht zuerst auf die Meinung der Probanden zum Experiment und der Simulation im Allgemeinen ein. Im Anschluss erfolgen die assistenzsystemspezifischen Ergebnisse gemäß den in Kapitel 5.1.4 festgelegten Kriterien Leistung, Verhalten, Beanspruchung, Situationsbewusstsein und Akzeptanz.

#### 5.3.1 Experiment allgemein

Da als Probanden Heeresflieger der Bundeswehr mit Erfahrung in realen Hubschraubern und Missionen zur Verfügung standen, wurden diese gebeten, das Experiment mit einem realen Einsatz zu vergleichen. Als Kategorien wurden hier die Bereiche Szenario, Missionsablauf und Simulation gewählt (vgl. Tabelle 22).

**Tabelle 22 Bewertung des Experiments hinsichtlich Realismus**

	sehr unrealistisch				sehr realistisch		
Szenario					●	●●●	
Missionsablauf			●		●	●●	
Simulation		●			●	●●	

Da an der Befragung nur vier der acht Probanden teilnahmen, sind entsprechend weniger Antworten vorhanden. Das Szenario, der Missionsablauf und die Simulation wurden dabei als überwiegend realistisch eingeschätzt. Kritik gab es am Missionsablauf, da dieser im Vergleich zu einem realen Einsatz deutlich kompakter und zeitlich gedrängter war. Dies war der begrenzten Zeit für die Versuchsdurchläufe geschuldet. Die Simulation wurde aufgrund des generischen bzw. nicht modellspezifischen Hubschraubercockpits von einem Probanden als weniger realistisch bewertet.

Des Weiteren wurde von den Probanden bewertet, ob das Versuchsdesign für die Experimente geeignet erschien und die für die Ergebnisse wesentlichen Eigenschaften erfüllt waren. Hier zeigte sich nun in allen Kategorien ein sehr positives Bild (vgl. Tabelle 23).

**Tabelle 23 Bewertung des Versuchsdesigns hinsichtlich Eignung für die Experimente**

	sehr schlecht					sehr gut	
Szenario						●	●●●
Missionsablauf						●●	●●
Simulation						●	●●●

### 5.3.2 Leistung

Für jede der Kommandantenaufgaben wurde die Leistung der Probanden ausgewertet und die Fälle ohne und mit Assistenzsystemeingriffen miteinander verglichen. Grundsätzlich wurden als Leistungskriterien Schnelligkeit und Qualität der Aufgabendurchführung unterschieden. Bei der Schnelligkeit wurde zum einen die Dauer bis zur Bearbeitung der Aufgabe und zum anderen die Dauer der Bearbeitung selbst ausgewertet. Bei der Qualität wurde bewertet, ob die Aufgabe überhaupt durchgeführt wurde und wenn ja, welche Qualität das Ergebnis hatte.

Die Aufmerksamkeitslenkung des Assistenzsystems hatte dabei zum Ziel die prozentuale Durchführung der Aufgabe zu erhöhen und die Zeit bis zur Bearbeitung zu verringern. Die Aufgabenvereinfachung und Aufgabenübernahme hingegen hatten zum Ziel die Dauer der Bearbeitung zu verringern und die Qualität des Ergebnisses zu verbessern.

Die Ergebnisse sind gemäß den verschiedenen Kommandantenaufgaben Objektidentifikation (Kapitel 5.3.2.1), UAV-Auftragsaktivierung (Kapitel 5.3.2.2), UAV-Auftragsplanung (Kapitel 5.3.2.3) und H/C-Auftragsplanung (Kapitel 5.3.2.4) unterteilt.

#### 5.3.2.1 Objektidentifikation

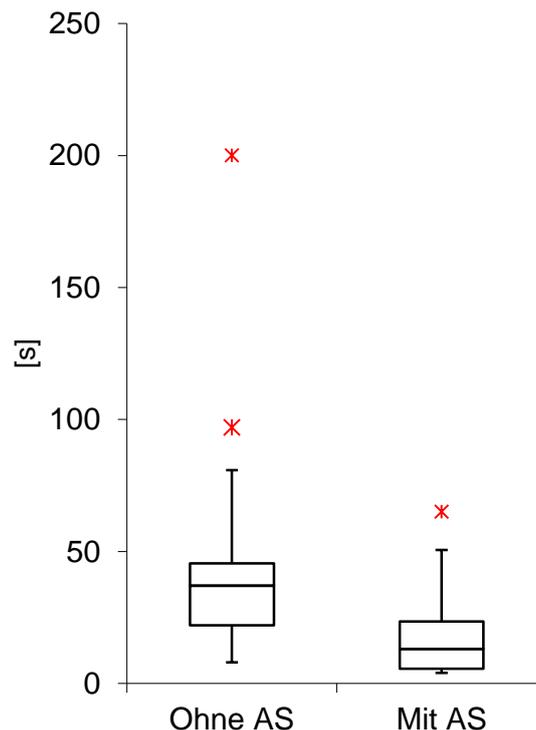
Bei der Objektidentifikation wurden in der Konfiguration ohne Assistenzsystem insgesamt 53 Objekte und mit Assistenzsystem 60 Objekte durch die ATR Funktion markiert.

Die Aufmerksamkeitslenkung des Assistenzsystems hatte hier zum einen das Ziel, dass die Objekte überhaupt identifiziert wurden. Da in beiden Konfigurationen alle Objekte identifiziert wurden, konnte hier kein Unterschied festgestellt werden.

Die Korrektheit der Identifikation wurde durch das Assistenzsystem nicht beeinflusst, da bei der Aufgabenvereinfachung kein Vorschlag für die Identität gegeben wurde. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass in beiden Konfigurationen bis auf einen Fall alle Objekte korrekt identifiziert wurden und die Rate mit 98,1% ohne Assistenzsystem bzw. 98,3% mit Assistenzsystem gleichermaßen gut war.

Als weiteres Leistungsmerkmal wurde die Zeitdauer vom Erscheinen der Markierung in der Karte bis zum Beginn der Identifikation durch die Probanden gemessen. Diese Dauer sollte

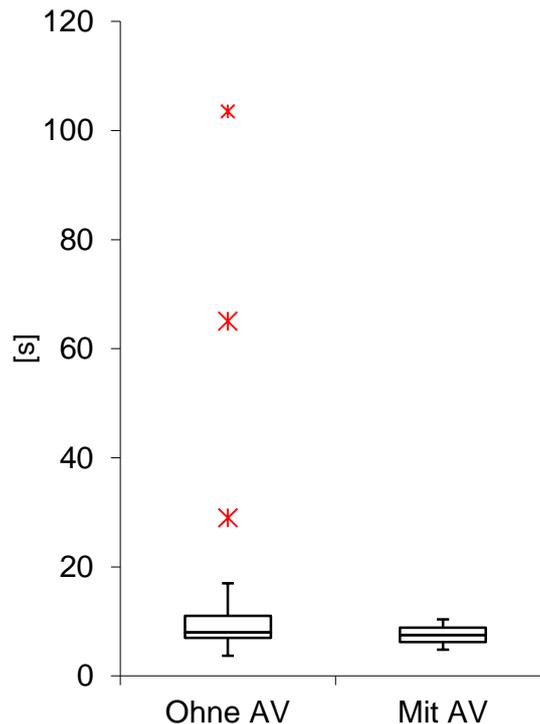
durch eine Aufmerksamkeitslenkung des Assistenzsystems verkürzt werden. Allerdings wurden hier nur die dringenden Fälle betrachtet, in denen der H/C dem unidentifizierten Objekt nahe kam bzw. bereits nahe war und eine schnelle Bearbeitung der Aufgabe notwendig war. In der Konfiguration ohne Assistenzsystem traf dies bei 15 Objekten zu, in der Konfiguration mit Assistenzsystem bei 10 Objekten. Die Ergebnisse sind in einem Box&Whisker-Diagramm in Abbildung 89 dargestellt. Dabei stellt die Box den Wertebereich vom ersten bis zum dritten Quartil ( $Q_1$  bzw.  $Q_3$ , 50% der Werte) dar. Die Whisker haben noch einmal die 1,5-fache Länge der Box (interquartiler Bereich – IQR) bzw. reichen bis zum minimalen oder maximalen Wert. Werte außerhalb dieses Bereichs werden als Ausreißer gewertet und sind als Kreuze markiert.



**Abbildung 89 Dauer bis zum Beginn der Objektidentifikation (AS=Assistenzsystem)**

Der Median der gemessenen Werte reduzierte sich von 36,8 sec. ohne auf 12,6 sec. mit Assistenzsystem. Die minimalen Werte liegen bei 8,0 sec. ohne bzw. 3,6 sec. mit Assistenzsystem und die maximalen bei 200,0 sec. bzw. 65,4 sec.. Durch die Tatsache, dass die Probanden die Objekte gelegentlich schon identifizieren wollten, bevor die UAVs Fotos davon gemacht hatten, verzögerte sich in diesen Fällen der Beginn der Identifikation. Diese von den Probanden nicht beeinflussbare Größe war allerdings gleichmäßig über die Konfigurationen verteilt.

Als letztes Leistungsmerkmal bei der Objektidentifikation wurde die Zeitdauer für den Identifikationsvorgang bis zum Eintrag der Identität in der Karte festgehalten. Hier sollte die Aufgabenvereinfachung durch die Konfiguration des HMI helfen, Zeit einzusparen. Es wurde unterschieden zwischen Fällen, in denen das Assistenzsystem eingriff und die Probanden die Aufgabenvereinfachung anforderten (4 Fälle) und den restlichen Fällen, in denen die Identifikation zwar dringend war, die Probanden diese aber ohne Unterstützung durch das Assistenzsystem machten (19 Fälle). Die Ergebnisse sind in Abbildung 90 dargestellt.



**Abbildung 90 Dauer für die Objektidentifikation (AV=Aufgabenvereinfachung)**

Der Median der gemessenen Werte liegt bei beiden Varianten in einem ähnlichen Bereich (8,0 sec. ohne vs. 7,5 sec. mit Aufgabenvereinfachung). Ohne Verwendung der Aufgabenvereinfachung traten einige Ausreißer nach oben auf, welche größtenteils durch Bedienprobleme mit dem HMI hervorgerufen wurden, so dass der Maximalwert ohne Aufgabenvereinfachung bei 103,5 sec. und mit Aufgabenvereinfachung nur bei 10,4 sec. liegt. Die Minimalwerte liegen bei 3,7 sec. ohne bzw. 4,8 sec. mit Aufgabenvereinfachung.

### 5.3.2.2 UAV-Auftragsaktivierung

Bei der UAV-Auftragsaktivierung wurden die Phasen des Missionsstarts und des Rückflugs aus dem Einsatzgebiet betrachtet, bei denen die Probanden die UAVs manuell losschicken mussten und die Aufträge nicht automatisch durch die UAVs aktiviert wurden.

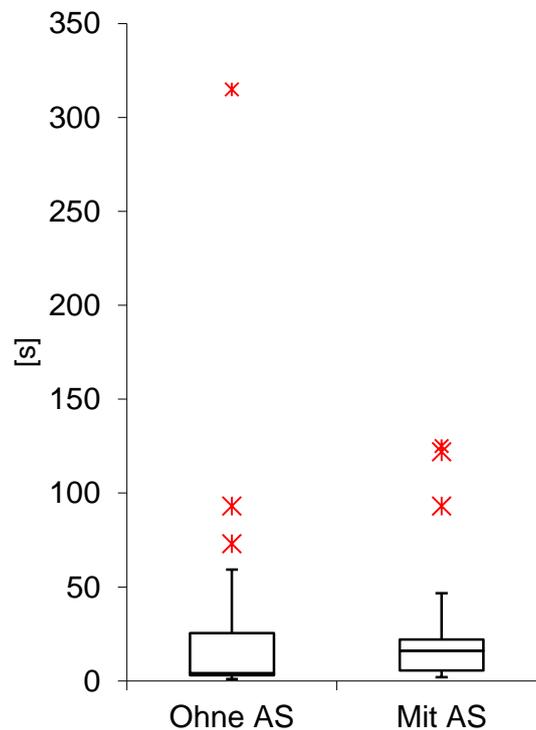
Ohne Assistenzsystem mussten von den Probanden insgesamt 45-mal und in der Konfiguration mit Assistenzsystem 43-mal Aufträge aktiviert werden. In einigen Fällen wurden die UAVs allerdings ohne Zwischenstopp durch das Einsatzgebiet geschickt, so dass keine Aktivierung des Rückflugs durch die Probanden notwendig war.

Als erstes Leistungskriterium wurde festgestellt, ob die UAVs überhaupt losgeschickt wurden oder ob sie bei der Heimatbasis bzw. im Einsatzgebiet vergessen wurden. Hier konnte festgestellt werden, dass letztendlich kein UAV vergessen wurde und die UAV-Auftragsaktivierung immer durchgeführt wurde.

Auf eine Bewertung der Ergebnisqualität wurde verzichtet, da durch das Aktivieren des immer selben Kommandos keine Qualitätsunterschiede bewirkt wurden.

Als weiteres Leistungskriterium wurde die Dauer bis zum Beginn der UAV-Auftragsaktivierung durch die Probanden ausgewertet. Hier wurden nur diejenigen Situationen herangezogen und miteinander verglichen, in denen die Auftragsaktivierung dringend wurde und das Assistenzsystem eingriff bzw. eingegriffen hätte (18 Situationen ohne AS, 20 Situationen mit AS). Situationen, in denen UAV-Aufträge zu einem noch nicht dringenden Zeitpunkt aktiviert wurden, wurden nicht weiter ausgewertet. Der Beginn der

Messung war durch den Zeitpunkt festgelegt, zu dem die Auftragsaktivierung dringend notwendig war. In der Phase des Missionsstarts war dies die Uhrzeit des Beginns der Mission. Die Aktivierung des Rückflugs hingegen war dringend, wenn das entsprechende UAV den aktuellen Auftrag erfüllt und eine Auftragsliste für den Rückflug hatte. Beispielsweise wurde bei Überwachung der Landezone durch ein UAV die Aktivierung des Rückflugs dringend, wenn der H/C wieder von der Landezone gestartet war. Bei der UAV-Überwachung des Zielobjekts und von Feindkräften im Zielgebiet war das Erreichen des Zielobjekts durch die Truppen der Zeitpunkt, ab dem die Aktivierung des Rückflugs dringend war. Das Ende der Messung war durch die erste aktivierungsrelevante Interaktion der Probanden mit dem System festgelegt. Außerdem wurde die Messung unterbrochen, wenn andere dringendere oder gleich dringende Aufgaben durch den Operateur bearbeitet wurden, z.B. eine Objektidentifikation oder die Aktivierung eines anderen UAVs am Missionsstart. Die Ergebnisse sind in Abbildung 91 dargestellt.



**Abbildung 91 Dauer bis zu UAV-Auftragsaktivierung (AS=Assistenzsystem)**

Der Median der gemessenen Werte verschlechterte sich von 4 sec. ohne Assistenzsystem auf 16 sec. mit Assistenzsystem. Die Maximalwerte liegen bei 315 sec. ohne und 125 sec. mit Assistenzsystem. Der Ausreißer in der Konfiguration ohne Assistenzsystem ist auf ein relativ langes Vergessen eines UAVs im Einsatzgebiet zurückzuführen, welches erst bemerkt wurde, als alle anderen Missionsteilnehmer bereits auf dem Rückflug waren. Die drei Ausreißer in der Konfiguration mit Assistenzsystem wurden in einem Versuchsdurchlauf beim Missionsstart erzeugt, wobei der Proband hier die ersten beiden Hinweise des Assistenzsystems für UAV1 und UAV2 ignorierte und erst beim dritten Hinweis mit der Aktivierung begann. Die Minimalwerte für die Dauer bis zum Beginn der UAV-Auftragsaktivierung liegen bei 1 sec. ohne und 2 sec. mit Assistenzsystem.

Zusätzlich wurde die Dauer für die UAV-Auftragsaktivierung gemessen und verglichen zwischen den Fällen, in denen die Probanden die Aufgabe ohne Unterstützung des Assistenzsystems erfüllten (85 Fälle) und den Fällen, in denen sie Unterstützung anforderten (3 Fälle). Der Start der Messung war durch die erste aktivierungsrelevante Interaktion

festgelegt. Das Ende der Messung war durch die Auswahl eines geeigneten Auftrags bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 92 dargestellt.

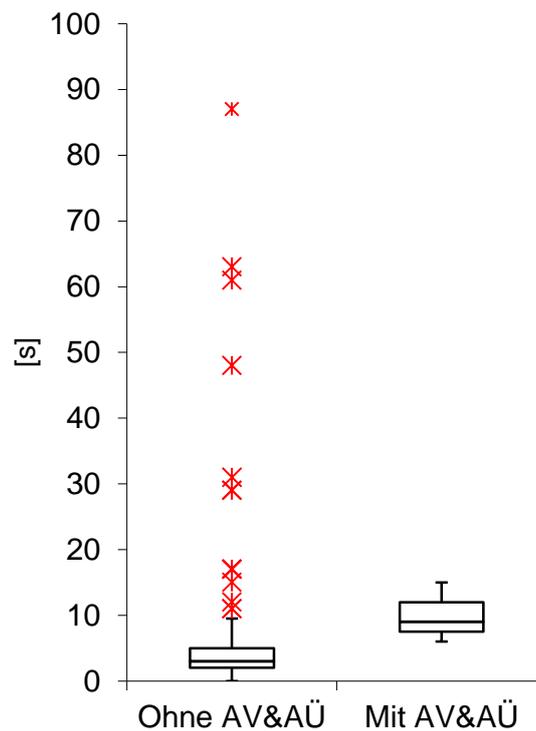


Abbildung 92 Dauer für die Auftragsaktivierung (AV=Aufgabenvereinfachung, AÜ=Aufgabenübernahme)

Im Median wurde die Aufgabe ohne Assistenzsystemunterstützung in 3 sec. bearbeitet und mit Unterstützung in 9 sec. Allerdings muss hierbei darauf hingewiesen werden, dass durch die geringe Anzahl der Fälle, in denen eine Unterstützung angefragt wurde, die Ergebnisse nur wenig repräsentativ sind. Die minimale Dauer liegt bei 0 sec. ohne Unterstützung und 6 sec. mit Unterstützung. Die maximale Dauer liegt bei 87 sec. ohne Unterstützung und 15 sec. mit Unterstützung. Die relativ hohe Anzahl an Ausreißern nach oben kann durch Bedienprobleme einzelner Probanden erklärt werden. Als Besonderheit kann hier hervorgehoben werden, dass bei VP2 und VP7, welche in der Konfiguration ohne Assistenzsystem Bedienprobleme bei der Aktivierung hatten (VP2: 61 sec.; VP7: 87, 63, 48 sec.), durch die Aufgabenvereinfachung die Bediendauer erheblich reduziert werden konnte (VP2: 9 sec., VP7: 15 sec.).

Als letztes Leistungskriterium bei der UAV-Auftragsaktivierung wurde die Vermeidung von Beschuss durch Flugabwehrstellungen bewertet. Der Proband bzw. das Assistenzsystem konnte einen Beschuss verhindern, indem er/es die Auftragsdurchführung des UAVs abbrach und das UAV somit nicht in den Bedrohungsradius der Flugabwehrstellung einflog. In der Konfiguration ohne Assistenzsystem wurden in fünf Fällen UAVs durch Flugabwehrstellungen beschossen, da der Kommandant nicht rechtzeitig reagierte. In der Konfiguration mit Assistenzsystem hingegen griff das System fünfmal mit einer Aufgabenübernahme ein, so dass es zu keinem Beschuss kam.

### 5.3.2.3 UAV-Auftragsplanung

Bei der UAV-Auftragsplanung wurden die Situationen betrachtet, in denen die UAVs neue Aufträge benötigten, da sie entweder keinen weiteren Auftrag hatten oder die weitere Auftragsliste nicht zielführend war. Diese Situationen konnten beim Rückflug aus dem Einsatzgebiet, bei einer Bedrohung des primären Korridors durch eine Luftabwehrstellung,

nach Erteilung des Folgeauftrags und bei Bedrohung der primären Landezone auftreten. Die initiale Planung am Missionsstart wurde hier nicht betrachtet, da einerseits der Planungsbedarf mit dem Start des Experimentaldurchlaufs zusammenfiel und daher die Dauer bis zum Planungsbeginn nicht gemessen werden konnte. Andererseits konnte kein Vergleich zwischen manueller Planung und durch das Assistenzsystem unterstützter Planung angestellt werden, da die initiale Planung immer von den Probanden selbst erledigt wurde. Die Probanden begründeten ihr Verhalten dadurch, dass sie in der Zeit zwischen dem Briefing und dem Missionsstart bereits eine eigene Planung für den Einsatz der Kräfte gemacht hatten und keine Vorschläge des Assistenzsystems benötigten.

Insgesamt konnten in den Konfigurationen ohne Assistenzsystem 28 Handlungsbedarfe für die UAV-Auftragsplanung identifiziert werden, von denen 14 dringend waren bzw. wurden. Mit Assistenzsystem gab es 29 Handlungsbedarfe, von denen 12 dringend wurden.

Als erstes Leistungskriterium wurde ausgewertet, ob die Planungen überhaupt durchgeführt wurden. Hier sollte das Assistenzsystem durch die Aufmerksamkeitslenkung daran erinnern, dass eine Planung notwendig ist. Die Auswertung zeigt, dass sowohl ohne als auch mit Assistenzsystem letztendlich alle notwendigen Planungen durchgeführt wurden.

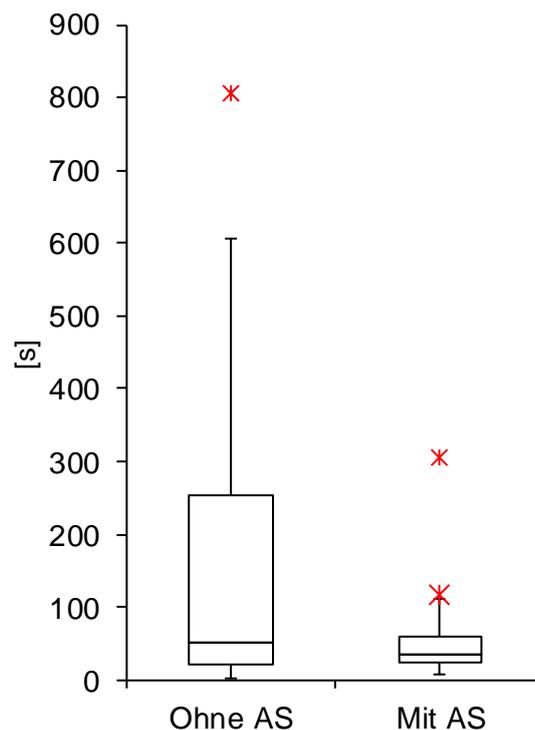
Bei der Qualität der Planungsergebnisse wurde bewertet, ob die in der jeweiligen Situation erforderlichen UAV-Aufträge eingegeben wurden (vgl. Tabelle 24). Dabei war in manchen Situationen die Aufklärung von An- bzw. Abflugpunkten nicht zwingend erforderlich, da diese auf dem Weg lagen und bei Aufklärung der Route dorthin bzw. von dort weg automatisch mit aufgeklärt wurden. Das Assistenzsystem sollte hier durch das Vorschlagen von Aufträgen im Rahmen der Aufgabenvereinfachung zur Verbesserung der Qualität beitragen. Für jeden vorhandenen Auftrag wurde ein Punkt vergeben, wobei mit zusätzlichen, aber nicht notwendigen Aufträgen (z.B. Aufklärung von Anflugpunkt auf Route, s.o.) Extra-Punkte erzielt werden konnten. Verglichen wurde zwischen Situationen, in denen die Probanden die Planung selbst durchführten und Situationen, in denen sie die Unterstützung des Assistenzsystems in Form der Aufgabenvereinfachung in Anspruch nahmen.

**Tabelle 24 Benötigte UAV-Aufträge für Situationen während der Versuchsmissionen**

Mission	Situation			
	Rückflug	Primärer Korridor bedroht	Folgeauftrag	Primäre Landezone bedroht
1	Ausflug Einsatzgebiet, Ausflug Korridor, Landung Basis	Ausflug über alternativen Korridor	Aufklärung Route zu PICKUP, AP_PICKUP, PICKUP	Aufklärung Route zu ISAR2, ISAR2, DP_ISAR2
2	Ausflug Einsatzgebiet, Ausflug Korridor, Landung Basis	-	Aufklärung Route zu PICKUP, PICKUP, Route zu ISAR1, ISAR1, DP_ISAR1	Aufklärung Route zu ISAR2, ISAR2, DP_ISAR2
3	Ausflug Einsatzgebiet, Ausflug Korridor, Landung Basis	Ausflug über alternativen Korridor	Aufklärung Route zu PICKUP, PICKUP, Route zu ISAR1, ISAR1	Aufklärung Route zu ISAR2, ISAR2, DP_ISAR2
4	Ausflug Einsatzgebiet, Ausflug Korridor, Landung Basis	Ausflug über alternativen Korridor	Aufklärung Route zu PICKUP, PICKUP	Aufklärung Route zu ISAR2, ISAR2

Bei Planung ohne Assistenzsystemunterstützung konnten die Probanden 117 von 159 möglichen Punkten erreichen, was einem Anteil von 73,6% entspricht. Da die Aufgabenvereinfachung bei der UAV-Auftragsplanung insgesamt nur dreimal verwendet wurde, konnten hier mit 2 von 4 Punkten und 50% nur wenig repräsentative Ergebnisse festgestellt werden. Die relativ niedrige Punktzahl erklärt sich daraus, dass beim Rückflug häufig nicht alle, sondern nur der nächste Teilauftrag eingegeben wurde und vor Beendigung des Versuchsdurchlaufs nicht mehr alle Aufträge bis zur Landung eingegeben wurden.

Als weiteres Leistungskriterium wurde die Dauer bis zum Beginn der UAV-Auftragsplanung in dringenden Fällen bewertet (14 ohne, 12 mit Assistenzsystem). Ziel der Aufmerksamkeitslenkung war die Verkürzung dieser Dauer. Die Messung wurde gestartet, wenn der Planungsbedarf dringend wurde. Dies war der Fall, wenn die UAVs ihren Auftrag im Einsatzgebiet erledigt hatten und auf den Rückflug geschickt werden konnten, ein UAV den Auftrag, welcher zum bedrohten Korridor führte begann, unmittelbar nachdem der Folgeauftrag erteilt war oder sich der H/C auf den Weg zur alternativen Landezone machte. Die Messung wurde gestoppt, wenn die Probanden die erste planungsrelevante Aktion machten, wie z.B. auf dem MHDD in das Format zur Auftragseingabe zu wechseln. Die Messung wurde unterbrochen, wenn dringendere bzw. gleich dringende Aufgaben zuerst bearbeitet wurden, wie z.B. die Planung der H/C-Aufträge nach Erteilung des Folgeauftrags. Die Ergebnisse sind in Abbildung 93 dargestellt.

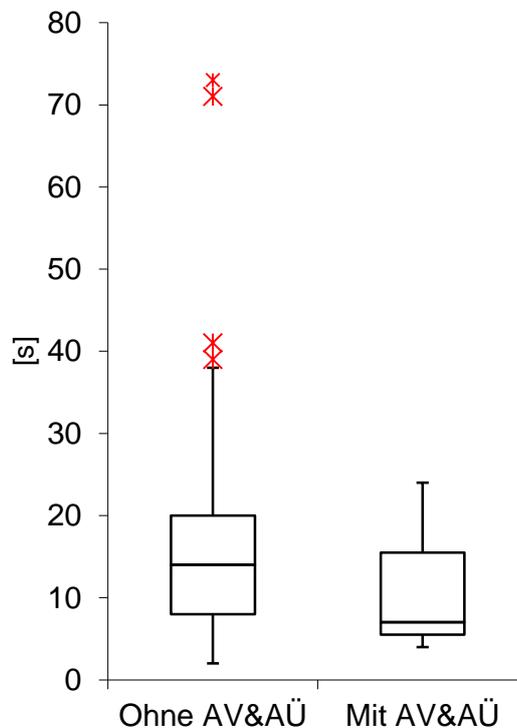


**Abbildung 93 Dauer bis zur UAV-Auftragsplanung (AS= Assistenzsystem)**

Der Median der gemessenen Werte reduzierte sich von 51 sec. ohne auf 35,5 sec. mit Assistenzsystem. Der maximale Wert liegt ohne Assistenzsystem bei 807 sec. und mit Assistenzsystem bei 305 sec.. Außerdem finden sich auf der oberen Seite ohne Assistenzsystem vier Messwerte über 120 Sekunden, während es mit Assistenzsystem nur noch ein Wert ist. Auf der unteren Seite liegt das Minimum bei 1 sec. ohne Assistenzsystem bzw. 9 sec. mit diesem.

Als letztes Leistungskriterium wurde bewertet, wie lange die Probanden benötigten, um den UAVs in den jeweiligen Situationen die Aufträge zuzuweisen. Diese Dauer sollte das Assistenzsystem durch die Aufgabenvereinfachung und die Aufgabenübernahme verringern.

Da in den allermeisten Fällen die Planung ohne Unterstützung durch das Assistenzsystem durchgeführt wurde, traten 54 Fälle ohne Unterstützung und nur 3 Fälle mit Unterstützung auf. Als Startzeitpunkt für die Messung diente die erste planungsrelevante Interaktion der Probanden. Die Messung wurde beendet, sobald der letzte für diese Situation relevante Auftrag eingegeben war. Systembearbeitungszeiten wurden hierbei als Unterbrechung aus der Messung herausgenommen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 94 dargestellt.



**Abbildung 94** Dauer der UAV-Auftragsplanung (AV=Aufgabenvereinfachung, AÜ=Aufgabenübernahme)

Der Median für die Bearbeitungszeit ohne Assistenzsystemunterstützung liegt bei 14 sec., das Minimum bei 2 sec. und das Maximum bei 73 sec.. Die hohen Werte bei 73 und 71 sec. lassen sich auf Bedienprobleme zurückführen. Mit Assistenzsystemunterstützung wurden die drei Werte 4, 7 und 24 sec. gemessen.

### 5.3.2.4 H/C-Auftragsplanung

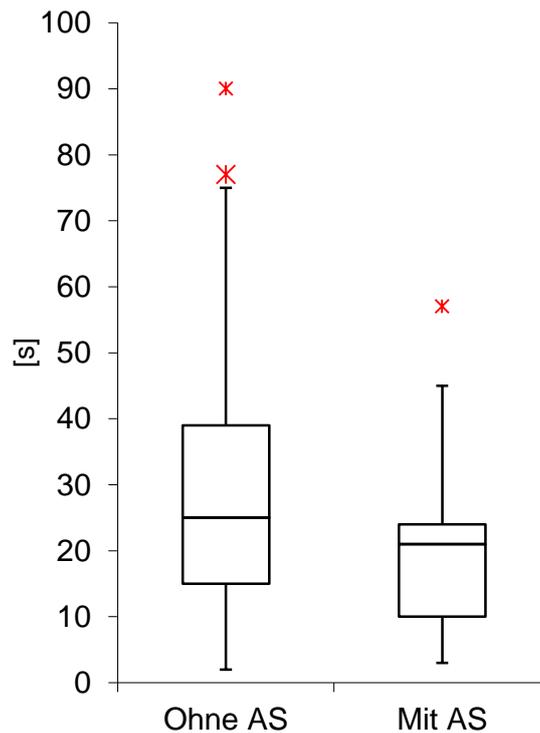
Bei der H/C-Auftragsplanung wurden die Umplanungen der Landezone, des Korridors und für den Folgeauftrag betrachtet. Die initiale Planung zu Beginn der Mission wurde hier aus denselben Gründen wie bei der UAV-Auftragsplanung nicht betrachtet. Da die H/C-Auftragsplanung in einzelnen Fällen auch durch den Piloten und nicht durch den Kommandanten durchgeführt wurde, wurden diese Fälle auch berücksichtigt.

Als erstes Leistungsmaß wurde festgestellt, ob die notwendigen Umplanungen durchgeführt wurden. Ohne Assistenzsystem wurden hier 19 von 20 notwendigen H/C-Auftragsplanungen durchgeführt. Mit Assistenzsystem wurden 21 von 21 H/C-Auftragsplanungen durchgeführt.

Bei der Qualität der Umplanungen konnten keine Unterschiede festgestellt werden, da letztlich alle H/C-Auftragsplanungen korrekt durchgeführt wurden.

Als weiteres Leistungsmaß wurde die Dauer bis zum Beginn der H/C-Auftragsplanung in dringenden Fällen gemessen (19 Situationen ohne, 17 mit Assistenzsystem). Ziel der Aufmerksamkeitslenkung des Assistenzsystems war es, diese Zeitdauer zu verkürzen. Der Startzeitpunkt der Messung war durch dadurch definiert, dass die Umplanung zur dringendsten Aufgabe wurde. Die Missionen wurden so gestaltet, dass die Aufgabe stets

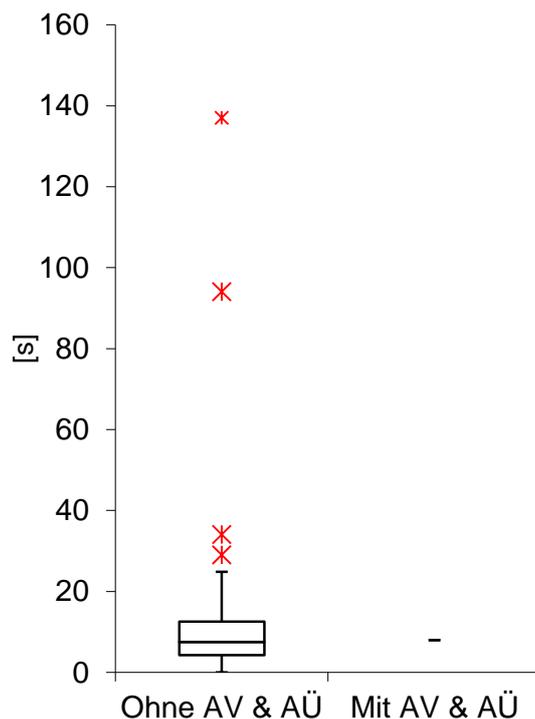
unmittelbar dringend war. Der Stoppzeitpunkt der Messung war durch die erste planungsrelevante Interaktion mit dem System definiert. In einzelnen Fällen wurde die Messung unterbrochen, wenn durch die ATR Funktion neue Objekte auftraten, welche dringend identifiziert werden mussten. Diese Aufgabe hatte gemäß Kapitel 3.1.3.1 eine höhere Dringlichkeit als die H/C-Auftragsplanung. Außerdem wurde die Messung unterbrochen, wenn vor der H/C-Auftragsplanung die ggf. auch notwendige Umplanung der UAV-Aufträge durchgeführt wurde. Da die Messungen anhand der Videoaufzeichnungen durchgeführt wurden, liegt die Genauigkeit bei einer Sekunde. Die Ergebnisse sind in Abbildung 95 dargestellt.



**Abbildung 95 Dauer bis zum Beginn der H/C-Auftragsplanung (AS=Assistenzsystem)**

Der Median der gemessenen Werte konnte von 25 sec. ohne auf 21 sec. mit Assistenzsystem gesenkt werden. Der maximale Wert liegt ohne Assistenzsystem bei 90 sec. und mit Assistenzsystem bei 57 sec..

Als letztes Leistungsmaß wurde die Dauer für die Bearbeitung der Aufgabe durch die Probanden gemessen. Ziel der Aufgabenvereinfachung und der Möglichkeit, eine Aufgabenübernahme anzufragen war es, diese Zeitdauer verkürzen. Bei der H/C-Auftragsplanung wurde die Assistenzsystemunterstützung nur zweimal angefragt, in den restlichen 38 Fällen erledigten die Probanden die H/C-Auftragsplanung eigenständig. Als Start- und Endzeitpunkt der Messung diente die erste bzw. letzte planungsrelevante Systeminteraktion der Probanden. Die weitere Verarbeitungszeit des Missionsplaners bis zum Erscheinen des neuen H/C-Plans im System wurde nicht mehr berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 96 dargestellt.



**Abbildung 96** Dauer für die H/C-Auftragsplanung (AV=Aufgabenvereinfachung, AÜ=Aufgabenübernahme)

Bei Verwendung der Assistenzsystemunterstützung benötigte die Aufgabenbearbeitung zweimal 8 sec.. Ohne Verwendung der Assistenzsystemunterstützung lag der Median bei 7,5 sec.. Die beiden Ausreißer nach oben kamen durch Bedienprobleme der Probanden zustande. In zwei Fällen trat hier auch eine Bediendauer von 0 sec. auf, da die Interaktion aus nur einer einzelnen Aktion bestand.

### 5.3.3 Verhalten

Neben der Leistungsanalyse kann eine Analyse des Verhaltens noch genauere Aufschlüsse über die Auswirkungen des Assistenzsystemeinsatzes liefern. Dafür wurden in einem ersten Schritt die Eingriffe des Assistenzsystems festgehalten (Kapitel 5.3.3.1). Anhand der anschließenden Reaktionen der Probanden auf diese konnte analysiert werden, ob und inwiefern die Probanden die Unterstützungsangebote durch das Assistenzsystem nutzten (Kapitel 5.3.3.2). Diese Ergebnisse können in der anschließenden Diskussion dafür verwendet werden, um zu validieren, ob die Aufgabenbearbeitung in Sinne des anvisierten „*Cooperative Control*“ Paradigmas erreicht wurde.

#### 5.3.3.1 Assistenzsystemeingriffe

Die Eingriffe des Assistenzsystems über alle Versuchsdurchläufe sind in Tabelle 25 dargestellt. Dabei wurden zuerst nur die vom Assistenzsystem eigeninitiativ ausgelösten Eingriffe gezählt. Die von den Probanden als Reaktion darauf angefragten Assistenzfunktionen werden im folgenden Kapitel behandelt.

**Tabelle 25** Eigeninitiative Eingriffe des Assistenzsystems (OI=Objektidentifikation, UAV-AA=UAV-Auftragsaktivierung, UAV-AP=UAV-Auftragsplanung, H/C-AP=H/C-Auftragsplanung)

	OI	UAV-AA	UAV-AP	H/C-AP	Gesamt
<b>Aufmerksamkeitslenkung</b>	12	15	20	27	<b>74</b>
<b>Aufgabenvereinfachung</b>					
<b>Aufgabenübernahme</b>		5			<b>5</b>

Bei Zellen ohne Inhalt war kein Modell für die eigeninitiative Auslösung der entsprechenden Eingriffsart implementiert. So war es z.B. bei der Objektidentifikation für die Probanden zwar möglich, eine Aufgabenvereinfachung anzufordern und dem System damit eine Überforderung mitzuteilen, eine eigene Überforderungserkennung fehlte allerdings. Die Realisierung derartiger Modelle stellt immer noch einen Forschungsgegenstand dar und sollte in weiterführenden Arbeiten erforscht werden.

Eine Aufmerksamkeitslenkung trat mit Ausnahme der UAV-Auftragsaktivierung bei jedem der acht Probanden in jeder Aufgabe mindestens einmal auf, so dass eine spätere Bewertung im Akzeptanzfragebogen möglich war. Die Aufgabenübernahme der UAV-Auftragsaktivierung (Assistenzsystem stoppt das UAV vor einer SAM-Stellung) war nur bei vier der acht Probanden aktiviert und trat bei jedem Probanden ebenfalls mindestens einmal auf. Mit insgesamt 79 Eingriffen bei acht Probanden wurden durchschnittlich ca. 10 Eingriffe bei jedem Probanden bzw. Versuchsdurchlauf ausgelöst.

### 5.3.3.2 Analyse der Nutzungsstrategien

Die Probanden hatten bei den Eingriffsarten „Aufmerksamkeitslenkung“ und „Aufgabenvereinfachung“ die Möglichkeit, durch Interaktion mit dem Assistenzsystem auf die Eingriffe zu reagieren. Bei der Aufgabenübernahme war laut Konzept keine weitere Interaktion mit dem Assistenzsystem vorgesehen (vgl. Kapitel 3.1.2.4).

In Abbildung 97 ist ein beispielhafter Interaktionsverlauf für einen Eingriff bei der Objektidentifikation dargestellt.

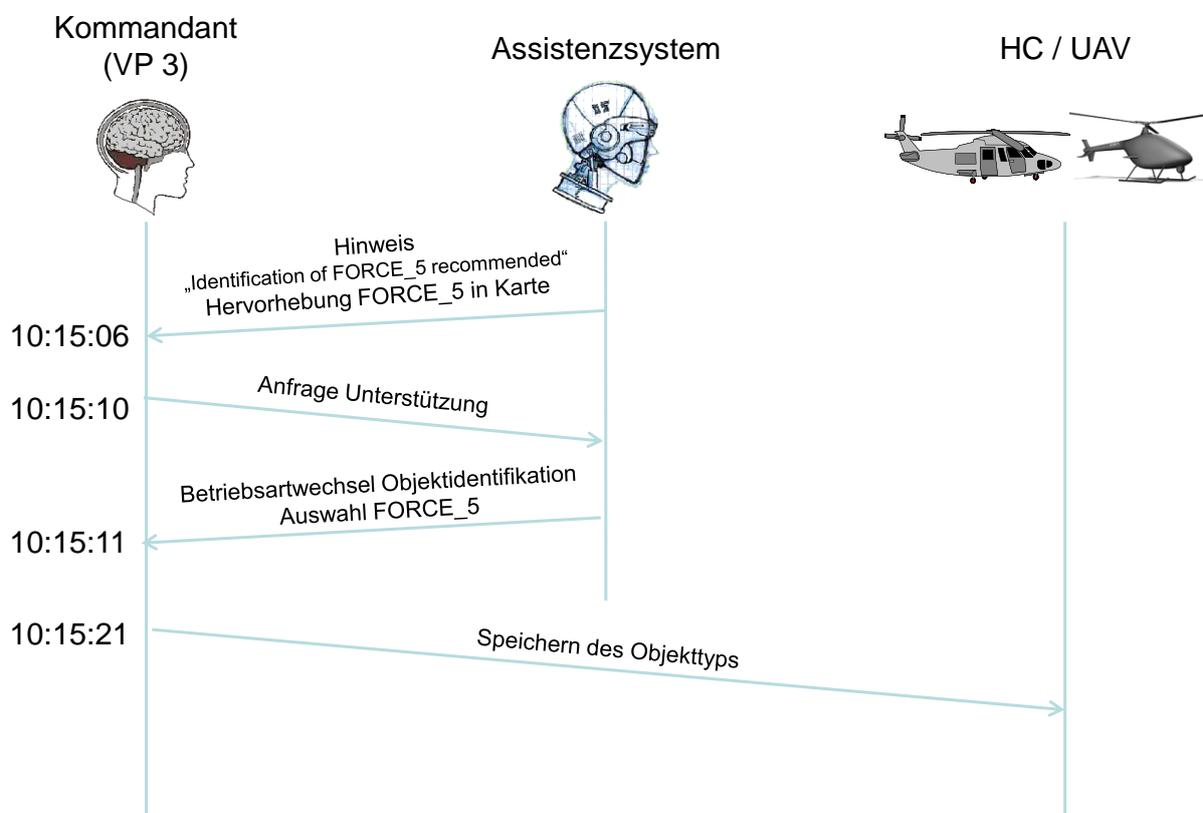


Abbildung 97 Interaktionsbeispiel bei Eingriff in der Objektidentifikation (Versuchsdurchlauf #7)

Das Assistenzsystem schickt im Rahmen der Aufmerksamkeitslenkung zuerst einen Hinweis an den Probanden und hebt das Objekt in der Karte hervor. Nachdem der Proband die Nachricht verarbeitet hat, entschließt er sich, beim Assistenzsystem eine Unterstützung

anzufordern. Das Assistenzsystem wechselt daraufhin die Betriebsart in die Objektidentifikation und wählt zugleich das entsprechende Objekt aus, so dass die Fotos sofort sichtbar sind. Nachdem der Proband die Fotos betrachtet hat und zu einer Entscheidung bezüglich der Identität des Objekts gelangt ist, speichert er den Objekttyp im taktischen Lagesystem des H/C.

In Abbildung 98 ist ein weiteres Interaktionsbeispiel für einen Eingriff bei der UAV-Auftragsaktivierung dargestellt.

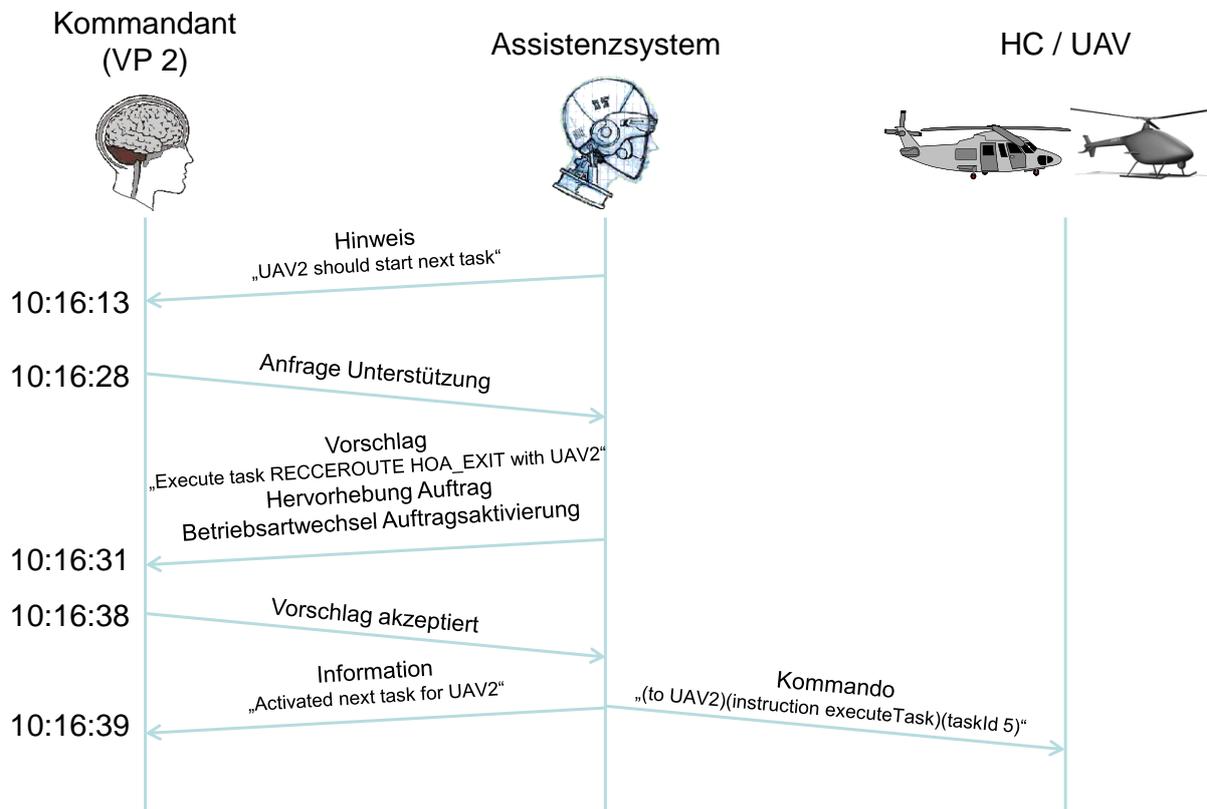
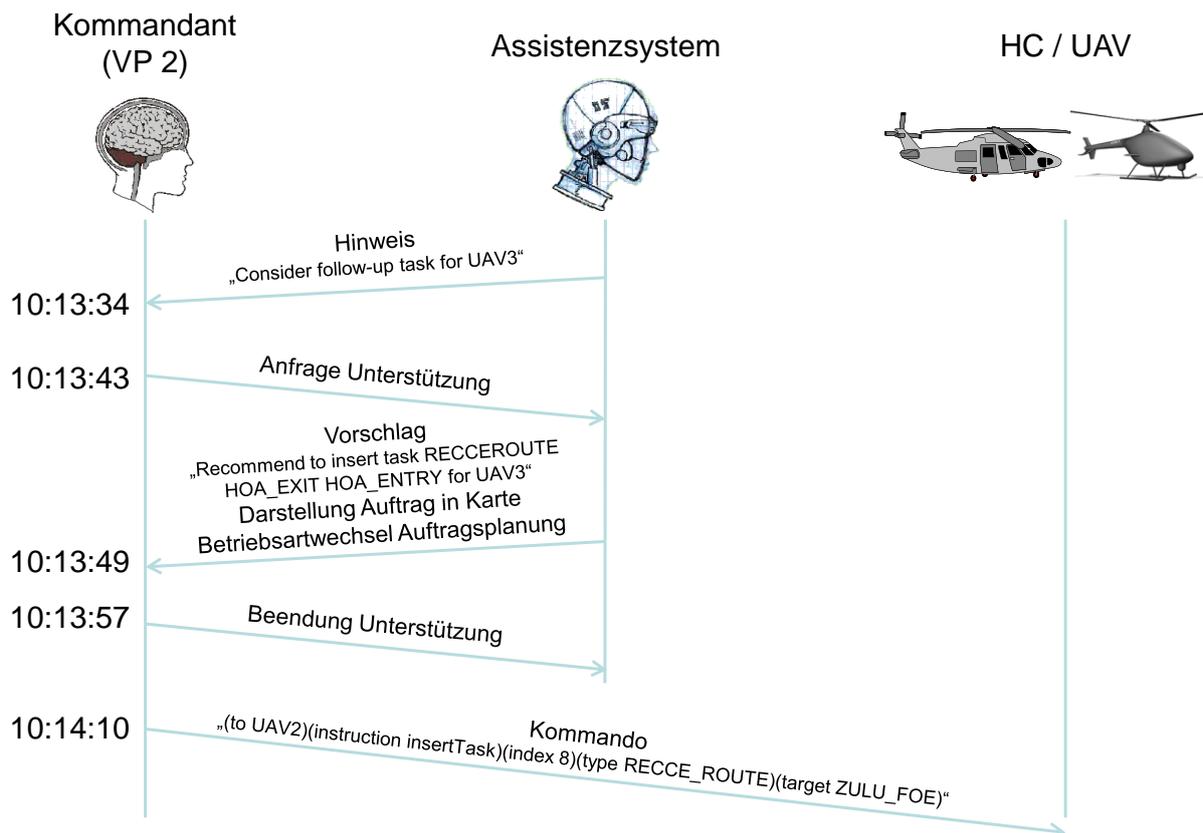


Abbildung 98 Interaktionsbeispiel bei Eingriff in der UAV-Auftragsaktivierung (Versuchsdurchlauf #6)

Das Assistenzsystem schickt im Rahmen der Aufmerksamkeitslenkung wieder zuerst einen Hinweis an den Probanden. Der Proband wählt daraufhin die Möglichkeit, vom Assistenzsystem eine Unterstützung anzufordern. Das Assistenzsystem wechselt wie zuvor das HMI wieder in die entsprechende Betriebsart zum Aktivieren von Aufträgen. Zusätzlich kann das Assistenzsystem hier einen Lösungsvorschlag anbieten, welcher Auftrag zu aktivieren ist und hebt diesen als zusätzliche Bedienungshilfe noch in der Karte hervor. Der Proband hat nun die Möglichkeit, mit der Bedienungshilfe den Auftrag selbst zu aktivieren oder den Auftrag automatisch aktivieren zu lassen. Er entscheidet sich für die automatische Aktivierung und wählt den Accept-Button im Dialogsystem des Assistenzsystems. Hierauf sendet das Assistenzsystem ein Kommando an das entsprechende UAV und teilt dem Kommandanten mit, dass es den Auftrag aktiviert hat.

Zuletzt wird noch ein Interaktionsbeispiel für einen Eingriff bei der UAV-Auftragsplanung gezeigt (vgl. Abbildung 99).



**Abbildung 99 Interaktionsbeispiel bei Eingriff in der UAV-Auftragsplanung (Versuchsdurchlauf #14)**

Hier lenkt das Assistenzsystem wie bei den anderen Beispielen auch durch einen Hinweis die Aufmerksamkeit auf die Aufgabe. Der Proband fordert daraufhin Unterstützung an und das Assistenzsystem teilt ihm neben der HMI-Konfiguration auch einen Vorschlag für einen UAV-Auftrag mit. In diesem Fall entschließt sich der Proband allerdings nicht für den vorgeschlagenen Auftrag, sondern beendet die Unterstützung durch den Ignore-Button und sendet selbst einen alternativen Auftrag an das UAV.

Die Interaktionen der Probanden bei den entsprechenden Eingriffsarten und Kommandantenaufgaben sind in Tabelle 26 noch einmal zusammengefasst. Bei leeren Zellen war die entsprechende Interaktionsmöglichkeit nicht gegeben. Beispielsweise konnte bei einer Aufgabenvereinfachung nicht noch einmal Unterstützung über den Support-Button angefragt werden.

**Tabelle 26 Interaktionen der Probanden mit dem Assistenzsystem (AL=Aufmerksamkeitslenkung, AV=Aufgabenvereinfachung)**

	OI		UAV-AA		UAV-AP		H/C-AP		Gesamt
	AL	AV	AL	AV	AL	AV	AL	AV	
<b>Support-Button</b>	5		4		6		2		<b>17</b>
<b>Accept-Button</b>				4		3		2	<b>9</b>
<b>Ignore-Button</b>	0	1	8	0	12	3	9	0	<b>33</b>
<b>Keine AS-Interaktion</b>	7	4	3	0	2	0	16	0	<b>32</b>
<b>Gesamt</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>6</b>	<b>27</b>	<b>2</b>	

Neben den genauen Interaktionen werden im Folgenden noch einige interessante Einzelbeispiele von Probandenverhalten vorgestellt.

Bei mehreren Probanden trat der Fall auf, dass sie bei der Objektidentifikation unwissentlich ein anderes, bereits identifiziertes Objekt ausgewählt hatten und dieses noch einmal identifizierten. In der Konfiguration mit Assistenzsystem wies dieses mit der Aufmerksamkeitslenkung nicht auf ein Vergessen, sondern auf eine Fehlbedienung hin, welche von den Probanden genutzt wurde, um ihren Fehler schnell zu erkennen und zu korrigieren. Hierdurch konnte in zwei Fällen die Dauer der Identifikation noch verkürzt werden.

Ein Proband hatte trotz des Trainings während den Versuchsdurchläufen noch deutliche Probleme in der Bedienung des HMI. Hier erfolgte keine Aufgabenvereinfachung durch das Assistenzsystem und somit auch keine Interaktion, welche die oben bereits erwähnte Überforderungserkennung benötigt.

Bei einem Probanden trat eine Situation auf, in der er eine Aufgabenvereinfachung für die Objektidentifikation mit dem Support-Button angefordert hatte und trotz dieser nicht in der Lage war, die Aufgabe zu erfüllen. Die Unterstützung wurde zwar genutzt, allerdings wäre eine noch detailliertere Bedienhilfe nötig gewesen.

Die Interaktionen der Probanden mit dem Assistenzsystem sowie deren weiteres Verhalten erlauben einen Rückschluss auf die Nutzung der angebotenen Assistenzfunktionen. Bei einer Aufmerksamkeitslenkung ist relevant, ob der Proband den Hinweis befolgt hat und die entsprechende Aufgabe danach bearbeitet hat. Bei einer Aufgabenvereinfachung hingegen ist es relevant, ob der Proband die angebotene Unterstützung bei der Aufgabenbearbeitung verwendet hat oder ob diese für ihn nicht hilfreich war.

Bei Anfrage einer Unterstützung zur Aufgabenbearbeitung mittels des Support-Buttons kann von einer Befolgung der Aufmerksamkeitslenkung ausgegangen werden. Ebenso kann von einer Verwendung der Aufgabenvereinfachung bei Anfrage einer automatischen Durchführung über den Accept-Button ausgegangen werden. Der Ignore-Button deutet eigentlich auf eine Ablehnung des Assistenzsystemeingriffs hin. Allerdings wurde anhand von Videoauswertungen erkannt, dass dieser Button auch häufig als Bestätigung verwendet wurde, dass die Nachricht gelesen wurde. Im Anschluss wurde die Aufgabe dann trotzdem bearbeitet bzw. die Unterstützung verwendet. Wenn der Proband nicht weiter mit dem Assistenzsystem interagiert, kann hieraus kein Rückschluss auf die Nutzungsstrategie bzw. den Erfolg der Assistenzfunktion gezogen werden. Bei diesen Fällen musste anhand von Videoauswertung nachverfolgt werden, ob die Aufgabe im Anschluss bearbeitet bzw. die Unterstützung verwendet wurde.

Die Analyse der Nutzungsstrategien ist in Tabelle 27 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass von den insgesamt 74 systeminitiierten Aufmerksamkeitslenkungen 55 befolgt und nur 19 nicht befolgt wurden. Bei den 17 Aufgabenvereinfachungen, welche alle durch die Probanden angefragt wurden, wurden 14 verwendet und nur 3 nicht verwendet.

**Tabelle 27 Analyse der Nutzungsstrategien**

		OI	UAV-AA	UAV-AP	H/C-AP	Gesamt
AL	befolgt	12	11	11	21	55
	nicht befolgt	0	4	9	6	19
AV	verwendet	5	4	3	2	14
	nicht verwendet	0	0	3	0	3

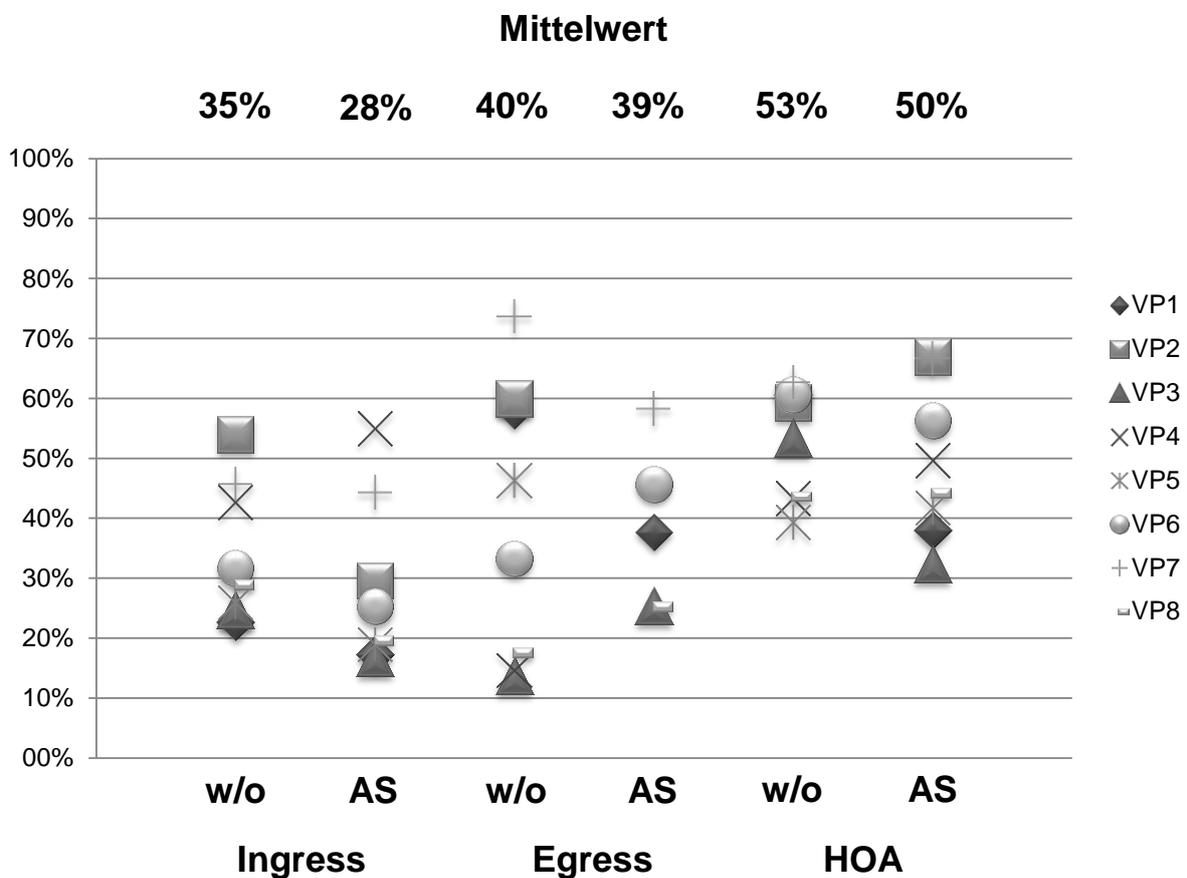
### 5.3.4 Beanspruchung

Bei der Erhebung der Beanspruchung der Probanden wurde wie oben erläutert auf das NASA-TLX Verfahren zurückgegriffen, um einen Vergleich zwischen den Konfigurationen und

Missionsphasen zu erhalten (Kapitel 5.3.4.1). Außerdem enthielt der Akzeptanzfragebogen noch die Möglichkeit für die Probanden, den Einfluss der einzelnen Assistenzfunktionen auf die Beanspruchung zu bewerten (Kapitel 5.3.4.2).

### 5.3.4.1 NASA-TLX

Die Ergebnisse des NASA-TLX Fragebogens sind in Abbildung 100 dargestellt. Auf der x-Achse sind die insgesamt sechs verschiedenen Messzeitpunkte (2 Konfigurationen x 3 Missionsphasen) aufgetragen. Die y-Achse spiegelt die absoluten Beanspruchungswerte für jede einzelne Versuchsperson wider. Die Mittelwerte für jeden Messzeitpunkt sind oben angetragen. Allerdings wurde die Skala individuell sehr unterschiedlich genutzt, was sich in einer hohen Streuung der Messwerte ausdrückt und was einen Vergleich der Mittelwerte erschwert. Zwischen den verschiedenen Missionsphasen kann ein Anstieg der Beanspruchung vom Ingress über den Egress zur HOA um jeweils ca. 10% festgestellt werden.



**Abbildung 100 Beanspruchung in den Missionsphasen mit und ohne Assistenzsystem**

Die Ergebnisse wurden in der Folge noch hinsichtlich der Beanspruchungsdimensionen analysiert (vgl. Abbildung 101). Hier wurden die verschiedenen Missionsphasen zusammengefasst und nur die Konfigurationen ohne und mit Assistenzsystem verglichen. Während die Beanspruchung in den Dimensionen geistige Anforderung, körperliche Anforderung, Leistung, Anstrengung und Frustration in etwa gleich bleiben und um maximal 1,5% variieren, sinkt die zeitliche Anforderung durch den Einsatz des Assistenzsystems um ca. 40% von 13,7% auf 8,3%.

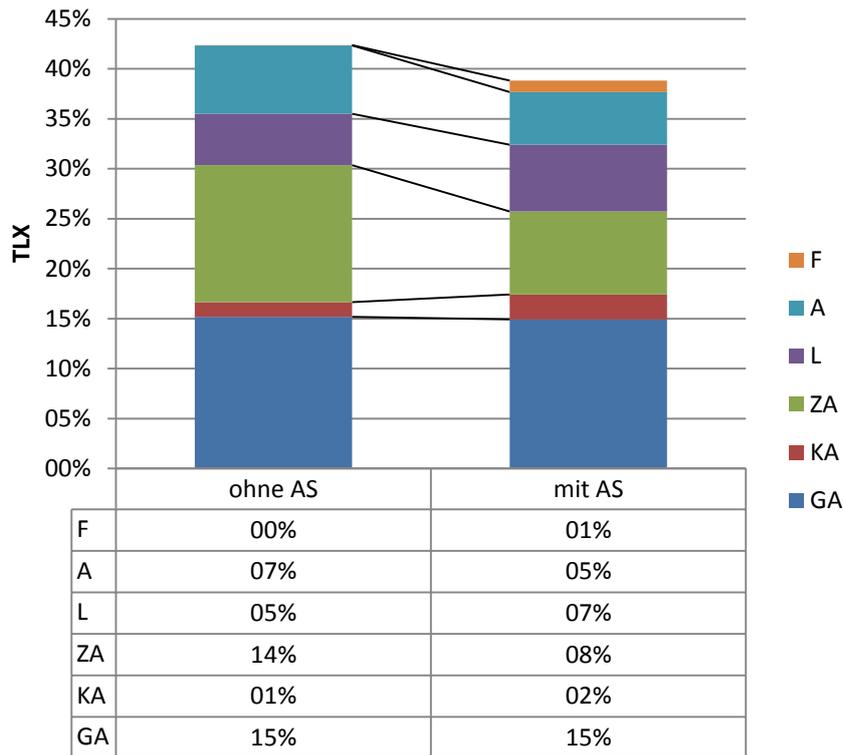
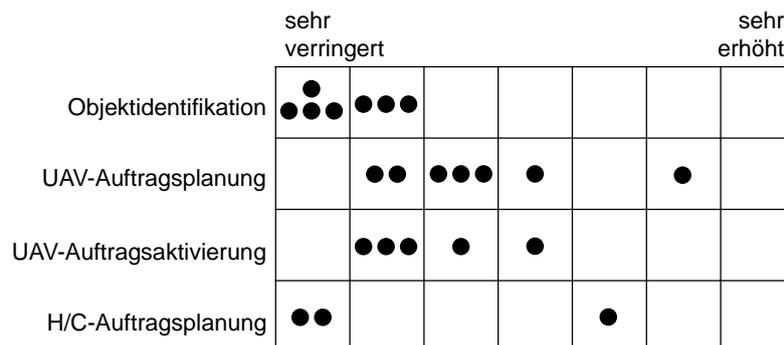


Abbildung 101 Beanspruchungsdimensionen mittels NASA-TLX (F=Frustration, A=Anstrengung, L=Leistung, ZA=zeitliche Anforderung, KA=körperliche Anforderung, GA=geistige Anforderung)

### 5.3.4.2 Bewertung anhand von Einzelfunktionen

Da die Bewertung der Beanspruchung mit dem NASA-TLX Fragebogen nur ein eher allgemeines Bild vermitteln kann, hatten die Probanden im abschließenden Fragebogen noch die Möglichkeit, den Einfluss der einzelnen Assistenzfunktionen auf ihre Beanspruchung einzuschätzen (vgl. Tabelle 28).

Tabelle 28 Bewertung der Aufgabenvereinfachung hinsichtlich Beanspruchung



Hier wurde speziell die Eingriffsart Aufgabenvereinfachung abgefragt, welche darauf abzielt, den Operateur bei Überforderungssituationen zu unterstützen. Da die Aufgabenvereinfachung nicht von allen Probanden bei allen Aufgaben in Anspruch genommen wurde, sind auch nicht immer acht Bewertungen vorhanden. Laut den Ergebnissen verringern die Assistenzfunktionen die Beanspruchung. Speziell die Aufgabenvereinfachung bei der Objektidentifikation wurde als sehr beanspruchungsreduzierend bewertet. Die vorgeschlagenen Aufträge bei der UAV-Auftragsplanung und der H/C-Auftragsplanung wurden jeweils einmal als beanspruchungssteigernd bewertet. Nach Aussage der Probanden stellt der Vorschlag einer Lösung zwar prinzipiell eine Vereinfachung dar, allerdings kann dieser nicht blind vom Operateur akzeptiert werden, sondern muss zuerst von ihm überprüft

werden. Dies stellt wiederum eine zusätzliche Aufgabe für den Operateur dar, welche die Beanspruchung erhöht.

### 5.3.5 Situationsbewusstsein

Das Situationsbewusstsein der Probanden bei den Experimenten wurde wie oben beschrieben auf verschiedene Arten abgefragt. Als erstes wurde ein objektiver SAGAT-Test durchgeführt, bei dem einerseits Fragen zum aktuellen Situationsbewusstsein (vgl. Tabelle 18) gestellt wurden (Kapitel 5.3.5.1) und zum anderen auf einer elektronischen Karte die Positionen eigener und Feindkräfte eingezeichnet werden sollten (Kapitel 5.3.5.2). Außerdem konnten die Probanden im abschließenden Fragebogen angeben, welchen Einfluss die Assistenzfunktionen auf ihr Situationsbewusstsein hatten (Kapitel 5.3.5.3).

#### 5.3.5.1 SAGAT (Fragen)

Bei der Befragung der Probanden in den einzelnen Missionsphasen wurden in beiden Konfigurationen gute Ergebnisse erzielt (vgl. Tabelle 29). Ohne Assistenzsystem wurden von allen Probanden zusammen 89,7% der möglichen Punkte erreicht und in der Konfiguration mit Assistenzsystem sogar 95,1%. Zwischen den Missionsphasen lässt sich feststellen, dass in der HOA prinzipiell ein schlechteres Situationsbewusstsein als auf dem Ingress vorhanden ist. Da manche Befragungen mitten in einer Umplanung stattfanden, wurden vereinzelt Fragen zu den aktuellen bzw. zukünftigen Aufträgen der UAVs nicht gewertet. Daher ergibt sich in den verschiedenen Kategorien eine unterschiedliche Gesamtpunktzahl.

**Tabelle 29 Situationsbewusstsein mit SAGAT-Verfahren (Fragen)**

	Punkte	Gesamt	Prozent
<b>Ohne AS</b>	<b>278</b>	<b>310</b>	<b>89.68%</b>
Ingress	148	160	92.50%
HOA	130	150	86.67%
<b>Mit AS</b>	<b>308</b>	<b>324</b>	<b>95.06%</b>
Ingress	155	160	96.88%
HOA	153	164	93.29%

#### 5.3.5.2 SAGAT (Elektronische Karte)

Die Messung des Situationsbewusstseins mit der elektronischen Karte (vgl. Tabelle 30) zeigt in beiden Konfigurationen vergleichbare Ergebnisse (70,1% ohne Assistenzsystem vs. 68,2% mit Assistenzsystem). Auch hier ist das Situationsbewusstsein mit 61,4% bzw. 65,8% in der HOA schlechter als auf dem Ingress (81,8% bzw. 76,5%).

**Tabelle 30 Situationsbewusstsein mit SAGAT-Verfahren (Elektronische Karte)**

	Punkte	Gesamt	Prozent
<b>Ohne AS</b>	<b>108</b>	<b>154</b>	<b>70.1%</b>
Ingress	54	66	81.8%
HOA	54	88	61.4%
<b>Mit AS</b>	<b>105</b>	<b>154</b>	<b>68.2%</b>
Ingress	26	34	76.5%
HOA	79	120	65.8%

Die Anzahl der erreichbaren Punkte hing bei dieser Befragung maßgeblich davon ab, wie viele Objekte zum Zeitpunkt der Befragung bereits erkannt wurden. Bei der Befragung mit Assistenzsystem auf dem Ingress konnten außerdem nur wenige Punkte erreicht werden, da Mission 3 aus der Bewertung genommen wurde. Hier wurde beim Missionsdesign eine lange

Strecke über dem Wasser gewählt, bei der die Probanden keine Anhaltspunkte in der Karte hatten und somit die Positionen im Vergleich zu den anderen Befragungen bei allen Probanden sehr weit abwichen.

### 5.3.5.3 Bewertung anhand von Einzelfunktionen

Die SAGAT-Tests liefern zwar ein objektives Ergebnis, allerdings besteht hierbei kein direkter Zusammenhang zu den Assistenzfunktionen. Daher konnten die Probanden in der abschließenden Befragung noch einmal subjektiv den Einfluss der Funktionen auf ihr Situationsbewusstsein bewerten (vgl. Tabelle 31). Hier wurde speziell der Eingriff Aufmerksamkeitslenkung abgefragt, welcher die Verbesserung des Situationsbewusstseins zum Ziel hat. Die Ergebnisse zeigen einen positiven Einfluss der Assistenzfunktionen auf das Situationsbewusstsein. Speziell der Hinweis auf ein zu identifizierendes Objekt bzw. auf eine notwendige Umplanung der H/C-Aufträge verbesserte nach Meinung der Probanden deren Situationsbewusstsein.

**Tabelle 31 Bewertung der Aufmerksamkeitslenkung hinsichtlich Situationsbewusstsein**

	sehr verbessert			sehr verschlechtert			
Objektidentifikation	●	●●●	●●				
UAV-Auftragsplanung		●●	●●	●●●	●		
UAV-Auftragsaktivierung		●●	●●	●●	●●		
H/C-Auftragsplanung	●	●●●	●●	●			

### 5.3.6 Akzeptanz

In der abschließenden Befragung wurde noch die Meinung der Probanden zur Mensch-Maschine-Schnittstelle (Kapitel 5.3.6.1) und den einzelnen Funktionen (Kapitel 5.3.6.2 - Kapitel 5.3.6.5) des Assistenzsystems festgehalten.

#### 5.3.6.1 Mensch-Maschine-Schnittstelle

Da die Mensch-Maschine-Schnittstelle für den Benutzer eine der wichtigsten Systemeigenschaften darstellt, wurde dieser Teil im Fragebogen berücksichtigt. Allerdings stellt sie nicht den Schwerpunkt der Arbeit dar, weshalb auf eine detaillierte Befragung verzichtet und diese eher allgemein gehalten wurde.

Die rein sensorische und motorische Handhabbarkeit des Systems wurde von den Probanden durchwegs gut bewertet (vgl. Tabelle 32). Hier gab es lediglich eine Anmerkung, dass manche Nachrichten des Assistenzsystems, in denen auf missionsrelevante Punkte referenziert wurde, zu lang bzw. schlecht verständlich waren.

**Tabelle 32 Bewertung der Größe, Lesbarkeit und Erreichbarkeit der Buttons / Nachrichten**

sehr gut								sehr schlecht
●●	●●●	●						

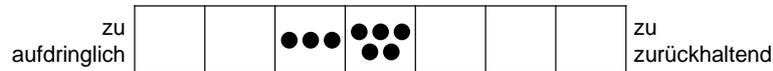
Das Anzeige-Bedienkonzept wurde von den Probanden ebenfalls durchwegs als einfach bzw. sehr einfach bewertet (vgl. Tabelle 33).

**Tabelle 33 Bewertung des Anzeige-Bedienkonzepts**

sehr einfach								sehr kompliziert
●	●●●							

Abschließend sollten die Probanden noch bewerten, ob die Gestaltung der Eingriffe mit den entsprechenden Modalitäten (visuell & auditiv) für sie eher zu aufdringlich oder zu zurückhaltend war, so dass ihnen evtl. manche Meldungen entgingen. Die Ergebnisse zeigen hier ein ausgewogenes Bild (vgl. Tabelle 34).

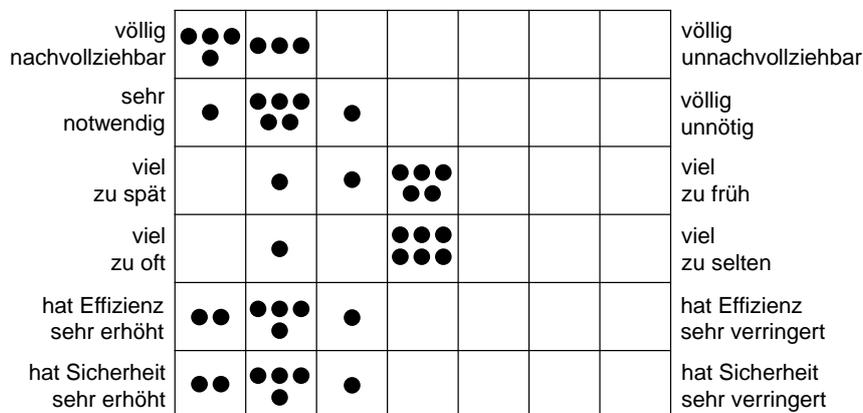
**Tabelle 34 Bewertung Eingriffsintensität**



### 5.3.6.2 Objektidentifikation

Bei der Aufgabe „Objektidentifikation“ wurde durch die Probanden vor allem die Aufmerksamkeitslenkung bewertet (vgl. Tabelle 35). Hier wurden die verschiedenen Aspekte Nachvollziehbarkeit, Notwendigkeit, Zeitpunkt und Häufigkeit der Warnung beurteilt. Außerdem wurde beurteilt, ob die Eingriffe im Rahmen des Missionsverlaufs nützlich waren. Die Bewertung zeigt für die Funktion ein durchwegs positives Bild.

**Tabelle 35 Bewertung der Aufmerksamkeitslenkung bei der Objektidentifikation**



Die Probanden hatten bei der Objektidentifikation noch die Möglichkeit, eine Aufgabenvereinfachung anzufordern. Diese Funktion wurde allerdings nur hinsichtlich des Einflusses auf die Beanspruchung bewertet und die Ergebnisse bereits in Kapitel 5.3.4.2 dargelegt.

Ein Proband merkte noch an, dass die Funktion den Kommandanten besonders unterstützt, wenn dieser nicht alle UAVs bzw. deren Aufklärungsergebnisse im Kartenausschnitt sehen kann.

### 5.3.6.3 UAV-Auftragsaktivierung

Die Aufmerksamkeitslenkung auf die bzw. Erinnerung an die Aktivierung der UAV-Aufträge wurde nach denselben Kriterien bewertet wie bei der Objektidentifikation. Hier zeigte sich im Vergleich ein geteiltes Bild (vgl. Tabelle 36). Während Warnzeitpunkt und -häufigkeit als passend bewertet wurden, konnte der Eingriff von den Probanden nicht immer nachvollzogen werden bzw. wurde nicht immer als notwendig erachtet. Dies kommt daher, dass manche Probanden die UAVs absichtlich an einer Stelle warten lassen wollten, um sie für eventuell eintretende Situationsänderungen zur Verfügung zu haben, während das Assistenzsystem die Strategie verfolgte, die Ressourcen der UAVs ständig zu nutzen. Hier wurde von einem Probanden gewünscht, dass das Assistenzsystem die Aufmerksamkeit zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal auf die Aktivierung des UAV-Auftrags lenkt. Dennoch wurde der Funktion tendenziell eine Effizienzerhöhung zugeschrieben.

**Tabelle 36 Bewertung der Aufmerksamkeitslenkung bei der UAV-Auftragsaktivierung**

völlig nachvollziehbar	●	●●	●●	●		●	völlig unnachvollziehbar
sehr notwendig			●●●	●●●	●	●	völlig unnötig
viel zu spät				●●●	●	●	viel zu früh
viel zu oft		●		●●●			viel zu selten
hat Effizienz sehr erhöht		●●	●●●	●●		●	hat Effizienz sehr verringert

Die Möglichkeit, die UAV-Aufträge bei einem Eingriff auf Anforderung durch das Assistenzsystem aktivieren zu lassen, wurde von den Probanden als effizienzsteigernd empfunden (vgl. Tabelle 37).

**Tabelle 37 Bewertung der Aufgabenvereinfachung bei der UAV-Auftragsaktivierung**

hat Effizienz sehr erhöht		●●●					hat Effizienz sehr verringert
---------------------------	--	-----	--	--	--	--	-------------------------------

Abschließend für die Auftragsaktivierung wurde noch die Funktion bewertet, welche die Aufgabe übernimmt und die UAVs vor einer Bedrohung durch eine SAM-Stellung stoppt. Da diese Funktion nur bei vier der acht Probanden aktiv war, sind entsprechend weniger Bewertungen vorhanden (vgl. Tabelle 38). Diese Funktion wurde wiederum hinsichtlich Nachvollziehbarkeit, Notwendigkeit, Zeitpunkt, Häufigkeit und Effizienzsteigerung durchwegs positiv bewertet.

**Tabelle 38 Bewertung der eigeninitiativen Aufgabenübernahme bei der UAV-Auftragsaktivierung (Stop vor SAM-Site)**

völlig nachvollziehbar	●	●●	●				völlig unnachvollziehbar
sehr notwendig	●●●		●				völlig unnötig
viel zu spät				●●●			viel zu früh
viel zu oft				●●●	●		viel zu selten
hat Effizienz sehr erhöht	●●	●	●				hat Effizienz sehr verringert

### 5.3.6.4 UAV-Auftragsplanung

Bei der UAV-Auftragsplanung wurde als erstes die Aufmerksamkeitslenkung bewertet, bei der das Assistenzsystem darauf hinwies, dass ein UAV einen weiteren Auftrag benötigt (vgl. Tabelle 39). Das Schema lehnt sich wieder an die beiden vorhergehenden Aufgabenbewertungen an. Die Ergebnisse zeigen ein ähnliches Bild wie bei der UAV-Auftragsaktivierung. Während Warnzeitpunkt und -häufigkeit als passend eingeschätzt wurden, sind die anderen Bewertungen eher gemischt. Die Ursache für diese Bewertung lag wiederum in den teilweise unterschiedlichen Strategien zwischen Probanden und Assistenzsystem.

**Tabelle 39 Bewertung der Aufmerksamkeitslenkung bei der UAV-Auftragsplanung**

völlig nachvollziehbar	••	••	••••	•				völlig unnachvollziehbar
sehr notwendig		•	••••		••••	•		völlig unnötig
viel zu spät			•	••••	•	•		viel zu früh
viel zu oft		•	•	••••				viel zu selten
hat Effizienz sehr erhöht		•	••	••••		•		hat Effizienz sehr verringert
hat Sicherheit sehr erhöht		•	••	••••	•			hat Sicherheit sehr verringert

Bei der Aufgabenvereinfachung konnten sich die Probanden die Anzeigen vom Assistenzsystem in das Auftragseingabeformat wechseln und sich einen weiteren Auftrag für das UAV vorschlagen lassen. Die automatische Konfigurierung wurde von den Probanden tendenziell als effizienzsteigernd empfunden, während die vorgeschlagenen UAV-Aufträge nur teilweise als sinnvoll bewertet wurden. Die Ursache hierfür liegt einerseits in der begrenzten Zeit, die der Missionsplaner zur Verfügung hatte, weshalb zeitweise unnötige Umwege vorgeschlagen wurden, die bei längerer Planungszeit herausoptimiert wurden. Andererseits bestand eine prinzipielle Schwierigkeit darin, dass jeder Proband seine eigenen taktischen Vorstellungen hatte, welche auch von denen des Assistenzsystems abweichen konnten.

**Tabelle 40 Bewertung der Aufgabenvereinfachung bei der UAV-Auftragsplanung**

sehr sinnvoll		•	••••	•	•		•	völlig sinnlos
hat Effizienz sehr erhöht		••	••	•				hat Effizienz sehr verringert

### 5.3.6.5 H/C-Auftragsplanung

Die Aufmerksamkeitslenkung auf die H/C-Auftragsplanung wurde wiederum sehr positiv bewertet (vgl. Tabelle 41).

**Tabelle 41 Bewertung der Aufmerksamkeitslenkung bei der H/C-Auftragsplanung**

völlig nachvollziehbar	•	••••	•					völlig unnachvollziehbar
sehr notwendig	•	••••	••		•			völlig unnötig
viel zu spät				••••				viel zu früh
viel zu oft				••••				viel zu selten
hat Effizienz sehr erhöht	•	••••	•	•	•			hat Effizienz sehr verringert
hat Sicherheit sehr erhöht	•	••••	••					hat Sicherheit sehr verringert

Die Aufgabenvereinfachung, bei der ein neuer Missionsplan für den H/C und resultierend daraus auch für die UAVs vorgeschlagen wurden, wurde gemischt bewertet (vgl. Tabelle 42). Hier merkten die Probanden einerseits wieder an, dass sie taktische Vorstellungen haben, welche von der vorgeschlagenen Lösung abweichen können und deshalb die Lösung subjektiv weniger sinnvoll erscheinen kann. Andererseits wird die Effizienz durch die automatische

Eingabe eines neuen Missionsplans zwar sehr gesteigert, aber die Evaluierung dieses Plans kostet wiederum Zeit, was die Effizienz verringert. Die Notwendigkeit einer Unterstützung bei größeren Missionsumplanungen wurde allerdings von den Probanden noch einmal hervorgehoben.

**Tabelle 42 Bewertung der Aufgabenvereinfachung bei der H/C-Auftragsplanung**

sehr sinnvoll	●	●			●			völlig sinnlos
hat Effizienz sehr erhöht	●	●					●	hat Effizienz sehr verringert

## 5.4 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse hinsichtlich der Aufgabenstellung interpretiert und gewertet.

Ziel der Aufmerksamkeitslenkung in Bezug auf die Leistung war zum einen die Sicherstellung der Aufgabendurchführung. Da sowohl ohne als auch mit Assistenzsystemeingriffen nahezu alle Handlungsbedarfe in den Aufgaben letztendlich rechtzeitig bearbeitet wurden, konnte hier kein Unterschied beobachtet werden. Lediglich bei der H/C-Auftragsplanung wurden in der Konfiguration ohne Assistenzsystem nur 19 von 20 Handlungsbedarfen bearbeitet. Einer der Gründe für dieses Ergebnis ist, dass die Probanden aufgrund der langen Versuchsdurchläufe von ca. 45-60 min. ausreichend Zeit hatten, vergessene Aufgaben nachzuholen. Dieser Effekt wurde noch dadurch verstärkt, dass eventuelle Zeitbeschränkungen, nach denen eine Bearbeitung des Handlungsbedarfs nicht mehr sinnvoll gewesen wäre, durch die Probanden hinausgezögert wurden, indem z.B. der Pilot mit dem H/C wartete, bis das vor ihm liegende Gebiet aufgeklärt und eventuelle Objekte identifiziert waren.

Das andere Ziel der Aufmerksamkeitslenkung war, bei dringenden Handlungsbedarfen durch einen Hinweis die Dauer bis zur Bearbeitung der Aufgabe durch die Probanden zu verkürzen. Bei der Objektidentifikation konnte dieser Effekt durch eine Reduzierung des Medians von 36,8 sec. (n=15) auf 12,6 sec. (n=10) nachgewiesen werden. Bei der UAV-Auftragsplanung reduzierte sich der Median ebenfalls von 51 sec. (n=14) auf 35,5 sec. (n=12), während sich bei der H/C-Auftragsplanung kein wesentlicher Unterschied zwischen der Konfiguration ohne (25 sec., n=19) und mit Assistenzsystemeingriff (21 sec., n=17) ergab. Allerdings erhöhte sich bei der UAV-Auftragsaktivierung der Median von 4 sec. (n=18) auf 16 sec. (n=20). Einen weiteren nennenswerten Unterschied zwischen der Konfiguration mit und ohne Assistenzsystem stellt die Anzahl und Höhe der Ausreißer nach oben dar. Hier wurde bei allen Kommandantenaufgaben die maximale Dauer bis zur Bearbeitung eines dringenden Handlungsbedarfs in der Konfiguration ohne Assistenzsystemeingriff gemessen. In der Objektidentifikation dauerte es ohne Assistenzsystem einmal 200 sec. und einmal 97 sec., bis der Proband begann, ein potentiell gefährliches Objekt, welches dem H/C nahe war, zu identifizieren. Mit Assistenzsystem war hier die maximale Dauer nur 65 sec.. Bei der UAV-Auftragsplanung war die maximale Dauer ohne Assistenzsystemunterstützung sogar 807 sec., mit Assistenzsystem gab es Ausreißer von nur 305 und 117 sec.. Bei der H/C-Auftragsplanung lagen die maximalen Werte bei 90 und 77 sec. ohne und 57 sec. mit Assistenzsystem. Lediglich bei der UAV-Auftragsaktivierung waren die Ausreißer mit 315, 93 und 73 sec. ohne bzw. 125, 122 und 93 sec. mit Assistenzsystem ähnlich. Die Ausreißer nach oben wurden durch Vergessen bzw. Übersehen von Handlungsbedarfen verursacht. Da in der Konfiguration mit Assistenzsystem die Ausreißer deutlich niedriger sind, werden dringende Aufgaben durch die Hinweise tendenziell frühzeitiger bearbeitet und seltener vergessen bzw. übersehen.

Ziel der Aufgabenvereinfachung und Aufgabenübernahme in Bezug auf die Leistung war zum einen, die Qualität des Ergebnisses zu verbessern. Bei der Objektidentifikation wurde die Qualität des Ergebnisses nicht gewertet, da die Funktion keine Lösungsvorschläge oder automatische Durchführung anbot, sondern die Konfiguration des HMI unterstützte. In der UAV-Auftragsaktivierung konnte keine Ergebnisqualität ausgewertet werden, da die Aktivierung eines UAV-Auftrags immer zu demselben Ergebnis führte. Bei der UAV-Auftragsplanung wurden als Ergebnis die benötigten Auftrags Elemente ausgewertet und mit Punkten bewertet. Ohne Assistenzsystemunterstützung konnten dabei 117 von 159 Punkten erreicht werden. Da die Assistenzsystemunterstützung nur dreimal verwendet wurde, konnte mit 2 von 4 möglichen Punkten kein vergleichbares bzw. repräsentatives Ergebnis erzielt werden. Die H/C-Auftragsplanung wurde sowohl mit als auch ohne Assistenzsystemunterstützung letztlich immer korrekt durchgeführt. Insgesamt lässt sich durch den Assistenzsystemeinsatz bei der Qualität der Ergebnisse weder eine Verbesserung noch eine Verschlechterung festmachen.

Das zweite Ziel der Aufgabenvereinfachung und Aufgabenübernahme war die Verkürzung der Bearbeitungsdauer bei Überforderung des Kommandanten. Bei der Objektidentifikation zeigte sich im Median ohne Assistenzsystemunterstützung mit 8,0 sec. (n=19) kein Unterschied zu den Fällen, in denen eine Unterstützung in Anspruch genommen wurde (7,5 sec., n=4). Bei der UAV-Auftragsaktivierung höhte sich hier wie schon bei der Aufmerksamkeitslenkung die Dauer von 3 sec. (n=85) auf 9 sec. (n=3), wobei die Ergebnisse aufgrund der geringen Stichprobengröße mit Unterstützung wenig repräsentativ sind. Bei der H/C-Auftragsplanung konnten bei 7,5 sec. im Median ohne Assistenzsystem (n=38) und 8 sec. (n=2) mit Assistenzsystem keine Unterschiede festgestellt werden, wobei auch hier nur eine kleine Stichprobe zur Verfügung stand. Bei der UAV-Auftragsplanung verringerte sich letztlich die Bearbeitungsdauer im Median von 14 sec. (n=54) ohne auf 7 sec. (n=3) mit Assistenzsystem, wobei hier ebenfalls nur eine kleine Stichprobe zur Verfügung stand. Insgesamt konnte aufgrund der wenigen Messwerte mit Assistenzsystemunterstützung keine Unterschiede im Median festgehalten werden.

Allerdings fällt bei Betrachtung der Ausreißer auf, dass in der Konfiguration ohne Assistenzsystem die Bearbeitung der Aufgabe teilweise sehr lange dauerte. Bei der Objektidentifikation traten Dauern von 103, 65 und 29 sec. auf, bei der UAV-Auftragsaktivierung sogar insgesamt 14 Ausreißer von z.B. 87, 63, 61 und 48 sec.. Bei der UAV-Auftragsplanung traten ebenfalls Ausreißer von 73, 71, 41 und 39 sec. sowie bei der H/C-Auftragsplanung Bearbeitungszeiten von 137, 94, 34 und 29 sec. auf, welche alle durch Bedienprobleme hervorgerufen wurden. Bei Verwendung der Assistenzsystemunterstützung traten diese Ausreißer nach oben nicht mehr auf, weshalb daraus geschlossen werden kann, dass die Aufgabenvereinfachung und Aufgabenübernahme geeignet sind, Bedienprobleme zu reduzieren.

Des Weiteren fällt auf, dass die Bearbeitungszeit mit Assistenzsystemunterstützung nicht unter 5 sec. lag. Dies resultierte daraus, dass die Probanden zusätzlich Zeit für die Bewertung der vorgeschlagenen Lösung benötigten.

Bei der Verhaltensanalyse (vgl. Kapitel 5.3.3.2) konnte außerdem validiert werden, dass Mensch und Assistenzsystem im Sinne des *cooperative control*-Paradigmas zusammenarbeiten. Einerseits wurden Aufgaben durch Assistenzsystemeingriffe auf verschiedenen Automationsgraden kooperativ erfüllt, andererseits wurden die Aufgaben trotzdem weitestgehend durch die Probanden selbst bearbeitet. Dadurch ist der Kommandant weiterhin über die aktuelle Situation im Bilde, was durch ein gleich gutes bzw. sogar teilweise besseres Situationsbewusstsein (vgl. Kapitel 5.3.5.1 und Kapitel 5.3.5.3) der Probanden in der Konfiguration mit Assistenzsystem belegt wurde. Das für *supervisory control* typische Herausnehmen des Operateurs aus der Aufgabenbearbeitung (engl.: *out-of-the-loop*), welches

zur Nachlässigkeit des Operators bei der Situationsüberwachung (engl.: *complacency-effect*) und damit einer Verschlechterung des Situationsbewusstseins führt, trat hier nicht ein.

Die Verhaltensanalyse zeigt allerdings auch, dass die Aufmerksamkeitslenkung bei der UAV-Auftragsplanung nur zu ca. 50% befolgt und eine angefragte Aufgabenvereinfachung auch nur recht selten genutzt wurde. Ebenso wurde bei der H/C-Auftragsplanung nur 2 von 21-mal eine Aufgabenvereinfachung angefragt. Die Nutzungswerte korrelierten auch mit den Akzeptanzwerten bei der abschließenden Befragung. Die Probanden erklärten hierzu, dass sie die Assistenzfunktion selten nutzten, da sich ihre taktischen Vorstellungen von denen des Systems unterschieden. Es konnte allerdings beobachtet werden, dass die Probanden bei der Auftragsplanung auch untereinander verschiedene taktische Ansätze bei gleicher Ausgangssituation verfolgten. Daraus kann geschlossen werden, dass es nicht möglich ist, eine Planungsunterstützung so zu gestalten, dass sie immer exakt den Vorstellungen und Absichten des UAV-Operators entspricht. Allerdings kann zumindest ein Plan vorgeschlagen werden, der die häufigsten Gemeinsamkeiten in der taktischen Planung berücksichtigt, die Missionsziele sowie die Aufklärungsziele für die UAVs erfüllt und die zeitliche Planung berücksichtigt. Durch den Ansatz, die Auftragsplanung über eine Assistenzfunktion zu unterstützen und nicht vollständig zu automatisieren, hat der Kommandant hier den Vorteil, sich bei der Planung unterstützen lassen zu können, die Ergebnisse aber trotzdem nach seinen eigenen Vorstellungen anpassen zu können.

Hinsichtlich der allgemeinen Beanspruchung konnte durch den zusätzlichen Assistenzsystemeinsatz weder eine Verbesserung noch eine Verschlechterung festgestellt werden. Eine Reduzierung von Überforderungssituationen, welche Ziel der Aufgabenvereinfachung war, wurde hier nicht im Detail untersucht, allerdings konnte anhand der Leistungsanalyse bereits eine Reduzierung von Bedienproblemen festgestellt werden. In den einzelnen Beanspruchungsdimensionen reduzierte sich der Anteil der zeitlichen Anforderung bzw. der Zeitdruck, den die Probanden verspürten, von 13,7% auf 8,3%. Dies korreliert mit der allgemein geringeren Dauer bis zur Bearbeitung von dringenden Aufgaben, da die Probanden dann mehr Zeit für die Bearbeitung selbst hatten.

Das Situationsbewusstsein der Probanden blieb beim elektronischen SAGAT-Test nahezu gleich und verbesserte sich objektiv bei der SAGAT-Befragung von 89,7% auf 95,1% und auch subjektiv bei der Befragung zu den Auswirkungen der Aufmerksamkeitslenkung.

Die Akzeptanz der Assistenzfunktionen zur UAV- und H/C-Auftragsplanung variierte je nach Umfang der nötigen Änderungen und der zur Verfügung stehenden Planungszeit. Bei der initialen Planung sind beispielsweise zwar sehr umfangreiche Systemeingaben notwendig, aber die Zeit zur Planung ist großzügig bemessen. Eine Umplanung auf eine alternative Landing Site ist eher zeitkritisch, da die zeitnah folgenden bemannten Kräfte einen neuen Flugplan benötigen. Hier, hängt es davon ab, ob die Landing Site und der Flugweg dorthin bereits durch UAVs aufgeklärt wird/worden ist. Ist dies der Fall, wird nur eine Umplanung der H/C-Aufträge benötigt, was über wenige Eingaben per Spracherkennung oder über die CDU möglich ist. Daher ist in diesem Fall eher auch keine Assistenzunterstützung nötig. In dem Fall, dass die Aufklärung der alternativen Landing Site noch nicht in den UAV-Agendas berücksichtigt ist, sind allerdings umfangreichere Änderungen an den UAV-Agendas notwendig, was über eine Assistenzfunktion erleichtert werden könnte. Bei einem Folgeauftrag, der erst während der Mission auftritt, müssen ebenfalls umfangreiche Umplanungen gemacht werden, da diese nicht bei der initialen Planung berücksichtigt werden können. Hier bietet sich aufgrund des Umfangs der Änderungen und im Vergleich zur initialen Planung dem Bedarf, die Änderungen zeitnah ins System einzugeben, auch die Nutzung einer Assistenzfunktion an. Bei Schließung des primären (Ingress-/Egress-) Korridors sind alle Fluggeräte, die vorhaben, diesen zu durchfliegen, umzuplanen. Die zur Umplanung zur Verfügung stehende Zeit hängt davon ab, wie weit weg die Fluggeräte noch

vom Korridor entfernt sind. Da in den betrachteten Fällen der Korridor durch Aufklärung einer naheliegenden Bedrohung nicht mehr nutzbar war, befanden sich die UAVs bereits kurz vor dem Korridor. Daher bietet sich hier auch die Nutzung der Assistenzfunktion an.

Einschränkend muss erwähnt werden, dass die Experimente unter Simulationsbedingungen und nicht in einem realen Helikopter durchgeführt wurden. Allerdings verfügt die Experimentalanlage z.B. durch die Simulation einer taktischen Lage inklusive Feindverhalten, der Simulation von Funkkreisen zur Kommunikation mit weiteren Missionsteilnehmern und der detaillierten Außensichtdarstellung über einen hohen Realitätsgrad und eine sehr gute Eignung für Experimente dieser Art, welche in den abschließenden Befragungen auch von den Probanden bestätigt wurde.

Eine weitere Einschränkung stellt die teilweise geringe Stichprobenanzahl von unter zehn Messwerten dar. Allerdings wurde dies auch entsprechend erwähnt und die entsprechenden Ergebnisse nicht gewertet.

## 6 Fazit und Ausblick

Diese Arbeit hatte zum Ziel, eine Lösung auf die Frage zu finden, wie der Kommandant eines Transporthubschraubers die zusätzliche auftragsbasierte Führung mehrerer UAVs bewältigen kann bzw. wie die zu erwartenden menschenbezogenen Probleme bei der Aufgabenerfüllung reduziert werden können.

Hierfür wurde der Ansatz eines Assistenzsystems für den Kommandanten gewählt. Der erste Forschungsschwerpunkt innerhalb dieser Aufgabe beschäftigte sich mit der Konzeption der Assistenzfunktionen für diesen neuartigen Arbeitsplatz. Dafür wurde der Arbeitsplatz analysiert und die vier Kommandantenaufgaben Objektidentifikation, UAV-Auftragsaktivierung, UAV-Auftragsplanung und H/C-Auftragsplanung identifiziert bzw. analysiert. Anhand der am Institut für Flugsysteme entwickelten Assistenzsystemtheorie wurden die Probleme ungünstige Aufmerksamkeitsverteilung, Überforderung und Missionsrisiko als Auslöser für adaptive Assistenzsystemeingriffe identifiziert. Mithilfe der möglichen Automationsgrade wurden für diese Auslöser die drei verschiedenen Assistenzsystemeingriffe „Aufmerksamkeitslenkung“, „Aufgabenvereinfachung“ und „Aufgabenübernahme“ definiert und für jede der Kommandantenaufgaben realisiert.

Der zweite Forschungsschwerpunkt beschäftigte sich mit der Konzeption des Assistenzsystems basierend auf einem kognitiven Ansatz. Hierfür wurde ebenfalls die Arbeitssystemtheorie des Instituts verwendet, anhand derer identifiziert werden konnte, dass ein Assistenzsystem Wissen aus den vier Bereichen Arbeitsziel, Arbeitsmittel, Umwelt und Mensch benötigt. Anhand der Wissensbereiche konnten in einem weiteren Schritt verschiedene konkrete Wissens Elemente identifiziert und diese schließlich anhand einer kognitiven Systemarchitektur strukturiert werden. Ein weiterer wichtiger Bestandteil dieser kognitiven Struktur ist die Verwendung von Zielen, welche die Basis für das Systemverhalten darstellen. Ein wesentlicher Konzeptpunkt ist hier die Verwendung von assistenzsystemspezifischen Zielen, die nicht die Erfüllung der Mission, sondern die Vermeidung menschlicher Probleme bei der Aufgabenbearbeitung beinhalten, wie z.B. dass der Mensch an der dringendsten Aufgabe arbeitet.

Die Implementierung des Assistenzsystems erfolgte in der kognitiven Systemarchitektur COSA, welche die Möglichkeit bietet, verschiedene Typen von Wissens Elementen deklarativ zu modellieren. Die Integration erfolgte im MUM-T Simulator des Instituts für Flugsysteme. Der Kommandant kann hierbei über ein Dialogsystem mit dem Assistenzsystem kommunizieren..

Das entwickelte System wurde abschließend einer Evaluierung unterzogen. Hier konnte festgestellt werden, dass die Assistenzfunktionen größtenteils akzeptiert und genutzt wurden und sich die Leistung in den Kommandantenaufgaben durch den Assistenzsystemeinsatz verbesserte. Die Ziele der Aufmerksamkeitslenkung, die menschenbezogenen Probleme Vergessen bzw. Übersehen von Aufgaben zu reduzieren und die Dauer bis zur Bearbeitung dringender Aufgaben zu reduzieren, konnten erreicht werden. Die Ziele der Aufgabenvereinfachung, Überforderungen der Benutzer in Form von Bedienproblemen zu reduzieren und die Bearbeitungsdauer damit zu reduzieren konnten ebenfalls erreicht werden. Zudem konnte die Aufgabenübernahme helfen, Beschuss von UAVs zu verhindern und somit Risiken der Mission verringern. Außerdem trat durch den Einsatz adaptiver Automation keine Nachlässigkeit in der Situationsüberwachung wie bei adaptierbarer Automation auf. Dies konnte durch ein objektiv und subjektiv besseres Situationsbewusstsein der Probanden belegt werden. Des Weiteren konnte durch den Assistenzsystemeinsatz und den damit verbundenen zusätzlichen Kommunikationsaufwand für den Operateur subjektiv keine erhöhte Beanspruchung nachgewiesen werden. Vielmehr reduzierte sich durch die verschiedenen Unterstützungsfunktionen der subjektiv wahrgenommene Zeitdruck.

Mögliche Weiterentwicklungen in diesem Themengebiet stellen vor allem die Implementierung genauerer Modelle zur Bestimmung z.B. der momentanen Aufmerksamkeit des Benutzers, von Überforderung des Benutzers oder der Bestimmung eines Missionsrisikos dar. Diese Punkte wurden bisher nur elementar umgesetzt, da der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf der Funktionsdefinition und der kognitiven Architektur lag. Außerdem könnte der Automationsgrad der drei festgelegten Eingriffsarten je nach Situation noch im Detail variiert werden. Beispielsweise könnten bei der Aufgabenübernahme verschiedene Handlungsalternativen zur Verfügung stehen, bei denen der Benutzer noch ein Vetorecht für die Übernahme erhält oder er die Übernahme noch bestätigen muss. Da das Assistenzsystem über einen generischen, anwendungsunabhängigen Verhaltenskern verfügt, könnte dieses Wissen letztlich auch an anderen Arbeitsplätzen, wie z.B. in der Fahrzeugführung angewendet werden.

## Literaturverzeichnis

- [ADAC, 2012] Allgemeiner deutscher Automobilclub: Fahrerassistenzsysteme. *Online im Internet:* URL: <http://www.adac.de/infotestrat/technik-und-zubehoer/fahrerassistenzsysteme/default.aspx>, letzter Zugriff 24.01.2012
- [Anderson, 1990] Anderson, J. R.: *The adaptive character of thought*. Mahwah, NJ: Erlbaum, 1990
- [Anderson, 2000] Anderson, J.R.: *Cognitive Psychology and Its Implications, Fifth Edition*. Worth Publishers, New York, ISBN: 0-7167-3678-0, 2000
- [Anderson et al., 2004] Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y.: An integrated theory of the mind. *Psychological Review* 111, (4), pp. 1036-1060, 2004
- [Anderson & Lebiere, 1998] Anderson, J. R., & Lebiere, C.: *The atomic components of thought*. Mahwah, NJ: Erlbaum, 1998
- [Arning, 2004] Arning, R: CL 289 Bewährtes System im stetigen Wandel. *DGLR Workshop UAV-/UCAV-/MAV- Aktivitäten in Deutschland*, Bremen, 2004
- [Bainbridge, 1983] Bainbridge, L.: Ironies of Automation. *Automatica*, Vol. 19, No. 6, pp. 775-779, 1983
- [Banks & Lizza, 1991] Banks, S.B., Lizza, C.S.: Pilot's Associate - A Cooperative, Knowledge-Based System Application. *IEEE Expert*, Vol. 6 Issue 3, pp.18-29, 1991
- [BASt, 2006] Bundesanstalt für Straßenwesen: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit. Bergisch Gladbach, *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe „Fahrzeugtechnik“*, Heft F 60, November 2006
- [Billings, 1995] Billings, C.E.: *Situation Awareness measurements and analysis: A commentary*. Embry-Riddle Aeronautical University Press, Florida, 1995
- [Billings, 1997] Billings, C.E.: *Aviation automation: the search for a human-centered approach*. Lawrence Erlbaum Associates Inc., Mahwah, 1997
- [Bonner et al., 2000] Bonner, M.C., Taylor, R. M., Fletcher, K., Miller, C.: Adaptive automation and decision aiding in the military fast-jet domain. *Proceedings of the conference on Human Performance, Situation Awareness and Automation: User centered design for the new Millennium*, Savannah, Georgia, USA, 2000
- [Broadbent, 1958] Broadbent, D.E.: *Perception and Communication*. London: Pergamon Press, 1958
- [Brüggenwirth & Schulte, 2012] Brüggenwirth, S., Schulte, A.: COSA<sup>2</sup> – A Cognitive System Architecture with Centralized Ontology and Specific Algorithms. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2012)*, Seoul, Korea, 2012
- [Carol, 1992] Carol, L. A.: *Desperately seeking SA*. TAC SP 127-1, 1992
- [Chen et al., 2011] Chen, Y.C., Barnes, M.J., Harper-Sciarini, M.: Supervisory Control of Multiple Robots: Human-Performance Issues and User-Interface Design. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews*, Vol. 41, No. 4, 2011

- [Chen & Joyner, 2009] Chen, Y.C., Joyner, C.T.: Concurrent performance of gunner's and robotic operator's tasks in a multi-tasking environment. *Military Psychology*, Vol. 21, No. 1, pp. 98-113, 2009
- [Cummings, 2004] Cummings, M.L.: The need for command and control instant message adaptive interfaces: Lessons learned from Tactical Tomahawk human-in-the-loop simulations. *CyberPsychology and Behaviour*, Vol. 7, No. 6, pp. 653–661, 2004
- [Cummings et al., 2007a] Cummings, M.L., Bruni, S., Mercier, S., Mitchell, P.J.: Automation Architecture for Single Operator, Multiple UAV Command and Control. *The International C2 Journal*, Vol. 1, Nr. 2, 2007
- [Cummings et al., 2007b] Cummings, M.L., Brzezinski, A.S., Lee, J.D.: The Impact of Intelligent Aiding for Multiple Unmanned Aerial Vehicle Schedule Management. *IEEE Intelligent Systems: Special issue on Interacting with Autonomy*, Vol. 22, No. 2, pp.52-59, 2007
- [Cummings & Guerlain, 2007] Cummings, M. L., Guerlain, S.: Developing operator capacity estimates for supervisory control of autonomous vehicles. *Human Factors*, Vol. 49, No. 1, pp. 1-15, 2007
- [DAF, 2012] DAF Trucks N.V.: Lane Departure Warning (LDWS) – Keeps you on the right track. *Online im Internet: URL: <http://www.daf.com/EN/Products/Comfort-safety-systems/Pages/Lane-Departure-Warning.aspx>*, letzter Zugriff 24.01.2012
- [Derbinsky & Laird, 2011a] Derbinsky, N., Laird, J. E.: Effective and Efficient Management of Soar's Working Memory via Base-Level Activation. *Papers from the 2011 AAAI Fall Symposium Series: Advances in Cognitive Systems*. Arlington, VA, USA, 2011
- [Derbinsky & Laird, 2011b] Derbinsky, N., Laird, J. E.: A Functional Analysis of Historical Memory Retrieval Bias in the Word Sense Disambiguation Task. *Proceedings of the 25th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, San Francisco, CA, USA, pp. 663-668, 2011
- [Deutsch & Deutsch, 1963] Deutsch, J. A., Deutsch, D.: Attention: Some theoretical considerations. In: *Psychological Review*. Vol.70, S.80-90, 1963
- [DIN, 2004] DIN EN ISO 6385:2004-05: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen (*ISO 6385:2004*). Deutsche Fassung EN ISO 6385:2004
- [Donath & Schulte, 2008] Donath, D., Schulte, A.: PILOTen-Assistenz-System für Luftfahrzeuge (PILAS). *Projektbericht im Rahmen des Fördervorhabens des BMWA im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms*, 2008
- [Donath et al., 2010] Donath, D., Rauschert, A., Schulte, A.: Cognitive assistant system concept for multi-UAV guidance using human operator behaviour models. *Conference on Humans Operating Unmanned Systems (HUMOUS'10)*, Toulouse, France, 2010
- [Donath, 2012] Donath, D.: *Verhaltensanalyse der Beanspruchung des Operateurs in der Multi-UAV-Führung*. Dissertation, Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik, 2011
- [Dorneich et al., 2006] Dorneich, M.C., Ververs, P.M., Whitlow, S.D., Mathan, S., Carciofini, J., Reusser, T.: Neuro-physiologically-driven adaptive automation to improve decision making under stress. *Proceedings of the Human Factors & Ergonomics Society 50<sup>th</sup> Annual Meeting*, pp. 410–414, 2006
- [Dudek, 1990] Dudek, H.-L.: *Wissensbasierte Pilotenunterstützung im Ein-Mann-Cockpit bei Instrumentenflug*. Dissertation, Universität der Bundeswehr München, 1990

- [Durbin & Hicks, 2009] Durbin, D.B., Hicks, J.S.: AH-64D Apache Longbow Aircrew Workload Assessment for Unmanned Aerial System (UAS) Employment. *U.S. Army Research Lab Technical Report*, ARL-TR-4707, 2009
- [EMT, 2012] EMT Ingenieurgesellschaft Homepage: Aladin - Bodenkrollstation. *Online im Internet: <http://www.emt-penzberg.de/produkte/aladin/bodenkontrollstation.html>*, letzter Zugriff 22.09.2012
- [Endsley, 1987] Endsley, M.R.: The application of human factors to the development of expert systems for advanced cockpits. *Proceedings of the Human Factors Society 31st Annual Meeting*, Santa Monica, CA, USA, pp. 1388 - 1392, 1987
- [Endsley, 1995] Endsley, M.R.: Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 37, No. 1, 1995
- [Endsley, 2000] Endsley, M.R.: Direct measurement of situation awareness: Validity and use of SAGAT. *Situation awareness analysis and measurement*, Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, S. 147-173, 2000
- [Endsley & Kaber, 1999] Endsley, M.R., Kaber, D.B.: Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, Vol. 42, No. 3, pp. 462 - 492, 1999
- [Ertl & Schulte, 2004] Ertl, C., Schulte, A.: System Design Concept for Co-operative and Autonomous Mission Accomplishment of UAVs. *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2004*, Dresden, 2004
- [Farrell et al., 2003] Farrell, W.J., Jameson, S., Stoneking, C.: Shared Situation Awareness for Army Applications. *Proceedings of 2003 National Symposium on Sensor and Data Fusion*, San Diego, CA, USA, 2003
- [Frey, 2005] Frey, A.: *Überwachung und Kontrolle in einem künstlichen kognitiven System zur autonomen Fahrzeugführung*. Dissertation, Universität der Bundeswehr München, Berlin: Köster, 2005
- [General Atomics, 2013] General Atomics Aeronautical: Predator B UAS. *Online im Internet: URL: [http://www.ga-asi.com/products/aircraft/predator\\_b.php](http://www.ga-asi.com/products/aircraft/predator_b.php)*, letzter Zugriff 28.02.2013
- [Georgeff & Ingrand, 1989] Georgeff, M.P., Ingrand, F.F.: Decision-Making in an Embedded Reasoning System. *Proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Detroit, USA, 1989
- [Gerken et al., 2003] Gerken, P., Jameson, S., Sidharta, B., Barton, J.: Improving Army Aviation Situational Awareness with Agent-Based Data Discovery. Presented at the *American Helicopter Society 59<sup>th</sup> Annual Forum*, Phoenix, Arizona, USA, May 6-8, 2003
- [Gobet & Lane, 2010] Gobet, F., Lane, P. C. R.: The CHREST architecture of cognition: The role of perception in general intelligence. In Baum, E., Hutter, M., Kitzelmann, E. (Eds.), *Proceedings of the Third Conference on Artificial General Intelligence*, pp. 7-12, Amsterdam: Atlantis Press, 2010
- [Gourley, 2009] Gourley, S.R.: Soldier Armed – Video Unmanned Aircraft System Intelligence Teaming (VUIT)-2. *ARMY Magazine January 2009*, 2009

- [Grashey & Onken, 1998] Grashey, S., Onken, R.: Adaptive modelling of the individual driving behaviour of car drivers based on statistical classifiers. In: *Global Ergonomics Conference*, Kapstadt, Südafrika, 1998
- [Grashey, 1998] Grashey, S.: *Ein Klassifikationsansatz zur fertigkeitsbasierten Verhaltensmodellierung beim Autofahren*. Dissertation, Universität der Bundeswehr München, 1999
- [Groth et al., 2006] Groth, C., Meitinger, C., Donath, D., Schulte, A.: Missionsauftragsanalyse in COSA als Funktionsmodul eines Pilotenassistenzsystems. In: *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2006*, Braunschweig, 2006
- [Hart & Staveland, 1988] Hart, S. G., Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Human mental workload*, Vol. 1, pp. 139-183, 1988
- [Hou & Kobierski, 2006] Hou, M., Kobierski, R.D.: Design and Evaluation of Intelligent Adaptive Operator Interfaces for the Control of Multiple UAVs, *NATO RTO HFM-135 Symp.*, 2006
- [James, 1890] James, W.: *The principles of psychology* (Vols. 1 und 2). New York: Holt, 1890
- [Jameson et al., 2005] Jameson, S., Franke, J., Szczerba, R., Stockdale, S.: Collaborative Autonomy for Manned/Unmanned Teams. Presented at the *American Helicopter Society 61<sup>st</sup> Annual Forum*, Grapevine, Texas, USA, 2005
- [Jeannot et al., 2003] Jeannot, E., Kelly, C., Thompson, D.: The Development of Situation Awareness Measures in ATM Systems. *ATM Human Resources Unit of EUROCONTROL*, Brüssel, 2003
- [Jones et al., 1999] Jones, R. M., Laird, J. E., Nielsen P. E., Coulter, K., Kenny, P., Koss, F.: Automated Intelligent Pilots for Combat Flight Simulation. *AI Magazine*, Vol. 20, No. 1, pp. 27-42, 1999
- [Klein, 2008] Klein, G.: Naturalistic Decision Making. *Human Factors*, Vol. 50, No. 3, pp. 456–460, 2008
- [Kopf & Onken, 1992] Kopf, M., Onken, R.: DAISY, a knowledgeable monitoring and warning aid for drivers on German motorways. *5th IFAC Man-Machine Symposium*, Den Haag, Niederlande, 1992
- [Kopf, 1994] Kopf, M.: *Ein Beitrag zur modellbasierten, adaptiven Fahrerunterstützung für das Fahren auf deutschen Autobahnen*. Dissertation, Universität der Bundeswehr München, 1994
- [Kraay et al., 1998] Kraay, A.G., Pouliot, M.L., Wallace, W.J.: Test and Evaluation of the Man-Machine Interface Between the Apache Longbow<sup>TM</sup> and an Unmanned Aerial Vehicle. Presented at the *American Helicopter Society 54<sup>th</sup> Annual Forum*, Washington, DC, USA, 1998
- [Laird et al., 1987] Laird, J., Rosenbloom, P., Newell, A.: Soar: An Architecture for General Intelligence. *Artificial Intelligence*, Vol. 33: pp. 1-64, 1987
- [Laird et al., 2006] Laird, J., Congdon, C.B., Coulter, K.J.: The Soar User's Manual – Version 8.6.3. Online im Internet: URL: <http://ai.eecs.umich.edu/soar/sitemaker/docs/manuals/Soar8Manual.pdf>, letzter Zugriff 02.02.2012

- [Laird, 2006] Laird, J.: The Soar 8 Tutorial. *Online im Internet: URL: <http://ai.eecs.umich.edu/soar/sitemaker/docs/tutorial/TutorialPart1.pdf>*, letzter Zugriff 02.02.2012
- [Lehman et al., 2006] Lehman, J.F., Laird, J., Rosenbloom, P.: A Gentle Introduction to Soar, an Architecture for Human Cognition: 2006 Update. *Online im Internet: URL: <http://ai.eecs.umich.edu/soar/sitemaker/docs/misc/GentleIntroduction-2006.pdf>*, letzter Zugriff: 02.02.2012
- [Lenz & Onken, 2000] Lenz, A., Onken, R.: Pilot's assistant in tactical transport missions – Crew Assistant Military Aircraft CAMA, *RTO HFM Symposium on "Usability of Information in Battle Management Operations"*, Oslo, Norway, 2000
- [Likert, 1932] Likert, R.: A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140, New York: Columbia University Press, pp. 44-53, 1932
- [Maiwald & Schulte, 2011] Maiwald, F., Schulte, A.: Mental Resource Demands Prediction as a Key Element for Future Assistant Systems in Military Helicopters. *9th Conference on Engineering Psychology & Cognitive Ergonomics, in conjunction with HCI International*, Orlando, USA, 2011
- [Meyer & Kieras, 1997] Meyer, D. E., Kieras, D. E.: A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance. Part 1. *Basic mechanisms Psychological Review*, 104, 2-65, 1997
- [Meitinger et al., 2009] Meitinger, C., Jarasch, G., Schulte, A.: Development of Artificial Cognitive Units in UAV Guidance, *NATO SCI-202 Symposium on Intelligent Uninhabited Vehicle Guidance Systems*, 2009
- [Meitinger, 2008] Meitinger, C.: *Kognitive Automation zur kooperativen UAV-Flugführung*. Dissertation, Universität der Bundeswehr München, 2008
- [Mercedes, 2008] Daimler Global Media Site, ATTENTION ASSIST: Müdigkeitserkennung warnt rechtzeitig vor dem gefährlichen Sekundenschlaf, *Online im Internet: <http://media.daimler.com/dcmmedia/0-921-614216-49-1147698-1-0-0-1147922-0-0-11702-0-0-1-0-0-0-0.html>*, letzter Zugriff 15.09.2009
- [Michon, 1993] Michon, J.A. (ed.): *Generic Intelligent Driver Support: A comprehensive report on GIDS*. London and Washington DC: Taylor & Francis, 1993
- [Miller, 2004] Miller, C.: Modeling human workload limitations on multiple UAV control. *Proceedings of the Human Factors Ergonomics Society 48<sup>th</sup> Annual Meeting*, pp. 526–527, 2004
- [Miller & Hannen, 1999] Miller, C.A., Hannen, M.D.: The Rotorcraft Pilot's Associate Cockpit Information Manager: Acceptable Behavior from a New Crew Member? *Proceedings of the 55<sup>th</sup> American Helicopter Society Annual Forum*, Montreal, Kanada, pp. 1775-1787, 1999
- [Moreland et al., 2007] Moreland, B., Ennis, M., Yeates, R., Condon, T.: Hunter standoff killer team (HSKT) ground and flight test results. *Proc. SPIE 6578*, 657813 (2007); doi:10.1117/12.724966, 2007
- [NATO, 2004a] North Atlantic Treaty Organization (NATO): *Use of Helicopters in Land Operations – Tactics, Techniques and Procedures (ATP-49(D))*. Volume I, 2004
- [NATO, 2004b] North Atlantic Treaty Organization (NATO): *Use of Helicopters in Land Operations – Tactics, Techniques and Procedures (ATP-49(D))*. Volume II, 2004

- [NATO, 2005] Chairman, NATO Standardisation Agency (NSA): *STANDARDISATION AGREEMENT (STANAG) – Subject: Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO UAV Interoperability*. STANAG 4586, Edition 2, März 2005
- [Northrop Grumman, 2012] Northrop Grumman Homepage: RQ-4 Block 20 Global Hawk. *Online im Internet: <http://www.as.northropgrumman.com/products/ghrq4b/index.html>*, letzter Zugriff 22.09.2012
- [O'Day et al., 2004] O'Day, S., Steinberg, M., Yglesias, C., Bonnevier, K., Moulds, T., Sincavage, R., Ricard, M., Cleary, M., Curry, M., Sliski, T., Tierno, J., Clark, J., Snyder, F.: Metrics for Intelligent Autonomy. *Proceedings of the 2004 Performance Metrics for Intelligent Systems Workshop (PerMIS -04)*, Gaithersburg, MD, USA, 2004
- [Oesterreich, 2001] Oesterreich, R.: Das Belastungs-Beanspruchungskonzept im Vergleich mit arbeitspsychologischen Konzepten. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 55, 3/2001, S. 162-170, 2001
- [Onken, 1994a] Onken, R.: Funktionsverteilung Pilot-Maschine: Umsetzung von Grundforderungen im Cockpitassistenzsystem CASSY, *DGLR-Bericht* 94-01, 1994
- [Onken, 1994b] Onken, R.: DAISY, an Adaptive, Knowledge-based Driver Monitoring and Warning System. *Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings*, Yokohama, Japan, 1994
- [Onken & Prevot, 1994] Onken, R., Prevot, T.: CASSY – cockpit assistant system for IFR operation. In: *19<sup>th</sup> ICAS Congress*, Anaheim, USA, 1994
- [Onken & Schulte, 2010] Onken, R., Schulte, A.: *System-ergonomic Design of Cognitive Automation - Dual-Mode Cognitive Design of Vehicle Guidance and Control Work Systems*, Springer, ISBN-13: 978-3642031342, 2009
- [ONR, 2008] Office of Naval Research (ONR), NAVY: Intelligent Autonomy, ONR Program Code 351, August 2008. *Online im Internet: URL: <http://www.onr.navy.mil/Media-Center/Fact-Sheets/Intelligent-Autonomy.aspx>*, letzter Zugriff 06.02.2012
- [Parasuraman et al., 2000] Parasuraman, R., Sheridan, T.B., Wickens, C. D.: A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, Vol. 30, No. 3, 2000
- [Parasuraman et al., 2009] Parasuraman, R., Cosenzo, K.A., de Visser, E.: Adaptive automation for human supervision of multiple uninhabited vehicles: Effects on change detection, situation awareness, and mental workload. *Military Psychology*, Vol. 21, No. 2, pp. 270–297, 2009
- [Puder & Römer, 2000] Puder, A., Römer, K.: *MICO – An Open Source CORBA Implementation*. Morgan Kaufmann, ISBN 978-1558606661, 2000
- [Putzer, 2004] Putzer, H.J.: *Ein uniformer Architekturansatz für Kognitive Systeme und seine Umsetzung in ein operatives Framework*. Dissertation, Universität der Bundeswehr München, 2004
- [Rao & Georgeff, 1995] Rao, A.S., Georgeff, M.P.: BDI Agents: From Theory to Practice. In: *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Multiagent Systems (ICMAS-95)*, San Francisco, USA, 1995
- [Rasmussen, 1983] Rasmussen, J.: Skills, rules and knowledge, signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics SMC-13*, pp. 257-266, 1983

- [Raytheon, 2012] Raytheon Homepage: Global Hawk Ground Segment. *Online im Internet: [http://www.raytheon.com/capabilities/products/globalhawk\\_gs/index.html](http://www.raytheon.com/capabilities/products/globalhawk_gs/index.html)*, letzter Zugriff 22.09.2012
- [Rohmert, 1984] Rohmert, W.: Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, Ausgabe 4, S. 193-200, 1984
- [Rouse & Rouse, 1983] Rouse, W.B., Rouse, S.H.: A framework for research on adaptive decision aids, *Wright Patterson Air Force Base - Aerospace Medical Research Laboratory, Report No. AFAMRL-TR-83-082*, Ohio, USA, 1983
- [Ruff et al., 2002] Ruff, H.A., Narayanan, S., Draper, M.H.: Human interaction with levels of automation and decision-aid fidelity in the supervisory control of multiple simulated unmanned air vehicles. *Presence*, Vol. 11, No. 4, pp. 335–351, 2002
- [Sarter et al., 1997] Sarter, N.B., Woods, D.D., Billings, C.E.: Automation surprises. *Handbook of human factors and ergonomics*, Vol. 2, pp. 1926-1943, 1997
- [Schouwenaars et al., 2006] Schouwenaars, T., Valenti, M., Feron, E., How, J., Roche, E.: Linear Programming and Language Processing for Human/Unmanned-Aerial-Vehicle Team Missions. *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, Vol. 29, No. 2, March–April 2006
- [Schulte & Onken, 2003] Schulte, A., Onken, R.: Cognitive flight-deck assistant systems: A sneaking approach to gain more successful pilots, *8th International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing: Agility & Hybrid Automation*. HAAMAHA'03, Rome, IT, 2003
- [Sheridan & Verplank, 1978] Sheridan, T. B., Verplank, W.: *Human and Computer Control of Undersea Teleoperators*. Cambridge, MA: Man-Machine Systems Laboratory, Department of Mechanical Engineering, MIT, 1978
- [Solso, 2005] Solso, R.L.: *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Springer, 2005
- [Stanton, 1995] Stanton, N.: Generic Intelligent Driver Support: a Comprehensive Report on GIDS, edited by J. Michon, Taylor & Francis, London (1993), pp. xiii + 252, ISBN 0-7484-0069-9. *Ergonomics*, 38:5, 1076-1077, 1995
- [Strenzke et al., 2011] Strenzke, R., Uhrmann, J., Benzler, A., Maiwald, F., Rauschert, A., Schulte, A.: Managing Cockpit Crew Excess Task Load in Military Manned-Unmanned Teaming Missions by Dual-Mode Cognitive Automation Approaches. *AIAA GNC 2011* Portland, Oregon, USA, 2011
- [Strohal & Onken, 1998] Strohal, M., Onken, R.: Intent and error recognition as part of a knowledge-based cockpit assistant. In: *International Society for Optical Engineering (SPIE)*, Orlando, USA, 1998
- [Sun et al., 2001] Sun, R., Merrill, E., Peterson, T.: From implicit skills to explicit knowledge: A bottom-up model of skill learning. *Cognitive Science*, 25(2), 203-244, 2001
- [Taatgen & Anderson, 2008] Taatgen, N.A., Anderson, J.R.: ACT-R. In R. Sun (ed.), *Constraints in Cognitive Architectures*, Cambridge University Press, pp. 170-185, 2008
- [Taylor, 1990] Taylor, R. M.: *Situation awareness rating technique (SART): the development of a tool for aircrew systems design*. France: Neuilly-sur-Seine, 1990
- [Taylor, 2001] Taylor, R. M.: Technologies for Supporting Human Cognitive Control. *RTO HFM Specialists' Meeting on "Human Factors in the 21st Century"*, Paris, France, RTO-MP-077, 11-13 June 2001

- [Treisman, 1964] Treisman, A.M.: Selective Attention in Man. In: *British Medical Bulletin*, Vol.20, S.12-16, 1964
- [Uhrmann et al., 2009] Uhrmann, J., Strenzke, R., Rauschert, A., Schulte, A.: Manned-unmanned teaming: Artificial cognition applied to multiple UAV guidance, *NATO SCI-202 Symposium on Intelligent Uninhabited Vehicle Guidance Systems*, Neubiberg, Germany, 30th Juni - 2nd Juli 2009
- [Uhrmann et al., 2010] Uhrmann, J., Strenzke, R., Schulte, A.: Task-based Guidance of Multiple Detached Unmanned Sensor Platforms in Military Helicopter Operations. *COGIS 2010*, Crawley, West Sussex, UK (Thales), 2010
- [Uhrmann, in Vorb.] Uhrmann, J.: *Auftragsbasierte multi-UAV Führung aus dem Helikoptercockpit durch kognitive Automation*. Dissertation, Universität der Bundeswehr München, in Vorbereitung
- [Uhrmann & Schulte, 2012] Uhrmann, J., Schulte, A.: Concept, Design and Evaluation of Cognitive Task-based UAV Guidance. *International Journal on Advances in Intelligent Systems, IARIA Journals*, 2012
- [US Air Force, 2010] United States Air Force – Accident Investigation Board (AIB): Class A Aerospace Mishaps. *Online im Internet: <http://usaf.aib.law.af.mil/>*, letzter Zugriff 03.05.2010
- [Valenti et al., 2004] Valenti, M., Schouwenaars, T., Kuwata, Y., Feron, E., How, J., Paunicka, J.: Implementation of a Manned Vehicle - UAV Mission System. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*, Providence, Rhode Island, USA, 2004
- [Vicente & Rasmussen, 1992] Vicente, K.J., Rasmussen, J.: Ecological interface design: theoretical foundations. *IEEE Transactins on Systems, Man and cybernetics SMC-22*, pp. 589-606, 1992
- [Vohla, 2010] Vohla, M.: *Echtzeit-Generierung von Flugpfaden für die Darstellung von Computer Generated Forces und unbemannten Rotorflüglern*. Studienarbeit, Universität der Bundeswehr München, 2010
- [Wickens & Carlswell, 1995] Wickens, C.D., Carlswell, M.: The proximity compatibility pricipal: 1st psychological foundation and relevance to display design. *Human Factors* 37, pp. 473-494, 1995
- [Wickens, 2002] Wickens, C. D.: Multiple resources and performance prediction. *Theoretical issues in ergonomics science*, Vol. 3, No. 2, pp. 159-177, Taylor & Francis, 2002
- [Wiener, 1989] Wiener, E.L.: Human Factors of advanced technology (“glass cockpit”) transport aircraft. *NASA Contractor Report No. 177528*, Moffett Field, CA: NASA-AMES Research Center, 1989
- [Williams, 2004] Williams, K. W.: A Summary of Unmanned Aircraft Accident/Incident Data: Human Factors Implications. Oklahoma City, OK, USA: Civil Aerospace Medical Institute, Federal Aviation Administration. *Online im Internet: URL: <https://www.hf.faa.gov/docs/508/docs/uavFY04Mishaprpt.pdf>*, letzter Zugriff, 08.02.2012
- [Xu & Laird, 2011] Xu, J. Z., Laird, J. E.: Combining Learned Discrete and Continuous Action Models. *Proceedings of the 25th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, San Francisco, CA, USA, 2011

[X-Plane, 2012] X-Plane Homepage: X-Plane 10 Global, The world's most advanced flight simulator. *Online im Internet: <http://www.x-plane.com>*, letzter Zugriff, 12.07.2012

## Abkürzungsverzeichnis

ACT-R	Adaptive control of thought-rational
ACU	Artificial Cognitive Unit (dt.: künstliche kognitive Einheit)
ATR	Automated Target Recognition (dt.: automatische Zielerkennung)
CCC	Crew Coordination Concept (dt.: Aufgabenteilung der Crew im Cockpit)
CDU	Control and Display Unit (dt.: Kontroll- und Anzeigeeinheit)
CML	Cognitive Modeling Language (dt.: kognitive Modellierungssprache)
COSA	Cognitive System Architecture (dt.: kognitive Systemarchitektur)
CPG	Co-Pilot / Gunner (dt.: Ko-Pilot bzw. Waffensystemoffizier im Kampfhubschrauber)
CPL	Cognitive Programming Language (dt.: kognitive Programmiersprache)
HMI	Human Machine Interface (dt.: Mensch-Maschine-Schnittstelle)
H/C	Helicopter (dt.: Hubschrauber)
ISR	Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (dt.: nachrichtendienstliche Informationen, Überwachung und Aufklärung)
LOA	Level of Automation (dt.: Automationsgrad)
LOI	Level of Interoperability (dt.: Kompatibilitätsmaß)
MHDD	Multifunctional Head Down Display (dt.: Multifunktionale Bildschirmanzeige)
MUM-T	<u>M</u> anned- <u>U</u> n <u>m</u> anned- <u>T</u> eaming (dt.: bemannt-unbemannte Kooperation)
OCU	Operating Cognitive Unit (dt.: „Betreibende“ kognitive Einheit)
OF	Operating Force (dt.: „Treibende Kraft“)
OSM	Operation Supporting Means (dt.: Arbeitsmittel)
R/X	Receive (dt.: Empfangen)
SAM	Surface-to-Air-Missile (dt.: Boden-Luft-Rakete)
SCU	Supporting Cognitive Unit (dt.: Unterstützende kognitive Einheit)
SOAR	States, Operators, And Reasoning (dt.: Zustände, Operatoren und Schlussfolgern)
STANAG	Standardisation Agreement (dt.: Standardisierungsvereinbarung)
T/X	Transmit (dt.: Senden)
TBG	Task-based guidance (dt.: auftragsbasierte Führung)
UAV	Unmanned/Uninhabited Aerial Vehicle (dt.: unbemanntes Luftfahrzeug)
UCS	Unmanned Vehicle Control Station (dt.: Kontrollstation für unbemannte Geräte)

## Anhang A: Ausführliche Versuchsergebnisse

Leistung bei der Objektidentifikation

Mission	ForceName	Dringend	Korrekt	Dauer bis Beginn	Dauer Bearbeitung	AL	AV
W1M1	FORCE_5	x	1	41	5.00		
W1M1	FORCE_6	x	1	25	10.00		
W1M2	FORCE_0	x	1	29	8.00		
W1M2	FORCE_1	x	1	50	8.00		
W1M2	FORCE_2	x	1	37	7.00		
W1M2	FORCE_3	x	1	17	11.00		
W1M2	FORCE_4	x	1	40	17.00		
W1M3	FORCE_3	x	1	37			
W1M3	FORCE_4	x	1	200	7.00		
W1M3	FORCE_5	x	1	56	3.68		
W1M4	FORCE_4	x	1	33	8.00		
W2M1	FORCE_0	x	1	97	65.00		
W2M2	FORCE_7	x	1	11	11.00		
W2M3	FORCE_4	x	1	19	103.48		
W2M4	FORCE_8	x	0	8	7.00		
W1M5	FORCE_5	x	1	22	7.00	x	
W1M5	FORCE_6	x	1	25	29.00	x	
W1M6	FORCE_7	x	1	65	4.80	x	x
W1M7	FORCE_5	x	1	9	8.32	x	x
W1M8	FORCE_8	x	1	24	5.00	x	
W2M5	FORCE_7	x	1	4	7.00	x	
W2M6	FORCE_7	x	1	7	9.00	x	
W2M7	FORCE_6	x	0	17		x	x
W2M8	FORCE_6	x	1	5	6.68	x	x
W2M8	FORCE_8	x	1	5	10.36	x	x

## Leistung bei der UAV-Auftragsaktivierung

Mission	Phase	Lfz	Dringend	Dauer bis Beginn	Dauer Bearbeitung	AL	AV	AÜ
W1M1	Ingress	UAV1			00:00:04			
W1M1	Ingress	UAV2			00:00:03			
W1M1	Ingress	UAV3			00:00:02			
W1M1	Egress	UAV1	x	00:00:03	00:00:02			
W1M1	Egress	UAV2			00:00:03			
W1M1	Egress	UAV3			00:00:03			
W1M2	Ingress	UAV1	x	00:01:33	00:00:07			
W1M2	Ingress	UAV2	x	00:00:18	00:01:01			
W1M2	Ingress	UAV3	x	00:01:13	00:00:06			
W1M2	Egress	UAV1			00:00:01			
W1M2	Egress	UAV2	x	00:00:01	00:00:02			
W1M2	Egress	UAV3			00:00:04			
W1M3	Ingress	UAV1			00:00:01			
W1M3	Ingress	UAV2			00:00:02			
W1M3	Ingress	UAV3			00:00:01			
W1M3	Egress	UAV1			00:00:01			
W1M3	Egress	UAV2			00:00:06			
W1M3	Egress	UAV3			00:00:01			
W1M4	Ingress	UAV1			00:00:03			
W1M4	Ingress	UAV2			00:00:01			
W1M4	Ingress	UAV3			00:00:02			
W1M4	Egress	UAV1	x	00:00:04	00:00:04			
W1M4	Egress	UAV2	x	00:00:04	00:00:02			
W1M5	Ingress	UAV1			00:00:02			
W1M5	Ingress	UAV2			00:00:04			
W1M5	Ingress	UAV3			00:00:04			
W1M5	Egress	UAV1			00:00:01			
W1M5	Egress	UAV2	x	00:00:03	00:00:04	x		
W1M5	Egress	UAV3			00:00:02			

Mission	Phase	Lfz	Dringend	Dauer bis Beginn	Dauer Bearbeitung	AL	AV	AÜ
W1M6	Ingress	UAV1			00:00:03			
W1M6	Ingress	UAV3	x	00:00:04	00:00:17	x		
W1M6	Egress	UAV1			00:00:05			
W1M6	Egress	UAV2			00:00:09		x	x
W1M7	Ingress	UAV1	x	00:00:16	00:00:00	x		
W1M7	Ingress	UAV2	x	00:00:16	00:00:00	x		
W1M7	Ingress	UAV3	x	00:00:17	00:00:01	x		
W1M7	Egress	UAV1			00:00:02			
W1M7	Egress	UAV2			00:00:01			
W1M7	Egress	UAV3			00:00:01			
W1M8	Ingress	UAV1			00:00:02			
W1M8	Ingress	UAV2			00:00:02			
W1M8	Ingress	UAV3			00:00:01			
W1M8	Egress	UAV1	x	00:00:06	00:00:03	x		
W1M8	Egress	UAV2	x	00:00:10	00:00:02	x		
W2M1	Ingress	UAV1			00:00:04			
W2M1	Ingress	UAV2	x	00:00:03	00:00:01			
W2M1	Ingress	UAV3	x	00:00:28	00:00:03			
W2M1	Egress	UAV1	x	00:00:02	00:00:03			
W2M1	Egress	UAV2	x	00:00:04	00:00:03			
W2M2	Ingress	UAV1			00:00:09			
W2M2	Ingress	UAV2	x	00:00:03	00:00:01			
W2M2	Ingress	UAV3	x	00:00:04	00:00:05			
W2M2	Egress	UAV1			00:00:01			
W2M2	Egress	UAV2			00:00:03			
W2M3	Ingress	UAV1			00:01:27			
W2M3	Ingress	UAV2	x	00:00:02	00:01:03			
W2M3	Ingress	UAV3	x	00:00:07	00:00:17			
W2M3	Egress	UAV1			00:00:48			

Mission	Phase	Lfz	Dringend	Dauer bis Beginn	Dauer Bearbeitung	AL	AV	AÜ
W2M3	Egress	UAV2	x	00:00:51	00:00:11			
W2M3	Egress	UAV3	x	00:05:15	00:00:29			
W2M4	Ingress	UAV1			00:00:15			
W2M4	Ingress	UAV2			00:00:02			
W2M4	Ingress	UAV3			00:00:02			
W2M4	Egress	UAV1			00:00:02			
W2M4	Egress	UAV2	x	00:00:06	00:00:02			
W2M4	Egress	UAV3			00:00:01			
W2M5	Ingress	UAV1	x	00:00:05	00:00:17	x		
W2M5	Ingress	UAV2	x	00:00:18	00:00:03	x		
W2M5	Ingress	UAV3	x	00:00:22	00:00:04	x		
W2M5	Egress	UAV1			00:00:02			
W2M5	Egress	UAV2	x	00:00:22	00:00:06	x	x	x
W2M5	Egress	UAV3	x	00:00:06	00:00:07	x		
W2M6	Ingress	UAV1			00:00:31			
W2M6	Ingress	UAV2			00:00:02			
W2M6	Ingress	UAV3	x	00:00:02	00:00:01	x		
W2M6	Egress	UAV1			00:00:01			
W2M6	Egress	UAV2	x		00:00:01	x		
W2M7	Ingress	UAV1	x	00:01:33	00:00:15	x	x	x
W2M7	Ingress	UAV2	x	00:02:02	00:00:11	x		
W2M7	Ingress	UAV3	x	00:02:05	00:00:06	x		
W2M7	Egress	UAV1			00:00:06			
W2M7	Egress	UAV2			00:00:12			
W2M7	Egress	UAV3	x	00:00:02	00:00:05	x		
W2M8	Ingress	UAV1			00:00:05			
W2M8	Ingress	UAV2	x	00:00:09	00:00:29	x		
W2M8	Ingress	UAV3	x	00:00:38	00:00:03	x		
W2M8	Egress	UAV2			00:00:02			
W2M8	Egress	UAV3			00:00:01			

## Leistung bei der UAV-Auftragsplanung

Mission	Phase	Lfz	Dringend	Dauer bis Beginn	Dauer Bearbeitung	AL	AV	AÜ
W1M1	Egress	UAV1			00:00:37			
W1M1	Egress	UAV2			00:00:12			
W1M1	Folgeauftrag	UAV3	x	00:00:34	00:00:12			
W1M1	Egress	UAV3	x	00:00:01	00:00:08			
W1M2	Folgeauftrag	UAV3	x	00:01:08	00:00:39			
W1M2	Korridor	UAV2	x	00:01:18	00:00:08			
W1M3	Folgeauftrag	UAV1&2	x	00:00:19	00:00:14			
W1M4	Egress	UAV2	x	00:07:21	00:00:05			
W1M4	Folgeauftrag	UAV1&2	x	00:00:16	00:00:16			
W1M4	Egress2	UAV2			00:00:06			
W1M4	Egress2	UAV1			00:00:04			
W1M5	Egress	UAV1			00:00:14			
W1M5	Egress	UAV2			00:00:08	x		
W1M5	Folgeauftrag	UAV1-3	x	00:00:43	00:00:20	x		
W1M5	Egress	UAV3			00:00:17			
W1M6	Folgeauftrag	UAV1	x	00:00:25	00:00:16	x		
W1M6	LZ	UAV3			00:00:16			
W1M6	Egress	UAV1			00:00:41			
W1M7	Egress	UAV3			00:00:15			
W1M7	Korridor	UAV1	x	00:01:10	00:00:33	x		
W1M7	Folgeauftrag	UAV3	x	00:00:11	00:00:20	x		
W1M8	Folgeauftrag	UAV2	x	00:00:19	00:00:10	x		
W1M8	Egress	UAV1	x	00:00:55	00:00:09	x		
W1M8	Egress	UAV2			00:00:11			
W2M1	Egress	UAV1	x	00:05:49	00:00:15			
W2M1	Folgeauftrag	UAV3	x	00:00:29	00:00:19			
W2M1	Egress	UAV3			00:00:03			
W2M1	Egress	UAV2	x	00:13:27	00:00:10			
W2M2	Folgeauftrag	UAV1&2	x	00:00:13	00:00:21			

Mission	Phase	Lfz	Dringend	Dauer bis Beginn	Dauer Bearbeitung	AL	AV	AÜ
W2M2	Egress	UAV2			00:00:02			
W2M2	Egress	UAV1			00:00:11			
W2M3	Folgeauftrag	UAV2	x	00:05:13	00:00:26			
W2M3	LZ	UAV2	x	00:00:31	00:01:13			
W2M3	Egress	UAV2			00:00:29			
W2M3	Korridor	UAV2			00:00:08			
W2M4	Egress	UAV2			00:00:29			
W2M4	Egress	UAV3			00:00:16			
W2M4	Folgeauftrag	UAV1-3	x	00:01:21	00:00:27			
W2M4	Egress2	UAV1			00:00:02			
W2M4	Egress2	UAV2			00:00:11			
W2M4	Egress2	UAV3			00:00:36			
W2M5	Folgeauftrag	UAV1&3	x	00:05:05	00:01:11	x		
W2M5	Egress2	UAV3	x	00:01:57	00:00:13	x		
W2M5	Egress	UAV2			00:00:04	x	x	x
W2M5	Egress	UAV3			00:00:24	x	x	x
W2M6	Egress	UAV3			00:00:17	x	x	
W2M6	Folgeauftrag	UAV1&2	x	00:00:35	00:00:22	x		
W2M6	Egress	UAV1	x	00:00:29	00:00:05	x		
W2M7	Folgeauftrag	UAV2&3	x	00:00:36	00:00:08	x		
W2M7	Egress	UAV1			00:00:14			
W2M7	Egress	UAV2			00:00:11			
W2M7	Egress	UAV3			00:00:18			
W2M8	Egress	UAV1			00:00:16	x		
W2M8	Folgeauftrag	UAV2&3	x	00:00:09	00:00:06	x		
W2M8	Egress	UAV3			00:00:03	x		
W2M8	Egress	UAV2			00:00:04			
W2M8	Auftrag	UAV2			00:00:07	x	x	x

Mission	Phase	Lfz	AV	AÜ	Punkte	Bonus	Gesamt	Max
W1M1	Egress	UAV1			3		3	3
W1M1	Egress	UAV2			3		3	3
W1M1	Folgeauftrag	UAV3			2		2	3
W1M1	Egress	UAV3			1		1	2
W1M2	Folgeauftrag	UAV3			3		3	3
W1M2	Korridor	UAV2			1		1	1
W1M3	Folgeauftrag	UAV1&2			4	1	5	6
W1M4	Egress	UAV2			2		2	3
W1M4	Folgeauftrag	UAV1&2			4		4	7
W1M4	Egress2	UAV2			1		1	2
W1M4	Egress2	UAV1			1		1	2
W1M5	Egress	UAV1			3		3	3
W1M5	Egress	UAV2			3		3	3
W1M5	Folgeauftrag	UAV1-3			5		5	7
W1M5	Egress	UAV3			2		2	2
W1M6	Folgeauftrag	UAV1			4		4	4
W1M6	LZ	UAV3			1		1	3
W1M6	Egress	UAV1			2		2	2
W1M7	Egress	UAV3			3		3	3
W1M7	Korridor	UAV1			1	1	2	2
W1M7	Folgeauftrag	UAV3			2	2	4	4
W1M8	Folgeauftrag	UAV2			2		2	2
W1M8	Egress	UAV1			3		3	3
W1M8	Egress	UAV2			2		2	2
W2M1	Egress	UAV1			2		2	3
W2M1	Folgeauftrag	UAV3			3		3	3
W2M1	Egress	UAV3			1		1	2
W2M1	Egress	UAV2			1		1	2
W2M2	Folgeauftrag	UAV1&2			3		3	3

Mission	Phase	Lfz	AV	AÜ	Punkte	Bonus	Gesamt	Max
W2M2	Egress	UAV2			1		1	2
W2M2	Egress	UAV1			1		1	2
W2M3	Folgeauftrag	UAV2			4		4	5
W2M3	LZ	UAV2			2		2	3
W2M3	Egress	UAV2			1		1	2
W2M3	Korridor	UAV2			1		1	1
W2M4	Egress	UAV2			2		2	3
W2M4	Egress	UAV3			2		2	3
W2M4	Folgeauftrag	UAV1-3			5	1	6	9
W2M4	Egress2	UAV1			1		1	2
W2M4	Egress2	UAV2			1		1	2
W2M4	Egress2	UAV3			1		1	2
W2M5	Folgeauftrag	UAV1&3			1	1	2	6
W2M5	Egress2	UAV3			2		2	2
W2M5	Egress	UAV2	x	x	1		1	2
W2M5	Egress	UAV3	x	x	1		1	2
W2M6	Egress	UAV3	x		1		1	2
W2M6	Folgeauftrag	UAV1&2			4		4	5
W2M6	Egress	UAV1			2		2	2
W2M7	Folgeauftrag	UAV2&3			2		2	2
W2M7	Egress	UAV1			1		1	2
W2M7	Egress	UAV2			1		1	2
W2M7	Egress	UAV3			1		1	2
W2M8	Egress	UAV1			2		2	3
W2M8	Folgeauftrag	UAV2&3			1		1	2
W2M8	Egress	UAV3			2		2	3
W2M8	Egress	UAV2			1		1	2
W2M8	Auftrag	UAV2	x	x				

## Leistung bei der H/C-Auftragsplanung

Mission	Umplanung	Lfz	Dringend	Dauer bis Beginn [s]	Dauer Bearbeitung [s]	AL	AV	AÜ
W1M1	LZ	H/C	x	28	8			
W1M1	Folgeauftrag	H/C	x	17	4			
W1M1	Korridor	H/C	x	77	9			
W1M2	LZ	H/C	x	7	15			
W1M2	Folgeauftrag	H/C	x	34	6			
W1M2	Korridor	H/C	x	18	94			
W1M3	LZ	H/C	x	22	3			
W1M3	Folgeauftrag	H/C	x	25	5			
W1M4	LZ	H/C	x	53				
W1M4	Folgeauftrag	H/C	x	25	6			
W1M5	LZ	H/C	x	10	5 x			
W1M5	Folgeauftrag	H/C	x	21	3 x			
W1M6	Folgeauftrag	H/C	x	38	8 x			
W1M7	LZ	H/C	x	37	7 x			
W1M7	Folgeauftrag	H/C	x	5	0 x			
W1M7	Korridor	H/C	x	12	16 x			
W1M8	LZ	H/C	x	21	5 x			
W1M8	Folgeauftrag	H/C	x	24	16 x			
W1M8	Korridor	H/C			8 x			
W2M1	LZ	H/C	x	90	4			
W2M1	Folgeauftrag	H/C	x	14	11			
W2M1	Korridor	H/C			29			
W2M2	LZ	H/C	x	16	5			
W2M2	Folgeauftrag	H/C	x	8	0			
W2M2	Korridor	H/C	x	29	5			
W2M3	LZ	H/C	x	44	8			
W2M3	Folgeauftrag	H/C	x	56	9			
W2M4	LZ	H/C	x	3	8			
W2M4	Folgeauftrag	H/C	x	2	2			

<b>Mission</b>	<b>Umplanung</b>	<b>Lfz</b>	<b>Dringend</b>	<b>Dauer bis Beginn [s]</b>	<b>Dauer Bearbeitung [s]</b>	<b>AL</b>	<b>AV</b>	<b>AÜ</b>
W2M5	LZ	H/C			137	x		
W2M5	Folgeauftrag	H/C	x	23	13	x		
W2M5	Korridor	H/C			6	x		
W2M6	LZ	H/C	x	3	22	x		
W2M6	Folgeauftrag	H/C	x	3	22	x		
W2M6	Korridor	H/C			34	x		
W2M7	LZ	H/C	x	10	3	x		
W2M7	Folgeauftrag	H/C	x	4	11	x		
W2M7	Korridor	H/C	x	57	8	x	x	x
W2M8	LZ	H/C	x	42	4	x		
W2M8	Folgeauftrag	H/C	x	23	1	x		
W2M8	Korridor	H/C	x	19	8	x	x	x

Situationsbewusstsein (Fragen)

	Assistenzsystem	Befragung 1 (Ingress)		Befragung 2 (HOA)		Befragung 3 (Egress)		Summe	
		Punkte	Punkte gesamt	Punkte	Punkte gesamt	Punkte	Punkte gesamt	Punkte	Punkte gesamt
W1M1		20	20	20	20			40	40
W1M2		19	20	16	20			35	40
W1M3		18	20	14	16			32	36
W1M4		19	20	16	20			35	40
W1M5	x	20	20	16	20	20	20	56	60
W1M6	x	20	20	8	8			28	28
W1M7	x	20	20	18	20			38	40
W1M8	x	18	20	17	18			35	38
W2M1		19	20	16	20			35	40
W2M2		18	20	15	20			33	40
W2M3		18	20	18	18			36	38
W2M4		17	20	15	16			32	36
W2M5	x	18	20	19	20			37	40
W2M6	x	20	20	20	20			40	40
W2M7	x	19	20	18	20			37	40
W2M8	x	20	20	17	18			37	38