

Ergonomische Einbindung des Sensor-Operators in eine MUM-T / Multi-UAV-Umgebung: Problemanalyse, Konzeptdarstellung und erste Modellbildung

Christian Ruf & Peter Stütz

Zusammenfassung

Das Institut für Flugsysteme (IFS) der Universität der Bundeswehr München (UniBwM) beschäftigt sich mit der menschenzentrierten Assistenz im Bereich von aufklärenden Sensorsystemen in MUM-T-Umgebungen. Dabei werden sensortragende UAVs aus einem bemannten Helikopter heraus geführt. Dieser Beitrag stellt einen Konzept- und Realisierungsvorschlag für ein Assistenzsystem vor, welches die Crew bei der luftgestützten Aufklärung mit Missionssensoren durch den Einsatz variabler Automation unterstützen soll. Durch den gezielten Vorschlag von automatisierten Funktionalitäten in den Bereichen des Aufklärungs- und Sensormanagements, der Nutzlaststeuerung sowie der Sensordatenauswertung an den Operator sollen dessen Aufgabenbelastung und damit die Arbeitsbelastung durch aktive Moderation auf ein akzeptables Maß reduziert werden. Dabei werden die aktuelle Aufgabensituation, die situative Beanspruchung der Crew sowie potentielle Beitragsfähigkeiten und Limitationen der automatisierten Funktionen mitbetrachtet. Eine gezielte Adaption des Automationsgrades im Sinne des Paradigmas der variablen Automation berücksichtigt explizit die Leistungsfähigkeit der unterstützenden Systeme mit. Dadurch wird deren Eignung zur Vereinfachung einer konkreten Aufgabensituation mit in die Auswahl des Automationslevels der Sensorautomation und damit den Unterstützungsgrad des Operators einbezogen. Für die Umsetzung des Konzepts wurde zur Wissensakquise und Modellbildung eine *Human-in-the-Loop*-Messkampagne durchgeführt. Deren Durchführung und Ergebnisse sowie der Aufbau und die Ableitung eines ersten Aufgabenmodells als Teil des Konzepts daraus werden im Verlauf detailliert erläutert.

1 Einleitung

Eines der Forschungsfelder des Instituts für Flugsysteme (IFS) der Universität der Bundeswehr München (UniBwM) ist die Integration unterstützender sensorischer Fähigkeiten in bemannt-unbemannte [engl.: *manned-unmanned teaming* (MUM-T)] Helikopter-Missionen. Ein solches Team bildet dabei einen Verband, bestehend aus einem bemannten Militär-Transporthubschrauber und mehreren UAVs als Aufklärungsmittel. Die unbemannten Komponenten wirken als

abgesetzte Sensorplattformen, welche direkt aus dem zweisitzigen Helikoptercockpit heraus geführt werden. Der MUM-T-Ansatz stellt durch diese direkte Führung der UAVs sicher, dass zwischen dem Bedarfsträger der Aufklärungsleistung sowie den UAVs keine weiteren Kommandierungsketten involviert sind, die UAVs der Crew somit in direktem Verhältnis unterstellt sind und dynamisch, bedarfsgerecht und zielgerichtet durch diese eingesetzt werden können.

Das Projekt CASIMUS (*Cognitive Automated Sensor Integrated Unmanned Mission System*) beschäftigt sich mit der Herausforderung, die Crew des Transporthubschraubers durch neue Fähigkeiten, die sich aus der mitgeführten Missionssensorik auf den UAVs ergeben, zu unterstützen. Durch diesen direkten Einsatz der Sensoren und die neuen Fähigkeiten der Helikoptercrew, Orte und Szenarien vor der Ankunft des eigenen Fluggeräts zeitnah einsehen und aufklären zu können (*eyes on target*), ergeben sich wichtige operationelle Vorteile. So können die Flugroute des Helikopters, Flugkorridore, Operationsgebiete oder Landezonen zeitnah vorab aufgeklärt werden, noch bevor der Helikopter selbst diese erreicht. Dadurch kann beispielweise frühzeitig und flexibel auf eventuelle Feindbedrohungen auf der eigenen Helikopterroute oder einfallende Bedrohungen in Operationsgebiete reagiert werden.

Um jedoch eine solche zeitnahe und räumlich nahe Aufklärung zu erreichen, müssen die UAVs und deren Nutzlastsysteme durch die Helikoptercrew aus dem Cockpit heraus geplant, gesteuert und überwacht werden. Dies führt zu einer deutlich höheren System-, Bedien- und Missionskomplexität und bringt eine zusätzliche Aufgabenbelastung der Crew mit sich. Diese zusätzliche Belastung und die neuen Aufgaben beeinflussen direkt das Arbeitsverhalten und nehmen additiv Einfluss auf die Arbeitsbelastung (*Workload*) der Besatzung.

Das CASIMUS-System zielt nun darauf ab, insbesondere in Situationen, in denen die Crew hoher Arbeitsbelastung ausgesetzt ist, diese zusätzlichen Aufgaben zu koordinieren und dafür Sorge zu tragen, dass diese teilweise oder ganz an automatisierte Funktionalitäten abgegeben werden können. Solche entlastenden Funktionalitäten und deren gezielte Ausführung sollen der Crew durch ein technisches Unterstützungssystem bereitgestellt werden und während der Aufgabendurchführung unterstützend mitwirken. Um dem Anstieg bzw. der Überhöhung der Arbeitsbelastung entgegenzuwirken, wird die Crew durch ein adaptives, kognitives Assistenzsystem (Onken & Schulte, 2012; Strenzke et al., 2011) unterstützt. Dieses bietet situationsadaptive Assistenzleistungen, welche durch eine kontinuierliche Überwachung der Crew bedarfsorientiert eingebracht werden. Somit kann die Arbeitsbelastung der Crew ständig balanciert werden, getriggert durch das aktuelle Aufgabenaufkommen und die aktuelle Crewbelastung in Form der Arbeitsbelastung. Im Bereich der UAV-Flugführung wurde ein abstraktes High-Level-Führungsparadigma (*task-based-guidance, TBG*; Uhrmann & Schulte, 2012) vorgeschlagen, welches weiterhin zur Anwendung kommt. Damit konnte die Führung mehrerer UAVs aus einem Helikoptercockpit

bereits in simulierten Missionen erfolgreich nachgewiesen werden (Uhrmann & Schulte, 2012). Jedoch wurde dazu ein sehr hoch automatisierter Sensoreinsatz vorausgesetzt, da dieser nicht explizit Untersuchungsgegenstand war. Dabei wurde der gesamte Bereich des Sensoreinsatzes durch an den UAVs fest ausgerichtete Kameras und ein fehlerfrei arbeitendes, nahezu ideal komplett automatisiertes automatisches Zielerkennungssystem (*automated target recognition, ATR*) approximiert.

2 Allgemeine Ausrichtung

In dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt auf dem Entwurf und der funktions-technischen Umsetzung eines Sub-Assistenzsystems für den Kommandanten in der Rolle des Sensoroperators.

Im Kontrast zu der direkten Führung aus dem HC-Cockpit werden herkömmliche Einzel-UAV-Plattformen aus einer Bodenkontrollstation (BKS) heraus geführt. Dabei steuert und überwacht ein dedizierter Sensor- bzw. Payload-Operator die Sensorsysteme, während ein Pilot das UAV steuert und fliegt. In einer BKS sind die Arbeitsplätze mit spezifischen Eingabemodalitäten und Eingabegeräten wie Joysticks, PC-Mäusen und Hardware-Tastefeldern mit Direktzugriff auf bestimmte Funktionalitäten, ausgestattet. Zudem ermöglichen großflächige Bildschirme die kontinuierliche Steuerung und Überwachung der fliegenden Systeme.

Im Vergleich dazu besteht die hier vorliegende Arbeitsumgebung aus einem Cockpit eines manntragenden Transporthelikopters (HC). Es bestehen deutliche Unterschiede zur BKS, das Cockpit bietet eine eingeschränkte, relativ starre Arbeitsplatzergonomie und lässt wenig Freiraum zur Nutzung ergonomischer Interaktionsgeräte, beispielsweise aus Platzgründen, der Arbeitskleidung der Crew oder spezieller Eigenschaften bewegter Plattformen.

Während in der BKS zwei Personen ausschließlich den UAV-Einsatz durchführen, muss im beschriebenen MUM-Team einer der beiden HC-Besatzungsmitglieder (*Pilot Flying, PF* und *Pilot Not Flying, PNF*), die Aufgaben des Sensoreinsatzes und der Flugführung übernehmen, in den meisten Fällen der PNF. Dadurch käme dieses Aufgabenspektrum mit seinen stark fordernden und aufmerksamkeitsbindenden Tätigkeiten zusätzlich zu dem regulären Aufgabenbereich des PNF hinzu.

Die zusätzliche Anforderung an einen Operator, mehrere UAVs zu führen und deren sensorische Outputs zu überwachen, erschwert die Situation. Dadurch könnte ein exzessiver Anstieg der Arbeitsbelastung bis hin zur Überbelastung eintreten.

Um dem entgegenzutreten, müssen neue Ansätze gefunden werden. Im Besonderen soll hierzu der Ansatz der variablen Automatisierungsgrade untersucht werden.

2.1 Aufgabendelegation an variabel automatisierte Systeme

Der typische Aufgabenbereich, welcher sich beim Einsatz der Missionssensoren aus dem Cockpit ergibt, umfasst die Aufklärung von Örtlichkeiten, Routen, Flugkorridoren sowie Operationsgebieten und Landezonen während der laufenden Mission. Typische Aufgaben des Operators sind dabei z.B. die Suche von bodengebundenen Einheiten und Objekten und die Verfolgung bewegter Objekte an Orten, entlang der Flugroute des Helikopters oder an Landezonen.

Die dafür nötige, starke Involvierung des Operators bei der manuellen Durchführung solcher Aufgaben lässt sich nur schwer mit dessen regulären Aufgaben vereinen. Um die für die Aufklärung erforderlichen Tätigkeiten und Aktivitäten effizient in den regulären Aufgabenrahmen eines PNF einzubinden, müssen bestimmte automatisierte Funktionalitäten für den Umgang mit den Sensorsystemen bereitgestellt werden, so dass gegebenenfalls die Arbeitsbelastung im Tätigkeitsgeschehen des Operators reduziert werden kann. Dabei sollen Aufgaben, die einen hohen Involvierungsgrad des Operators erfordern und damit hohe Arbeitsbelastung herbeiführen, sowie andauernde monotone Aktivitäten in geeigneter Weise automatisiert werden können. Der Operator kann damit durch die Vereinfachung der Umsetzung der Aufgabe oder der kompletten Ausführung dieser durch das Sensorunterstützungssystem von der manuellen Ausführung entlastet werden. Der Ansatz sieht deshalb vor, verschiedene Automationsgrade bereitzustellen, welche der stufenweisen Vereinfachung der Aufgaben entsprechen, sofern die Automation unterstützend bei der Ausführung mitwirkt. Mittels variabler Automation soll der Einsatz der unterstützenden Prozesse menschenzentriert erfolgen und damit dynamisch an den aktuellen Bedarf des Operators angepasst werden, zum Beispiel in Situationen hoher Arbeitsbelastung. Diesem Paradigma folgend, offerieren adaptiv automatisierte Systeme einen geeigneten Automationsgrad oder wählen einen situationsangepassten Modus in Abhängigkeit des aktuellen Kontexts (Parasuraman et al., 2000). Diese flexible Adaption kann durch interne Bedingungen und Zustände (beispielsweise bei selbstüberwachenden Systemen) oder durch externe Entitäten (beispielsweise durch ein äußeres technisches Überwachungssystem oder den Operator selbst) getriggert werden. Im hier vorgestellten Kontext wird das Paradigma der „*Levels of Automation*“ (Sheridan, 2011; Endsley, 1987) erstmals für den Multi-UAV-Sensoreinsatz interpretiert und angewendet.

2.2 Funktionale Anforderungen

Mit diesen Spezifikationen können die Anforderungen als zwei Bereiche des Konzepts formuliert werden: Zum einen soll der Bereich der Automationsfunktionen und zum anderen der abgekapselte Bereich des Managements der Automationsfunktionen definiert werden.

Zuerst soll dabei die Sensordatenauswertung betrachtet werden. Solche perzeptiv-kognitive Aktivität erfordert eine stringente Einbindung des Operators. Hier kann eine automatisierte Sensordatenauswertung durch das Anbieten von

maschinell perzeptiven Fähigkeiten unterstützen. Dadurch kann ebenso das Problem des Betrachtens und der Auswertung paralleler Datenkanäle adressiert werden. Als zweites können Tätigkeiten, die kontinuierliche sensormotorische Aktivität erfordern, automatisiert werden. Dies bezieht sich hauptsächlich auf die Steuerung des Payload-Gimbals (kardanische Aufhängung der Sensornutzlast). Das Sensorunterstützungssystem soll auf diesen beiden Domänen geeignete integrierte Funktionalitäten (Automationsfunktionen) mit unterschiedlichen Graden an Automatisierung bereitstellen und in der Lage sein, potentiell variable Unterstützung zu bieten.

Ebenso soll ein problemlösender Mechanismus gefunden werden, welcher in der Lage ist, diese variable Automation zu verwalten (Management der Automationsfunktionen). Ein solcher Mechanismus soll dabei externe Trigger für die Initiierung bzw. das Ergreifen unterstützender Maßnahmen berücksichtigen können.

3 Konzept

Um ein Unterstützungssystem für den Sensoreinsatz mit den im vorherigen Abschnitt spezifizierten Anforderungen zu erstellen, wurde zunächst ein Top-Level-Konzept aufgestellt (Bild 1). Es hat zum Ziel, unter der Moderation der menschlichen Arbeitsbelastung gezielt in die Missionsdurchführung integrierbare Unterstützungsleistungen aus dem Bereich des Sensoreinsatzes zu bieten. Dabei soll es als eigenständig arbeitende Teilkomponente des umfänglichen MUM-T-Assistenzsystems integriert werden, um so optimal im Sinne des Gesamtkontexts aller Crewaufgaben Assistenzleistungen erbringen zu können.

Zur Implementierung wird ein wissensgestützter Ansatz vorgeschlagen. Dieser verwendet Domänenwissen, um bei der Anpassung des Automationsgrades neben externen und internen Triggern Limitationen sowie Parametervorgaben zur Einstellung der Automationsparameter berücksichtigen zu können.

In den nächsten Abschnitten werden die Bestandteile des Konzepts, ihre Hauptmerkmale und die Funktionsweise der Module genauer beschrieben.

3.1 Struktur und Funktionsweise

Bild 1 zeigt die Konzeptstruktur. Die Abbildung ist in vier Bereiche unterteilt, *Knowledge* (Wissen), *Management* (Koordination), *Automation Functions* (systemausführbare Funktionalitäten) sowie *Global System* (Globaler Systemkontext). Die kursiv dargestellten Begriffe finden sich im Konzept in Bild 1 wieder.

Im Bereich der systemausführbaren Funktionalitäten finden sich die oben spezifizierten Teilbereiche der durch Maschineneinsatz automatisiert ausführbaren Funktionalitäten (*Computer Vision*, *Gimbal Controller*) mit Komponenten zur perzeptiv-kognitiven und sensormotorischen Unterstützung.

Diese werden durch Module des *Management*-Bereichs verwaltet und eingesetzt. Dafür werden aus dem globalen Systemkontext eingehende oder intern verfügbare Kriterien zur Bestimmung eines angemessenen Automationsgrades herangezogen. Dabei bilden externe Trigger aus dem globalen Kontext (*Global System*) zur Wahl eines Automationsgrades

- die Arbeitsbelastung (*Workload*), welche von einem externen Ermittlungssystem (Honecker & Schulte, 2015) bereitgestellt wird,
- Anfragen des globalen Assistenzsystems, welches den gesamten Betätigungshorizont der HC-Crew überwacht (*Global Assistant System Request*), oder
- direkte Anfragen zur automatisierten Aufgabendurchführung (*Task Requests*).

Einen internen Trigger stellt die Angabe der Verlässlichkeit (*System Trustworthiness*) der automatisierten Funktionalitäten dar. So wird deren Zuverlässigkeit explizit als Einflussgröße auf den anwendbaren Automationsgrad hinzugezogen, um im Besonderen Unzulänglichkeiten in der automatisierten Erkennungsleistung berücksichtigen zu können. Zusätzlich bilden Kenntnisse aus der Wissensschicht weitere Randbedingungen bei der Bestimmung des Automationsgrades; so können menschliche Limitierungen oder Wissen über den Aufwand auszuführender Aufgaben mit berücksichtigt werden.

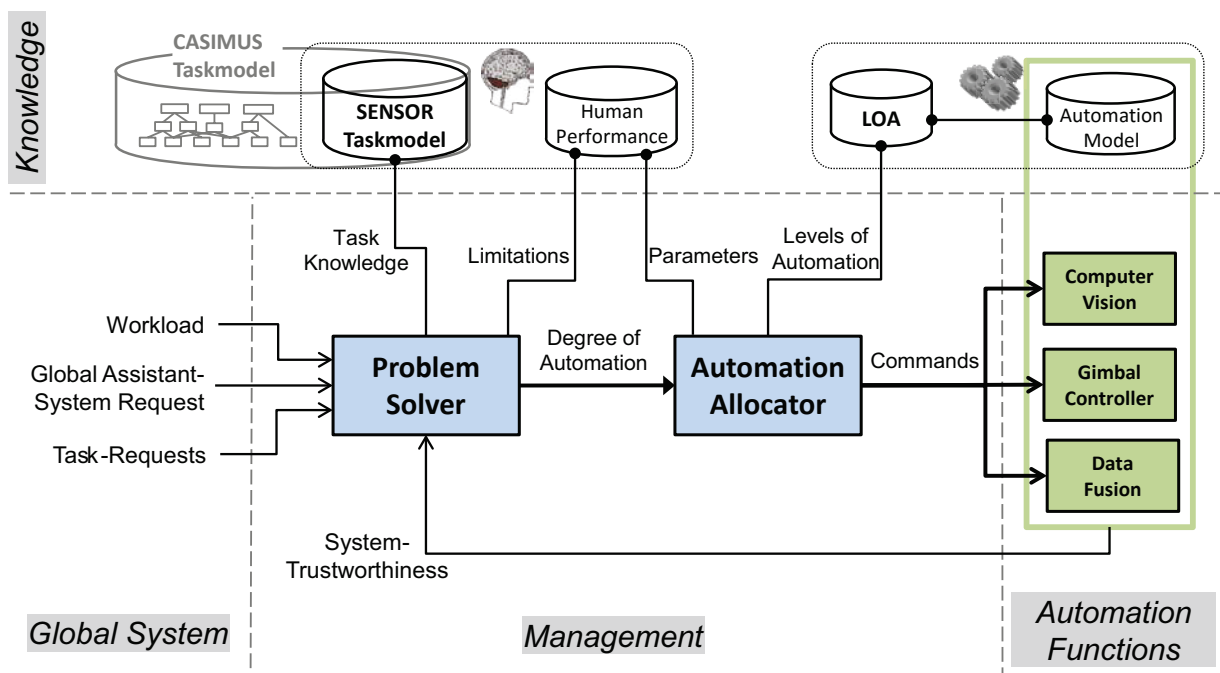


Bild 1: Top-Level-Konzept des Sensorunterstützungssystems

Der problemlösende Mechanismus (*Problem Solver*) hat die Aufgabe, aus den Vorgaben, Anforderungen und Limitationen der aktuellen Situation einen adäquaten Automationsgrad (*Degree of Automation*) zu bestimmen.

Das Modul zur Allokation und Ausführung (*Automation Allocator*) soll, mit Kenntnissen spezifizierter Automationsgrade (*Levels of Automation, LOA*), die

dazu nötigen automatisierten Funktionalitäten mit entsprechender Parametrierung aus der Wissensschicht starten.

3.2 Subsystemkomponenten

3.2.1 Automatisierte Funktionalitäten

Die automatisierten Funktionalitäten (*Automation Functions*) umfassen technisch bzw. durch den Einsatz von Rechenressourcen aus- und durchführbare Funktionalitäten aus dem Bereich des Sensoreinsatzes. Wie in den für das Konzept erarbeiteten Spezifikationen ausgearbeitet, umfasst dies die Domänen sensomotorischer (Gimbalsteuerung) sowie perzeptiv-kognitiver (Sensordatenauswertung) Aktivität des Menschen.

Im Bereich der Gimbalsteuerung können vordefinierte automatisierte Modi, vom manuellen Einsatz über semi-automatisch, bis hin zur vollautomatisierten Steuerung, eingebracht werden, was die sensomotorische Aktivität des Operators drastisch senken kann. So kann die Gimbalführung entlang Routen oder zur effektiven Sensorabdeckung von Gebieten automatisch gesteuert erfolgen.

Die Sensordatenauswertung kann durch die Anwendung von softwarebasierten Auswertungsalgorithmen unterstützt werden. Die Implementierung solcher Algorithmen folgt dabei dem Schema des „Sensor- und Perzeptionsmanagements“, wie in Russ et al. (2012) und Hellert et al. (2012) aufgezeigt. Dieses Framework verwaltet und appliziert gezielt Algorithmen und erzeugt damit umwelt- und kontextbezogene sensorische, maschinelle Fähigkeiten.

Die automatisierte Ausführung der Gimbalsteuerung (*Gimbal Controller*) sowie der Sensordatenauswertung (*Computer Vision* = Algorithmen zur Bilddatenauswertung) erfolgt mittels Funktionsbibliotheken aus dem Bereich der *Automation Functions*. Dort befinden sich ebenfalls Algorithmen zur Datenfusion (*Data Fusion*).

3.2.2 Wissensmodellierung

Wie aus der Konzeptdarstellung ersichtlich ist, benötigt das Sensorunterstützungssystem zur Ausprägung der variablen Eigenschaften Wissen und Kenntnisse, welche die Wahl des Automationsgrades sowie die Parametrierung der automatisierten Funktionalitäten beeinflussen. Es wird zwischen Modellen menschlicher Aspekte (gekennzeichnet durch Symbol des menschlichen Kopfs in Bild 1) und Modellen zur Beschreibung technischer Prozesse (gekennzeichnet durch Zahnradsymbol) unterschieden.

Im Konzept sowie im globalen Systemkontext spielt das globale Aufgabenmodell (*CASIMUS Taskmodel*) eine besondere Rolle. Es enthält eine Modellierung aller ausführbaren Aufgaben der Crew, welche zur Erfüllung der Mission durchgeführt werden können, ebenso wie die damit aufzuwendenden menschlichen Ressourcen. Hier kann der Teil des Sensoreinsatzes aus diesem Aufgabenmodell (*SENSOR Taskmodel*) dazu genutzt werden, um bei der Bestimmung des Automationsgrades proaktiv die hypothetische Belastung, welche der Automationsgrad hervorrufen

würde, in die Abwägung mit einbeziehen zu können. Ebenso beinhaltet das Konzept einen Modellteil mit Wissen über menschliches Leistungsvermögen beim Sensoreinsatz (*Human Performance Model*). Dieses enthält modelliertes Wissen über Fähigkeiten und Limitierungen des Menschen und kann so unter ergonomischen Gesichtspunkten die Wahl des Automationsgrades sowie Parameter bei der Allokation der Automation berücksichtigen. In diesem Beitrag wird das Aufgabenmodell für den Sensoreinsatz durch menschliche Operateure (*SENSOR Taskmodel*) später detailliert erläutert. Dessen Aufbau sowie die Ermittlung von Modellinhalten sowie Parametern aus einer Experimentalreihe werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Die Modelle der automatisierten Funktionalitäten (*Automation Model*) sowie der Automationsgrade (*LOA-Model*) beschreiben die perzeptiven und steuerungsspezifischen Fähigkeiten der automatisierten Funktionalitäten sowie deren Abbildung in Stufen verschiedener Automatisierungsgrade zur Realisierung variabler Automation. Die Speicherung und Repräsentation dieses Wissens erfolgt dabei mittels der *Web Ontology Language* (OWL).

3.3 Operateurintegration mittels variabler Automation

Während der Missionsdurchführung wird, u.a. mit Ergebnissen aus der Vorabklärung durch die UAVs, ein gemeinsam verwendbares Lagebild (engl. *common operational picture*, COP) aufgebaut. Aus der Informationslage sowie der Darstellungsweise der Daten und Ergebnisse aus den Missionsensoren auf den User-Interfaces resultiert letztlich ein Teil der Situation Awareness (SA) des Operateurs über die Gesamtsituation. Es ist daher wichtig, dass Daten und missionsrelevante Informationen in einer verständlichen und zugänglichen Repräsentationsart dargeboten werden. Dies ist essentiell, da eine inhaltlich bzw. darstellungstechnisch falsch ausgelegte Repräsentation zu einer verzerrten Wahrnehmung des COP durch den Benutzer sowie Defizite in der SA führen können (Liggins et al., 2008). Zudem findet mit der Repräsentation der Daten die kognitive Fusion durch den Benutzer, also das Prozessieren der Daten im Gehirn, statt (Liggins et al., 2008).

Eines der Hauptmerkmale ist es daher, dem Operateur vorprozessierte Daten unterschiedlicher Vorverarbeitungsgrade aus den Sensorsystemen zur Verfügung stellen zu können. Dadurch soll zum einen dessen Aktivitätslevel bei Bedarf in überfordernden Situationen minimiert werden. Andererseits kann so berücksichtigt werden, dass dem Operateur bei schlechter Verlässlichkeit der maschinellen Funktionen (*System Trustworthiness*) nicht fehlerhaft prozessierte Daten als Ergebnisse glaubhaft gemacht werden, und dieser mehr aktiv in den Auswertungsprozess eingebunden wird. Dabei bezieht sich der Grad der Vorverarbeitung sowohl auf die vom Menschen aufzunehmende Datenrate (vom Rohbildstream bis hin zu Einzelbildern mit Ergebnissen) sowie den vom maschinellen System erarbeiteten Vorauswertungsgrad (Rohdaten bis hin zur Detektion/Klassifikation).

4 *Human-in-the-loop*-Experimentalreihe

Um erste empirische Einblicke in das Verhalten und die Tätigkeiten beim Sensoreinsatz aus dem HC-Cockpit heraus zu erhalten und daraus Inhalte für das Sensor-Aufgabenmodell (SENSOR Taskmodell) aus beobachteten Verhaltensmustern abzuleiten, wurden *Human-in-the-loop*-Messkampagnen durchgeführt. Dabei wurde explizit die Tätigkeit des PNF in der Rolle des UAV- Payload-Operators bei der manuellen Durchführung von Aufklärungsaufgaben mittels eines sensor-tragenden UAVs untersucht.

4.1 Design der Operateur-Arbeitsumgebung

Um das Verhalten der HC-Crew in MUM-T-Missionen zu untersuchen, wurde ein zweisitziger, generischer Helikopterflugsimulator aufgebaut (Bild 2).



Bild 2: Cockpit des Experimentalsimulators

Dieser ist mit Multi-Touch-Displays sowie frei konfigurierbaren Multifunktionsdisplays (MFDs) als Softwareumsetzung ausgestattet. Ein grafisches Benutzerinterface für den Sensoreinsatz während Flugmissionen wurde als dedizierte Page (Sensor-Page) auf dem MFD eingebettet; zusätzlich wurde eine Map-Page (Kartendarstellung) für die UAV-Flugführung, HC-Navigation und Visualisierung der taktischen Lage verwendet (Bild 3). Wie in der Gegenüberstellung der Arbeitsumgebungen der BKS und des HC-Cockpits herausgearbeitet, stehen die vollen Eingabemodalitäten einer BKS nicht standardmäßig im HC-Cockpit zur Verfügung. Daher wurden sämtliche Eingabe-, Interaktions- und Anzeigemodalitäten mittels Softwarefunktionalitäten des MFDs realisiert. So wurden

hardwarebasierte Eingabegeräte durch virtuelle Nachbildungen approximiert, zusätzlich werden moderne Eingabemodalitäten wie Touch-Gesten unterstützt, was für die Aufzeichnung semi-kontinuierlicher Nutzereingaben effektiv genutzt werden kann.

Dies ermöglicht eine ergebnisähnliche Systemeinsatzbarkeit und -benutzbarkeit ohne den Einsatz zusätzlicher Hardwareeingabegeräte. Die simulierten Gimbals auf den UAVs und Zoomoptiken der Kameras können durch Eingabetouchgesten oder virtuelle Buttons durch die korrespondierenden Pageelemente gesteuert werden.

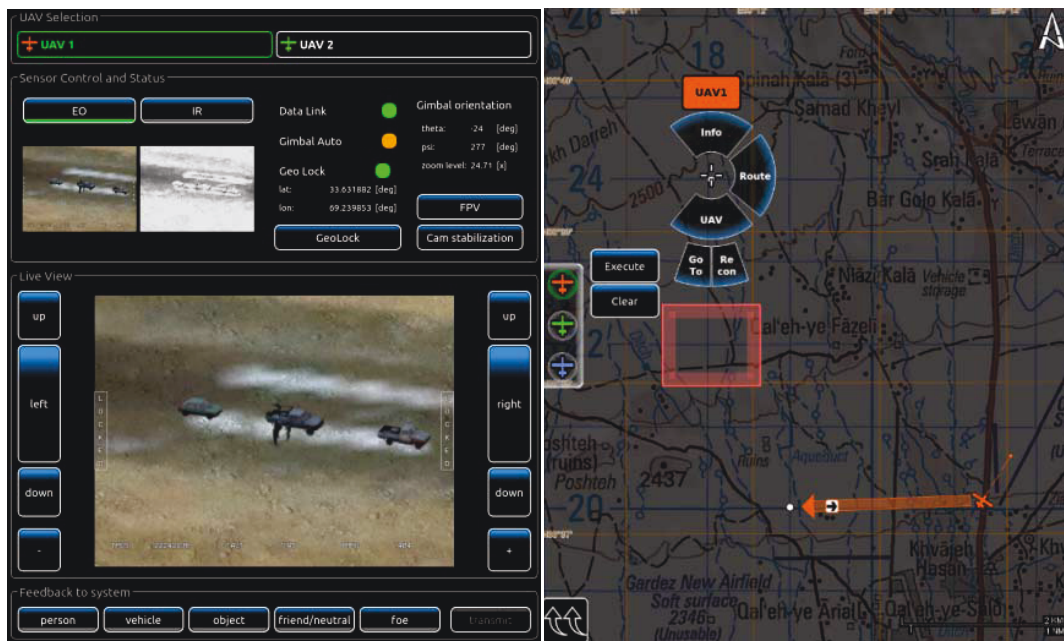


Bild 3: Sensor- und Karten-Page auf dem Helikopter-MFD

4.2 Experimentalumgebung und Crewbeobachtung

In der oben beschriebenen Operateur-Arbeitsumgebung wurde eine Reihe von virtuellen Missionen durchgeführt. Als *Simulation Engine* kommt dabei die Gefechtsfeldsimulation „Virtual Battlespace 3 (VBS3)“ (Bohemia Interactive a.s., Mníšek pod Brdy, Tschechien) zum Einsatz. Diese ermöglicht es, virtuelle militärische Szenarios zu erstellen und untersuchungsspezifische Missionen mit spezifischen Detailtiefen, Freiheitsgraden und Dynamikanteilen zu designen. Die Daten der virtuellen Missionssensoren können auf der Sensor-Page des MFDs beobachtet werden, die Position des eigenen Helikopters und der UAVs im gemeinsamen Szenario erscheinen auf der Map-Page.

Erfasste Messdaten in dieser Simulationsumgebung sind zum einen Systemeingaben in der Gestalt von Touch-Gesten, -Taps und Knopfdrücken, im Folgenden als Interaktionsdaten bezeichnet, sowie Blickbewegungsdaten des Systembedieners auf den MFD-Oberflächen bzw. in der gesamten Experimentalumgebung. Solche Messgrößen sind gut geeignet, um Werte und Metriken zu

bilden, welche durch eine geeignete Form der Wissensbeschreibung in Modelle überführt werden können.

Zur Beobachtung der Crew wurde eine nicht-prozessinvasive, berührungslose Blickbewegungsmessung angewendet. Das eingesetzte Messsystem „smarteye pro“ (Smart Eye AB, Göteborg, Schweden) ermöglicht es, die Blickpunktpositionen des Operators im Experimentalraum zu erfassen. Mittels eines geometrischen Modells der MFD-Oberflächen werden semantische Referenzen zu dem grafischen Inhalt auf der gerade betrachteten Page erstellt. Die Aufnahme von Informationen über aufgabenbezogene Blickbewegungspositionen und -muster wird als Teil des Modellwissens angestrebt. Bei der Beobachtung der Crew liefert die Blickbewegungsmessung wichtige Evidenzen, welche die Beobachtung und Identifikation des visuellen Anteils von aktuell ausgeführten Tätigkeiten bzw. Verhaltensmustern stützt (Honecker & Schulte, 2015).

4.3 Experimentgestaltung

Die Durchführung von luftgestützter Aufklärung mittels UAVs überlässt der Crew eine Vielzahl an freien Parametern und eine Vielfalt an Strategien zur Auswahl, abhängig von den Randbedingungen der Mission sowie den Missionszielen. Um die Interaktionen, welche für die Modellbildung für den Bereich des Sensoreinsatzes herangezogen werden sollen, einzugrenzen und zu isolieren, mussten die Freiheitsgrade der Operator-Interaktionen und Parametersätze der UAVs analysiert und eingeschränkt werden.

Das spezifische Ziel dieser Kampagne war es, das *manuelle* Interaktionsverhalten sowie die Ausprägung der Blickdaten des PNF in der Rolle eines Payload-Operators zu beobachten, während dieser Aufklärungsaufgaben überwacht und durchführt. Dabei sollten für diese Beobachtungszeiträume andere PNF-spezifische Betätigungsfelder, wie Funkkommunikation oder Navigation, ausgeblendet werden, um den Sensoreinsatz explizit zu vermessen. Des Weiteren wurde die Dynamiksimulation des Helikopters deaktiviert, woraus eine stationäre HC-Position resultierte. Zusätzlich wurden im Bereich der UAV-Flugführung feste Flugrouten sowie vorselektierte Parametersets angewendet, um für alle Versuchspersonen eine maximale Isolation auf den zu untersuchenden Themenbereich und die Reduktion von Störeinflüssen oder Ablenkung sicherstellen zu können. Freiheitsgrade bestanden also ausschließlich im Bereich des Sensoreinsatzes zur Durchführung der Aufklärungsaufgabe. Die Aktivität des Operators beschränkte sich auf die komplette Gimbalsteuerung sowie die Einstellung des Zoomfaktors der Kameraoptik über Touchgesten oder Einstellknöpfe. Des Weiteren standen erweiterte, einfache einzelne Unterstützungsfunktionen zur Verfügung, welche bei derzeitigen UAV-Aufklärungssystemen zur Standardausstattung gehören. Dazu zählen die Möglichkeit, den Gimbal auf eine vorgebbare Geokoordinate zu stabilisieren bzw. diese in der Bildmitte festzuhalten, ein stabilisierter Kameramodus, welcher die Egomotion des UAVs kompensiert, sowie eine First-Person-View (FPV), bei der die Kamera in einer

festen Orientierung zum UAV verharrt. Die Experimentalaufgaben wurden hauptsächlich mit Hilfe der Sensor-Page durchgeführt.

4.4 Experimentalmission

Jede Versuchsperson (VP) absolvierte vier simulierte militärische Aufklärungsmissionen mit spezifischen Freiheitsgraden, verschiedener Komplexität und Missionsdauer. Missionsinhalte waren das Aufklären und Beobachten von Bodenbereichen, z.B. einer Landebahn oder einer Bodenroute, die Grenzabsicherung oder die Aufklärung des Flächeninhalts eines vorgegebenen Operationsgebietes. Die dabei auftretende Anforderung an Benutzeraktivität für die Durchführung der Aufgabe variiert von einem niedrigen Maß und der Nutzung eines Subsets der einzusetzenden Freiheitsgrade bis hin zu voller Kontrolle und eigenständigem Management der gesamten Funktionalität über die Missionen hinweg. Die Missionsdauer betrug zwischen ~180 und ~720 Sekunden. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf zwei Missionen, die die typischen Aufklärungsprofile, welche für die Zielszenarios des CASMIUS-Vorhabens repräsentativ sind, beinhalten. In diesem Beitrag wird die letzte der vier Missionen mit den höchsten Anforderungen detailliert beschrieben.

Diese Mission „Gebietsaufklärung“ stellte die Aufgabe an den Operateur, die gesamte Bodenfläche eines vorgegebenen Operationsgebiets effizient und flächendeckend nach potentiellen Bedrohungen in Gestalt von Einheiten abzusuchen, diese zu detektieren, kategorisieren und klassifizieren, sowie abschließend in die taktische Karte einzutragen. Dabei wurde ein für alle Versuchspersonen deterministisches Flugmuster des UAVs festgelegt (Bild 4). Innerhalb des Gebiets sollten drei statische, irregulär angeordnete Bodeneinheiten bzw. Gruppen (Zivilisten mit Auto, Schießstand von Polizeikräften sowie ein Militärkonvoi) aufgeklärt werden. Die Missionsdauer lag zwischen ~300 und ~720 Sekunden.

Freiheitsgrade der Operateur-Interaktion waren hier die komplette Steuerung des Gimbals, das Management von gewünschten Aufklärungspunkten und Blickrichtungen sowie das zeitliche Management von Verweildauern auf beobachteten Objekten und benötigten Aufklärungszeiten von Teilflächen unter der Einschränkung eines sich fortbewegenden UAVs. Des Weiteren musste die Anwendung geeigneter Zoomstufen der Kamera sowie die Lockfunktion des Gimbals selbständig angewendet werden.

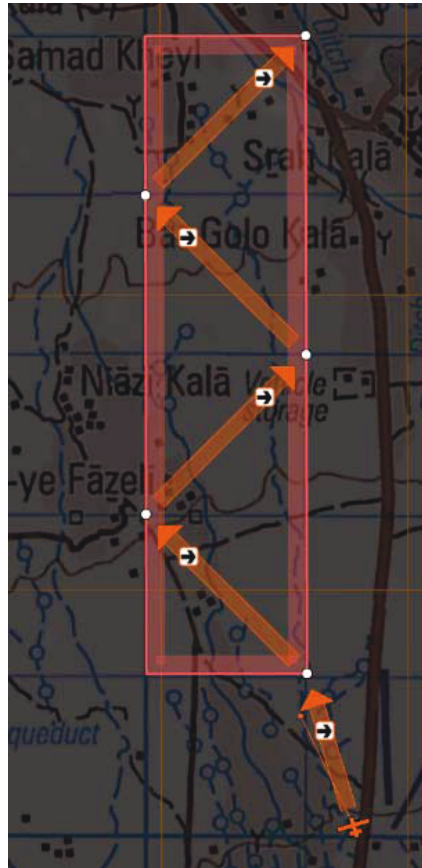


Bild 4: Operationsgebiet mit UAV-Flugrouten auf taktischer Karte

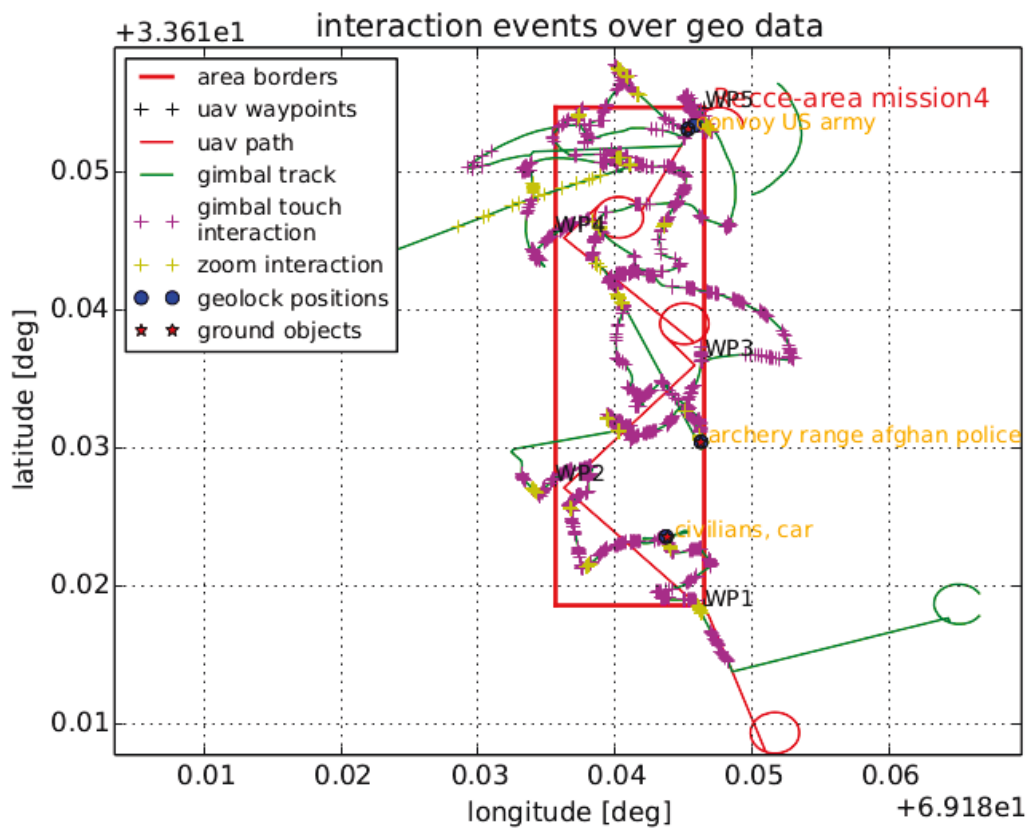


Bild 5: Manuelle Interaktionen im Geokoordinatensystem

4.5 Ergebnisse der Experimente

Die zwei zu beobachtenden Komponenten, die sensomotorische sowie perzeptiv-kognitive Aktivität, wurden aus physikalisch messbaren Daten abgeleitet. Sensomotorische Aktivitäten wurden aus den aufgezeichneten Interaktionsdaten rekonstruiert. Bild 5 zeigt exemplarisch alle manuellen Benutzerinteraktionen einer VP in einer räumlichen Darstellung. Dies umfasst Steuerbewegungen des Gimbals, Änderungen des Kamerazooms durch Gesten oder Knopfdrücke sowie die Aktivierung der Kameralockfunktion (bezeichnet als „gimbal-, zoom- und geolock interaction“ in der Legende von Bild 5).

Die perzeptiv-kognitive Aktivität, wie Bilddatenauswertung, Daten- und Informationsinterpretation, Szenenverständnis durch Betrachtung, Lenken des Interessensfokus' sowie das Erfassen und Bewerten von Systemzuständen, wurde auf Blickbewegungsdaten zurückgeführt. Dabei wurde die Annahme zu Grunde gelegt, dass sich der Aufmerksamkeitsfokus und die visuelle Betätigung des Operators an der Position des Blickpunktes befinden. Bild 6 zeigt die zeitliche, feingranulare Aufteilung der Blickpositionen auf die sog. *Screen Objects* auf den MFD-Pages. Dabei steht jeder Slot in der zeitlichen Darstellung für das Screen Object, was zu dieser Zeit betrachtet wurde. Die Ansicht dieser Screen Objects lässt sich dabei direkt mit Aktivitäten bei der Durchführung von verschiedenen Aufgaben in Verbindung bringen.

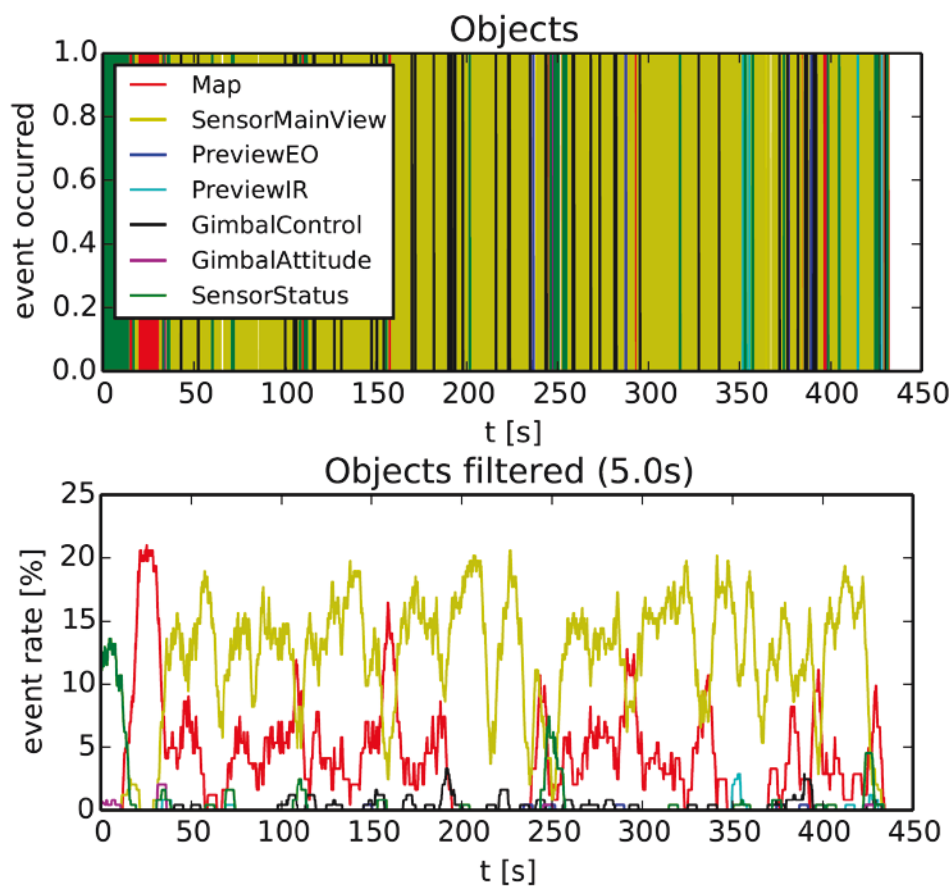


Bild 6: Zeitliche Blickpunktverteilung auf MFD-Objekten

Mit den aus der Experimentalkampagne akquirierten Datensätzen wird im folgenden Kapitel eine Instanz des Aufgabenmodells für den Sensoreinsatz abgeleitet. Dazu werden die Blickbewegungsdaten mit den synchron erfassten, zugehörigen Interaktionsdaten zusammengeführt und interpretiert, woraus mit diesen eindeutigeren Evidenzen eine robustere Aufgabenbeschreibung erfolgt.

5 Ableitung eines Aufgabenmodells

Das Aufgabenmodell, welches Aufgaben aus dem Bereich des Sensoreinsatzes beschreibt (SENSOR Taskmodel), dient als wichtige Ressource für das Sensorassistenzsystem. Zudem stellt es zugleich einen Teil des gesamten, globalen Aufgabenmodells dar, welches das gesamte Betätigungsspektrum der Crew abbildet. Auf diese Weise wird es dem globalen Assistenzsystem möglich, den gesamten Aufgabenkontext der Crew in Bezug auf das Vorschlagen und Einbringen von Assistenzleistungen berücksichtigen zu können.

5.1 Aufbau und Struktur

Das Aufgabenmodell enthält a-priori Wissen über Abläufe menschlicher, semantisch beschreibbarer und durch den menschlichen Sprachgebrauch differenzierbarer Betätigungen (Arbeitsprozesse), welche nötig sind, um einen vorliegenden Systemzustand in einen Folge- bzw. Zielzustand des komplexen (Gesamt-) Systems zu überführen. Dies wird durch die Aufgliederung einzelner Handlungen, die der menschliche Operateur dazu vollziehen muss, repräsentiert und allgemein als Aufgabe bezeichnet [Arbeitspsychologische Aufgabenhierarchie nach Matern (1984), Johannsen (1993, S.69)]. Mehrere Handlungen werden dort zu spezifischen Tätigkeiten zusammengefasst. Jeder dieser Aufgabe werden individuelle Eigenschaften (Name, Kosten, Ressourcen) zugeordnet, durch welche sie charakterisiert wird, ebenso Beschränkungen sowie zugehörige, beobachtbare Evidenzen nach Honecker & Schulte (2015).

Ziel dieser Repräsentation ist es, so alle während der Missionen anfallenden Aufgaben generisch zu beschreiben. Dabei können einzelne Aufgaben in Beziehung zueinander stehen, also durch relationale Verknüpfungen miteinander verbunden sein. So kann eine Aufgabe als Unteraufgabe (Sub-Task) oder durch eine Vererbungsbeziehung in Bezug zu einer anderen stehen. Somit lassen sich aus den elementarsten Aufgaben (Basisaufgabe als Betätigung einer allein-gestellten Handlung) hierarchisch durch Vernetzung wie Kombination oder die Erstellung relationaler Beziehung komplexere und abstraktere Aufgaben synthetisieren. Zudem können Aufgabenblöcke gebildet werden, welche modular wiederverwendbar sind. Für die Modellierung wurde zusätzlich der Typ der abstrakten Aufgabe eingeführt. Diese können nicht direkt durch beobachtbare menschliche Aktionen ausgeführt werden, sondern vererben ihre Eigenschaften an unterlagerte, konkret ausgeprägte Instanzen.

Um den Aufgaben eine Gewichtung der durch den Operateur aufzuwendenden menschlichen Ressourcen zuzuweisen, wurde solches a-priori Wissen ebenfalls

als Eigenschaften für jede der Aufgaben hinterlegt (Maiwald & Schulte, 2014). Dabei wurden diese Ressourcen als Demand-Vektoren nach der „Theorie multipler Ressourcen“ (Wickens, 2002) mit modelliert. Diese umfassen Werte für die Gewichtung von visuell/auditiver Modalitäten und räumlich/verbaler Kodierung der Phasen Wahrnehmung, vokal/manuelle Werte der Phase Reaktionen sowie Werte des Arbeitsgedächtnis‘ und Verarbeitung (kognitive Prozessierung) (Wickens, 2002).

5.2 Instanz des Aufgabenmodells für den Sensoreinsatz

Mit den Beobachtungen aus der Experimentalkampagne sowie der Strukturdefinition des Aufgabenmodells wurde so eine konkrete Instanz für den Sensoreinsatz abgeleitet. Dabei wurden explizit Aspekte des Handlings sowie der Interaktion mit dem (automatisierten) Sensorsystem abgebildet. Für die Extraktion von Informationen aus den Aufzeichnungen und den Transfer in Modellwissen wurden charakteristisch ausgeprägte Tätigkeiten und Handlungen während der Durchführung unterschiedlicher, spezifischer Aufgaben im Datensatz isoliert analysiert. Die dabei beobachteten Evidenzen sowie aufgebrauchte Ressourcen konnten so in Modellwissen übertragen werden. Dabei umfassen diese Evidenzen die sensormotorische und visuell-perzeptive Aktivität sowie zugehörige Evidenzen aus Effekten der Ausprägung von Handlungen in semantischer Weise. Die Modellierung der zugehörigen *Human Factors*-Aspekte für die Aufgaben erfolgte mittels einer approximativen Skalierung der menschlichen Ressourcen, welche bei der Durchführung aufgewendet wurden. Bild 6 zeigt exemplarisch einen kleinen Ausschnitt. Es wurden bereits prototypisch für unterschiedliche Betätigungslevels des Operators aufgrund automatisierter Teilsysteme, neben der Definition der manuellen Durchführung, weitere Instanzen der Aufgaben im teil- und vollautomatisierten Systembetrieb vorgesehen. Jeder der Blöcke im Diagramm steht nun für eine spezifische Aufgabe.

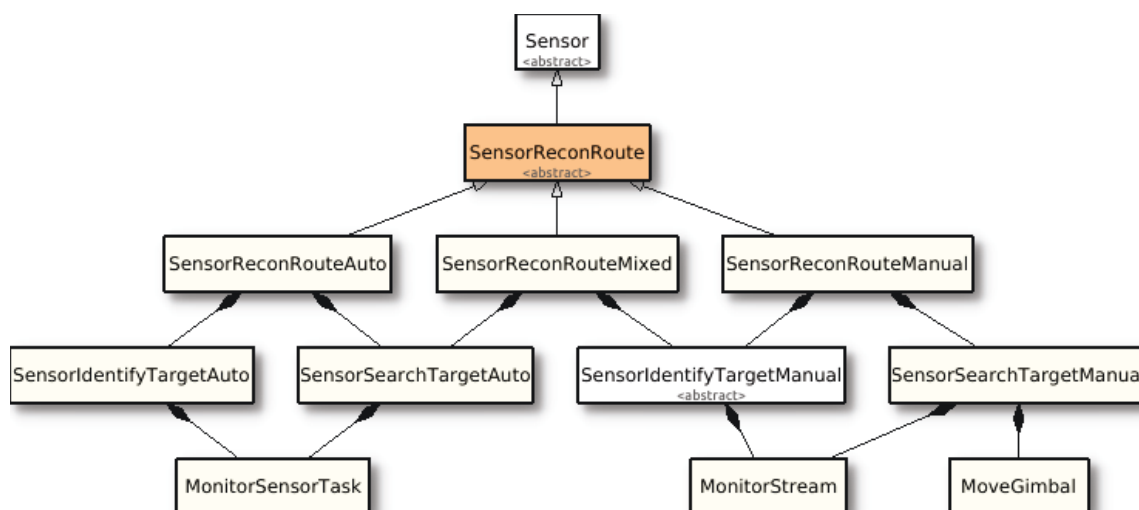


Bild 6: Ausschnitt aus dem Aufgabenmodell des Sensoreinsatzes

6 Zusammenfassung und weiterer Realisierungsprozess

Das in diesem Beitrag vorgestellte Konzept schlägt vor, die stark benutzerfordernde Domäne des Sensoreinsatzes durch den Einsatz variabler Automation sowie einer domänenspezifischen Steuerungskomponente für den Operator ergonomisch aus dem HC-Cockpit durchführbar und operationell einsetzbar zu machen. Eine schrittweise Implementierung und die weitere Verfeinerung des Konzepts folgen. Zunächst werden weitere automatisierte Systemfunktionalitäten als Werkzeuge des Konzepts implementiert und diese dann in geeignete Automationsgrade eingeteilt. Zudem folgen weitere Experimentalkampagnen, um weiteres Modellwissen zu akquirieren. Dabei steht der Einsatz von mehreren UAVs bei einem erweiterten PNF-Tätigkeitsspektrum im Fokus.

Literatur

- Endsley, M. (1987). The application of human factors to the development of expert systems for advanced cockpits. *Human Factors Society 31st Annual Meeting*, pp 1388–1392.
- Hellert, C., Smirnov, D., Russ, M. & Stütz, P. (2012). A High Level Active Perception Concept For UAV Mission Scenarios. In *Proceedings Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2012*. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal-Oberth e.V.
- Honecker, F. & Schulte, A. (2015). Institute of Flight Systems, University of the Bundeswehr Munich (UniBwM). Konzept für eine automatische evidenzbasierte Online-Pilotenbeobachtung in bemannt-unbemannten Hubschraubermissionen.
- Johannsen, G. (1993). *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Llinas, J., Bowman, C., Rogova, G., Steinberg, A., Waltz, E. & White, F. (2004). *Revisiting the JDL data fusion model II*. San Diego: Space and Naval Warfare Systems Command.
- Liggins II, M., Hall, D. & Llinas J. (2008). *Handbook of Multisensor Data Fusion: Theory and Practice*. Boca Raton: CRC Press.
- Maiwald, F. & Schulte, A. (2014). Enhancing Military Helicopter Pilot Assistant Systems through Resource Adaptive Dialogue Management. In M.A. Vidulich, P.S. Tsang & J.M. Flach (Eds.), *Advances in Aviation Psychology* (Ashgate Studies in Human Factors and Flight Operations, pp. 177–196). Farnham: Ashgate.
- Matern, B. (1984). *Psychologische Arbeitsanalyse*. 1. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Onken, R. & Schulte, A. (2012). *System-Ergonomic Design of Cognitive Automation: Dual-Mode Cognitive Design of Vehicle Guidance and Control Work Systems*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Parasuraman, R., Sheridan, T.B. & Wickens, C.D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, Part A Systems and Humans*, 30(3), 286–297.
- Russ, M., Schmitt, M., Hellert, C., Stütz, P. (2012). Airborne sensor and perception management: A conceptual approach for surveillance UAS. In *15th International Conference on Information Fusion (FUSION)*, 9-12 July 2012, Singapore, pp 2–7.
- Sheridan, T.B. (2011). Adaptive Automation, Level of Automation, Allocation Authority, Supervisory Control, and Adaptive Control: Distinctions and Modes of Adaptation. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 41(4), 662–667.

- Strenzke, R., Uhrmann, J., Benzler, A., Maiwald, F., Rauschert, A. & Schulte, A. (2011). Managing Cockpit Crew Excess Task Load in Military Manned-Unmanned Teaming Missions by Dual-Mode Cognitive Automation Approaches. In *AIAA Guidance, Navigation, and Control (GNC) Conference*, Portland, Oregon. August 8-11, 2011 (pp 1–24).
- Uhrmann, J. & Schulte, A. (2012). Concept, Design and Evaluation of Cognitive Task-based UAV Guidance. *Journal On Advances in Intelligent Systems*, 5(1).
- Wickens, C.D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159–177.

Autoren

Dipl.-Ing. C. Ruf
Prof. Dr. P. Stütz

Universität der Bundeswehr München
Institut für Flugsysteme

Kontakt: christian.ruf@unibw.de