

Der folgende Text wird über DuEPublico, den Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt.

Diese auf DuEPublico veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

**Ruf, Christian; von der Mülbe, Sophie; Stütz, Peter:**

**Assistenz beim Einsatz von Aufklärungssensorik für die Crew eines Transporthelikopters in bemannt-unbemannten Multi-UAV Missionen**

In: Kognitive Systeme / 2017 - 1

DOI: <http://dx.doi.org/10.17185/duepublico/44613>

URN: <urn:nbn:de:hbz:464-20171009-133349-2>

Link: <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DocumentServlet?id=44613>

# Assistenz beim Einsatz von Aufklärungssensorik für die Crew eines Transporthelikopters in bemannt-unbemannten Multi-UAV Missionen: Gestaltung eines Automationssystems zur gezielten Reduktion der Mental Workload

Christian Ruf . Sophie von der Mülbe  
Peter Stütz

Institut für Flugsysteme, Universität der Bundeswehr München (UniBwM), Deutschland  
(e-mail: {christian.ruf, sophie.muelbe, peter.stuetz}@unibw.de)

**Abstract:** Dieser Beitrag beschreibt den methodischen Ansatz und skizziert die Umsetzung einer technischen Lösung, die mentale Beanspruchung eines Operateurs, welcher mit auf UAVs verteilten Missionssensoren die Aufklärung bodengebundener Bedrohungen durchzuführen hat, effektiv zu reduzieren. Im gegebenen Anwendungsszenario verfügt der Kommandant als Teil einer zwei-köpfigen Transporthelikoptercrew für die Missionsdurchführung über automatisierte Aufklärungskomponenten auf abgesetzten, unbemannten Sensorplattformen (UAVs) zu Zwecken der Eigensicherung. Im Fokus stehen die Vorabauflklärung von Routen und Gebieten, um so den eigenen Helikopter möglichst über aufgeklärtem Gebiet bewegen zu können. Aufgrund der Erweiterung des Aufgabenspektrums sowie des miteinhergehenden Mehraufwands beim Management des komplexen Einsatzes (Multi-UAV, Multi-Sensor) wird mit einem Anstieg der Arbeitsbelastung und der Beanspruchung im Cockpit gerechnet. In diesem Beitrag wird die analytische Betrachtung informationsverarbeitender kognitionspsychologischer Prozesse, welche beim Kommandant für die domänenspezifische Induktion des Konstrukts der mentalen Beanspruchung beim Tätigkeitsbereich der Vorabauflklärung verantwortlich sind, aufgezeigt. Zur Adressierung der Problematik wird die Gestaltung und Realisierung eines Automationssystems vorgestellt, welches durch die Anwendung des Prinzips der variablen Automationsgrade die Belastung sowie die Beanspruchung zu reduzieren versucht, indem das Kooperationsverhältnis zwischen Mensch und Maschine gezielt manipuliert wird.

**Keywords:** Cockpitautomation, Variable Automation, Aufklärungsautomation, Manned-Unmanned Teaming, Adaptive Assistenz, Assistenzsystem, Mensch-Maschine-System, Mensch-Maschine-Kooperation, Mental Workload

## 1. EINFÜHRUNG

Im beschriebenen Anwendungsfall besteht das bemannt-unbemannte Team aus der Besatzung eines Transporthelikopters (HC) sowie mehreren abgesetzten sensortragenden Flugplattformen (UAVs). Innerhalb dieses *manned-unmanned-teaming* (MUM-T)-Ansatzes soll es der Besatzung ermöglicht werden, die UAVs durch eine direkte Zugriffs- und Kommandierungsfähigkeit aus dem HC-Cockpit heraus zu führen. Die Crew soll dadurch neue Fähigkeiten der Eigensicherung erlangen, wie die direkte Vorabauflklärung von Flugrouten, die Aufklärung von Missionsgebieten oder Operationssektoren oder etwa die Suche potentieller Landepunkte.

Da hierfür jedoch, im Gegensatz zu herkömmlichen luftgestützten Aufklärungssystemen, kein dedizierter Sensorbediener vorgesehen ist, muss der Kommandant des HCs den Einsatz der Aufklärungskomponenten übernehmen, welcher die aufklärungsgetriebene Führung der UAVs sowie die Auswertung und Interpretation der Aufklärungsergebnisse beinhaltet.

**Abbildung 1** zeigt die schematische Teamkonfiguration, welche in dieser Studie untersucht wird.



Abbildung 1: Illustration des MUM-T-Schemas im Flugsimulator

Dabei sind im Bild die dafür relevanten Verbindungen zwischen der Crew und den technischen Systemen visualisiert. Diese Kommunikations-, Interaktions- und Kommandierungsstrukturen bestehen:

- innerhalb der Crew (lila)
- ausgehend aus dem Cockpit zwischen der Crew und den UAVs als Führungsprozesse (orange und gelb)
- eingehend durch die Bereitstellung von disloziert sensorisch erfassten Daten und daraus extrahierten Aufklärungsergebnissen im Cockpit (türkisfarben)

Um dem potentiellen Anstieg der Arbeitsbelastung, resultierend aus einem verbreiterten Aufgabenspektrum und einer höheren Missionskomplexität, begegnen zu können, wird die Crew durch ein adaptives, kognitives Assistenzsystem (Onken & Schulte, 2012) (Strenzke et al., 2011) (Honecker, Brand, & Schulte, 2016) unterstützt. Es bietet durch eine kontinuierliche Beobachtung der Crew situationsadaptive Unterstützungsleistung und zielt darauf ab, deren Belastung (*Taskload*) sowie Beanspruchung (*Workload*) zu moderieren. In (Onken, 1994) wurden drei Grundforderungen an Assistenzsysteme formuliert, welche bei der Unterstützung zur Anwendung kommen. Um nun die Arbeitsbelastung und damit die Beanspruchung zu reduzieren, kann das Assistenzsystem geeignete Automationssysteme einbringen und verwalten, welche kontextbezogene und variabel gestaltete Unterstützungsleistung bereitstellen.

Die Anwendung dieser Forderungen auf ein Sensorassistenzsystem stärkt die Idee der situationsadaptiven Unterstützung und maschinell ausführbare Automationsprozesse aus dieser Domäne. Im spezifischen wird dazu das Prinzip der „Auftragsbasierten Führung“ (Uhrmann & Schulte, 2012) um automatisierte Aufklärungsfähigkeiten erweitert (Abbildung 2).

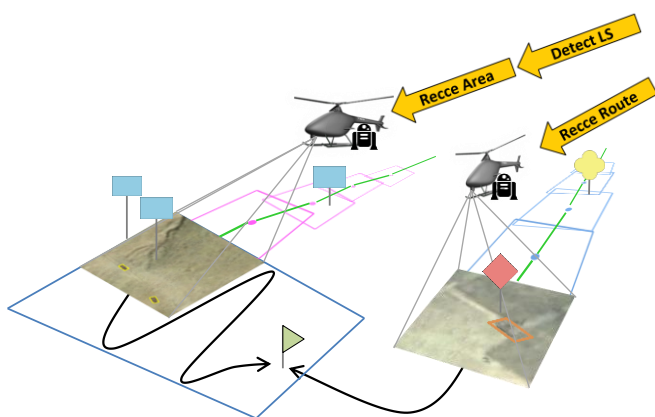


Abbildung 2: Schema der „Auftragsbasierten Führung“ zur Vorabklärung von Routen und Gebieten durch UAVs

Dabei wird für den Kommandanten im Rahmen der daraus erwarteten, zusätzlichen Belastung eine Lösung angestrebt, welche die Beanspruchung und insbesondere die *Mental Workload (MWL)* möglichst minimal halten soll. Eine Umsetzung in der Simulationsumgebung (Abbildung 1) soll

es der Crew ermöglichen, zur Missionslaufzeit die UAVs direkt zu Aufklärungszwecken zu führen. Dabei sollen die UAVs automatisiert missionsrelevante Aufklärungsergebnisse aus sensorisch erfassten und vorausgewerteten Daten auf digitalen Anzeigegeräten im Cockpit bereitstellen.

## 2. STAND DER FORSCHUNG MENSCHLICHER PERZEPTION UND KOGNITION IM RELEVANTEN UMFELD

Um die beim Kommandanten ablaufenden Informationsverarbeitungsprozesse bei der Aufklärung im Cockpit gezielt analysieren zu können, wurde eine Prozesskette aufgestellt, welche die Schritte von der Perzeption von visuellen Informationen bis hin zur Handlungsgenerierung unter dem aktuellen Erkenntnisstand der Wissenschaft abstrakt darstellt (Abbildung 3). Die Prozesskette hat das Ziel, kognitive Zusammenhänge aufzuzeigen und später damit konkret den Bezug auf die Ursache von *Workload* bei der Aufklärung im Cockpit herstellen und diese herausarbeiten zu können.

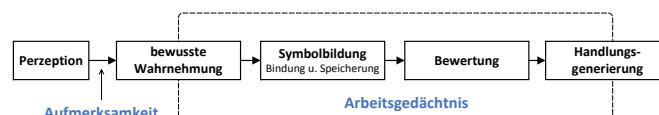


Abbildung 3: Prozesskette bestehend aus Konzepten der Aufmerksamkeit und des Arbeitsgedächtnisses

Die Bandbreite visueller sensorischer Informationen, welche das menschliche Gehirn über den optischen Nerv von der Retina bereitgestellt bekommt, lässt sich global auf bis zu 100 Mbps beziffern (Strong, Köberle, de Ruyter van Steveninck, & Bialek, 1998) (Koch et al., 2006).

Nach der Perzeption visueller Signale und Informationen wird ein Teil aus diesen bewusst wahrgenommen, indem *Aufmerksamkeit* (Wickens & McCarley, 2007) darauf gelenkt wird. Dabei werden einzelne, wahrgenommene Merkmale mithilfe des *Arbeitsgedächtnisses* zu Objekten gebunden und zugehörige Objektrepräsentationen zur weiteren Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis abgelegt und vorgehalten. Dort werden sie durch einen Abgleich mit Informationen aus dem Langzeitgedächtnis bewertet, woraufhin eine Entscheidung über die Bedeutung des Objektes gefällt und eine Handlung generiert wird.

Die Prozesskette beinhaltet zwei zentrale Konzepte, zu denen der aktuelle Forschungsstand wiedergegeben werden soll: die *Aufmerksamkeit* und das *Arbeitsgedächtnis* (Baddeley, Allen, & Hitch, 2011) (Theeuwes, Kramer, & Irwin, 2011). Nach Baddeley besteht das *Arbeitsgedächtnis* aus verschiedenen Subsystemen; der *phonologischen Schleife* für auditive bzw. akustische und dem *visuell-räumlichen Notizblock* für visuell-räumliche Informationen. Die Verknüpfung zwischen den beiden Subsystemen bildet der *episodische Puffer*.

Da in der entwickelten Methodik zur Reduktion der Belastung und Beanspruchung fast ausschließlich mit visuellen Informationen gearbeitet wird, konzentriert sich

auch die Darstellung der kognitionspsychologischen Grundlagen auf das visuelle Arbeitsgedächtnis.

Das visuelle Arbeitsgedächtnis dient dazu, visuelle Informationen für einen kurzen Zeitraum, in dem sie für aktuelles und zukünftiges Verhalten bedeutend sind, zu speichern (Chun, 2011), um sie mithilfe des episodischen Puffers zu verarbeiten. Visuelle Merkmale werden dabei innerhalb des visuellen Subsystems zu Objekten gebunden und als solche im episodischen Puffer unter Einbezug der Informationen aller Dimensionen des Arbeitsgedächtnisses weiterverarbeitet (Baddeley et al., 2011) (Allen, Hitch, Mate, & Baddeley, 2012). Bezüglich der Bindungsprozesse ist zu erwähnen, dass bei sequentieller Präsentation von Informationen -im Gegensatz zu simultaner- gebundene Objektrepräsentationen anfälliger für Störungen sind, die durch die Verarbeitung weiterer Informationen verursacht werden (Allen, Baddeley, & Hitch, 2006) (Brown & Brockmole, 2010) (Allen et al., 2012). Dies geschieht besonders, wenn die Objekte für die gestellte Aufgabe relevante Merkmale enthalten (Baddeley et al., 2011).

Eng verknüpft mit dem Konzept des Arbeitsgedächtnisses ist das Konzept der Aufmerksamkeit (Wickens & McCarley, 2007), wobei hier die visuelle Aufmerksamkeit behandelt wird. Die Prozesse, die im Arbeitsgedächtnis ablaufen, benötigen Aufmerksamkeit, wofür in zahlreichen Studien Belege gefunden wurden (Wheeler & Treisman, 2002) (Elsley & Parmentier, 2009) (Brown & Brockmole, 2010) (Chun, 2011), auch wenn die Zusammenhänge noch nicht gänzlich erforscht sind (Brown & Brockmole, 2010). Studien, die sich gegen einen Zusammenhang aussprachen (Allen et al., 2006) (Johnson, Hollingworth, & Luck, 2008) präsentierten in ihren Experimenten ihre „Items“ jedoch nur für sehr kurze Zeit (weniger als 500 Millisekunden), weswegen diese Studien im weiteren Verlauf als nicht relevant für diese Arbeit betrachtet werden, da es in der vorliegenden Anwendung keine künstliche Zeitbegrenzung der Präsentation von Informationen gibt.

Daher spielt die Aufmerksamkeit nicht nur für das Halten von Informationen (Brown & Brockmole, 2010) eine wichtige Rolle, sondern auch für die Auswahl, welche Informationen bedeutend sind; also für die Filterung, das Binden und die Ablage im Arbeitsgedächtnis (Vogel, Luck, & Shapiro, 1998) (Brown & Brockmole, 2010) (Chun, 2011) (Theeuwes et al., 2011). Die Belege stammen aus Experimenten zur Ermittlung des Einflusses von Zusatzaufgaben, welche Aufmerksamkeit benötigen und die Prozesse im visuellen Arbeitsgedächtnis stören (Allen et al., 2012).

Die Aufmerksamkeit kontrolliert den Zugang von Informationen zum Arbeitsgedächtnis, den Verbleib dieser darin und den Abruf daraus (Chun, 2011) (Theeuwes et al., 2011), aber sie unterliegt ebenso wie das Arbeitsgedächtnis einer beschränkten Kapazität. In diesem Punkt besteht in der Forschung weithin Einigkeit (Cowan, 2011) (Chun, 2011) (Theeuwes et al., 2011) (Allen et al., 2012). Es wird angenommen, dass das Arbeitsgedächtnis drei bis vier Einheiten halten kann, wobei eine Einheit aus einem Objekt mit mehr als einem Merkmal bestehen kann (Chun, 2011).

Basierend auf der Verarbeitung der visuellen Informationen im Arbeitsgedächtnis wird die Entscheidung gefällt, ob das Objekt für die zu erledigende Aufgabe oder die eigenen Ziele relevant ist oder nicht, und eine entsprechende Handlung generiert.

Aus der Darstellung der Konzepte des visuellen Arbeitsgedächtnisses sowie der Aufmerksamkeit kann entnommen werden, dass Beanspruchung im Zusammenhang mit deren limitierten Kapazitäten und Ressourcen steht.

### 3. URSACHEN DER INDUKTION VON WORKLOAD BEI DER AUFKLÄRUNG IM COCKPIT

Um die in der Aufklärungsarbeit des Kommandanten für die Induktion von *MWL* kritischen Punkte zu identifizieren und herauszufiltern, soll die aufgestellte Prozesskette menschlicher Informationsverarbeitung nun konkret auf die Tätigkeit des Kommandanten bei der Aufklärung angewendet werden. Dabei sollen mögliche Eingriffspunkte des Automationssystems und Anforderungen an eine technische Umsetzung abgeleitet werden, welche dem Aufkommen von *MWL* entgegenwirken soll.

Zum regulären Aufgabenspektrum des Kommandanten zählen auch Tätigkeiten, die nicht unbedingt ausschließlich visuell ausgelegt sind (wie beispielsweise die Teilnahme am Funkverkehr, Kommunikation mit dem Pilot, Systembedienung und -überwachung, Missionsmanagement, Führung des Luftfahrzeugs), wodurch auch andere Teile des Arbeitsgedächtnisses angesprochen werden können, die ebenfalls Einfluss auf die Beanspruchung des Kommandanten nehmen. Dieser Aspekt soll hier allerdings nicht beleuchtet werden, da die entwickelte Methodik visuelle Repräsentationen von Aufklärungsdaten auf den Displays im Cockpit verwendet. Dabei steht die visuell getriebene Aufnahme und Interpretation von Daten im Vordergrund.

Nimmt der Kommandant Aufklärungsdaten wahr, kommt dabei das Konzept der Aufmerksamkeit zum Tragen. Dabei werden, gesteuert durch die visuelle Aufmerksamkeit, relevante Merkmale selektiert und herausgefiltert, aus denen im visuellen Arbeitsgedächtnis Muster und Symbole abgeleitet werden. Diese werden vorgehalten, um über ihre Relevanz für die Missionsgestaltung zu entscheiden und Handlungen zu generieren. Als maßgeblich für das Ausmaß der dabei induzierten *MWL* wird die Bandbreite bzw. der Abstraktionsgrad dieser Daten angenommen.

Generell lassen sich zur Präsentation von Aufklärungsprodukten verschiedene Arten und Darstellungsweisen nutzen. Dabei können Aufklärungsdaten und -ergebnisse mittels unterschiedlicher Repräsentationsarten visualisiert werden, wodurch unterschiedliche Anforderungen aus den Bereichen der Wahrnehmung und der Verarbeitung an den Betrachter gestellt werden.

### 3.1 Einflussfaktoren aus dem Bereich der Wahrnehmung

Werden bildliche Sensordaten im Rohformat dargestellt, muss der Kommandant eine sehr große Menge bzw. hohe Bandbreite an Daten aufnehmen und verarbeiten, was die Kapazitäten der Aufmerksamkeit und des visuellen Arbeitsgedächtnisses stark beansprucht bzw. in Kombination mit anderen Aufgaben übersteigen kann. Zudem verringert sich die Kapazität nach (Chun, 2011), wenn die Merkmale komplex oder über unterschiedliche Teile eines Objekts verteilt sind oder mehrere Merkmale der gleichen Dimension entspringen. Abgesehen davon, dass die relevanten Merkmale vom Hintergrund getrennt und unter Überlagerung von Rauschen erkannt werden müssen, darf sich der Kommandant von den vielen externen, für diese Tätigkeiten irrelevanten Informationen sowie den kognitiven Prozessen nicht ablenken lassen, was in einem sehr breiten Signalraum schwieriger ist (Chun, 2011).

Zudem ist zu beachten, dass bei visuell sequentieller Präsentation, beispielsweise durch Videostreams, sehr viele Informationen nacheinander dargestellt werden. Daraus können sich nach den oben vorgestellten Befunden (Brown & Brockmole, 2010) Störungen in den Prozessen im Arbeitsgedächtnis ergeben. Durch die Extraktion von Informationen und die Überführung in eine abstrakte, symbolische Informationsebene wird die Datendarstellung einerseits zeitlich entzerrt, da der Kommandant weniger einzelne Signale bzw. Informationen überprüfen muss, andererseits wird eine simultane Wahrnehmung der hervorgehobenen Informationen ermöglicht. Dadurch werden hinsichtlich der Aufnahmefähigkeit die Ressourcen des Kommandanten geschont.

Werden also Daten auf einem höheren Abstraktionsgrad präsentiert, indem erkannte relevante Merkmale bereits gebunden als Symbole dargestellt werden, reduziert sich die Bandbreite und Menge der Daten. Relevantes wird hervorgehoben (mit höherer Salienz) dargestellt, tritt aus dem Hintergrund hervor und kann leichter erfasst werden, was weniger Ablenkung verursacht bzw. die Fokussierung auf Irrelevantes vermeidet. Durch die Bündelung von Merkmalen in Symbolen können die Einheiten der vorhandenen Kapazität des Arbeitsgedächtnisses besser ausgenutzt werden. Dies führt zu einer Entlastung der Kapazitäten der Aufmerksamkeit und in der Folge zu einer geringeren Beanspruchung des Kommandanten.

### 3.2 Einflussfaktoren aus dem Bereich der Verarbeitung

Hinsichtlich seiner Kapazität unterliegt das visuelle Arbeitsgedächtnis denselben Beschränkungen wie die Aufmerksamkeit. Für die im Arbeitsgedächtnis nach der Wahrnehmung zur Informationsverarbeitung ablaufenden Prozesse, wie die Bindung von Merkmalen zu Objekten und die Vorhaltung von Objektrepräsentationen, ist ebenfalls die Aufmerksamkeit essentiell. Je größer daher die Menge und Komplexität der zu verarbeitenden Merkmale und Symbole ist, desto eher werden die Kapazitäten des

Arbeitsgedächtnisses erschöpft, was zu einer Verschlechterung der Leistungen des Kommandanten und einer Überlastung führen kann. Dieser Entwicklung kann durch die Transformation von Aufklärungsdaten in eine andere Repräsentationsart entgegengewirkt werden, indem Menge, Komplexität und Bandbreite der Signale eingeschränkt werden.

Zusammenfassend lässt sich bezüglich der Induktion von *Workload* sagen, dass durch die Erhöhung des Abstraktionsgrades der visuellen Daten die Verständlichkeit dieser erhöht und in der Folge Ressourcen der Aufmerksamkeit und des Arbeitsgedächtnisses eingespart werden können, wodurch eine Reduzierung der Belastung und der Beanspruchung des Kommandanten erreicht werden soll. Hinzu kommt, dass Symbole verständlicher und salienter sind als die Flut von Informationen, die nicht vorverarbeitete Aufklärungsdaten bieten. Die Reaktion auf Symbole ist schneller und leichter möglich und die Transformation von Aufklärungsdaten in eine abstraktere Darstellungsart ermöglicht es dem Kommandanten nach (Rasmussen, 1983) (Johannsen, 1993), durch regel- oder sogar fertigkeitbasiertes Verhalten zu reagieren, was weniger Aufmerksamkeitsressourcen verbraucht und die Beanspruchung seitens des Kommandanten reduziert. Der Abstraktionsgrad der Aufklärungsprodukte wurde daher als wichtigstes Merkmal zur Reduktion der Beanspruchung identifiziert.

## 4. AUTOMATION ALS LÖSUNG UND PROBLEM

Damit der Kommandant die Aufklärung aus dem Cockpit heraus betreiben kann, müssen ihm die UAVs als automatisierte Werkzeuge zur Verfügung gestellt werden.

Es wird im Folgenden die Frage diskutiert, in wie fern die Automation der Aufklärungskomponenten zur Datenabstraktion als pauschale Antwort auf die *MWL*-Problematik in diesem Einsatzszenario dienen kann und wo deren Limitierungen liegen.

Beim Einsatz von Automation in Luftfahrzeugcockpits sind in der Domäne der Arbeitspsychologie bereits mehrere Effekte bekannt, die beim Zusammenwirken einer Crew mit komplexen, hochautomatisierten und zuverlässigen technischen Systemen auftreten. Dazu zählen u.a. die Effekte „*Out-of-the-loop*“ (Endsley & Kiris, 1995), „*Opacity*“ (Billings, 1997) (Wiener, 1989), „*Overreliance*“ (Parasuraman & Riley, 1997) und „*Brittleness*“ (Billings, 1997) seitens eines menschlichen Bedieners (**Abbildung 4**, oben).

Das spezifische Anwendungsfeld der Automatisierung der Aufklärungskomponenten unterliegt zusätzlich weiteren domänenspezifischen, technischen Effekten, Randbedingungen und Einschränkungen. Insbesondere automatisierte Objekterkennungsverfahren, welche durch Algorithmen realisiert werden, bergen das Risiko, in unstrukturierten Umgebungen mit fragilem Prozessverhalten beaufschlagt zu sein (Ruf & Stütz, 2016). Die Ursachen für nichtdeterministisches Verhalten technischer Prozesse sind hohe Parametervarianzen in folgenden Umgebungen,

zwischen denen Korrelationen bestehen können (Abbildung 4, unten):

- Dynamische Umwelt (veränderliche Licht- und Wetterverhältnisse)
- Dynamische Einsatzorte (inkonsistente Gelände- und Bodenbeschaffenheit, Vegetation)
- Technische Sensorische Erfassung (Bildaufnahme, Sensortechnik)
- Algorithmische Auswertung (fehlerbehaftete Objekterkennung, imperfekte Algorithmen)

Der Zuverlässigkeitsgrad einer solchen teils nichtdeterministischen, teils probabilistisch-funktional geprägten Automation liegt bestenfalls in Form eines qualitativen Maßes bzw. einer quantifizierbaren Verlässlichkeit vor. In (Hellert & Stütz, 2017) wurde eine Methodik zur Abschätzung der Performanz für Bildverarbeitungs-Algorithmen, welche die Grundlagen für automatisierte Objekterkennung in Bildmaterial bilden, vorgestellt. Dieses Maß wird in der vorliegenden Anwendung zur Abschätzung der Verlässlichkeit der Automation in der unstrukturierten Umgebung der Missionsgebiete herangezogen.

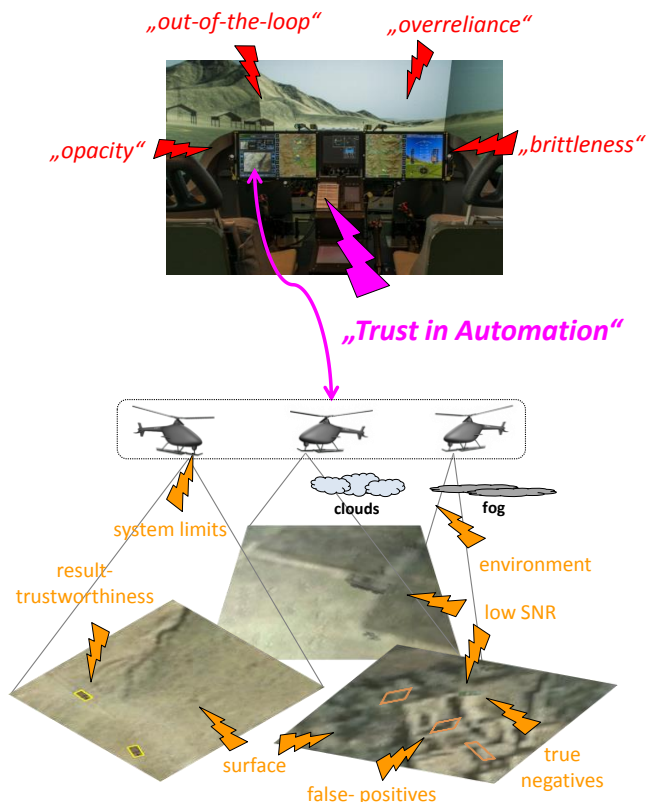


Abbildung 4: Kausalität zwischen den Ursachen imperfekter Aufklärungsautomation (unten) und dem Effekt des „Trust in Automation“ neben bekannten Effekten (oben) im Cockpit

Abbildung 4 stellt die Effekte und kausalen Zusammenhänge dar, welche bei der Automatisierung der Aufklärungskomponenten im Cockpit erwartet werden.

Dadurch gewinnt ein weiterer arbeitspsychologischer Effekt im Cockpit an Relevanz, der mit dem Begriff „Trust in Automation“ (Lee & See, 2004), umschrieben wird. Das Konzept des „Trust in Automation“ beschreibt dabei durch die Begriffe der Kalibrierung, Auflösung und Spezifität („calibration“, „resolution“, „specificity“) als Parameter des Vertrauens die Diskrepanz zwischen dem menschlichen Vertrauen und den Fähigkeiten (bzw. der Zuverlässigkeit) der Automation.

Die Kalibrierung bezieht sich dabei auf die direkte Korrespondenz zwischen menschlichem Vertrauen in Automation und deren Fähigkeiten (Lee & Moray, 1994) (Muir, 1987). Die Auflösung spezifiziert, wie genau eine feste Beurteilung des Vertrauens verschiedene Zuverlässigkeitsgrade der Automationsfähigkeiten differenziert (Cohen, Parasuraman, & Freeman, 1998), wobei bei einer schlechten Auflösung ein breiter Bereich der Zuverlässigkeit auf einen schmalen Bereich des Vertrauens abgebildet wird. Die Spezifität entspricht dem Granulierungsgrad, mit dem Vertrauen und technische Komponenten oder Systemaspekte assoziiert werden. Beispielhaft genannt wird in (Lee & See, 2004) die funktionale Spezifität, welche die Differenzierung zwischen Funktionen, Unterfunktionen oder Automationsmodi beschreibt.

Im Zusammenhang mit dem Konzept der „Reliance on Automation“ taucht häufig der Begriff der „overreliance“ auf, bei dem seltene bzw. unregelmäßige, unvorhersehbare Störungen oder Ausfälle ein hohes bzw. exzessives Vertrauen („Trust“) in die Automation hervorrufen, welches dann im Fehlerfall zu blindem Verlassen auf die fehlerhaft arbeitende Automation führt (Parasuraman & Riley, 1997).

Für die vorliegende Anwendung wird die Argumentation im Folgenden mit dem Begriff der „Trust in Automation“ geführt, da in der vorliegenden Anwendung von situativ abhängiger, dynamischer Verlässlichkeit der Automation während einer Missionsdauer ausgegangen wird, und nicht von seltenen, unvorhersehbaren Einzelfällen von Störungen.

Zusammenfassend muss eine technische Lösung gefordert werden, welche sowohl einen möglichst hohen Automationsgrad zur Reduktion der Belastung und Beanspruchung im Cockpit ermöglicht, die aber auch in der Lage ist, auf Degradierungsprozesse der Aufklärungsfähigkeiten (Verlässlichkeit) und daraus resultierend eventuell fehlerbehaftete Ergebnisse angemessen reagiert. Die Verlässlichkeit der automatisierten Objekterkennung hat direkten Einfluss auf die Aufklärungsleistung, durch welche sich der potentiellen Nutzen und die Performanz der Aufklärungskomponente ergibt.

## 5. VARIABLE AUTOMATIONSGRAD

Zur gezielten Reduktion der *Mental Workload*, die bei der Durchführung der Tätigkeiten, welche im Zusammenhang

mit Aufklärungstätigkeiten stehen, wird nun eine entsprechende technische Lösung vorgestellt. In den vorherigen Kapiteln wurden kognitionspsychologische sowie technische Sachverhalte dargestellt und lösungsmotivierenden Anforderungen an die Gestaltung von Automation skizziert.

Im Wesentlichen lassen sich drei Anforderungen an die Aufklärungsassistenten stellen:

- Reduktion von MWL primär durch Bandbreitenreduktion und Abstraktion von Daten
- Handlungsfähigkeit bei Degradierung technischer Aufklärungsfähigkeiten zur Steigerung des „Trust in Automation“
- Aufgabenvereinfachung gemäß zweiter Grundforderung an Assistenzsysteme (Onken, 1994)

Um diesen Anforderungen gerecht werden zu können, kommt das Paradigma der *Variablen Automation* (Sheridan, 2011) (Endsley, 1999) in Gestalt mehrerer unterschiedlicher Automationsgrade zur Anwendung.

Mit den Modellen der Kognitionspsychologie wurden die perzeptiv aufzunehmende Bandbreite an Daten bzw. Information sowie deren kognitive Verarbeitung als Ursache für die Induktion von MWL identifiziert. Automatisierte Datenverarbeitung soll in diesem Feld durch maschinelle Auswertung von Aufklärungsdaten und deren geeigneter Repräsentation Entlastung schaffen.

Das Konstrukt des „Trust in Automation“ kann ebenfalls gezielt durch das Paradigma der *Variablen Automation* mit mehreren Automationsgraden adressiert werden. Die Automationsgrade unterscheiden sich implizit durch verschiedene, abnehmende Grade der Robustheit und damit der Zuverlässigkeit der technischen Prozesse.

Um im Sinne der Grundforderungen an Assistenzsysteme gemäß (Onken, 1994) die Vereinfachung von Aufgabensituationen realisieren zu können, verlangen die Automationsgrade die Übernahme und Ausführung von Aufklärungsleistung durch die Automation sowie daraus resultierende unterschiedlichen Involvierungstiefen des Kommandanten bzw. dafür aufzuwendende Anforderungen an Ressourcen („Demands“) gemäß (Wickens, 2002).

Unterschiedliche Automationsgrade, realisiert durch variable Automation, bilden infolgedessen das Rückgrat des Automationssystems, welches die technischen Aufklärungsressourcen (UAVs, Sensoren, Rechenressourcen, Algorithmen) als automatisierte Aufklärungsfähigkeiten bereitstellt.

### 5.1 Gestaltung der Automationsgrade

Der Beitrag von Automation erstreckt sich auf zwei Bereiche der Entlastung des Bedieners:

- perzeptiv-kognitiv

- sensomotorisch

Die Entlastung durch maschinell ausführbare Funktionen wird mittels Anwendung algorithmisch basierter Datenverarbeitungs- und Prozessautomationsketten verwirklicht. **Abbildung 5** skizziert die funktionalen Domänen, welche variabel automatisiert die Automationsgrade bilden.

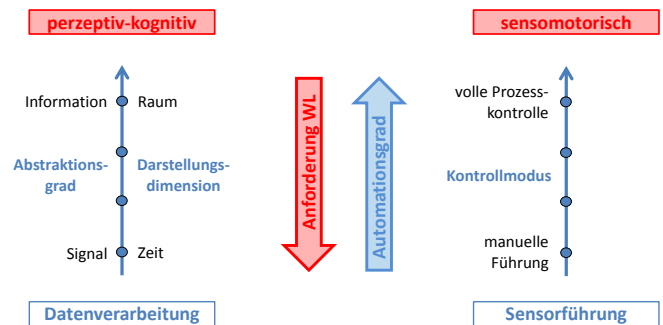


Abbildung 5: Funktionale Domänen der variablen Automationsgrade

Zur kognitiven Entlastung werden durch den Einsatz von Signalverarbeitungsalgorithmen die freien Parameter der Menge, Bandbreite und Darstellungsart von Daten variiert. Dabei werden gezielt der Abstraktionsgrad sowie die Dimension der Darstellung der Daten und Ergebnisse durch maschinelle Prozessschritte der Vorverarbeitung und -auswertung verändert. Dabei kommen folgende Funktionalprinzipien zur Anwendung:

- Datenauswertung von Rohdaten durch Algorithmen
- Abstraktion und Extraktion von Information
- Transformation von Daten und Überführung in angepasste Darstellungsdimensionen
- Aufbereitung für Repräsentation durch verschiedene Darstellungsmodalitäten

Die Repräsentation der aufbereiteten Daten als Produkte der Automationsgrade erstreckt sich dabei über den Abstraktionsgrad (bildliches Signal bis abstrakte Information) sowie die Darstellungsdimension (zeitliche Folgen bis räumliche, symbolische Informationsebene), wie in **Abbildung 5** links dargestellt.

Zur sensomotorischen Entlastung werden Führungsprozesse der kardanischen, schwenkbaren Kamerahalterung (Gimbal) sowie des Kamerasystems (Zoomoptik) automatisiert gesteuert, mit welchem der Wahrnehmungsfokus des Kamerasystems gelenkt wird. Die Automationsgrade beinhalten Kontrollmodi von manuell bis voll automatisiert, welche die automatisierte räumliche Führung zur Aufklärung von Routen und Gebieten sowie eine Mitführung der Zoomstufe der Kameraoptik umfassen.

Für diesen Vorschlag variabler Automation nehmen dabei mit

steigendem Automationsgrad die Anforderung an den Bediener, die Tätigkeitsdichte sowie Auslastung von Ressourcen und Kanälen (*MWL*) gemäß (Wickens, 2002) ab, was in (Ruf & Stütz, 2017) für diese Automationsgrade experimentell belegt werden konnte.

Mit steigendem Automationsgrad wird jedoch ein gegenläufiger Zuverlässigkeitsgrad der Automation angenommen, da die Extraktion von Ergebnissen auf symbolischer Ebene eine deutlich höhere Komplexität und ein schmales, beengtes funktionelles Fenster aufweisen. Es wird angenommen, dass sich dieses in verallgemeinerten Szenen nur auf einen Bruchteil der Bedarfsfälle anwenden lässt, und in der überwiegenden Anzahl die Imperfektion der Aufklärungsautomation den Zuverlässigkeitsgrad der Ergebnisse verschlechtert. Eine Ersparnis von *MWL* würde also durch den sinkenden Zuverlässigkeitsgrad erkaufte werden; wohingegen die Aufklärungsleistung in solchen Fällen durch die gezielte Involvierung des Menschen aufrechterhalten werden kann.

### 5.2 Produkte der Automationsgrade

Die Automatisierung der perceptiven-kognitiven Anteile der Aufklärung begünstigt durch die Aufbereitung der Aufklärungsdaten die Aufnahmefähigkeit und Verständlichkeit seitens des Menschen und erleichtert somit die visuelle und mentale Beanspruchung (Ruf & Stütz, 2017). Die Automatisierung der Steuerung der Kameraschwenkvorrichtung vermeidet beziehungsweise reduziert die Anzahl an Interaktion und Führungsprozesse auf ein kommandierendes Minimum und macht die dafür regulär nötige Regel- und Führungsschleife über den menschlichen Bediener obsolet (Ruf & Stütz, 2017).

Die folgenden Abbildungen zeigen die Datenrepräsentationen, welche die Automationsgrade in Echtzeit erzeugen und auf den Multifunktionsanzeigen (*MFDs* – *Multi-Function Displays*) des Helikopters zur Anzeige gebracht werden.

Der niedrigste Automationsgrad „*Video Assisted*“ unterstützt den Bediener durch einen Videostream, in dem durch visuelle Markierung die Aufmerksamkeit auf potentielle Objekthypothesen gelenkt wird (**Abbildung 6**).

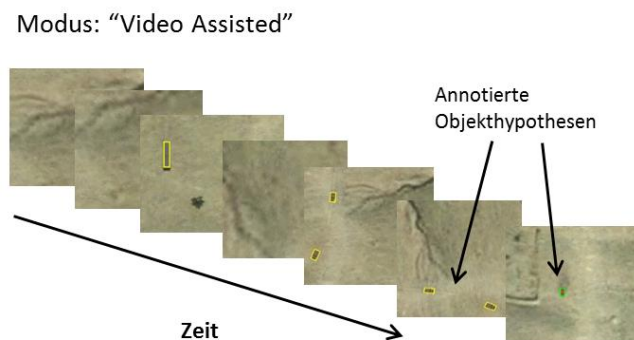


Abbildung 6: Automationsgrad „Video Assisted“: Annotiertes Echtzeitvideo

Im Automationsgrad „*Map Assisted*“ erzeugen die Automationsfunktionen einen georeferenzierten Teppich aus aktuellen Aufklärungsbildern, welcher in einer räumlichen Darstellung zur Anzeige gebracht wird. In der nun räumlich und zeitlich gebundenen Darstellung der Daten wird die Aufmerksamkeit durch visuelle Markierung auf potentielle Objekte gelenkt, die eine Bedrohung für den überfliegenden Hubschrauber darstellen könnten (**Abbildung 7**).

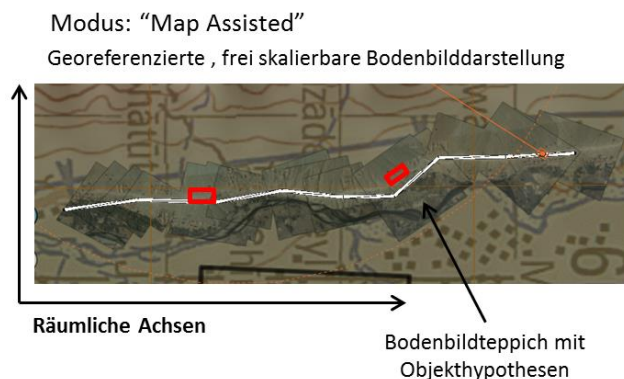


Abbildung 7: Automationsgrad „Map Assisted“: zeitlich aktueller Bodenbildteppich mit Objekthypothesen

Die Führung des Erfassungsbereichs der Kamera sowie die Vergrößerungsstufe der Zoomoptik erfolgt dabei automatisiert, wodurch ein annähernd gleich breiter und optisch gleichbleibend aufgelöster Bildteppich gewährleistet wird.

Der höchste Automationsgrad „*Tactical Assisted*“ stellt Aufklärungsergebnisse in der taktischen Karte des *MFDs* mittels Symbolik der „*Taktischen Zeichen*“ (MIL-STD-2525C, 2008) abstrakt dar (**Abbildung 8**). Diese militärisch eingängige Darstellung ermöglicht Luftfahrzeugführern eine besonders schnelle Wahrnehmung und Reaktion auf neue Aufklärungsergebnisse. Zur Absicherung des Bedieners kann dieser sich optional ein aus den Rohdaten extrahiertes Standbild des Objekts anzeigen lassen.

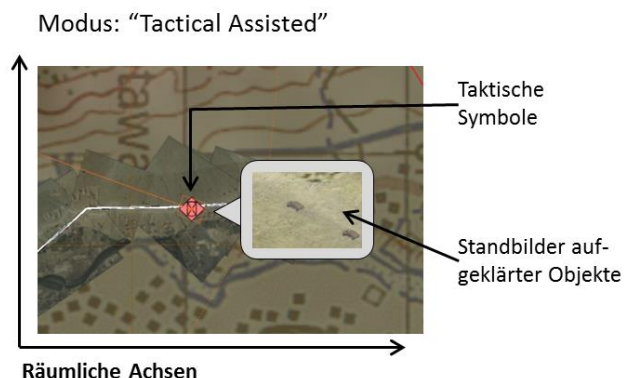


Abbildung 8: Automationsgrad „Tactical Assisted“: Darstellung von Informationen auf taktischer Ebene mittels Symbolkodierung und Rohdatenausschnitt



## 6. KONZEPT DER AUFKLÄRUNGSASSISTENZ

Um eine situationsangepasste und zugleich nutzergesteuerte Charakteristik des Systems zu erzielen, wurde eine *adaptive* und *adaptierbare* Auslegung ausgewählt. Änderungen des Automationsgrades können dabei sowohl vom technischen System als auch vom menschlichen Bediener initiiert werden. Ein Automationssystem wird als *adaptierbar* (Nutzer löst Änderungen aus) oder *adaptiv* (Automationssystem triggert Änderungen initiativ) bezeichnet (Scerbo, 2006). Adaptive Automationssysteme wählen anhand des aktuellen Kontexts einen geeigneten Automationsgrad (Parasuraman, Sheridan, & Wickens, 2000).

Wird nun aus dem Cockpit des Helikopters heraus (automatisierte) Aufklärung betrieben, treten hauptsächlich zwei die Crew betreffende Faktoren in den Vordergrund:

- Die *MWL*-Situation während der Systemnutzung
- Der „*Trust in Automation*“

Diese Faktoren sind in der zu untersuchenden Systemkonfiguration ausschlaggebend.

Die Situation des Kommandanten wird hauptsächlich durch die Induktion von *MWL* beeinflusst, hervorgerufen durch die Durchführung zusätzlicher Aufgaben aus dem Bereich der Aufklärungstätigkeiten. Insbesondere die Wahrnehmung, Auswertung und Interpretation von Aufklärungsdaten erfordert den Aufwand zusätzlicher *MWL*, abhängig von deren Bandbreite und Vorverarbeitungsgrad. Der Entstehung von *MWL* wird durch den durch den Einsatz der variablen Automationsgrade entgegengewirkt.

Die zwei Dimensionen der technischen Performanz des Automationssystems (repräsentiert mittels eines Maßes der Verlässlichkeit) und der *MWL* des Kommandanten sind direkte Abhängigkeiten und dienen als Stimuli für ein variables Interaktionskonzept. Der vorgeschlagene Ansatz zielt darauf ab, den Antagonismus zwischen tolerierbarer *Workload* und erforderlicher automatisierter Aufklärungsleistung aufzulösen bzw. zu moderieren.

In seiner Wirkungsweise zielt die Aufklärungsassistenz darauf ab, das Kooperationsverhältnis zwischen Mensch und Maschine zu verändern. Es wird angenommen, dass durch gezielte Adaptionen des Automationsgrades direkt auf die Belastung und Beanspruchung der Crew Einfluss genommen werden kann. So werden dem Kommandanten bei unterschiedlichen Automationsgraden fest definierte Anteile der Aufgabendurchführung zugeteilt, wobei gleichzeitig aber entsprechende menschliche Ressourcen und Kompetenzen gefordert, gebunden und beansprucht werden.

Nach (Onken, 1994) ist in den Grundforderungen an Assistenzsysteme die Vereinfachung einer Aufgabe zur leichteren Durchführbarkeit ein wesentlicher Bestandteil. Der Wechsel in einen höheren Automationsgrad soll die Beanspruchung reduzieren, und eine nicht handhabbare situative Anforderung an die Crew in eine handhabbare und durchführbare transformieren. Degradierende Aufklärungsleistung des Automationssystems hingegen

würde den Automationsgrad verringern und dadurch mehr Ressourcen der Crew allozieren, um die Aufklärungsleistung sicherzustellen.

Letztlich ist es Aufgabe des adaptiven Kooperationsmanagements, unter Abwägung des Beanspruchungszustands der Crew und der Verlässlichkeit des Automationssystems eine Maximierung der Aufklärungsleistung zu erzielen (Ruf & Stütz, 2016).

## 7. REALISIERUNG UND UMSETZUNG

Wie in (Ruf & Stütz, 2016) beschrieben, wurden drei elementare, funktionale Subsysteme zur Umsetzung des Assistenzsystems der Aufklärungskomponenten identifiziert:

- 1) ein Set an Funktionen der variablen Aufklärungsautomation (Ruf & Stütz, 2016), umgesetzt auf mehreren Automationsgraden nach dem Paradigma der „*Levels of Automation*“ (Sheridan, 2011) (Endsley, 1999)
- 2) ein kombiniertes Aufgaben- und Ressourcenmodell nach (Honecker et al., 2016); enthält Wissen über alle Cockpitaufgaben und die Beanspruchung der Crew für unterschiedliche Automationsgrade der Aufklärungsautomation (Ruf & Stütz, 2017)
- 3) ein Kooperationsmanagement zur systeminitiierten Adaption des Automationsgrades durch einen maschinellen Entscheidungsprozess (Ruf & Stütz, 2016).

Die Umsetzung dieser Subsysteme erfolgte in Softwareimplementierungen. Das Aufgaben- und Ressourcenmodell wurde an eine echtzeitfähige Online-Pilotenbeobachtung (Honecker & Schulte, 2015) gekoppelt und wird gemäß (Honecker et al., 2016) zur Ableitung der Beanspruchung mittels eines modellbasierten *Workload*-Maßes herangezogen. **Abbildung 9** zeigt die Realisierung der Aufklärungsassistenz mittels der vorgestellten Module und Abhängigkeiten.

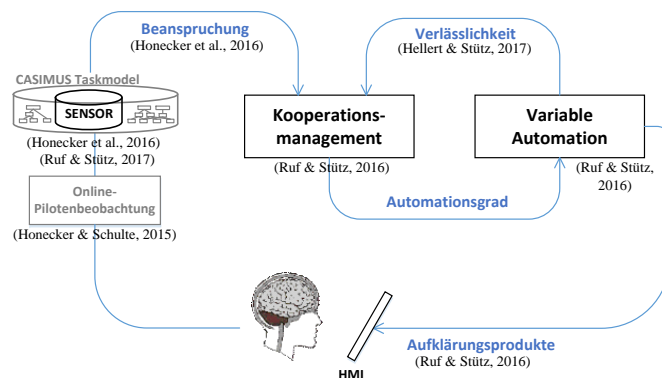


Abbildung 9: Realisierung des Assistenzkonzepts durch Softwaremodule

Durch das Verbinden und Verknüpfen der vorgestellten Subsysteme wurde eine softwarebasierte Kette zur Erzeugung und Darstellung von Aufklärungsprodukten sowie zur

Evaluierung des Sensorassistenzsystems in unserem Helikopter-Flugsimulator aufgebaut.

## 8. AUSBLICK

Die Validierung des skizzierten Assistenzsystems sowie die Untersuchung der Effekte auf die Belastung und Beanspruchung der Crew erfolgt in Kürze mittels „Human-in-the-Loop“-Experimentalkampagnen, bei denen militärische Transporthubschraubercrews das vorgeschlagene Assistenzsystem zur Aufklärung aus dem Cockpit einsetzen. Dabei stehen als Untersuchungsschwerpunkte die Auswirkung der Variabilität auf die Beanspruchung der Crew sowie die Missionsleistung im Vordergrund. Des Weiteren soll ermittelt werden, welche Moden der Automation bei der Durchführung der bevorzugt genutzt werden, wenn die Aufklärung aus dem Cockpit heraus betrieben und welcher emulierte Zuverlässigkeitsgrad der Automation von Besatzungen als noch hilfreich eingestuft wird.

## REFERENZEN

- Allen, R. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2006). Is the binding of visual features in working memory resource-demanding? *Journal of Experimental Psychology. General*, 135(2), 298–313.
- Allen, R. J., Hitch, G. J., Mate, J., & Baddeley, A. (2012). Feature binding and attention in working memory: A resolution of previous contradictory findings. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(March 2015), 2369–2383.
- Baddeley, A. D., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia*, 49(6), 1393–1400.
- Billings, C. E. (1997). *Aviation Automation: The Search for a Human-Centered Approach*. *Aviation Automation: The Search for a Human-Centered Approach*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Brown, L. A., & Brockmole, J. R. (2010). The role of attention in binding visual features in working memory: evidence from cognitive ageing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(10), 2067–2079.
- Chun, M. M. (2011). Visual working memory as visual attention sustained internally over time. *Neuropsychologia*, 49(6), 1407–1409.
- Cohen, M. S., Parasuraman, R., & Freeman, J. T. (1998). Trust in decision aids: A model and its training implications. In *Proceedings of the Command and Control Research and Technology Symposium*. Citeseer.
- Cowan, N. (2011). The focus of attention as observed in visual working memory tasks: Making sense of competing claims. *Neuropsychologia*, 49(6), 1401–1406.
- Elsley, J. V., & Parmentier, F. B. R. (2009). Is verbal-spatial binding in working memory impaired by a concurrent memory load? *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (2006), 62(9), 1696–705.
- Endsley, M. R. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, 462–492.
- Endsley, M. R., & Kiris, E. O. (1995). The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(2), 381–394.
- Hellert, C., & Stütz, P. (2017). Performance Prediction and Selection of Aerial Perception Functions during UAV Missions. In in press (Ed.), *AeroConf 2017*. Big Sky, Montana.
- Honecker, F., Brand, Y., & Schulte, A. (2016). A Task-centered Approach for Workload-adaptive Pilot Associate Systems. In *Proceedings of the 32rd Conference of the European Association for Aviation Psychology – Thinking High AND Low: Cognition and Decision Making in Aviation*. Cascais, Portugal.
- Honecker, F., & Schulte, A. (2015). Konzept für eine automatische evidenzbasierte Online-Pilotenbeobachtung in bemannt-unbemannten Hubschraubermissionen. In *4. Interdisziplinäre Workshop Kognitive Systeme: Mensch, Teams, Systeme und Automaten – Verstehen, Beschreiben und Gestalten Kognitiver (Technischer) Systeme*. Bielefeld.
- Johannsen, G. (1993). *Mensch-Maschine-Systeme* (1st ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Johnson, J. S., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (2008). The role of attention in the maintenance of feature bindings in visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 34(1), 41–55.
- Koch, K., McLean, J., Segev, R., Freed, M. A., Berry, M. J., Balasubramanian, V., & Sterling, P. (2006). How Much the Eye Tells the Brain. *Current Biology*, 16(14), 1428–1434.
- Lee, J. D., & Moray, N. (1994). Trust, self-confidence, and operators' adaptation to automation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 40(1), 153–184.
- Lee, J. D., & See, K. a. (2004). Trust in automation: designing for appropriate reliance. *Human Factors*, 46(1), 50–80.
- MIL-STD-2525C. (2008). MIL-STD-2525C: Common Warfighting Symbolology. *Changes*, (November), 1170.
- Muir, B. M. (1987). Trust between humans and machines, and the design of decision aids. *International Journal of Man-Machine Studies*, 27(5–6), 527–539.
- Onken, R. (1994). Funktionsverteilung Pilot-Maschine: Umsetzung von Grundlagenforderungen im Cockpitassistenzsystem CASSY. In K.-P. Gärtner (Ed.), *DGLR-Bericht 94-01* (Vol. 94–1, pp. 73–89). Berlin: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt.
- Onken, R., & Schulte, A. (2012). *System-Ergonomic Design of Cognitive Automation: Dual-Mode Cognitive Design of Vehicle Guidance and Control Work Systems*. Springer Publishing Company, Incorporated.
- Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 39(2), 230–253.
- 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.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 13(3), 257–266.
- Ruf, C., & Stütz, P. (2016). Model-driven Sensor Operation Assistance for a Transport Helicopter Crew in Manned-Unmanned Teaming Missions : Selecting the Automation Level by Machine Decision-making. *Advances in Human Factors in Robots and Unmanned Systems*, 499, 253–265.
- Ruf, C., & Stütz, P. (2017). Model-driven Payload Sensor Operation Assistance for a Transport Helicopter Crew in Manned-Unmanned Teaming Missions: Assistance Realization, Modelling and Experimental Evaluation of Mental Workload. Vancouver, Canada: in press.
- Scerbo, M. W. (2006). Adaptive Automation. In W. Karwowsky (Ed.), *Neuroergonomics: The Brain at Work* (pp. 1077–1079). London, U.K.: Taylor & Francis.
- 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. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, 1–24.
- Strong, S. P., Köberle, R., de Ruyter van Steveninck, R. R., & Bialek, W. (1998). Entropy and Information in Neural Spike Trains. *Physical Review Letters*, 80(1), 197–200.
- Theeuwes, J., Kramer, A. F., & Irwin, D. E. (2011). Attention on our mind: The role of spatial attention in visual working memory. *Acta Psychologica*, 137(2), 248–251.
- Uhrmann, J., & Schulte, A. (2012). Concept, Design and Evaluation of Cognitive Task-based UAV Guidance. ... *Journal On Advances in Intelligent Systems*, 5(1).
- Vogel, E. K., Luck, S. J., & Shapiro, K. L. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(6), 1656.
- Wheeler, M. E., & Treisman, A. M. (2002). Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131(1), 48–64.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159–177.
- Wickens, C. D., & McCarley, J. S. (2007). *Applied attention theory* (Vol. 1). Lawrence Erlbaum Associates.
- Wiener, E. L. (1989). *Human factors of advanced technology (glass cockpit) transport aircraft. NASA-CR-177528, NAS 1.26:177528.*