

Mensch-Maschine-Interaktion bei einem dislozierten kognitiven Assistenzsystem zur Flugführung unter Zertifizierungsbedingungen

Marcus Wohler und Axel Schulte

Universität der Bundeswehr München (UniBwM), Institut für Flugsysteme (IFS)
 Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg, Deutschland
 (Tel: 089/6004-4108; E-Mail: {marcus.wohler | axel.schulte}@unibw.de)

Abstract: Bei der Entwicklung von Konzepten zur Führung unbemannter Luftfahrzeuge ist es bedeutsam, auch bei Verlust der drahtlosen Datenverbindung zwischen Boden- und Luftsegment den Missionserfolg bestmöglich sicherzustellen, und im Sinne der Sicherheit technischer Systeme einen Verlust des Luftfahrzeugs zu vermeiden. Durch Integration eines Assistenzsystems nach dem Ansatz der kognitiven Automation an Bord des Luftfahrzeuges soll die Robustheit des Gesamtsystems gesteigert werden. Hierzu werden die notwendigen Interaktionen zwischen Mensch und Automation analysiert und Anforderungen für erfolgreiche Teamarbeit bei dislozierten Teammitgliedern werden dargelegt. Eine Mensch-Agent-Schnittstelle als technisches Kommunikationsmittel wird eingeführt. Abschließend werden Überlegungen zur Zertifizierbarkeit des vorgestellten Systems erörtert.

1. EINLEITUNG

In der Domäne der Flugführung ferngesteuerter bzw. ferngeführter Luftfahrzeuge (engl. Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)), kann der menschliche Bediener aufgrund der räumlichen Trennung von Luftfahrzeug und Kontrollstation seiner verantwortlichen Prozessführungsaufgabe während der Dauer einer Mission nicht kontinuierlich in der gleichen Art und in gleichem Umfang nachkommen. Die Ursachen hierfür sind sowohl technischer als auch psychologischer Art. Zum einen kann aus technischen Gründen nicht garantiert werden, dass zu jedem Zeitpunkt einer Mission eine Datenverbindung zwischen Kontrollstation und Luftfahrzeug besteht. Die Gefahr eines zumindest temporären Abreißen der Verbindung, auch bezeichnet als „data link loss“, muss folglich bei der Systementwicklung berücksichtigt werden. Zum anderen spielen psychologische Aspekte auf Seiten des menschlichen Bedieners wie Konzentrationsverlust, Müdigkeit, Langeweile oder Gleichgültigkeit eine Rolle, die vor allem bei langandauernden Missionen zum Tragen kommen können.

Beim Systementwurf automatisierter Systeme wurden bislang Funktionen und Aufgaben entweder dem Menschen oder der Automation zugeordnet, und diese dann im Weiteren separat voneinander betrachtet. Die bekannten Probleme bei der Überwachung komplexer Automation durch den Menschen, also z.B. „brittleness“, „literalism“, „opacity“ und „mode error“ (Billings 1997; Sarter & Woods 1995), waren die Folge. Dem menschlichen Bediener stellten sich bezüglich der Automation als Black-Box die Fragen „Was macht sie?“, „Warum macht sie das?“ und „Was macht sie als nächstes?“ (Wiener 1989). Inzwischen wurde erkannt, dass Mensch und Automation als ein gemeinsames System betrachtet werden müssen (Rasmussen et al. 1994; Hollnagel & Woods 2005). Mit kognitiver Automation (Onken & Schulte 2010) bietet sich ein Lösungsansatz, welcher es ermöglicht, auch höhere kognitive Funktionen, die vormals nur der menschliche Be-

diener hatte, in Form eines technischen Systems bzw. Agenten (Russell & Norvig 2010) umzusetzen. Nach dem „dual-mode“-Konzept können diese Agenten, auch bezeichnet als künstliche kognitive Einheiten (engl. Artificial Cognitive Units (ACU)) auf genau zwei verschiedene Arten in herkömmlich automatisierte Systeme integriert werden (Schulte 2012). Im Mode 1 werden sie dem Menschen in Form eines Delegationsverhältnisses hierarchisch untergeordnet, wohingegen sie im Mode 2 auf der gleichen Hierarchieebene eingeführt werden, um als Assistenzsystem mit dem Menschen kooperativ zusammen zu arbeiten. Bei Anwendung dieses Konzepts im Bereich der Flugführung von RPAS kommt durch die Trennung von Luftfahrzeug und Kontrollstation zur hierarchischen Dimension noch eine physische Dimension hinzu. Insgesamt ergeben sich die in Abb. 1 gezeigten Möglichkeiten zur Integration einer ACU (symbolisiert durch den Roboterkopf) in ein RPAS-Flugführungskonzept.

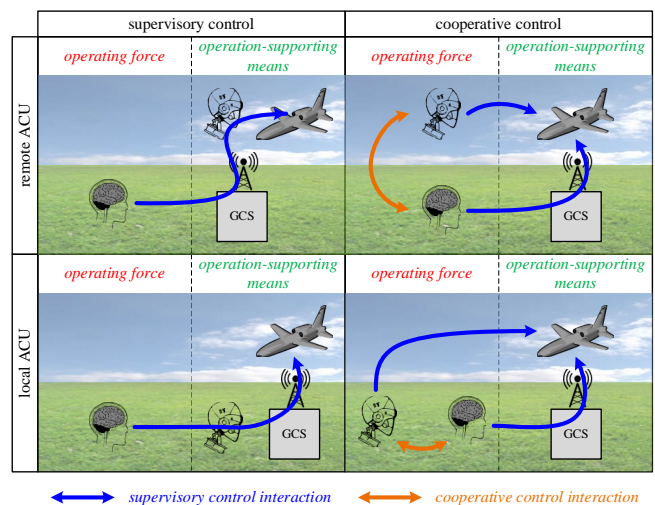


Abbildung 1: Design-Optionen zur Integration kognitiver Automation bei der Flugführung von RPAS

Bisherige Implementierungen kognitiver Automation (Schulte 2012) sind vor allem motiviert durch kognitionsergonomische Betrachtungen. Dabei wurden der Agent im untergeordneten Delegationsverhältnis an Bord des Luftfahrzeugs (Design-Option links oben in Abb. 1), und das Assistenzsystem in die Kontrollstation bzw. den Arbeitsplatz des menschlichen Bedieners (Design-Option rechts unten in Abb. 1) integriert. Letztgenannte Option ist gleichzeitig die intuitiv naheliegende für ein Operateur-Assistenzsystem. Jedoch zwingt die angestrebte Integration von RPAS in den allgemeinen, kontrollierten Luftverkehr zu neuen Überlegungen. Hierfür soll ein Assistenzsystem an Bord des unbemannten Luftfahrzeugs, und somit disloziert vom menschlichen Bediener in der Kontrollstation, integriert werden (Design-Option rechts oben in Abb. 1).

Der Artikel beschreibt zunächst allgemein die Entwicklung eines dislozierten kognitiven Assistenzsystems zur Flugführung, welche zunächst eine Analyse der vom Bediener in dieser Domäne wahrzunehmenden Aufgaben erfordert. Im Fokus des Artikels steht vor allem die stringente Ausarbeitung eines Interaktionskonzeptes zur Beschreibung der Kooperation zwischen Mensch und Automation. Nach der Beschreibung der Implementierung wird der Systementwurf im Kontext von Zulassungsanforderungen für hochautomatisierte Avioniksysteme der zivilen Luftfahrt diskutiert.

2. SYSTEMENTWICKLUNG

Die Systementwicklung erfolgte top-down beginnend mit einer Analyse der zu erfüllenden Mission und unter Berücksichtigung von Grundforderungen und Design-Empfehlungen für kognitive Assistenzsysteme (Onken & Schulte 2010). Grundlage der Analyse ist das in Abb. 2 gezeigte Mensch-Maschine-System, wie es in der Domäne der Flugführung eingesetzt wird. Neben dem menschlichen Bediener und dem unbemannten Luftfahrzeug als zu bedienendem technischen Prozess ist deutlich erkennbar, dass nach dem heutigen Stand der Technik sowohl auf Seite der Maschine als auch bei der Mensch-Maschine-Schnittstelle ein massiver Einsatz von Automation zur Übernahme hauptsächlich sensomotorischer Aufgaben erfolgt. Dies resultiert aus den besonderen Eigenheiten der räumlichen Trennung von Mensch und Prozess bedingt durch technische Einschränkungen der Funkverbindung zur Fernführung des Luftfahrzeugs.

2.1 Aufgabenanalyse Operateur

Die Aufgaben eines Operateurs in der Führung eines Luftfahrzeugs lassen sich wie folgt kategorisieren (Abbott 1993). Die Aufgabenkategorien sind dabei mit absteigender Priorität aufgeführt.

1. „Aviate“ – Beobachtung und Manipulation der Flugzeugbewegung.
2. „Navigate“ – Planung, Beobachtung und Manipulation der Flugroute.
3. „Communicate“ – Interaktion mit Instanzen außerhalb des eigenen Flugzeuges bzw. der Kontrollstation.
4. „Manage Systems“ – Beobachtung und Manipulation von Subsystemen des eigenen Flugzeuges.

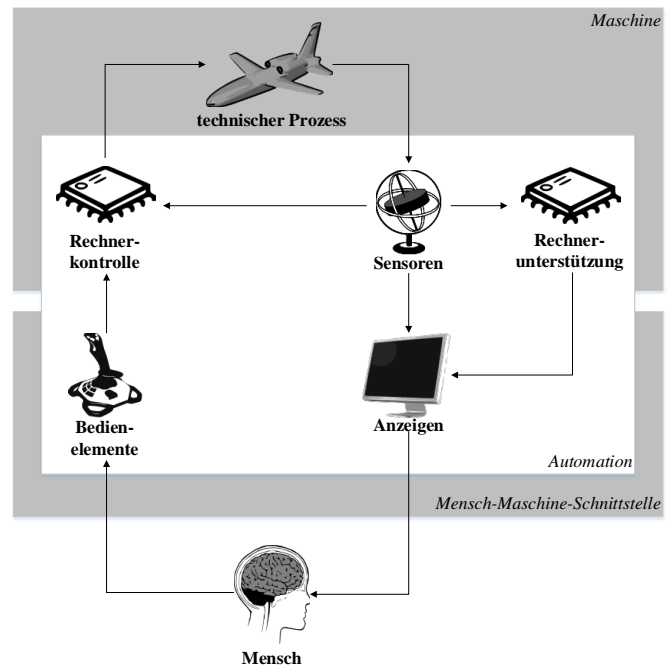


Abbildung 2: Mensch-Maschine-System in der Domäne Flugführung

Die eigentliche Führung des Luftfahrzeugs erfolgt nicht mehr mittels manueller Steuerung, sondern rechnergestützt über die Vorgabe von Bahnführungskommandos wie Kurs, Flughöhe und Geschwindigkeit oder mit Hilfe von Flugmanagementsystemen (FMS) und die Vorgabe von Wegpunkten oder vollständigen Routen. Die Aufgaben des Operateurs während des Fluges bestehen daher vorwiegend aus der Überwachung und Steuerung der automatisierten Systeme im Sinne des „supervisory control“-Paradigmas (Sheridan 1992). Nach dem heutigen Stand der Technik ist jedoch festzustellen, dass sich die Anzahl der zu erledigenden Aufgaben umgekehrt proportional zur Priorität verhält, d.h. es sind eine Vielzahl von Aufgaben des Systemmanagements durchzuführen.

Den einleitend genannten technischen und psychologischen Problemen (Aufgabenkomplexität und -umfang oder Abkopplung des Menschen von der Prozessführung durch Verbindungsverlust) soll mit kognitiver Automation begegnet werden. Diese neue Art der Automation soll ergänzend zu den vorhandenen hochautomatisierten Systemen eingeführt werden. Das übliche Systemdesign sieht vor, dass Automation in einer dem menschlichen Bediener hierarchisch untergeordnete Rolle eingeführt wird. In Form von Delegationsverhältnissen werden dann Aufgaben vom Menschen auf die Automation bzw. Maschine übertragen. Anstatt kontinuierlich in den zu kontrollierenden Prozess involviert zu sein, findet nur eine diskrete Interaktion mit der Automation statt. Dieses hierarchische Verhältnis ändert sich auch nicht mit der Möglichkeit, durch Aufträge auf einem höheren, abstrakteren Level mit der Automation zu interagieren (Uhrmann 2012), oder durch den Einsatz von adaptierbarer Automation (Miller & Parasuraman 2007).

Vielmehr ist die Einführung kognitiver Automation in Form eines wissensbasierten Assistenzsystems und die Schaffung eines heterarchischen Systemdesigns notwendig, um in Ko-

operation mit dem Menschen zu dessen Unterstützung zu arbeiten. Dieses Paradigma wird als „cooperative control“ bezeichnet (Onken & Schulte 2010).

2.2 Anforderungen Assistenzsystem

Der Ausgangspunkt für die Spezifikation der Eigenschaften eines Assistenzsystems ist das Arbeitssystem (vgl. Abb. 3), welches durch ein Arbeitsziel als hauptsächliches Eingangsdatum des Systems definiert wird. Bestimmt wird dieses Arbeitsziel meistens von einer übergeordneten Führungsebene und liegt als Auftrag, Befehl oder Anordnung vor. Hier besteht es beispielweise aus dem Auftrag, eine Flugmission durchzuführen. Weiterhin wird das Arbeitssystem durch Umweltbedingungen und Versorgung beeinflusst, also z.B. den verfügbaren Informationen zum Luftverkehr, Ressourcen wie Kraftstoff oder der Atmosphäre. Am Ausgang des Systems steht das Arbeitsergebnis in Form einer beobachtbaren Manipulation der Umwelt. Das Arbeitssystem selbst besteht aus den beiden Elementen Bediener (engl. „operating-force“) und Arbeitsmittel (engl. „operation-supporting means“). Für die Spezifikation des Assistenzsystems bzw. des kognitiven Agenten sind nun entsprechende funktionale Anforderungen abzuleiten, wie es im industriellen Umfeld üblich ist. Dabei sollen auch kognitionsergonomische Erwägungen für das Systemdesign reflektiert werden:

1. Der Agent soll das Arbeitsziel vollständig kennen und verstehen.
2. Der Agent soll das Arbeitsziel eigeninitiativ verfolgen, wenn nötig.
3. Der Agent soll ein eigenes Verständnis der Gesamtsituation generieren.
4. Der Agent soll Zustand und Absicht des von ihm assistierten Menschen kennen.
5. Der Agent soll Handlungsalternativen zur Erfüllung des Arbeitszieles entwickeln.
6. Der Agent soll eine Alternative auswählen und umsetzen können.
7. Der Agent soll konventionell automatisierte Systeme überwachen.
8. Der Agent soll Kenntnis von Verfügbarkeit und Zweck der Arbeitsmittel besitzen.
9. Der Agent soll vollen Zugriff auf die Arbeitsmittel haben.
10. Der Agent darf nicht über das Arbeitsziel entscheiden.
11. Der Agent soll mit dem Menschen kooperieren.
12. Der Agent darf nicht selbstständig das gegebene Arbeitsziel verändern.

Weiterhin sind nicht-funktionale Anforderungen notwendig, welche Verhaltensregeln zur Interaktion zwischen Agent und Mensch darstellen. Ein entsprechender Verhaltenskodex des Assistenzsystems leitet sich aus den Grundforderungen an Assistenzsysteme (Onken & Schulte 2010) ab.

1. Lenke die Aufmerksamkeit auf die objektiv dringlichste Aufgabe.
2. Wenn der Mensch überfordert ist, überführe die Aufgabensituation in eine für ihn handhabbare.
3. Übernehme Aufgaben nur dann, wenn der Mensch nicht mehr in der Lage dazu ist.

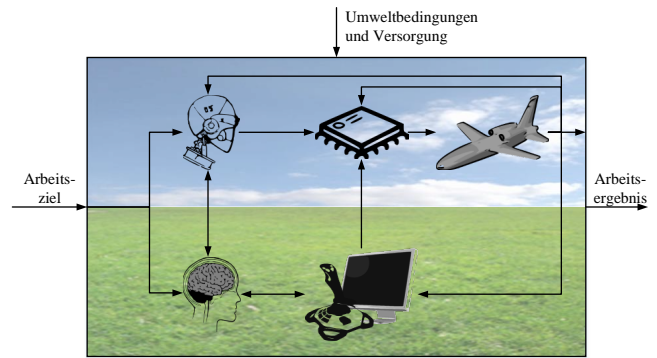


Abbildung 3: Arbeitssystem mit wissensbasiertem Assistenzsystem als Teil der operating-force

Nicht explizit genannt, jedoch für das Paradigma relevant ist eine dem Kodex vorgeschaltete Grundforderung an das Assistenzsystem. Diese Forderung besagt, dass der Mensch als Operateur immer aktiv in den Arbeitsprozess eingebunden werden und auch eingebunden bleiben muss. Er darf also nicht durch den Einsatz von zu viel Automation aus dem System hinaus gedrängt werden. Aus dieser Forderung lassen sich die drei oben genannten ableiten. Sie bilden somit drei Eskalationsstufen für den Eingriff des Assistenzsystems.

Bei konventionell automatisierten Systemen ist der Begriff der Betriebsart oder des Betriebsmodus gebräuchlich, um einen Systemzustand zu beschreiben. Um die besonderen Eigenschaften kognitiver Automation im Gegensatz zu konventioneller Automation auszudrücken, wird der Begriff des habituellen Modus eingeführt, da er das Gesamterscheinungsbild des Agenten nach seinem Verhalten besser beschreibt. Die verschiedenen möglichen habituellen Modi eines wissensbasierten Assistenzsystems reichen von einer alarmierenden Rolle, vergleichbar mit einem stillen aber aufmerksamen Beobachter, über eine assoziative Rolle, die permanent Handlungsvorschläge zur Verfügung stellt, bis hin zu einer den Menschen substituierenden Rolle.

2.3 Systemdesign

Das entwickelte Systemdesign mit dem kognitiven Agenten ist in Abb. 3 gezeigt und soll nun diskutiert werden. Auf die notwendigen Überlegungen zur Mensch-Maschine-Interaktion wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

In der gezeigten Arbeitssystemkonfiguration mit einem hochautomatisierten, fernführbaren Luftfahrzeug ist ein Eingriff des Menschen oder des Assistenzsystems grundsätzlich auf unterschiedlichen Hierarchieebenen des Flugführungssystems möglich:

1. Eingriff auf Ebene des FMS durch Vorgabe einer Route oder einzelner Wegpunkte.
2. Eingriff auf Ebene der Bahnführung bzw. des Autopiloten durch Vorgabe von Betriebsmodi und Sollwerten.

Diese Möglichkeiten reflektieren die explizite Stärke kognitiver Automation, d.h. ihre Optimierung hinsichtlich der Abbildung höherer kognitiver Funktionen. Ein Eingriff in darunter liegende Hierarchieebenen, z.B. direkte Steuerung über

Vorgabe von Drehraten oder Ruderausschlägen, wird ausgeschlossen. Derartige Eingriffe erfordern vor allem sensorische Fähigkeiten, wofür konventionelle automatische Systeme besser geeignet sind.

Eine Integration des Assistenzsystems direkt beim Bediener in der Kontrollstation ist intuitiv zu erwarten und genügt den bislang dargelegten Anwendungsfällen und beschriebenen Interaktionen. Die Designentscheidung den Agenten an Bord des Luftfahrzeuges zu platzieren beruht auf Überlegungen zu sogenannten abnormalen Situationen. Hierunter werden einzelne Störungen oder eine Folge von Störungen im Ablauf der Mission verstanden, die ein Abweichen vom normalen Betriebsmodus bzw. dem ursprünglichen Plan erfordern. Sie können minimale, aber auch katastrophale Konsequenzen haben. In diesen Situationen außerhalb des geplanten bzw. erwarteten Missionsverlaufs sind immer noch zwei wesentliche Aufgaben zu erfüllen, und zwar die Überwachung der komplexen Automation des Luftfahrzeugs und die Entscheidungsfindung in unerwarteten Situationen. Diese Aufgaben, vor allem jedoch letztere, werden üblicherweise vom menschlichen Bediener ausgeführt. Ist jedoch die Datenverbindung zwischen Luftfahrzeug und Kontrollstation unterbrochen, was nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, degradiert die Systemarchitektur und das Luftfahrzeug ist für die Dauer der Unterbrechung auf sich alleine gestellt.

Mit einem dislozierten, kognitiven Assistenzsystem an Bord des RPAS kann im Bedarfsfall der Mensch, mit Hilfe des habituellen Modus der substituierenden Assistenz, ersetzt werden. Dies kann beispielsweise temporär erfolgen, bis eine Datenverbindung wieder hergestellt werden konnte, oder auch permanent bis zum Ende der Mission oder einer eingeleiteten Notlandung infolge eines Missionsabbruchs. Die Erfüllung des Arbeitszieles, in der Regel also die erfolgreiche Durchführung einer Mission, wird nun alleine durch den kognitiven Agenten sichergestellt. Dazu ist es erforderlich, wesentliche Funktionen des menschlichen Bedieners in seiner Schlüsselrolle im Mensch-Maschine-System übernehmen zu können. Diese Funktionen sind die bereits angesprochene Überwachung der komplexen, hochautomatisierten Systeme und Entscheidungsfindung bei Problemen, bei denen sich Fragen stellen wie „Ist die vom Autopiloten gesteuerte Flugbahn noch die richtige?“ und „Kann die Mission trotz Ausfall eines Subsystems noch weiter durchgeführt werden?“ Beispielfall sei hierzu der Anwendungsfall Triebwerksfehler in Kombination mit Verlust der Datenverbindung genannt. Eine Neukonfiguration der Luftfahrzeugsysteme, wie sie von (Pecher et al. 2010) beschrieben wird, könnte in einer solchen Situation angebracht sein, d.h. zum Beispiel das Herunterfahren einzelner Subsysteme, um den Energieverbrauch zu senken.

Durch die funktionale Redundanz, welche durch einen kognitiven Agenten an Bord des unbemannten Luftfahrzeuges realisiert wird, kann somit die Robustheit des Gesamtsystems gesteigert werden.

3. MENSCH-MASCHINE-INTERAKTION

Das grundsätzliche Zusammenwirken von Mensch und disloziertem kognitiven Assistenzsystem kann mit Hilfe des in

Abb. 4 gezeigten Interaktionsprozesses beschrieben werden. Dieser umfasst die beiden habituellen Modi der alarmierenden und substituierenden Assistenz, sowie mögliche Wechsel zwischen diesen. Das gezeigte, vereinfachte Diagramm veranschaulicht beispielhaft das gewünschte Systemverhalten, wie es in den nicht-funktionalen Anforderungen beschrieben wurde.

Auslöser für eine Intervention des hier betrachteten Assistenzsystems können externe Ereignisse sein, wie z.B. eine Änderung im Arbeitsziel oder in den Umweltbedingungen (vgl. Abb. 3), die sich in Zwischenfällen, Gefahren oder nicht vorhergesehenen Umständen äußern. Dies könnte z.B. eine Gefährdung des Luftfahrzeuges durch den Ausfall eines Triebwerkes oder ein unvorhergesehenes Schlechtwettergebiet sein, welches die aktuelle Flugroute bedroht. Hierbei wäre das Ziel „Flugsicherheit“ verletzt. Neben den externen Ereignissen können auch Beobachtungen und Messungen bezüglich des Verhaltens des menschlichen Operators einen Eingriff auslösen. Beobachtet wird hierzu die Aufgabenerfüllung des Menschen, insbesondere Fehler, die dabei auftreten. Entsprechend der dargelegten Aufgabenanalyse werden Fehler vor allem in der Kategorie der Systembedienung bzw. des Systemmanagements erwartet. Beispiele hierfür sind das zu späte Ausfahren des Fahrwerks im Landeanflug, was ebenfalls eine Verletzung des Ziels „Flugsicherheit“ bedeutet, oder die versehentliche Aktivierung eines Wegpunktes, der nicht dem Missionsziel dienlich ist und daher das Ziel „Mission erfüllen“ verletzt.

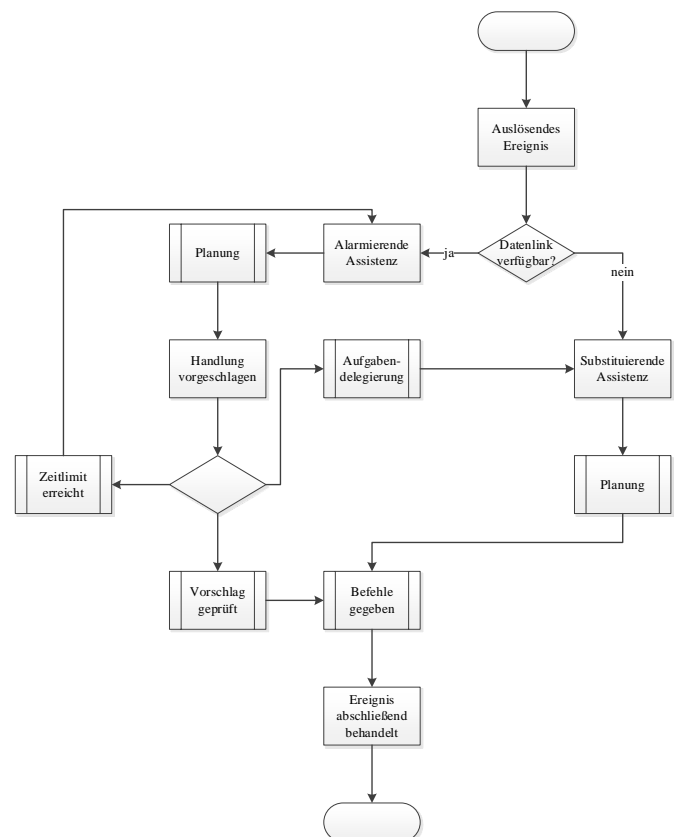


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Interaktionsprozesses zwischen Mensch und Assistenzsystem bei erkannter Verletzung von Missionszielen

Weiterhin könnten als auslösende Ereignisse in diesem Konzept grundsätzlich auch physiologische Messungen fungieren, wie z.B. Herzschlag, Puls oder Blickbewegungen des Operators. Ebenfalls integrierbar wäre die Verwendung von Aufgabenmodellen zur Abschätzung der objektiven Arbeitsanforderungen und von Modellen zur Schätzung der subjektiven Beanspruchung (Donath 2012).

Je nach habituellem Modus des Assistenzsystems wird auf die genannten Ereignisse unterschiedlich reagiert. Bei bestehender Datenverbindung zwischen Boden- und Luftsegment des Mensch-Maschine-Systems gilt entsprechend der grundsätzlichen Forderung zum Verhalten des Assistenzsystems, dass der Mensch solange wie möglich in die Aufgabenerfüllung involviert bleibt. Dazu werden nach maschineller Planung zur Problemlösung dem Operateur notwendige Handlungen vorgeschlagen. Diesem Vorschlag kann er nun folgen, indem er entsprechende Anweisungen und Befehle über die MMS gibt. Als ein „stillere aber wachsamere Co-Pilot“ an Bord des Luftfahrzeuges überwacht der kognitive Agent die vom Menschen durchgeführten Maßnahmen.

Ein für den Bediener komfortablerer Weg, der in Situationen hoher Beanspruchung gewählt werden könnte, ist die Delegation einer durchzuführenden Aufgabe an den kognitiven Agenten. Der Mensch nimmt also eine Neuverteilung von Funktionen zwischen sich und der Automation vor. Dadurch ändert sich der habituelle Modus des Agenten zur, durch den Bediener veranlassten, temporär substituierenden Assistenz und der maschinelle Planungsprozess zur Problemlösung wird erneut angestoßen, diesmal allerdings unter der Prämisse notwendige Tätigkeiten selbst auszuführen. Ist eine Lösung gefunden, so wird diese dann auch direkt vom Agenten umgesetzt. Ob der Mensch über die ergriffenen Maßnahmen im Detail, oder lediglich über das Ergebnis oder auch gar nicht informiert wird, muss anderweitig im Rahmen der Fragestellung nach angemessenem maschinellen Feedback diskutiert werden.

Neben den beiden beschriebenen Möglichkeiten, die notwendigen Handlungen selbst auszuführen oder zu delegieren, zeigt Abb. 4 noch eine dritte denkbare menschliche Reaktion auf einen Vorschlag des Assistenzsystems, nämlich die, gar nichts zu machen. Dieses Verhalten kann verschiedene Ursachen haben, z.B. wurde der Vorschlag des Agenten übersehen oder nicht bemerkt. Es ist aber auch denkbar, dass der Operateur ihn bewusst ignoriert, weil er es meint besser zu wissen, oder die Situation tatsächlich besser versteht (was auf einen Entwicklungsfehler bzw. unvollständige Modellierung der kognitiven Agenten zurückzuführen wäre). Weiterhin kann mit Gleichgültigkeit reagiert werden, z.B. bei langandauernden und ermüdenden Missionen. Alle diese genannten Reaktionen müssen mit Methoden der kognitiven Systemergonomie tiefergehend ergründet werden. In jedem Fall ist das eigentliche Problem, was zum Eingreifen des Assistenzsystems führte, nicht behoben. Je nach Dringlichkeit der Maßnahmen, abgeleitet aus der Kritikalität der Zieleverletzung, wird der Agent notwendige Maßnahmen nochmals vorschlagen oder selbständig den habituellen Modus zur temporären Substitution des Menschen wechseln.

Abläufe zur Mensch-Maschine-Interaktion im Modus der assoziativen Assistenz sind in der vereinfachten Darstellung in Abb. 4 nicht inbegriffen, obwohl das vorgeschlagene Systemdesign auch diese Betriebsart ermöglicht. Der menschliche Bediener und der Agent können grundsätzlich Art und Umfang ihrer Aufgabenteilung derart ändern, dass entweder der Mensch alle und der Agent keine ständigen Aufgaben hat, oder umgekehrt bzw. alle denkbaren Kombinationen dazwischen. Zum Beispiel können Aufgaben der Überwachung von Subsystemen wie den Triebwerken oder gezielt einzelne Systemparameter wie Abgastemperatur und Ölstand dem Agenten zugeteilt werden. Hierzu notwendige Interaktionen bedürfen nicht zwangsläufig eines auslösenden Ereignisses und sind deshalb in Abb. 4 nicht berücksichtigt.

Im Falle fehlender Datenverbindung zwischen Luftfahrzeug und Bodenstation wird notwendigerweise direkt in den Modus der substituierenden Assistenz gewechselt. Nach dem Problemlösungsprozess, also einem maschinellen Planungsprozess und der anschließenden Auswahl einer Handlungsalternative, werden die Einzelschritte der Lösung unverzüglich vom Agenten umgesetzt.

3.1 Teamarbeit

Der Entwurf von Systemarchitekturen, bei denen der menschliche Bediener und die Automation in Form von einem oder mehreren Agenten auf derselben Hierarchieebene zur Erreichung eines gemeinsamen Zieles zusammen arbeiten (vgl. Abb. 3), wirft die Frage auf, welche Anforderungen Teamarbeit von Mensch und Maschine mit sich bringt, und wie sie zu gestalten ist. Aufbauend auf dem gezeigten Interaktionsprozess soll daher die Frage erörtert werden, wie erfolgreiche Teamarbeit zwischen dem menschlichen Bediener und dem räumlich abgesetzten maschinellen Agenten gestaltet werden muss, d.h. die Anwendungsfälle alarmierende bzw. assoziative Assistenz hinsichtlich Mensch-Maschine-Integration konkret auszugestalten sind.

Der Begriff des Teams an sich kennzeichnet üblicherweise mehrere Personen, welche mit einer gemeinsamen Aufgabe befasst sind. Im Sport wird hierunter eine Mannschaft oder aber die Mannschaft mit begleitendem Personal wie Trainern und Betreuern verstanden. In der Wirtschaft charakterisiert der Team-Begriff eine Arbeitsgruppe. In der Praxis werden die Begriffe Team und Gruppe oftmals voneinander abgehoben (Rosenstiel 2004), wohingegen sie in der Fachliteratur häufig synonym verwandt werden. Dementsprechend ist auch eine eindeutige Trennung zwischen Teamarbeit und Gruppenarbeit unüblich (Antoni 2003). In der Arbeits- und Organisationspsychologie besteht die übereinstimmende Auffassung, dass ein Team eine Gruppe ist, allerdings nicht jede Gruppe ein Team. Mit einem Team werden positivere Konnotationen verbunden. Man geht davon aus, dass innerhalb eines Teams eine höhere Kohäsion, eine engere Bindung an das gemeinsame Ziel sowie problemlos funktionierende Kooperation bestimmend sind, und deshalb von einer besonders „gut eingespielten Gruppe“ gesprochen werden kann (Rosenstiel & Nerding 2011; Rosenstiel 2004; Antoni 2003). Als die wesentlichen Definitionsbestandteile für eine

Gruppe werden üblicherweise angegeben (Rosenstiel & Nerdinger 2011):

- Mehrzahl von Personen
- Direkte Interaktion
- Über eine längere Zeitspanne
- Rollendifferenzierung
- Gemeinsame Werte, Normen und Ziele
- Verbunden durch ein Wir-Gefühl

Auch wenn engere oder weitere Begriffsdefinitionen möglich sind, so bleibt als Kern der Definition stets die unmittelbare Interaktion der Gruppenmitglieder über einen ausgedehnten Zeitraum.

3.2 Dislozierte Teams

Die beiden Entitäten der „operating force“ im betrachteten Mensch-Maschine-System, also der Mensch und der kognitive Agent, formen ein sogenanntes disloziertes Team. Im Vergleich zu menschlichen, dislozierten Teams, wie z.B. virtuellen Arbeitsgruppen (Hertel & Konradt 2007), ergeben sich domänenspezifische Besonderheiten, welche im Folgenden kurz zusammengefasst seien. Aus rechtlicher Sicht trägt der menschliche Bediener die Hauptverantwortung, er wird daher auch als verantwortlicher Luftfahrzeugführer bezeichnet. Dies bedeutet, dass in der Regel er bei Problemen eingreifen und handeln muss, selbst aber gar nicht vor Ort sein kann und daher ggf. ein Eingreifen unmöglich ist, wenn die Datenverbindung unterbrochen ist. Das Assistenzsystem vor Ort hat zunächst nur eine überwachende Rolle und soll in der Regel nicht eingreifen. Sein Eingriff wird, wie zuvor schon beschrieben, entweder per Delegation vom Menschen autorisiert oder bei Verlust der Datenverbindung gegebenenfalls notwendig.

Bei der Kooperation von räumlich weit voneinander entfernten Entitäten treten verschiedene zu bewältigende Probleme auf. Bezogen auf die Kommunikation bzw. Interaktion als Schlüssel zur Kooperation sind dies der Dualismus von Informationsflut, also der Menge der verfügbaren Informationen, und technisch verfügbarer Bandbreite der in der Regel drahtlosen Datenverbindung, d.h. Informationen können nicht in beliebig hohem Umfang zwischen Mensch und Maschine ausgetauscht werden. Außerdem können, je nach Anwendung, Latenzprobleme eine Rolle spielen, d.h. die auftretenden Verzögerungen zwischen zwei Ereignissen wie dem Absenden einer Nachricht und deren Eintreffen beim Empfänger. Nicht zu vergessen ist die Möglichkeit eines permanenten Ausfalls oder temporärer Unterbrechung der Datenverbindung. Erforderlich ist also ein effizientes Management, das verfügbare Informationen auf das Wesentliche und Notwendige reduziert. Technisch erfolgt die Kommunikation zwischen Mensch und kognitivem Agent über eine Mensch-Agenten-Schnittstelle (MAS), welche eine Erweiterung der herkömmlichen MMS um agentenspezifische Aspekte darstellt, und ebenfalls an eine und drahtlose Datenverbindung angeschlossen ist.

3.3 Mensch-Maschine-Kooperation

Während die Organisationspsychologie sich mit der Teamarbeit von Menschen und hierfür förderlicher Arbeitsstrukturen befasst, hat die Zusammensetzung von Mensch und Maschine bzw. Automation zu einem Team ihren Ursprung in technologischen und systemergonomischen Überlegungen. Hierbei spielen die Vorteile der Einbringung von Automation durch die gezielte Ausnutzung ihrer Stärken eine wesentliche Rolle. Die spezifischen Fähigkeiten und Stärken von Maschinen mit Vorteilen gegenüber dem Menschen und andersherum hat (Fitts 1951) zusammengefasst. Wie eine effiziente, kooperative Zusammenarbeit von Mensch und Maschine gestaltet werden soll, geht hieraus allerdings nicht hervor.

Üblicherweise wird bei der Nachweisführung von Problemen bei Mensch-Maschine-Kooperation in eine von zwei Richtungen argumentiert. Entweder wird der Standpunkt vertreten, dass mit noch mehr Automation der Mensch als Fehlerquelle eliminiert werden kann, oder dass bereits ein Übermaß an Automatisierung erfolgt sei, d.h. zu viele Funktionen wurden automatisiert oder ein zu hoher Grad an Automatisierung wurde gewählt (Norman 1990). Im Übrigen sieht (Norman 1990) das grundsätzliche Problem im Systemdesign an sich, nämlich bei fehlendem Feedback durch die Automation und mangelnden Interaktionsmöglichkeiten, unabhängig davon, in welcher hierarchischer Beziehung Mensch und Automation stehen.

Mit der Einführung von Assistenzsystemen ändert sich nicht nur die Möglichkeit wie Aufgaben erledigt werden. Vielmehr ändert sich die Beschaffenheit der Aufgabe an sich (Christoffersen & Woods 2002; Miller & Parasuraman 2007). Die Weiterentwicklung von Automation zwingt dazu, die Art ihrer Interaktion mit dem Menschen zu ändern. Dabei ist nicht mehr allein entscheidend zu bedenken, welche Aufgaben besser durch den Menschen und welche besser durch Automation zu erledigen sind. Stattdessen gilt es zu überlegen, wie Mensch und Automation sich Aufgaben teilen und gemeinsam daran arbeiten können (Bradshaw et al. 2011). Dazu muss die Automation als intelligentes System und als Teamspieler gestaltet werden, denn die Einführung eines solchen Systems mit dem Zweck dem Menschen zu assistieren, ist in vielerlei Hinsicht mit der Hinzunahme eines neuen menschlichen Teammitgliedes zu vergleichen (Christoffersen & Woods 2002). Untersuchungen zeigen, dass der Mensch an einen Agenten als gleichberechtigtes Teammitglied die gleichen Erwartungen richtet, wie an ein menschliches Teammitglied (Klein et al. 2004). Außerdem sollte der Mensch die Möglichkeit haben, die Aktivitäten des Agenten inhaltlich zu beeinflussen. Große Herausforderungen werden darin gesehen, die Fähigkeit einer gegenseitigen Vorhersagbarkeit (wer macht was und wann?) umzusetzen, und eine gewisse Lenkbarkeit des Agenten, in Form vom Spezifizieren von gemeinsamen Zielen und Adaption an unerwartete Entwicklungen der Situation, zu realisieren. Es wird als wichtig erachtet, dass alle beteiligten Entitäten eine gemeinsame Repräsentation der Problemsituation und der Aktivitäten der anderen Teammitglieder haben und diese miteinander teilen. Eine spezielle Sprache oder Protokolle sollen diesen „common ground“ sicherstellen (vgl. (Christoffersen & Woods 2002;

Klein et al. 2004)). Vergleichbar ist dieses mit dem Konzept der geteilten mentalen Modelle, welche die Effektivität von Teams und den Teamprozess positiv beeinflussen (Mathieu et al. 2000). Als mentale Modelle werden kognitive Repräsentationen der realen Welt und entsprechende Überzeugungen bezeichnet. Modelle, die innerhalb eines Teams vorliegen und geteilt werden müssen, sind solche mit Bezug zur Arbeitsaufgabe, den anderen Gruppenmitgliedern mit ihren Arbeitsbeziehungen, Rollen und Interaktionen, den technischen Ressourcen und der gegenwärtigen Arbeitssituation bzw. Umgebung. Weiterhin müssen Überzeugungen entwickelt werden, über die Gültigkeit und Zuverlässigkeit dieses Wissens.

Eine Untersuchung zur Benutzung von Autopiloten und FMS kam zu dem Ergebnis, dass nur ein geringer Teil der Bediener ein vollständiges mentales Modell der Verfügbarkeit und Funktionsweise aller Betriebsarten der Automation hat (Sarter & Woods 1995). Im Übrigen ist dieses Problem nicht auf die Luftfahrt-Domäne beschränkt, sondern spielt bei allen komplexen technischen Systemen eine Rolle (Andre & Degani 1997). In einer klassischen 2-Mann Cockpit-Konfiguration kann das Wissen zur Situationsrepräsentation für beide am Arbeitsprozess beteiligte Piloten vergleichsweise einfach aufgebaut werden, z.B. durch die Beobachtung mit welchen Displays und Eingabegeräten das Teammitglied gerade befasst ist. Auch kann das andere Teammitglied beeinflusst oder gelenkt werden, z.B. durch Gesten und den Hinweis, doch mal auf einen anderen Parameter oder ein anderes Display zu achten. Die Teammitglieder können also die Aktivitäten der anderen beobachten und lenken, und haben damit einen gemeinsamen Zugang zur Beschaffenheit des Problems. Betrachten wir jedoch einen Agenten als Teammitglied, so sind diese Informationen nicht so einfach zu beschaffen. Entsprechende Repräsentationsmöglichkeiten müssen aktiv im Entwurfsprozess berücksichtigt werden, um ein geteiltes Verständnis der Situation zu ermöglichen. Dabei ist es entscheidend, nicht sämtliche theoretisch verfügbaren Daten auszutauschen, denn die reine Verfügbarkeit von Daten ist nicht gleich ihrer Aussagekraft. Nützlicher ist es, Teilergebnisse wie Zwischenberechnungen oder Schlussfolgerungen auszutauschen, die der Agent bei der Problemlösung generiert hat (Christoffersen & Woods 2002).

Aus diesen Überlegungen lassen sich Anforderungen ableiten zum Entwurf einer MAS, als technisches Hilfsmittel zur Kommunikation. Für den habituellen Modus der assoziativen Assistenz muss sie dem menschlichen Bediener die Möglichkeit bieten, Aufgaben flexibel an die Automation zu delegieren bzw. die Autorität zur Durchführung von Tätigkeiten wieder zu entziehen. Der Modus der alarmierenden Assistenz erfordert die Visualisierung der vom Agenten als notwendig erachteten Handlungen. Außerdem ist es sinnvoll, Hinweise zur Dringlichkeit der Ausführung anzugeben. Nach den Grundforderungen an Assistenzsysteme sollen Hinweise auf Fehlverhalten oder notwendige Maßnahmen derart gestaltet werden, dass der Mensch aktiv eingebunden bleibt. Daher soll nicht immer detailliert auf die Ursache eines Problems hingewiesen oder exakte Maßnahmen wie zu wählende Betriebsarten und einzustellende Sollwerte genannt werden. Je nach Dringlichkeit soll der Mensch vom Assistenzsystem mit

allgemeinen Fehlerbeschreibungen, wie z.B. „Trajektorie“ oder „Systemkonfiguration“, dazu angeleitet werden selbst nach der Ursache zu suchen. Weiterhin muss entsprechend des in Abb. 4 gezeigten Schemas zur Mensch-Maschine-Interaktion die Möglichkeit gegeben sein, die vorgeschlagene Handlung an den Agenten zu delegieren. Für die substituierende Assistenz ist mindestens eine Mitteilung an den Menschen erforderlich, dass eine erforderliche Maßnahme keinen Aufschub erlaubt und daher jetzt vom Agenten ausgeführt wird. Im Falle einer Unterbrechung der Datenverbindung soll der menschliche Bediener auch rückwirkend informiert werden.

4. IMPLEMENTIERUNG

Das entworfene Assistenzsystem auf Basis kognitiver Automation zur Führung eines RPAS wurde prototypisch implementiert. Die angewendete Methodik zur Modellierung des kognitiven Systems ist angelehnt an die der objektorientierten Systementwicklung. Zur Umsetzung in einen Software-Agenten wurde das Framework *Cognitive System Architecture with Centralized Ontology and Specific Algorithms* (COSAS²) genutzt, welches ein drei Verhaltensebenen umfassendes Modell menschlicher, kognitiver Subfunktionen implementiert (Brüggewirth 2014).

In der schon beschriebenen Anforderungsanalyse wurden auf Ebene des Gesamtsystems Spezifikationen und Anforderungen an das Assistenzsystem abgeleitet. Eine statische Analyse mit Hilfe zuvor definierter Anwendungsfälle ergab Klassen, welche in COSAS² als „Concepts“ bezeichnet werden. Die Zuordnung von Attributen zur Spezifizierung von Objekteigenschaften und Assoziation zwischen den Klassen ergab ein Klassendiagramm. Die Erstellung eines dynamischen Modells erfolgte durch eine Analyse des spezifizierten Systemverhaltens und der beschriebenen Interaktionen zwischen Mensch und Agent. Dieses Modell beinhaltet Regeln, welche von den Inferenzalgorithmen von COSAS² verarbeitet werden. Zur Wahrnehmung seiner Umwelt und zur Interaktion mit ihr wurde für den Agenten eine entsprechende Ein-/Ausgabe-Schnittstelle implementiert. Die Ziele, an denen sich das Handeln des Agenten ausrichtet, wurden als sogenannte „Motivational Contexts“ modelliert. Einen detaillierteren Einblick in die Methodik der Modellierung des kognitiven Assistenzsystems mit COSAS² geben (Wohler & Schulte 2013).

Die umgesetzten Funktionen umfassen das Management von Grundsystemen wie z.B. Fahrwerk oder Hochauftriebshilfen, und die Bedienung des FCS bzw. FMS mit der Möglichkeit des Eingriffs auf Ebene der Wegpunktnavigation oder der Bahnführung. Der Laborprototyp des Assistenzsystems wurde zur ingenieurmäßigen Erprobung in eine Gesamtsystemsimulation integriert. Diese Simulationsumgebung bildet moderne Flugführungssysteme von RPAS in ihren wesentlichen Aspekten nach und besteht aus einem interaktiven Kartendisplay, einem Primary Flight Display (PFD) als zentralem Anzeigeelement, einer vereinfachten Flight Control Unit (FCU) zur Bedienung des Autopiloten sowie Werkzeugen zur Missionsplanung bzw. der Verwaltung von Wegpunkten und Routen. Um Missionen im zivilen Luftraum unter Instrumentenflugbedingungen zu simulieren, sind eine Datenbank mit

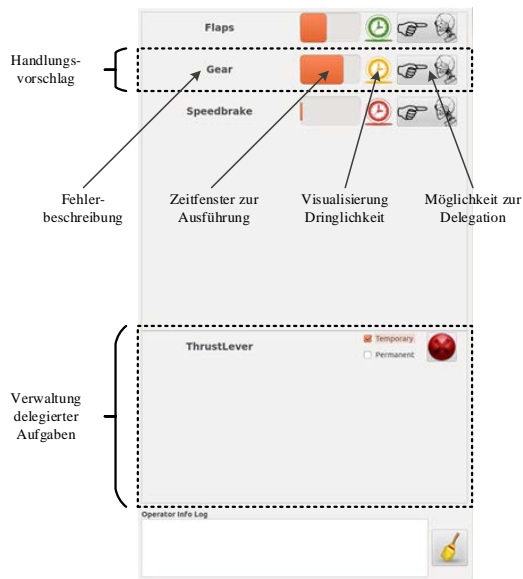


Abbildung 5: Annotierte Darstellung einer implementierten Mensch-Agent-Schnittstelle

Flughäfen und ihren standardisierten An- und Abflugverfahren integriert sowie ein Planer, welcher die veröffentlichten Luftstraßen zur Routenplanung nutzt. Eine MAS wurde entsprechend der spezifizierten Anforderungen ebenfalls prototypisch implementiert, wie Abb. 5 zeigt. Der obere Bereich ist Interaktionen zur alarmierenden Assistenz vorbehalten, wohingegen der untere Bereich der Verwaltung delegierter Aufgaben und damit der assoziativen Assistenz dient.

Prototypische Implementierungen des Assistenzsystems wurden sowohl in der Simulation als auch im Realflug anhand verschiedener Szenarien bzw. Anwendungsfälle erprobt. Mit Hilfe einer Studie zur Gebrauchstauglichkeit konnte gezeigt werden, dass eine MAS in Ergänzung zur konventionellen MMS sinnvoll ist. Die Benutzung des implementierten Prototyps wurde in Mensch-Maschine Experimenten als intuitiv bewertet und genügt software-ergonomischen Standards (Wohler & Schulte 2014). Im Rahmen eines Feldversuchs mit praktischen Flugversuchen wurde gezeigt, dass das Assistenzsystem als Teil einer Gesamtsystemarchitektur, d.h. im Systemverbund mit konventioneller Automation funktioniert. Eingebettet in ein Szenario zur Kollisionsvermeidung wurde in verschiedenen Situationen eine drohende Kollision erkannt, mit dem menschlichen Systembediener lage- und zeitgerecht interagiert und die Kollision in letzter Konsequenz selbstständig und zuverlässig vermieden (Loy et al. 2014).

5. ZULASSUNGSASPEKTE

Für die routinemäßige und uneingeschränkte Teilnahme am zivilen Luftverkehr sind Nachweise der Lufttüchtigkeit des Luftfahrzeuges, einer entsprechende Ausbildung bzw. Qualifikation von Pilot oder Bediener und die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften erforderlich. Ausmaß und Diversität der Problematik werden deutlich, wenn man bedenkt, dass keine dieser Anforderungen nach dem heutigen Stand der Technik ausreichend erfüllt werden kann. Im Gegensatz zur bemannten Fliegerei gibt es von den zuständigen Behörden keine veröffentlichten Standards und Regularien, die beschreiben,

wie RPAS zu entwickeln, zu bauen, zu zertifizieren und schließlich zu betreiben sind. Überlegungen und Vorschläge, wie solche Standards aussehen können, basieren im Wesentlichen auf der grundlegenden Forderung nach einem zu gewährleistendem gleichen Maß an Sicherheit (engl. „Equivalent Level of Safety (ELOS)“) für unbemannte Luftfahrzeuge. Hierunter wird verstanden, dass für andere Teilnehmer des Luftverkehrs und Dritte von RPAS keine größere Gefährdung ausgehen darf als durch ein vergleichbares, bemanntes Flugzeug. Ferner sollen Standards so festgelegt werden, dass RPAS keine höheren Anforderungen erfüllen müssen, auch wenn es technisch machbar wäre. Das Ziel ist es somit, vergleichbare Sicherheitsstandards für RPAS wie für bemannte Flugzeuge zu schaffen, die beispielsweise nach EASA CS-23 oder CS-25 zertifiziert sind (EASA 2005). Bislang gibt es nur im militärischen Bereich einen Entwurf für einen möglichen Zulassungsstandard (NATO Standardization Agency 2009), welcher aus der EASA CS-23 abgeleitet wurde. Die Diskussion der Zertifizierbarkeit des kognitiven Assistenzsystems als sicherheitskritisches System soll daher anhand dieses Dokuments erfolgen.

Zunächst wird vorausgesetzt, dass für einen tatsächlichen Zulassungsprozess die Entwicklung des Gesamtsystems unter Einhaltung gängiger industrieller Standards für die Entwicklung von Luftfahrtsystemen wie ARP 4754A (SAE 2010) und entsprechender Sicherheitsprozesse nach ARP 4761 (SAE 1996) erfolgt. Zunächst werden hierbei funktionale Anforderungen auf Flugzeugebene definiert. Die Flugzeugfunktionen werden dann einzelnen Systemen zugeordnet und eine Systemarchitektur wird hieraus entwickelt. Damit lassen sich dann Anforderungen zu Hardware und Software zuordnen. Begleitend werden mehrere Prozesse zur Analyse der Sicherheit des entwickelten Systems durchlaufen. Nach erfolgreicher Implementierung kann mit dem physikalischen System und den dokumentierten Ergebnissen der Sicherheitsanalysen eine Zulassung bei den zuständigen Behörden beantragt werden.

Die Entwicklung eines kognitiven Assistenzsystems lässt sich in diesen Systementwicklungsprozess entsprechend eingliedern. Auch hier wurden, wie oben beschrieben, durch Betrachtung des Gesamtsystems funktionale Anforderungen definiert und dem Assistenzsystem als Teilsystems zugeordnet. Die konventionelle Systemarchitektur wurde entsprechend erweitert (siehe Abb. 3). Die geforderten Sicherheitsanalysen verlangen nun eine Bewertung des neuen, um den kognitiven Agenten erweiterten Gesamtsystems. An dieser Stelle soll sich auf die Mensch-Maschine-Interaktionen und daraus resultierende Einflüsse auf die Systemsicherheit beschränkt werden.

In Abb. 6 sind die zu bewertenden Interaktionen farblich codiert dargestellt. Der schwarze Kontrollfluss zwischen menschlichem Bediener und Luftfahrzeug entspricht dem eines konventionellen Systemdesigns nach dem heutigen Stand der Technik. Für Systeme, welche für diese Interaktionen genutzt werden, kann somit in der Regel ein entsprechender Sicherheitsnachweis erbracht werden. Die grün gekennzeichneten Interaktionen dienen der Informationsaufnahme des kognitiven Agenten. Technisch betrachtet stellen

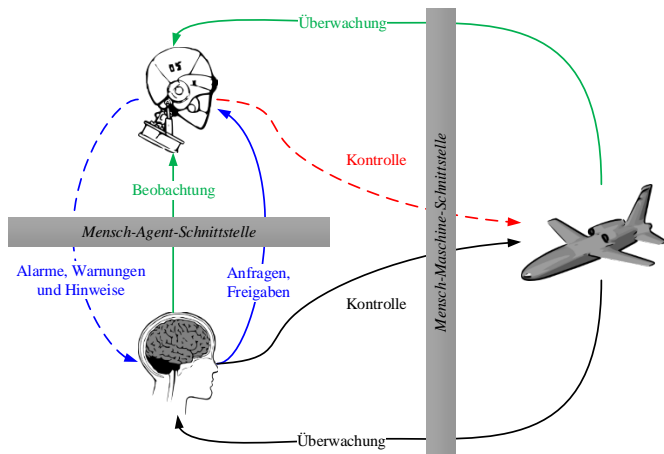


Abbildung 6: Bewertung von Interaktionen zwischen Mensch, Maschine und kognitivem Agenten: Stand der Technik (schwarz), nicht-invasiv (grün), Einfluss auf Operateur-Beanspruchung und Sicherheit (blau), sicherheitsrelevant (rot)

diese beiden Interaktionen einen lesenden und damit passiven Zugriff auf Informationen dar. Die vom Luftfahrzeug benötigten Daten wie Telemetrie und Systemzustand sind ohnehin verfügbar. Für einen Zugriff muss lediglich die MMS erweitert werden. Das Ziel der Beobachtung des Menschen durch den Agenten sind Informationen über dessen internen Zustand, also seine Beanspruchung, und seine Absicht. Eine derartige Interaktion kann immer dann als unproblematisch einzustufen werden, wenn sie nicht-invasiv erfolgt. Das bedeutet, sie soll durch den Menschen nahezu unbemerkt erfolgen, ohne ihn zu beeinflussen bzw. abzulenken. Eine Möglichkeit hierzu stellen Messungen der Blickbewegungen und der manuellen Interaktionen der Menschen mit der MMS dar. Anhand entsprechender Aufgabenmodelle kann damit auf den Beanspruchungszustand des Bedieners geschlossen werden, wie (Donath 2012) nachweisen konnte.

Hinsichtlich einer Sicherheitsbewertung des Agenten ist bei Analyse der direkten Kooperation zwischen Mensch und Agent festzustellen, dass die vom Agenten initiierten Alarmerungen, Warnungen und Hinweise zunächst keinen direkten Einfluss auf die Systemsicherheit des Luftfahrzeuges haben. Sie werden zunächst durch den Menschen geprüft. Wie oben beschrieben kann ihnen der Mensch selbst nachkommen oder er erteilt die Freigabe zur Ausführung. Aus Sicht der Zulassung war in jedem Fall der Mensch als verantwortliche Instanz involviert. Jedoch muss auch berücksichtigt werden, dass durch die Integration des Agenten die Komplexität des Systems, mit dem der Mensch interagiert, insgesamt steigt. Dies wird unabdingbar die Beanspruchung des Menschen beeinflussen. Eine positive und damit gewollte Beeinflussung geht einher mit dem Sinn und Zweck einer Integration des Assistenzsystems, wie eingangs beschrieben. Nicht auszuschließen sind jedoch potentiell negative Effekte wie blindes Vertrauen auf den Agenten. In Bezug auf eine Zulassung ist daher festzustellen, dass diese Auswirkungen, positiv wie negativ, zwar zu deklarieren, aber derzeit schwerlich zu quantifizieren sind.

Als sicherheitsrelevant ist in jedem Fall die Führung des Luftfahrzeuges durch den kognitiven Agenten selbst (roter Pfeil in Abb. 6) einzustufen. Allerdings ist im Rahmen einer

Sicherheitsbewertung hier zu unterscheiden, auf welcher Grundlage der Agent hier handelt. Zum einen kann dies durch Autorisierung des Menschen geschehen, indem gewisse Aufgaben delegiert wurden. Dieser Fall wird gemeinhin als rechtlich unbedenklich eingestuft, da der menschliche Bediener als verantwortliche Instanz involviert war und willentlich die Kontrolle an die Automation abgegeben hat. Die Interaktion ist vergleichbar mit der Bedienung eines herkömmlichen Autopiloten, wie er derzeit beispielsweise in Verkehrsflugzeugen verwendet wird. Zum anderen soll der Agent die Führung übernehmen, wenn die Datenverbindung zur Bodenstation nicht mehr besteht und der Mensch funktional ersetzt werden muss. Dieser Umstand ändert nichts an der Relevanz für die zu gewährleistende Systemsicherheit. Allerdings kann dieser Fall der Übernahme der Kontrolle durch den Agenten als Notfall- oder Reservesystem für das ausgefallene Primärsystem, nämlich der Führung des RPAS durch den Menschen mittels drahtloser Datenverbindung, betrachtet werden. Ein Nachweis der Sicherheit von Reservesystemen ist mit deutlich geringerem Aufwand zu erreichen als der für Primärsysteme, womit eine Nachweisführung für den kognitiven Agenten in Reichweite erscheint.

6. FAZIT

Es wurden wissensbasierte Verarbeitungsansätze zur autonomen Verhaltensentscheidung in sicherheitskritischen Systemen untersucht. Zur bestmöglichen Sicherstellung des Missionserfolgs kann ein kognitiver Agent an Bord des unbemannten Luftfahrzeuges einen Beitrag leisten. Die Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine bzw. Agent ist dabei sowohl durch den Menschen adaptierbar als auch adaptiv, d.h. Aufgabenübernahme durch Agent wenn nötig, wie beispielsweise bei Verlust der Datenverbindung notwendig. Der bislang realisierte Prototyp ermöglicht Empfehlungen an die Luftfahrtindustrie bezüglich künftiger Systementwicklungen mit dem Ziel der Zulassung für die uneingeschränkte Teilnahme am kontrollierten Luftverkehr.

Die erzielten Ergebnisse können weiterhin auf Forschungen zum sogenannten Ein-Mann-Cockpit der zivilen Luftfahrt transferiert werden, mit der Einschränkung, dass dann der menschliche Bediener nicht disloziert vom Agenten sondern ebenfalls vor Ort im Luftfahrzeug ist. Gleichmaßen werden jedoch grundsätzliche Fragestellungen der Interaktion eines einzelnen Bedieners mit einer komplex automatisierten Arbeitsumgebung in der Flugführung unter Zulassungsbedingungen untersucht. Vergleichbar mit dem Verlust der Datenverbindung ist hier beispielsweise der Ausfall des Piloten durch medizinische Notfälle, wofür ebenfalls Lösungen gefunden werden müssen. Auch hier kann ein kognitiver Agent an Bord des Luftfahrzeuges die Robustheit des Gesamtsystems steigern.

QUELLEN

- Abbott, T.S., 1993. *Functional Categories for Future Flight Deck Designs*, Langley Research Center Hampton, Virginia.
- Andre, A. & Degani, A., 1997. Do you know what mode you're in? An analysis of mode error in everyday

- things. In M. Mouloua & J. M. Koonce, eds. *Human-automation interaction: Research and practice*. Lawrence Erlbaum.
- Antoni, C., 2003. Teamarbeit. In A. E. Auhagen & H.-W. Bierhoff, eds. *Angewandte Sozialpsychologie*. Beltz Verlag.
- Billings, C.E., 1997. *Aviation Automation: The Search for a Human-Centered Approach*, Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Bradshaw, J.M., Feltoovich, P. & Johnson, M., 2011. Human-Agent Interaction. In G. A. Boy, ed. *The Handbook of Human-Machine Interaction: A Human-centered Design Approach*. Ashgate Publishing, Ltd.
- Brüggenwirth, S., 2014. *Entwicklung einer kognitiven Systemarchitektur mit zentraler Ontologie und spezifischen Algorithmen*. Universität der Bundeswehr München.
- Christoffersen, K. & Woods, D.D., 2002. How to Make Automated Systems Team Players. In E. Salas, ed. *Advances in Human Performance and Cognitive Engineering Research Volume 2*. Emerald Group Publishing Limited, pp. 1–12.
- Donath, D., 2012. *Verhaltensanalyse der Beanspruchung des Operateurs in der Multi-UAV-Führung*. Universität der Bundeswehr München.
- EASA, 2005. *Policy for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Certification Advance-Notice of Proposed Amendment (NPA) No 16/2005*.
- Fitts, P.M., 1951. *Human Engineering for an Effective Air-Navigation and Traffic-Control System*, Ohio.
- Hertel, G. & Konradt, U., 2007. *Telekooperation und virtuelle Teamarbeit*. M. Herczeg, ed., Oldenbourg.
- Hollnagel, E. & Woods, D., 2005. *Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering*, CRC Press.
- Klein, G. et al., 2004. Ten Challenges for Making Automation a “Team Player” in Joint Human-Agent Activity. *IEEE Intelligent Systems*, 19(6), pp.91–95.
- Loy, F., Wohler, M. & Schulte, A., 2014. Ein kognitiver Agent zur Kollisionsvermeidung bei UAS. In *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2014*. Augsburg.
- Mathieu, J.E. et al., 2000. The Influence of Shared Mental Models on Team Process and Performance. *Journal of Applied Psychology*, 85(2), pp.273–83.
- Miller, C.A. & Parasuraman, R., 2007. Designing for Flexible Interaction Between Humans and Automation: Delegation Interfaces for Supervisory Control. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 49(1), pp.57–75.
- NATO Standardization Agency, 2009. *STANAG 4671 - Unmanned Aerial Vehicle Systems Airworthiness Requirements (USAR) 1st ed.*,
- Norman, D.A., 1990. The “Problem” with Automation: Inappropriate Feedback and Interaction, not “Over-Automation.” *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 327(1241), pp.585–593.
- Onken, R. & Schulte, A., 2010. *System-Ergonomic Design of Cognitive Automation: Dual-mode Cognitive Design of Vehicle Guidance and Control Work Systems*, Berlin: Springer.
- Pecher, W., Brüggewirth, S. & Schulte, A., 2010. Using cognitive automation for aircraft general systems management. In *5th International Conference on System of Systems Engineering*. pp. 1–8.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A.M. & Goodstein, L.P., 1994. *Cognitive Systems Engineering*, Wiley.
- Rosenstiel, L. von, 2004. Kommunikation in Arbeitsgruppen. In H. Schuler, ed. *Lehrbuch Organisationspsychologie*. Verlag Hans Huber, pp. 387–414.
- Rosenstiel, L. von & Nerdinger, F.W., 2011. *Grundlagen der Organisationspsychologie 7th ed.*, Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Russell, S. & Norvig, P., 2010. *Artificial Intelligence: A Modern Approach 3rd ed.*, Prentice Hall.
- SAE, 2010. *ARP 4754A - Certification Considerations for Highly-Integrated or Complex Aircraft Systems*, SAE International, Warrendale, PA.
- SAE, 1996. *ARP 4761 - Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment on Civil Airborne Systems and Equipment*, SAE International, Warrendale, PA.
- Sarter, N.B. & Woods, D.D., 1995. How in the World Did We Ever Get into That Mode? Mode Error and Awareness in Supervisory Control. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), pp.5–19.
- Schulte, A., 2012. Kognitive und kooperative Automation zur Führung unbemannter Luftfahrzeuge. In 2. *Interdisziplinärer Workshop Kognitive Systeme: Mensch, Teams, Systeme und Automaten Verstehen, Beschreiben und Gestalten Kognitiver (Technischer) Systeme*. Duisburg, pp. 1–10.
- Sheridan, T.B., 1992. *Telerobotics, Automation and Human Supervisory Control*, MIT Press.
- Uhrmann, J., 2012. *Auftragsbasierte Multi-UAV-Führung aus dem Helikoptercockpit durch Kognitive Automation*. Universität der Bundeswehr München.
- Wiener, E.L., 1989. *Human Factors of Advanced Technology (“Glass Cockpit”) Transport Aircraft*, Ames Research Center Moffett Field, California.
- Wohler, M. & Schulte, A., 2014. Development of a Cognitive Airborne Assistant System for UAS Integration into Civil Airspace. In *31st EAAP Conference*. Valletta, Malta.
- Wohler, M. & Schulte, A., 2013. On Board Assistant System for UAS Integration into Civil Airspace. In *AIAA Infotech@Aerospace*. Boston.