

Auswirkungen von Multi-Sektor-Planung auf die Lotsen der Streckenflugkontrolle.¹

YORCK HAUB, NIELS STARK & KLAUS EYFERTH

Technische Universität Berlin, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme

Schlüsselwörter: data link, ATM, Automatisierung, Streckenflugkontrolle, Fluglotse, Multi-Sektor-Planer, 4D-FMS, situation awareness, picture, shared mental models

1. Einleitung

Die Kernaufgabe der Flugsicherung ist die Gewährleistung der Sicherheit und Pünktlichkeit des Flugverkehrs. Durch die stetige Zunahme des Flugverkehrs hat die Flugsicherung ihre Kapazitätsgrenze erreicht. Um dennoch eine hohe Sicherheit gewährleisten zu können, müssen die Fluglotsen das Kriterium der Pünktlichkeit zurück stellen. Ironischerweise hat der Versuch der Berücksichtigung des Kundenwunsches nach schnelleren und häufigeren Verbindungen dazu geführt, daß die Verspätungen in beträchtlichem Maße zugenommen haben. Die weitere Verfolgung der bisherigen Vorgehensweise, die Sektorgröße zu verringern, führt zu einer Vergrößerung des Koordinationsaufwands, die keinen Effizienzgewinn mehr erwarten läßt. Anfang der 80er Jahre haben die Mitgliedsstaaten der internationalen Organisation für zivile Luftfahrt dem langfristig angelegten Programm (FANS) für zukünftige Kommunikations-, Navigations- und Überwachungssysteme zugestimmt, das u. a. eine schrittweise Automatisierung der Flugsicherung vorsieht. FANS, heute CNS/ATM genannt, treibt die Einführung eines digitalen Datenkanals (Data Link) zwischen Flugverkehrskontrolle und Luftfahrzeugen voran.

Eine Kopplung der bord- und bodenseitigen Systeme erlaubt die Einführung neuer Luftverkehrsmanagementkonzepte, welche auch die Mensch-Maschine-Funktionsteilung verändern werden. Beispielsweise erlaubt Data Link die Integration von 4D-FMS Daten in die

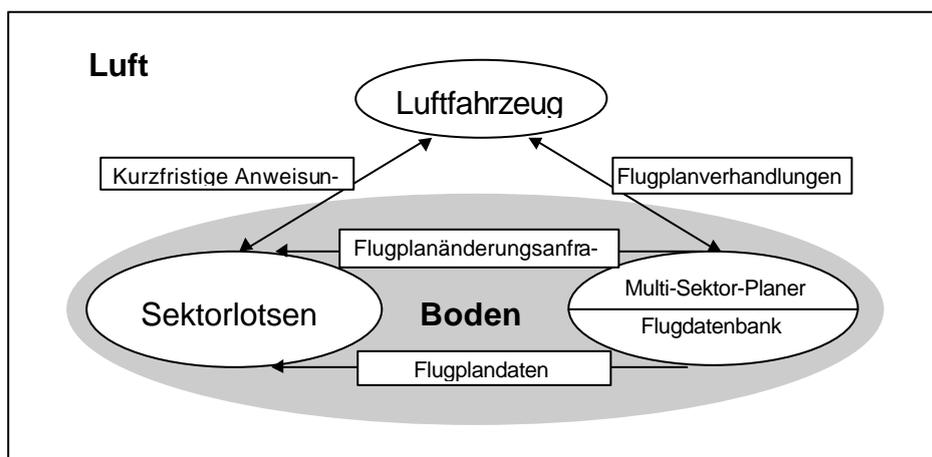
¹ Die hier vorgestellte Arbeit ist im Rahmen der von der DFG geförderten Forschergruppe "Mensch-Maschine Interaktion in kooperativen Systemen der Flugsicherung und Flugführung" (Fr 375/48-1) entstanden.

Flugsicherungssysteme. Erste Ansätze zur Erprobung dieser Technologie sehen eine Arbeitsteilung vor, die sich stark an der heutigen Situation orientiert. Untersuchungen von EUROCONTROL (1995, 1996) weisen darauf hin, daß die Integration, der neu geschaffenen Funktionalitäten in die vorhandenen Arbeitssysteme der Flugsicherung nicht unproblematisch ist. Zu den Problemen zählt neben der Notwendigkeit einer Umstrukturierung der Aufgaben innerhalb des Teams die Veränderung des Verhältnisses von Mensch und Maschine: Die Lotsen tendieren dazu, entweder systemgesteuert zu agieren oder die Rolle eines Systemüberwachers einzunehmen. Ihre Flexibilität mit unerwarteten Situationen zurechtzukommen geht verloren. Die Beanspruchung der Planungslotsen wird erhöht, während die Beanspruchung der Radarlotsen in Abhängigkeit von dem Anteil der Data Link-fähigen Luftfahrzeuge von Überforderung zu Unterforderung variiert (Wagner 1997).

2. Multi-Sektor-Planung

Ein alternatives Konzept, das die Integration von 4D-FMS Daten mittels Data Link in die bodengestützten Sicherungssysteme vorsieht, wird zur Zeit von der an der TU-Berlin ansässigen Forschergruppe "Mensch-Maschine-Interaktion in kooperativen Systemen der Flugsicherung und Flugführung" untersucht. Dieses Konzept sieht zusätzlich zur konventionellen sektorbezogenen taktischen Planungsinstanz, dem Koordinationslotsen, eine zeitlich vorgelagerte, sektorübergreifende, den Multi-Sektor-Planer, vor.

Kernstück des Multi-Sektor-Planungs-Konzeptes bildet der Multi-Sektor-Planer (vgl. Abbildung 1). Dieser optimiert mit Hilfe eines computergestützten Planungssystems den Sektorgrenzen hinweg für eine Anzahl von Sektoren. Ihm steht zur Kommunikation mit den Sektorlotsen und den Luftfahrzeugen ein digitaler Data Link zur Verfügung. Mit Hilfe dieses Kommunikationskanals werden bordseitige Informationen des FMS auch am Boden verfügbar. Dies erlaubt es dem Multi-Sektor-Planer, auf genaue und aktuelle Flugplandaten zu zugreifen, automatisiert Planungskonflikte zu entdecken und diese in teilautomatisierten Bord/Boden und Boden/Boden-Flugplanverhandlungen über Data



Link im Vorfeld zu lösen.

Abbildung 1: Kommunikation im Multi-Sektor-Planungs-Konzept

Die Auswirkungen der Nutzung des Mediums Data Link auf die Operateure sowie die Effizienz der Systeme wurde in zahlreichen Studien bord- und bodenseitig bereits untersucht (Kerns 1994). Auch Gestaltungsempfehlungen für Data Link Systeme auf Basis von empirischen Untersuchungen liegen vor (SAE 1994). Neuartig an der Kommunikation in dem zu untersuchenden Konzept ist, daß ein Luftfahrzeug zu einem Zeitpunkt zwei potentielle Kommunikationspartner, den Multi-Sektor-Planer sowie den Radarlotsen, hat. Die fehlende Eindeutigkeit des Kommunikationspartners erforderte die Entwicklung neuer Kommunikationsprozeduren, die die Konsistenz der erteilten Anweisungen gewährleisten und die Verantwortlichkeit klar zuordnen. Beim Erstellen eines Konzeptes wurden zu einem ersten ingenieurwissenschaftlichen Entwurf Alternativen konzipiert und in interdisziplinärer Diskussion unter Einbeziehung von Expertenurteilen Festlegungen getroffen. Dabei wurde eine Reihe von empirisch zu untersuchenden Systemauslegungsvarianten ausgewählt. Um die Konsistenz der Kommunikation sicherzustellen, sieht das Konzept vor, zwei unterschiedliche Kategorien von Kommunikation zu unterscheiden: längerfristige Flugplanverhandlungen und kurzfristige Anweisungen. Der jeweilige Kommunikationspartner wird durch den Typ der Kommunikation determiniert. Flugplanverhandlungen werden zwischen Luftfahrzeug und Multi-Sektor-Planer geführt, kurzfristige Anweisungen bzw. Anfragen erfolgen hingegen zwischen dem Luftfahrzeug und dem das Luftfahrzeug kontrollierenden Sektorlotsen. Die Verantwortung für eine Handlung wird dabei immer derjenigen Instanz zugewiesen, von der erwartet wird, daß sie zu dem jeweiligen Zeitpunkt das größte situationsbezogene Wissen besitzt. Jede Aktion, die durch eine Instanz zu verantworten ist, muß entweder durch diese Instanz selbst initiiert sein oder von ihr bewilligt werden.

3. Theoretisches Rahmenkonzept

Die Tatsache, daß ein Operateur Verantwortung für seine Handlungen zu übernehmen hat, setzt voraus, daß er eine genaue Kenntnis seiner Aufgabenumgebung besitzt. In der Literatur wird diese Kenntnis unter dem Begriff *situation awareness* diskutiert und findet sich in unterschiedlichen Definitionen wieder. Eine Definition von *situation awareness* ist "die Wahrnehmung von Elementen in der Umwelt innerhalb von Zeit und Raum, das Verständnis von ihrer Bedeutung, und die Projektion ihres Zustandes in die nahe Zukunft" (Endsley 1996). Dieser Vorstellung liegt ein dreistufiges Modell zugrunde, auf dessen erster Stufe die Wahrnehmung der Situation, auf der zweiten Stufe das Verständnis der Situation und auf der dritten Stufe die Projektion dieser Situation in die Zukunft erfolgt. Mogford (1997) weist darauf hin, daß das Konstrukt im Sinne einer inhaltlichen Abgrenzung vom Begriff der mentalen Modelle nicht die Prozesse, die dem Bilden der einzelnen Ebenen zugrunde liegen, einschließt, sondern sich auf das situationsbezogene Wissen beschränkt. Fluglotsen berichten, daß sie ein mentales Bild (engl. *picture*) der Luftfahrzeuge im Luftraum kreieren, das ihnen bei der Arbeit behilflich ist (Whitfield & Jackson 1982). Das *picture* wird als Konzept einer globalen, mentalen Repräsentation der gegenwärtigen und zukünftigen Verkehrssituation verstanden. Im Kontext der Flugsicherungsdomäne wird es häufig synonym *situation awareness* verwendet.

Ein Verlust der *situation awareness* hat zur Folge, daß der Operateur eine falsche oder unvollständige Repräsentation der Umwelt als Grundlage seines Handelns benutzt. Daraus "out-of-the-loop" gerät und seine Fähigkeit, in einer unvorhergesehenen Situationen adäquat eingreifen zu können, herabgesetzt wird. Die Verringerung der *situation awareness* der Operateure steht in einem automatisierten System mit den folgenden Faktoren in direkter Verbindung (Endsley 1997). Die Vigilanz der Operateure verringert sich mit größer werdenden Anteilen von Überwachung an der Gesamtaufgabe. Die passive Verarbeitung von Information, die durch automatisierte Systeme hervorgerufen werden kann, erschwert im Vergleich zur aktiven manuellen Verarbeitung die dynamische Aktualisierung und Integration von Informationen. Dies kann durch die Veränderung der Gestalt oder den Verlust der Rückkopplung des Systems hervorgerufen werden. Glaube und großes Vertrauen in Automatisierung führt zu Selbstzufriedenheit (engl. *complacency*) der Operateure, die basierend auf der unbegründeten Annahme eines zufriedenstellenden Zustands des Systems, die Vigilanz des Operateurs herabsetzt (vgl. Parasuraman et al. 1993). Auch ein fehlendes Vertrauen in die Automatisierung kann die *situation awareness* herabsetzen. Beispielsweise führt ein häufig auftretender falscher Alarm zu einer Vernachlässigung von tatsächlichen Problemfällen.

An einem Arbeitsplatz der Streckenflugkontrolle arbeiten heute zwei Lotsen, Radarlotse und Koordinationslotse. Als Rahmen zur Untersuchung von Teamarbeit werden in der *human factors* Literatur die Konzepte der *shared mental models* und der *team situation awareness* diskutiert. Nach der Theorie der *shared mental models* (Orasanu 1990, Orasanu & Salas 1993) hängt die Koordination der Handlungen der Teammitglieder und ihre Anpassungsfähigkeit an neue Situationen von ihrer Fähigkeit ab, gemeinsame mentale Modelle der Situation zu entwickeln. Das gemeinsame mentale Modell ermöglicht einem Team, als Einheit zu agieren, ohne hierzu zu verhandeln oder zu diskutieren. Die Notwendigkeit eines konstanten Informationsaustausches wird durch gemeinsame mentale Modelle vermieden und auf Aktualisierungen von Veränderungen oder Abweichungen von gemeinsamen Annahmen reduziert.

Team situation awareness kann als der Grad begriffen werden, zu dem jedes Teammitglied die *situation awareness* besitzt, die für die Ausübung seiner Verantwortlichkeit erforderlich ist (Endsley 1995). Die notwendige Informationsübertragung, der Prozeß, um die erforderliche *situation awareness* zu erlangen, kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Beispielsweise ist ein verbaler Austausch oder eine separate Aufnahme von Daten aus der Aufgabenumgebung jedes einzelnen Teammitgliedes möglich. Die höheren Ebenen der *situation awareness* (d.h. Verständnis und Antizipation einer Situation), die nicht explizit aus der Aufgabenumgebung aufgenommen werden können, werden entweder kommuniziert oder im Fall, daß die Teammitglieder ein gemeinsames mentales Modell besitzen, auch ohne Kommunikation hergestellt. Zur Messung von *team situation awareness* entwickelte Methoden sind bisher rar (Kaber & Endsley 1998). Boudes & Cellier (1998) untersuchten das *picture* der Streckenfluglotsen und beobachteten Unterschiede im Antizipationsverhalten von Radar- und Koordinationslotse. Es werden erste Hinweise auf Spezifika der dritten Ebene ihrer *team situation awareness* gegeben. Eigene Resultate (Eyferth & Jungermann 1998), die belegen, daß die Kenntnis der aktuellen Arbeitssituation des Radarlotsen für den Koordinationslotsen von grundlegender Bedeutung ist und umgekehrt die Kenntnis der

aktuellen Arbeitssituation des Koordinationslotsen von geringer Relevanz für den Radarlotsen ist, werden dadurch bestätigt.

4. Erwartete Folgen und Fragestellungen

Die bisherige Mensch-Maschine-Funktionsteilung im Streckenlotsenteam verändert sich wesentlich durch die Einführung der neuen Instanz des Multi-Sektor-Planers. Viele der bisherigen Aufgaben des Koordinationslotsen entfallen. Aufgaben des Radarlotsen werden modifiziert. Die Veränderungen der Aufgaben des Koordinationslotsen legen die Frage nahe, ob er durch die neue Situation unterfordert wird, oder ob sie ihm eine verstärkte Unterstützung des Radarlotsen bei der Einhaltung der Separation der Luftfahrzeuge ermöglicht. Ergebnisse einer Voruntersuchung deuten darauf hin, daß die dazu notwendige Bereitschaft zur Aufgabenübertragung bei asymmetrischer Arbeitsbelastung im Team vorhanden ist. Aufgaben werden innerhalb des Teams flexibel zugewiesen, wenn die Verteilung der Arbeitslast dies ermöglicht. Während erste Untersuchungen die Frage in den Vordergrund stellen, in welchem Umfang die Unterstützungsaufgabe des Koordinationslotsen unter den veränderten Bedingungen geleistet werden kann, sind weitere Untersuchungen mit dem Ziel, die Rolle der Operateure im neu definierten Arbeitssystem festlegen zu können, geplant. Dabei ist die Anzahl der von einem Multi-Sektor-Planer überwachten Sektoren, deren Größe sowie die Anzahl der Lotsen an einem Sektorlotsenarbeitsplatz festzulegen.

Das vorgestellte Multi-Sektor-Planungs-Konzept führt möglicherweise zu einer Verringerung der Häufigkeit der Eingriffsnotwendigkeit des Radarlotsen. Dies führt dazu, daß seine Aufgabe vermehrt überwachende Anteile enthält. Die Untersuchungsergebnisse der eingangs erwähnten Studien (EUROCONTROL 1995, 1996) lassen es als möglich erscheinen, daß eine die Anzahl der Konflikte reduzierende Vorstrukturierung des Verkehrs durch den Multi-Sektor-Planer die Gefahr für den Radarlotsen birgt, kein vollständiges mentales *picture* mehr bilden zu können. Darüber hinaus wird untersucht werden, unter welchen Bedingungen der Radarlotse noch in der Lage ist, die Verantwortung für einen Sektor zu übernehmen. Besonders soll untersucht werden, ob eine zusätzliche Unterstützung oder die Übernahme der Aufgaben des Koordinationslotsen es verhindern können, daß die *situation awareness* des Radarlotsen absinkt.

5. Methodik

Die Untersuchungen sind als vergleichende Simulationsexperimente angelegt. Als Bezugszenario dient der Ist - Zustand der deutschen Flugsicherung. Im folgenden Szenario wird der Verkehrsfluß durch einen Multi-Sektor-Planer gesteuert und Flugplanverhandlungen über Data Link realisiert. Schließlich wird zusätzlich das Kommunikationsmedium für kurzfristige Anweisungen und Anfragen von Sprechfunk auf Data Link umgestellt. Innerhalb dieser drei Szenarien werden Variationen untersucht, die alternative Gestaltungen des Betriebskonzeptes und der Schnittstelle des Lotsenarbeitsplatzes vorsehen.

Im Rahmen der Forschergruppe wird ein gemeinsames Simulationssystem für bord- und bodenseitige Experimente entwickelt. Das Experimentalsystem besteht aus einer Verkehrssimulation, zwei Flugsimulatoren A330/A340 und DC9, die über ein sogenanntes DIS

- Protokoll und eine Data Link Simulation die Verbindung zu einem Multi-Sektor-Planer-Arbeitsplatz und einem Sektorlotsenarbeitsplatz herstellen (s.a. Schumann & Kulesa, 1997). Darüber hinaus existieren Arbeitsplätze für Geisterlotse und Geisterpilot. Bei der Gestaltung des Experimentalsystems wird nach einem parallel-iterativen Konzept vorgegangen, bei dem Tätigkeiten und Arbeitsstrukturen parallel zum technischen System entworfen und iterativ durch Untersuchungen mit Operateuren (Fluglotsen und Piloten) weiterentwickelt werden (Giesa & Schumann, 1998).

Als Bewertungsdimensionen werden *usability*, *situation awareness*, Performanz sowie Beanspruchung erfaßt. In der ersten Phase der Systementwicklung werden mehrstufige *usability*-Studien zur Schnittstellenoptimierung durchgeführt, um den Einfluß einer Schnittstellengestaltung als Störfaktor bei den experimentellen Untersuchungen zu minimieren. Hierzu werden die entsprechenden Schnittstellen mittels Rapid Prototyping erstellt und im Simulationssystem mit Operateuren erprobt. Ein gebräuchlicher Ansatz, um menschliche Informationsverarbeitung in der Flugverkehrskontrolle zu untersuchen, basiert auf dem Wiederaufrufen der Gedächtnisinhalte der Radarschirminformationen durch den Operateur (z.B. Bisseret 1971, Eyferth et al. 1995). Obgleich diese Studien sich nicht auf *situation awareness* fokussierten, basieren auch viele der gegenwärtigen Verfahren um *situation awareness* einzuschätzen, auf Fragen, die vom Teilnehmer verlangen, Gedächtnisinformationen offenzulegen. Ein bewährtes Verfahren, ist es eine laufende Verkehrssimulation einzufrieren (z.B. Endsley & Kiris 1995) und das situationsbezogene Wissen des Operateurs zu prüfen. Je nach Einsatz der dabei angewendeten Befragungsverfahren, z.B. Antizipationstest oder Informationsreproduktionstests, können einzelne Ebenen der *situation awareness* erfaßt werden. Die Performanz wird über die Erfassung von akkumulierten Verspätungszeiten des simulierten Verkehrs erhoben. Die Beanspruchung der Lotsen wird Rating-Verfahren NASA TLX erfaßt.

6. Stand der Arbeiten und Ausblick

In der ersten Phase des Projektes wurde das Simulationssystem implementiert und dessen Gebrauchstauglichkeit in ersten *usability*-Studien durch die Einbeziehung von Operateuren sichergestellt. In der zweiten Phase erfolgen die experimentellen Untersuchungen.

7. Literatur

- Bisseret, A. (1971). Analysis of Mental Processes Involved in Air Traffic Control. *Ergonomics* 14(5), 565 –570.
- Boudes, N. & Cellier, J.-M. (1998). Étude du champs d'anticipation dans le controle du trafic aérien. *Le travail humain* 61 (1), 29-50.
- Endsley, M.R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors* 37(1), 32-64.
- Endsley, M.R. & Kiris, E.O. (1995). *Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) TRACON Air Traffic Control Version User Guide*. Lubbock, TX: Texas Tech University.
- Endsley, M.R. (1996). Automation and Situation Awareness. In: R. Parasuraman & M. Mouloua (Hrsg.), *Automation and Human Performance*, 163-181. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Endsley, M.R. (1997). *Automation, Situation Awareness and Free Flight*. [WWW-Dokument] URL <http://atm-seminar-97.eurocontrol.fr/endsley.htm>
- EUROCONTROL. (1995). *Integrating FMS Data into Air Traffic Control. A Prototyping Exercise Exploring the Operational Consequences and Effects on Controller Roles*. EEC Note No 28/95. Bretigny: EUROCONTROL Experimental Center.
- EUROCONTROL. (1996). *PD/1 Final Report*. Bruxelles: EUROCONTROL.
- Eyferth, K., Bierwagen, T. & Helbing, H. (1995). Mentale Informationsverarbeitung von Fluglotsen, In H.-P. Willumeit & H. Kolrep (Hrsg.), *Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen – 1. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme*, 113-118. Berlin: TU-Berlin.
- Eyferth, K. & Jungermann, H. (1998). *Mensch-Maschine-Interaktion in kooperativen Systemen der Flugsicherung und Flugführung – Einfluß von Automatisierung auf die Repräsentation des Flugverkehrs durch Fluglotsen*. Zwischenbericht an die DFG.
- Giesa, H.-G. & Schumann, J. (1998). Zum Einfluß von Automatisierung und Assistenz in Flugsicherung und Flugführung. In: H.-P. Willumeit & H. Kolrep (Hrsg.) *h- ren Unterstützungssysteme?*. Sinzheim: Pro Universitate. 46-55.
- Kaber, D.A. & Endsley M.R. (1998). Team Situation Awareness for Process Control Safety and Performance. *Process Safety Progress* 17 (1), 43-48.
- Kerns, K. (1994). *Human Factors in ATC/Flight Deck Integration Implications of Data Link Simulation Research*. McLean, VA: The MITRE Corporation.
- Mogford, R.A. (1997). Mental Models and Situation Awareness in Air Traffic Control. *The International Journal Of Aviation Psychology* 7(4), 331-341.

- Orasanu J. & Salas, E. (1993). Team decision making in complex environments. In G.A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood & C.E. Zsombok (Eds.) *Decision Making in Action: Models and Methods*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Orasanu, J. (1990). *Shared mental models and crew decision making* (Tech. Rep. No. 46). Princeton, NJ: Princeton University, Cognitive Sciences Laboratory.
- Parasuraman, R., Molloy, R., & Singh, I.L. (1993). Performance consequences of automation - induced "complacency". *International Journal of Aviation Psychology*, 3, 1-24.
- SAE (1994). *Human Engineering Recommendations for Data Link Systems*. Warrendale: Society of Automotive Engineers.
- Schumann, J. & Kulesa, M. (1997). Ein interdisziplinäres Konzept zur Untersuchung des Einflusses von Automatisierung auf die Mensch-Maschine-Interaktion in Flugsicherung und Flugführung. In: K.-P. Gärtner (Hrsg.), *Menschliche Zuverlässigkeit, Beanspruchung und benutzerzentrierte Automatisierung*, (DGLR-Bericht 97-02), 29-40. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt.
- Wagner, E. (1997). Neue Rollen. *Transmission*, 6/97, 18.
- Whitfield, D. & Jackson, A. (1982). The Air Traffic Controller's Picture As an Example of Mental Model. In: G. Johannsen & J.E. Rijnsdorp (Eds.), *Proceedings of the IFAC Conference on Analysis, Design and, Evaluation of Man-Machine Systems*, 45-52. London, Pergamon Press.