

Mensch-Maschine-Interaktion auf der Schiffsbrücke

Auszüge aus einem Artikel von Gauss, B. und Kersandt, D. in : Karrer, K.; Gauss, B.; Steffens, C. (Herausgeber) :Beiträge zur Mensch-Maschine-Systemtechnik aus Forschung und Praxis.-Symposium Publishing GmbH Düsseldorf, 2005; ergänzt durch neue Ergebnisse einer zweiten Expertenbefragung

Boris Gauss und Diethard Kersandt

Zusammenfassung

Die Mensch-Maschine-Systemtechnik kann bei der Entwicklung und Gestaltung von nautischen Unterstützungssystemen eine wichtige Rolle spielen, um Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Schiffsführung zu erhöhen. Allerdings wird der menschliche Faktor in der Seefahrt derzeit noch zu wenig berücksichtigt. Dieser Beitrag liefert eine überblickartige Einführung in das Thema der Mensch-Maschine-Interaktion auf der Schiffsbrücke. Nach einer kurzen Beschreibung der Schiffsführungsaufgabe wird die Veränderung der Aufgaben auf der Schiffsbrücke durch die Einführung moderner, computerbasierter Systeme erörtert. Anschließend wird mit dem *Navigational Risk Detection and Assessment System* (NARIDAS) ein neuartiges Unterstützungssystem für die Schiffsführung vorgestellt, das auf einem aufgabenorientierten Ansatz basiert.

Neue Technologien in der Seefahrt

In den letzten fünfzig Jahren haben technologische Innovationen zu weitreichenden Veränderungen der Rollen und Aufgaben der Menschen in der Seefahrt geführt. Beispielsweise hat die Einführung von Containern die Gestaltung von Frachtschiffen und die mit dem Transport- und Umschlagprozess verbundenen Vorgänge revolutioniert. Auch die Schiffsführung und die Mensch-Maschine-Interaktion auf der Brücke, der sich dieser Beitrag widmet, hat sich durch neue Technologien stark gewandelt. Mit der Entwicklung des Radars im Zweiten Weltkrieg und seiner Einführung in den zivilen Bereich Anfang der 1950er Jahre beginnt das Zeitalter elektronischer Navigationshilfen. Mittlerweile sind moderne Schiffsbrücken mit einer Vielzahl computerbasierter Unterstützungssysteme ausgestattet.

Die Verbesserung von Wirtschaftlichkeit und Sicherheit des Schiffsbetriebes ist das Ziel eines jeden Reeders für sein Unternehmen im weltweiten Wettbewerb. Ein wichtiges Motiv für die Einführung automatisierter Systeme liegt deshalb in der Verminderung der Besatzungsstärke und der damit verbundenen Verringerung der Personalkosten. Die durchschnittliche Besatzungsstärke moderner Handelsschiffe ist durch Automatisierung in den letzten Jahren von 30-40 auf 15-21 Seeleute gefallen (Lee & Sanquist, 1996). Allerdings ist die Verringerung der Besatzung nicht unumstritten, da zu befürchten ist, dass eine auf ein Minimum reduzierte Besatzung im Normalfall ausreicht, jedoch in Notfällen überfordert ist. So wird Automatisierung in der Schiffsführung (z.B. im Zusammenhang mit dem „Ein-Mann-Wachdienst“) häufig mit einer Erhöhung der Arbeitsbelastung für die verbliebenen Crewmitglieder in Verbindung gebracht (Moreton, 2000, Lützhöft, 2004). Auch konnte der enorme technologische Fortschritt noch nicht zu einer entscheidenden Reduzierung der Seeunfälle beitragen. Nach wie vor gilt die Seefahrt als Hochrisikosystem; immer wieder kommen Schiffsunglücke mit katastrophalen Auswirkungen für Mensch und Umwelt in die Schlagzeilen.

Obwohl die zentrale Bedeutung der Menschen auf der Brücke als letzter verantwortlicher Instanz bei der Schiffsführung seit längerem von Klassifizierungsgesellschaften, Versicherungen, Berufsverbänden und Wissenschaft grundsätzlich anerkannt wird – beispielsweise läuft derzeit eine mehrjährige Initiative des *Nautical Institute* und der *Lloyd's Register Group* zum ‚Human Element‘

(www.he-alert.org) – wird immer wieder auf die Vernachlässigung der menschlichen Seite bei der Entwicklung technischer Systeme für die Schiffsführung verwiesen. Im Gegensatz zu vergleichbaren Branchen (z.B. Luftfahrt, Straßenverkehr) findet die Mensch-Maschine-Interaktion in der Seefahrt bei der Entwicklung und Gestaltung neuer elektronischer Systeme noch wenig Beachtung. Die technikzentrierte Entwicklung maritimer Computersysteme kann – wie in anderen Bereichen – als Ursache für eine Reihe von Problemen angesehen werden. Beispielsweise wird häufig auf die unzureichende Gebrauchstauglichkeit der Benutzungsschnittstellen hingewiesen (‘Ein ergonomischer Alptraum’, Alert!, 2004). Auch in einer eigenen, nicht-repräsentativen Untersuchung im Rahmen einer Diplomarbeit zeigte eine kleine Stichprobe von nautischen Experten grundsätzlich eine skeptische Einstellung gegenüber dem verstärkten Einsatz von Computern in der Seefahrt (Loth, 2005). Diese Skepsis dürfte nicht zuletzt auf negative Erfahrungen mit vorhandenen maritimen Softwaresystemen zurückzuführen sein.

Von einer aufgabenorientierten Gestaltung der technischen Systeme durch einen parallel-iterativen Ansatz (Timpe & Kolrep, 2002) mit der systematischen Einbeziehung der späteren Nutzer in den Entwicklungsprozess wäre eine Verbesserung der Verlässlichkeit der Schiffsführung zu erwarten. Die stärkere Berücksichtigung der Mensch-Maschine-Interaktion kann einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit in der Seefahrt leisten.

Schiffsführung – eine Definition

Ziel der nautischen Schiffsführung ist die sichere und wirtschaftliche Steuerung der Bewegung des Schiffes vom Ausgangs- zum Zielhafen. Der Steuerungsprozess erfolgt unter umgebungs- und funktionsbedingten Anforderungen während einer vorgegebenen Zeitdauer und in einem vorgegebenen Raum. Wichtige Einflussfaktoren sind die technischen Charakteristika der Arbeitsmittel und die psychischen und physischen Eigenschaften der menschlichen Arbeitskraft.



Wichtige Einflussfaktoren (Beispiele) auf das Verhalten des Menschen beim der Schiffsführung (nach Moreton, 2000; IMO = International Maritime Organisation; ILO = International Labour Organisation)

Bei der Schiffsführung handelt es sich um eine hoch komplexe und dynamische Aufgabe. Die Verlässlichkeit (d.h. anforderungsgerechte Zielerreichung; Giesa, 2003) der Schiffsführung

erfordert das erfolgreiche Zusammenwirken aller beteiligten Subsysteme (Individuen, Gruppen, Organisationen, Organisationsumwelt und Technik). Der beispielhafte Überblick in Abb. 1 vermittelt einen Eindruck von der Vielzahl unterschiedlicher Faktoren, die den Schiffsführungsprozess beeinflussen können (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

Aufgaben der Menschen auf der Schiffsbrücke

Die Hauptaufgaben des Kapitäns bzw. Wachoffiziers lassen sich wie folgt definieren:

<i>Planung:</i>	Erarbeitung des Reiseplanes unter Berücksichtigung der Besonderheiten des zu führenden Schiffes, der Leistungseigenschaften der Besatzung, den Eigenschaften der Ladung, des Zustandes der Umwelt und der finanziellen und zeitlichen Zielstellung.
<i>Kommunikation:</i>	Situationsspezifischer und aufgabenabhängiger Informationsaustausch zwischen den organisationalen Teilsystemen sowohl intern (Eigenschiff) als auch extern (Umgebung).
<i>Management:</i>	Überwachungs-, Kontroll- und Steuerungsoperationen unter Verwendung von Risikoabschätzungsverfahren für den Soll- / Ist-Vergleich als kontinuierlicher Abgleich für die Erreichung der Ziele des Reiseplanes.
<i>Navigation / Nautik:</i>	Kontinuierliche oder diskrete Überwachung des geplanten Schiffsweges, der Verkehrslage und der Umwelt.

Der nautische Schiffsführungsprozess kann in die folgenden Teilprozesse gegliedert werden (Kersandt, 2004):

- *Kollisionsverhütung:* andere Fahrzeuge und Anlagen sicher passieren
- *Bahnführung:* Bahn einhalten und Manöverraum einplanen
- *Umwelt:* die meteorologischen und hydrologischen Bedingungen berücksichtigen
- *Mensch:* die Leistungseigenschaften des Menschen berücksichtigen
- *Verkehrslage:* Art und Dichte des Verkehrs einkalkulieren
- *Ökonomie:* die wirtschaftlichen Kriterien der Reise erfüllen
- *Geschwindigkeit:* die Geschwindigkeit den natürlichen Bedingungen anpassen
- *Verfügbarkeit:* den Zustand der Antriebs- und Steueranlagen in Erwägung ziehen.

Diese Teilprozesse der Schiffsführung erfordern Überwachungs-, Kontroll- und Steuerungstätigkeiten. Kognitive Prozesse und die mentale Beanspruchung der Brückenbesatzung spielen bei der Erledigung dieser Aufgaben eine zentrale Rolle. In Anlehnung an Timpe und Kolrep (2002) zeigt Tab. 1 eine kurze Charakterisierung und Beispiele für die wichtigsten kognitiven Prozesse bei Schiffsführungsaufgabe. Die adäquate Wahrnehmung und Bewertung der Situation (*'Situation Awareness'*) bildet die Grundlage für die Entscheidungen und Handlungen des Schiffsführungspersonals und eine Voraussetzung für die sichere und wirtschaftliche Führung des Schiffes durch den Kapitän bzw. Wachoffizier. Daher kommt der Beobachtungstätigkeit bei der Schiffsführung eine besondere Bedeutung zu.

Carstensen und Nielsen (1997) schlagen für die Tätigkeit der Beobachtung eine Unterteilung in Überprüfen (*'Evaluation'*) und Überwachen (*'Monitoring'*) vor. Überprüfen ist eine gezielte Beobachtung, die dazu dient, die Auswirkungen einer bestimmten eigenen Handlung zu

kontrollieren. Im Gegensatz dazu ist Überwachen nicht mit einer bestimmten vorangegangenen Handlung verknüpft, sondern bezeichnet die grundsätzliche Wachsamkeit in dieser dynamischen Arbeitsumgebung. Seeleute sind sich stets bewusst, dass sich die Bedingungen in ihrem Arbeitsumfeld rasch und ohne Vorwarnung ändern können.

Kognitive Prozesse	Beispiel, Kurzcharakteristik
Situationswahrnehmung	Umfasst die (oft über technische Geräte vermittelten) Zustände des Schiffsführungssystems und der Umwelt (z.B. die Lage von Fahrzeugen zum eigenen Schiff bei Begegnungssituationen), bezogen auf das mentale Modell des Wachoffiziers, in der Regel bereits mit einer Lagebewertung gekoppelt.
Bewertung	Beurteilungen von Zielen und Handlungen, gemessen am eigenen mentalen Modell über den Sollzustand (im Idealfall ist das mentale Modell mit der „guten Seemannschaft“ identisch)
Entscheiden	Auswahl einer selbst erarbeiteten oder angebotenen Lösung bei Vorhandensein mehrerer Alternativen bzw. Beibehaltung der aktuellen Lösung (z.B. Kurs- und / oder Geschwindigkeitsänderung)
Problemlösen	Beseitigung des unerwünschten (weil sicherheitsgefährdenden) Ist-Zustands in den gewünschten Sollzustand (Ziel) mit akzeptablem Risiko
Antizipation	Gedankliche Vorwegnahme zukünftiger Prozesszustände (z.B. des geplanten Passierabstands im Moment der weiteren Annäherung bis zum Passieren)
Lernen	Herausbildung neuer Erkenntnisse, Korrektur bisher ausgeübter Verhaltensweisen, Erfahrungen
Sensomotorische Regelung, diskrete Prozesseingriffe	Soll-Ist-Vergleich zwischen Prozessparametern (z.B. Höhe des aktuellen mit dem geplanten Risiko, Kurs, Fahrt, Zeitplan, Kosten), manuelle Regelung von Abweichungen (z.B. Kurskorrektur, Fahrkorrektur)

Kognitive Prozesse bei der Schiffsführungsaufgabe

Die Schiffsführung kann als ein ‚naturalistischer‘ Entscheidungsprozess (Klein et al., 1993) beschrieben werden: Die Situationswahrnehmung führt zu einer mentalen Repräsentation der durch dynamische und komplexe Zustandsänderungen stets neu entstehenden, örtlich und zeitlich bestimmten Situationen. Bei der Situationsbewertung wird die mentale Repräsentation der Situation mit dem mentalen Modell über Sicherheit, Risiko und Gefahr verglichen. Übersteigt beispielsweise die Höhe der wahrgenommenen Gefahr der Situation die Höhe der ‚akzeptablen‘ Gefahr im mentalen Modell werden Entscheidungs- und Handlungsprozesse initiiert.

Häufig aber verschwimmen für die Schiffsführenden die Grenzen zwischen den Zuständen ‚stabil‘ und ‚instabil‘, ‚sicher‘ und ‚unsicher‘, ‚keine Gefahr‘ und ‚Gefahr‘, so dass potenzielle Gefahren schwer, zu spät oder gar nicht erkennbar sind, in ihren interaktiven und dynamischen Wirkungen nicht überschaut werden und prophylaktische Maßnahmen zur Gefahrenabwehr nicht rechtzeitig ergriffen werden. Eine besondere Schwierigkeit der Schiffsführung als komplexem und dynamischen Prozess besteht darin, dass zwar die Ereignisse in einem einzelnen Element der Aufgabenumgebung noch deterministisch zu beschreiben, zu messen und relativ leicht zu erkennen sind, der Prozess durch interaktive Beziehungen jedoch stochastischen Charakter erhält und durch die Möglichkeit einer ‚kombinatorischen Explosion‘ eine außerordentlich schwer übersehbare Menge möglicher Zustände annehmen kann.

Entscheidungsvorgänge des erfahrenen Nautikers beruhen darauf, Interaktionen zwischen den Elementen zu erkennen und ihre Folgen möglichst vorausschauend abzuschätzen. Dies stellt außerordentlich hohe Anforderungen sowohl an die Qualität und Quantität der von den unterschiedlichen technischen Systemen und Geräten angebotenen oder von den Menschen direkt aufgenommenen Informationen als auch an das kognitive Leistungsvermögen der Menschen. Störungen in diesen Bereichen bilden den Hintergrund für menschliche Fehlhandlungen.

Gestaltung und Instrumentierung der Brücke

Entsprechend den oben genannten Aufgaben soll die Gestaltung und Instrumentierung der Brücke ermöglichen, den Zustand der Situation in der Arbeitsumgebung zu beobachten und mit der Arbeitsumgebung – d.h. dem Eigenschiff (Maschinen, Ruder, usw.), anderen Schiffen, Schleppern, Verkehrsdiensten, usw. – zu interagieren.



Moderne Schiffsbrücke (ATLAS, 2000)

Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt einer modernen Schiffsbrücke. Im folgenden werden die wichtigsten Instrumente und Merkmale einer Brücke kurz beschrieben:

- Das *Radar* bietet eine Abbildung der Umgebung mit anderen Schiffen, Tonnen und der Küstenlinien. Ein Problem besteht darin, dass Radarsignale auch von Wasser reflektiert werden, d.h. das Radarbild kann durch Regen, Schnee oder Wellen gestört werden (*Radar Clutter*), kleinere Schiffe können bei schwerem Seegang vom Bildschirm ‚verschwinden‘.
- Auf den *Seekarten* sind Wassertiefen, Fahrgebiete, Tonnen usw. verzeichnet. Zudem wird der geplante Kurs auf den Karten markiert. Die Seekarten bieten eine statische Repräsentation des Gebiets, in dem das Schiff navigiert. Sie sind ein wichtiges Hilfsmittel bei der Routenplanung. Seit einigen Jahren sind mit elektronischen Seekarten (*Electronic Chart Display and Information System, ECDIS*) hochentwickelte integrierte Systeme auf dem Markt, die eine Vielzahl von Funktionalitäten bieten.
- Trotz aller Innovationen ist der Blick aus dem *Fenster* nach wie vor als eine der wichtigsten Informationsquellen über die aktuelle Situation anzusehen. Durch das Fenster können Zustand und Position anderer Schiffe, Seezeichen, Küstenlinien, die Bewegungen des eigenen Schiffes usw. beobachtet werden. Der Blick aus dem Fenster ist die einzige Informationsquelle, die ‚direkte‘ Informationen liefert, ohne mechanische oder elektronische Vermittlung.
- Der *Sprechfunk* (VHF) ist das wichtigste Kommunikationsmittel zwischen dem Schiff und der Außenwelt. Größere Schiffe haben oft mehrere Funkanlagen auf der Brücke, die z.B. im Hafenbereich auf unterschiedlichen Frequenzen für unterschiedliche Kommunikationspartner (z.B. Lotsen, Verkehrsdienste) arbeiten.

- Die *Zentralkonsole (Conning display)* bietet wichtige Zusatzinformationen, die der Wachoffizier benötigt (z.B. Kurs, Geschwindigkeit, Wind, Ruderwinkel, Drehgeschwindigkeit). Neben dem Conning Display befinden sich Bedienelemente zur Interaktion mit den Maschinen und sonstigen Manöviereinrichtungen.
- Der *Steuerstand* beinhaltet neben dem Ruderrad Anzeigen für den Soll- und Ist-Kurs, Ruderwinkel und Drehgeschwindigkeit. Auch der Autopilot mit einer Anzeige des eingegebenen Kurses befindet sich am Steuerstand.

Automatisierung auf der Schiffsbrücke

In der Literatur über ‚*Human Factors*‘ in der Seefahrt wird zumeist keine Unterscheidung zwischen Automatisierung und (elektronischer) Unterstützung getroffen. Die Grenzen zwischen Automatisierung und Unterstützungssystem sind fließend. Automatisierung bezeichnet die Übernahme von Aufgaben und Tätigkeiten, die zuvor vom Menschen ausgeführt wurden, durch eine Maschine. Ein Unterstützungssystem ist ein „informationsverarbeitendes technisches Gebilde, das die Aufgabenerfüllung eines Operateurs in einem Mensch-Maschine-System dadurch fördert, dass es bestimmte, für seine Zielerreichung notwendige Teilaufgaben innerhalb seiner Gesamtaufgabe übernimmt und oder ausführt“ (Hauß & Timpe, 2002, 50).

Auch wenn heutzutage zahlreiche computerbasierte Unterstützungssysteme mit automatisierten Komponenten an Bord von Schiffen vorhanden sind, liegt die Automatisierungsstufe (nach Sheridan & Verplank, 1978, zit. nach Hauß & Timpe, 2002) insgesamt in einem niedrigen bis mittleren Bereich. Kommando und Verantwortung für die Schiffsführung liegen nach wie vor beim Kapitän. Zudem führen neue technische Systeme oft zu einer Veränderung der Aufgabe, ohne diese komplett zu übernehmen. Beispielsweise übernehmen *Automatic Radar Plotting Aids (ARPA)* zwar die Aufgabe der Identifikation von Radarzielen, jedoch müssen die von ARPA identifizierten Ziele anschließend von den Operateuren verifiziert werden, wobei sie auch vom System fälschlich identifizierte Ziele erkennen müssen. In der folgenden Tabelle sind zur Übersicht einige wichtige Unterstützungssysteme für die Aufgabe der Navigation aufgeführt.

Unterstützungssystem	Unterstützungsbereiche
Global Positioning System (GPS)	Situationswahrnehmung (Positions-, Kurs- und Geschwindigkeitsbestimmung)
Automatic Radar Plotting Aid (ARPA)	Situationswahrnehmung (Ortung und Plotten von Objekten (Schiffe u.a.) zur Kollisionsverhütung)
Electronic Chart Display and Information System (ECIDS)	Situationswahrnehmung (Positionsanzeige, Seegebietsinformation, Reiseplanung, -dokumentation, -überwachung)
Automatic Identification System (AIS)	Situationswahrnehmung (Ortung, Überwachung, Zielidentifikation, Kommunikation)
Autopilot	Regelung (Kurssteuerung)
Track Control	Situationswahrnehmung und Regelung (Bahnplanung, -steuerung und –überwachung)
Vessel Traffic Service (VTS)	Situationswahrnehmung und Entscheidung (Information, Überwachung und Leitung des Schiffsverkehrs)

Elektronische Navigationshilfen in der Schiffsführung (Beispiele)

Entsprechend ihrer Unterteilung der Navigationsaufgabe in Beobachtung und Handlung schlagen Lee und Sanquist (1996) eine Unterscheidung der Funktionen von automatisierten Systemen in Wahrnehmungssteigerung („*Perceptual Augmentation*“) und Steuerungsintegration („*Control Integration*“) vor. Beispielsweise steigern ARPA-Geräte die Wahrnehmung der Umgebungssituation, indem sie den Passierabstand zu den Schiffen in der Umgebung berechnen, wodurch sie die Aufgabe der manuellen Berechnung bei der Kollisionsverhütung übernehmen haben. Als Beispiel für den Bereich der Steuerungsintegration nennen Lee und Sanquist (1997) ein System, das sieben einzelne Steuerungselemente integriert (Maschinengeschwindigkeit, Winkel von zwei Rudern, vier Strahlruder) und damit eine sehr genaue Steuerung des Schiffes, z.B. beim Anlegen erlaubt.

Ein Schwerpunkt der Entwicklung nautischer Unterstützungssysteme liegt seit einigen Jahren auf der zunehmenden Integration der einzelnen technischen Systeme auf der Brücke (*Integrated Bridge Systems*, IBS). Diese Integration erscheint angesichts der zunehmenden Vielfalt an Einzelsystemen sehr sinnvoll und birgt ein hohes Potenzial zur Unterstützung. Beispielsweise ermöglichen elektronische Seekartensysteme wie ECDIS durch die Kombination mit Radar/ARPA, Satellitennavigation (GPS) und dem automatischen Schiffsidentifikationssystem (AIS) eine umfassende Übersicht über die Umgebungssituation bei der Planung und Überwachung der Route. Ein Problem besteht jedoch darin, dass auch die Integration bei *Integrated Bridge Systems* häufig ausschließlich aus technischer Sicht erfolgt (Integration von Mess- oder Kontrollelementen), was aus Sicht der Benutzer zu hoch komplexen und schwer durchschaubaren automatisierten Systemen führen kann, woraus sich u.a. Schwierigkeiten bei der ‚*Mode Awareness*‘ ergeben können (s.u.).

Folgen der Automatisierung

Wie in anderen Bereichen der Prozesssteuerung (z.B. Luftfahrt, Kerntechnik) verschiebt sich die Rolle der Menschen auf der Brücke durch zunehmende Automatisierung von einer aktiven Kontrolle und direkten Steuerung des Systems immer mehr zur Überwachung automatisierter Prozesse („*Supervisory Control*“, Sheridan, 1997). Probleme, die sich aus dieser Verschiebung ergeben können, wurden in vielen Arbeitsbereichen beobachtet („*Ironien der Automatisierung*“, Bainbridge, 1987). In Untersuchungen zur Vigilanz zeigen Menschen bei monotonen Überwachungsaufgaben schon nach relativ kurzer Zeit einen Leistungsabfall (Warm et al., 1996). Zudem kann die Gewöhnung der Operateure an eine überwachende Rolle dazu führen, dass sie die manuelle Steuerung verlernen und im Fall einer Störung der automatisierter Komponenten das System nicht mehr selbst angemessen steuern können.

Neben diesen allgemeinen Automatisierungsfolgen, die auch im Bereich der Schiffsführung berücksichtigt werden müssen, existiert auf der Brücke eine Reihe von spezifischen Problemen. Im Gegensatz zu Flugzeugcockpits, die für einen bestimmten Flugzeugtyp standardisiert sind, sind die Brücken unterschiedlicher Schiffe, selbst wenn sie aus derselben Baureihe stammen, unterschiedlich gestaltet und ausgerüstet. Auf jeder Schiffsbrücke findet sich eine individuelle Ansammlung technischer Systeme verschiedener Hersteller. Die mangelnde Standardisierung von Terminologie, Symbolik und Benutzerführung ist problematisch. Erschwerend kommt hinzu, dass Mitglieder der Brückenbesatzung die Bedienung neuer, komplexer Systeme oft während der Arbeit ohne eine systematische Schulung erlernen müssen, wobei die meisten Systeme keineswegs intuitiv zu bedienen und auch die Handbücher oft schwer verständlich sind (Moreton, 2000).

Da viele Routineaufgaben auf der Brücke automatisiert wurden, sind die Wachhabenden auf der Schiffsbrücke zu ‚Bordmanagern‘ geworden, die die unterschiedlichen automatisierten Systeme (einschließlich Maschinen- und Ladungsüberwachung) koordinieren. Dies bringt es mit sich, dass die Mitglieder der Brückencrew ihre kognitiven Ressourcen über verschiedene Aufgaben verteilen

müssen. Zusätzlich zu dem Anstieg an Überwachungsaufgaben und der Anforderung der breiteren Verteilung der kognitiven Ressourcen ergeben sich auch neue Anforderungen an Wissen und Fertigkeiten der Nautischen Offiziere.

Infolge der Automatisierung kommt es für die Brückencrew auch zu einer ‚Polarisierung‘ der Arbeitsbelastung (Sauer et al., 2002). Bei geringer Verkehrsdichte und ruhigem Wetter auf offener See besteht die Rolle der Brückencrew überwiegend in der Überwachung, was zu Monotonie und Langeweile führen kann. In anderen Situationen kann die Arbeitsbelastung extrem werden, z.B. bei Begegnungen mit Kollisionsgefahr oder bei hoher Verkehrsdichte in eingeschränkten Seegebieten. Ausfälle der automatisierten Systeme können die Arbeitsbelastung in solchen Situationen dramatisch erhöhen. Während aus arbeitswissenschaftlicher Sicht sowohl Unter- als auch Überforderung der Operateure möglichst vermieden werden sollten, besteht die größere und direktere Gefahr für die Seefahrt derzeit eher in der Überforderung der Brückencrew. Die große Mehrheit der Seeunfälle und Zwischenfälle (ca. 90%) ereignet sich in beschränkten Fahrtgebieten, die erhöhte Anforderungen an die Schiffsführung stellen (Sauer et al., 2002).

Mode Awareness

Hoch integrierte automatisierte Systeme bieten oft mehrere Funktionsmodi, in denen das Ausmaß der automatisierten Kontrolle des Systems variiert. Es ist zu befürchten, dass sich in Zukunft aufgrund der zunehmenden Integration und Komplexität der Systeme auf der Schiffsbrücke in verstärktem Maße das aus der Luftfahrt bekannte Problem der ‚*Mode Awareness*‘ (oder ‚*Mode Confusion*‘) stellt, d.h. die Operateure müssen immer wissen, in welchem Funktionsmodus sich ein System gerade befindet. Eine fehlerhafte ‚*Mode Awareness*‘ kann dazu führen, dass die Kontrollhandlungen der Operateure nicht dem aktuellen Zustand des automatisierten Systems entsprechen.

In den vergangenen Jahren wurden bereits mehrere Schiffsunglücke zumindest teilweise auf eine Fehleinschätzung des aktuellen Modus von Unterstützungssystemen mit automatisierten Komponenten durch die Brückencrew zurückgeführt. Ein häufig zitiertes Beispiel ist der Unfall der *Royal Majesty*. Lützhöft und Dekker (2002) beschreiben die Verursachung des Unfalls wie folgt: Durch eine von der Crew unbemerkte Unterbrechung der Verbindung zwischen GPS und dessen Antenne wurde die Position des Schiffes vom GPS im ‚*Dead Reckoning*‘ (DR) Modus bestimmt, d.h. das System erschloss die aktuelle Position durch eine modellbasierte Berechnung, wobei es sich um eine relativ grobe, fehlerbehaftete Schätzung handelt, anstelle der genauen satellitenbasierten Positionsbestimmung im Normalbetrieb. Die GPS Daten wurden in das *Integrated Bridge System* (IBS) gespeist, ohne dass der Modus des GPS auf dem IBS dargestellt war. Somit operierte das IBS auf der Grundlage fehlerhafter Positionsdaten, während die Besatzung die vom IBS angezeigte Position für valide hielt. So kam es dazu, dass die *Royal Majesty* von der Besatzung unbemerkt 17 Meilen vom Kurs abkam und auf Grund lief.

Lützhöft und Decker (2002) weisen in ihrer Schilderung auch auf psychologische Effekte bei der Besatzung in Richtung eines ‚*Confirmation Bias*‘ hin. Die Besatzung der *Royal Majesty* interpretierte beim Blick aus dem Fenster gut sichtbare Navigationsmerkmale in der Umgebung (Küstenlinie, Tonnen) irrtümlich als Bestätigung ihres fehlerhaften Situationsverständnisses. Verschiedene Seeunfälle weisen eindrücklich auf den dringenden Bedarf nach einer besseren, aufgabenorientierten Gestaltung der automatisierten Systeme unter Berücksichtigung der psychischen Eigenschaften der Menschen hin.

Eine wesentliche Ursache für die genannten Probleme wird in der technikzentrierten Entwicklung von maritimen Computersystemen gesehen. Bei der Konstruktion werden die Arbeitsaufgaben der Seeleute auf der Brücke nur unzureichend berücksichtigt. So werden vermeintliche technische Lösungen entwickelt, die jedoch der Brückencrew oft zusätzliche Probleme bringen (Sanquist et al., 1996). Die suboptimale Gestaltung führt auch dazu, dass viele nautische Assistenzsysteme nur in ruhigen Situationen hilfreich sind, während sie gerade in Phasen mit hoher Arbeitsbelastung und Notfällen keine wirkliche Unterstützung bieten (Lützhöft, 2004).

Zusammenfassend nennen Lee und Sanquist (1996) folgende Problembereiche bei der Automatisierung in der Schiffsführung:

- Unvollständige Kenntnis der Operateure über die Benutzung automatisierter Systeme (kein ausreichendes Training, unzureichende Manuals)
- Mangelhafte Gestaltung der technischen Systeme (irreführende Anzeigen, unangemessenes Feedback)
- Erhöhte Spitzen und Senken der Arbeitsbelastung („Polarisierung“)
- Geringere physische Anforderungen, aber erhöhte kognitive Beanspruchung
- Übermäßiges Vertrauen in die Automatisierung („*Complacency*“, „*Confirmation Bias*“)
- Verlust von Fertigkeiten und Kompetenzen
- Weniger Gelegenheiten zum Lernen.

Zur Behebung derartiger Probleme schlagen Sanquist et al. (1996) zwei unterschiedliche Arten von Maßnahmen vor:

- (1) *Benutzerzentriertes Design*: Ein auf den Menschen zentriertes Design der Geräte wird als der beste Weg angesehen. Die technischen Systeme sollten ‚mit den Benutzern arbeiten‘ und deren Fähigkeiten ergänzen, anstatt benötigte Informationen zu verbergen oder die Benutzer an ihre mentalen oder physischen Grenzen zu bringen.
- (2) *Training und Zertifizierung*: Die Menschen benötigen ein besseres Training und es muss geprüft werden, ob die Betroffenen über ausreichendes Wissen und die notwendigen Fertigkeiten verfügen.

Im folgenden Abschnitt wird ein neuartiges Unterstützungssystem vorgestellt, das in einem benutzerzentrierten, parallel-iterativen Ansatz entwickelt wird und eine aufgabenorientierte Unterstützung auf der Brücke bieten soll.

Aufgabenorientierte Unterstützung

Die meisten nautischen Unterstützungssysteme sowie die heutigen, vorwiegend unter technischen Gesichtspunkten konzipierten integrierten Brückensysteme unterstützen die Besatzung bei der sensomotorischen Regelung (Steuerungsintegration) und bei der Situationswahrnehmung (Wahrnehmungssteigerung). Allerdings wird dabei nicht die Wahrnehmung der Gesamtsituation gesteigert, sondern es werden vermehrt fragmentierte Informationen über einzelne Elemente der Situation dargeboten. Somit handelt es sich bei der Wahrnehmungssteigerung derzeit weniger um die Steigerung der Qualität der Situationswahrnehmung als um die Steigerung der Quantität der wahrzunehmenden Information. Den Menschen auf der Brücke verbleibt die Aufgabe, die von den unterschiedlichen Systemen, Geräten und Anzeigen angebotenen Informationen zu erkennen, zu bewerten und in eine ganzheitliche mentale Repräsentation der Situation zu integrieren. Diese Aufgabe wird durch die zunehmende ‚quantitative Wahrnehmungssteigerung‘ erschwert.

Mittlerweile werden in Fachkreisen erste Ansätze für eine aufgabenorientierte Integration der verschiedenen Navigationssysteme auf der Brücke diskutiert. Beispielsweise schlägt Fisher (2003) vor, die Informationen aus den unterschiedlichsten Systemen in integrierten Displays entsprechend der Aufgaben, für deren Bewältigung sie notwendig sind, zu gruppieren. Dabei wird unterschieden zwischen strategischen Informationen (Routenplanung, Wettervorhersage, Bahnüberwachung), Informationen zur ‚*Situation Awareness*‘ (Entscheidungshilfen) und taktischen Informationen (Gefahrenvermeidung). Zudem sollten diese Displays durch die Benutzer selbst konfigurierbar sein.

Ein Beispiel für ein neuartiges aufgabenorientiertes Unterstützungssystem, das eine integrierte Darstellung der für die Schiffsführung relevanten Parameter bietet, ist das *Navigational Risk Detection and Assessment System* (NARIDAS), das zur Zeit in einem Kooperationsprojekt zwischen der AVECS Corporation AG und dem Zentrum Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS) der TU Berlin entwickelt und evaluiert wird. Eine Grundlage des NARIDAS besteht in der

Klassifikation der Schiffsführungsaufgabe in acht Teilprozesse nach Kersandt (2004) (s.o.), denen die aus den unterschiedlichsten Quellen stammenden relevanten Schiffsführungsparameter zugeordnet werden:

- SPEED (die Geschwindigkeit den natürlichen Bedingungen anpassen)
- TARGET (andere Fahrzeuge und Anlagen sicher passieren)
- TRACK (Bahn einhalten und Manöverraum einplanen)
- ENVIRONMENT (die meteorologischen und hydrologischen Bedingungen berücksichtigen)
- AVAILABILITY (Zustand der Antriebs- und Steueranlagen in Erwägung ziehen)
- HUMAN (die Leistungseigenschaften des Menschen berücksichtigen)
- ECONOMY (die wirtschaftlichen Kriterien der Reise erfüllen)
- TRAFFIC (Art und Dichte des Verkehrs einkalkulieren)

Für jeden dieser Teilprozesse wurde auf Grundlage langjähriger, umfangreicher Untersuchungen ein Algorithmus entwickelt, der aus den insgesamt ca. 100 zugeordneten Schiffsführungsparametern jeweils einen Wert entsprechend der aktuellen Situation berechnet. Dieser Wert bildet die situationsspezifische Ausprägung des Risikos für den betreffenden Teilprozess auf einer Skala von 0=“sehr geringes Risiko“ bis 1=“sehr hohes Risiko“ ab.

Auf der Benutzungsoberfläche des NARIDAS werden die Risiko-Werte der acht Teilprozesse grafisch dargestellt (Abb.). So wird eine umfassende Übersicht über den aktuellen Zustand des Schiffsführungsprozesses ermöglicht, bezogen auf die aktuelle Höhe der mit den acht Teilprozessen der Schiffsführung verbundenen Risiken.

In einer ersten Evaluation des NARIDAS Prototypen ergab sich eine hohe Übereinstimmung der Risikoberechnungen des Systems mit den Einschätzungen von nautischen Experten (Loth, 2005; Gauss, Kersandt & Timpe, in Druck). Auch die Gebrauchstauglichkeit der Benutzungsoberfläche des Prototypen wurde in dieser Untersuchung positiv beurteilt. Dies spricht dafür, dass es sich bei NARIDAS um einen vielversprechenden Ansatz für ein integriertes nautisches Assistenzsystem handelt. Neben der Weiterentwicklung des Systems in einem parallel-iterativen Prozess mit Prototyping und Benutzertests soll im weiteren Verlauf des Projektes evaluiert werden, welche Auswirkungen von der Einführung des NARIDAS auf die Schiffsführung zu erwarten sind.



Trends und Perspektiven

Um die Potenziale neuer Technologien zur Erhöhung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit in der Seefahrt voll ausschöpfen zu können, ist eine stärkere Berücksichtigung des menschlichen Faktors in der Zukunft unerlässlich. Eine interdisziplinäre Herangehensweise von Ingenieuren und Humanwissenschaftlern mit der systematischen Einbeziehung des Menschen und seiner Aufgaben bei der Konzeption und Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen hat sich in vergleichbaren Bereichen wie Luftfahrt und Straßenverkehr bewährt.

In den USA, Großbritannien, Skandinavien, Australien und Japan hat man begonnen, Konzepte (z.B. ‚*Situation Awareness*‘) und Methoden (z.B. benutzerzentrierte Entwicklungsprozesse) der Mensch-Maschine-Systemtechnik auch auf die Gestaltung des Mensch-Maschine-Systems Schiffsbrücke zu übertragen. In Deutschland hingegen, einem weltweit führenden Produzenten von innovativer Schiffselektronik und Spezialschiffen, finden die ‚*Human Factors*‘ in der Seefahrt nach dem großen Projekt „Schiff der Zukunft“ in den 1980er Jahren (z.B. Luczak et al., 1986), bei dem auf der Brücke die Hardware-Ergonomie im Vordergrund stand, derzeit wenig Beachtung. Angesichts des harten Wettbewerbs kann die gebrauchstaugliche, nutzungsgerechte Gestaltung von nautischen Systemen zu einem entscheidenden Marktvorteil führen. Zudem würden in Deutschland diskutierte wissenschaftliche Ansätze, wie beispielsweise ‚Verlässlichkeit‘ (Giesa, 2003, Giesa & Timpe, 2002), auch die internationale Diskussion über den menschlichen Faktor bei der Schiffsführung bereichern.

Die Übertragung von Forschungsergebnissen aus anderen Bereichen und neue, gezielte Forschung zur Mensch-Maschine-Interaktion auf der Schiffsbrücke ist als Teil eines umfassenden, organisationalen Ansatzes des Sicherheits- und Risikomanagements in der Seefahrt (im Sinne von Bea, 1999) zu betrachten. Bei der Umsetzung und Etablierung solcher Ansätze wird es sich um einen längerfristigen Prozess handeln.

Abschließend ist zu betonen, dass von einer stärkeren Einbeziehung der Mensch-Maschine-Systemtechnik zwar eine Erhöhung der Verlässlichkeit des Schiffsführungsprozesses, nicht aber eine weitere Senkung der Personalkosten zu erwarten ist. Sicherheit in der Seefahrt erfordert mehr als eine doppelte Tankerhülle. Wirtschaftlicher Druck darf nicht dazu führen, dass die Besatzungsstärken zu sehr vermindert werden oder dass an qualifiziertem Personal gespart wird. Hoch qualifiziertes und motiviertes Personal an Bord sind eine notwendige Voraussetzung, um die Autorität des Menschen bei der Schiffsführung zu bewahren. Eine Vollautomatisierung des Schiffsbetriebs erscheint auf absehbare Zeit weder technisch realisierbar noch erstrebenswert.

Sicherheitsrelevante Probleme wie die häufige Übermüdung (*Fatigue*) der Mannschaften, die durch die Verringerung der Personalstärken noch verschärft werden, lassen sich nicht durch rein technologische Lösungen beheben. Ausreichende Investitionen in das Personal sind notwendig, damit die Seefahrt sicherer wird und die Schiffsbrücke trotz der harten Arbeitsbedingungen auf See einen attraktiven Arbeitsplatz bietet.

Ergebnisse einer zweiten Expertenbefragung

Die Ergebnisse der *ersten* Expertenbefragung wurden veröffentlicht in :

Kersandt, D.: Innovative Technologie plus Erfahrung.- NARIDAS - Assistenzsystem zur Erkennung und Abschätzung von Risiken in der Schiffsführung. – Hansa International Maritime Journal 05/2005, Seite 47

Im weiteren werden einige Ergebnisse einer zweiten empirische Untersuchung zur Evaluation des **Navigational Risk Detection and Assessment Systems (NARIDAS)** vorgestellt, die im

August und September 2005 in Kooperation zwischen der AVECS Corporation AG und dem Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme der TU Berlin mit n=7 nautischen Expertendurchgeführt wurde (Dipl.-Psych. Boris Gauss / cand. Psych. Andrea Loth : Zwischenbericht NARIDAS Projekt. - TU Berlin, Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme. - November 2005)

Ziele der Untersuchung

1. Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit der Benutzungsoberfläche
2. Überprüfung der Übereinstimmung der Risikoberechnungen von NARIDAS mit den Risikobewertungen der nautischen Experten
3. Identifikation von Ansatzpunkten zur Optimierung des Systems und zur Erhöhung der Akzeptanz

Ergebnisse (zusammenfassend)

Gebrauchstauglichkeit der Benutzungsoberfläche

- ☞ Gebrauchstauglichkeit wird insgesamt positiv beurteilt
- ☞ Leicht verbesserte Bewertung im Vergleich zur Pilotstudie 2004 (Anstieg von 64,6% auf 73,2%)
- ☞ Risikobewertungen
 - Hohe und statistisch signifikante Übereinstimmung der Risikobewertungen zwischen Experten und NARIDAS (allerdings keine Verbesserung im Vergleich zur Pilotstudie)
 - Bedeutung einzelner Teilprozesse ist den Experten nicht intuitiv ersichtlich (s.o.: Problembereich Erlernbarkeit)
 - Einzelne Teilprozesse sind immer wieder Gegenstand von Diskussionen (v.a. ECONOMY, TRAFFIC, MANNING)
- ☞ Akzeptanz
 - Insgesamt kann eine hohe Akzeptanz von NARIDAS erwartet werden

Ergebnisse und Interpretation im einzelnen

Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit von NARIDAS wird von den Experten insgesamt positiv beurteilt. Im Vergleich zur vorangegangenen Pilotstudie mit einem früheren Prototypen im Herbst 2004 kann anhand der verwendeten *System Usability Scale* (SUS) eine leichte Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit von NARIDAS nachgewiesen werden. Zudem zeigt sich im Gegensatz zur Pilotstudie 2003 nach dem Test ein Anstieg des SUS-Scores von 64,6% (2,6 Punkte auf einer Skala von 0 bis 4) auf 73,2% (2,9 Punkte). Dies spricht dafür, dass die Experten durch den Umgang mit NARIDAS in der Untersuchung von dem System überzeugt werden konnten.

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte für die einzelnen SUS-Items vor (pre) und nach (post) der aktuellen Untersuchung dargestellt.

SUS Item	MW pre	MW post	Veränderung
1. Ich finde ein solches Assistenzsystem für die Schiffsführungsaufgabe sinnvoll	2,7	3,0	+0,3
2. Das NARIDAS ist eine wertvolle Unterstützung für die Schiffsführung.	2,6	2,9	+0,3
3. Das NARIDAS kann dazu beitragen, die Kompetenz von Schiffsführern zu erhöhen.	2,1	3,0	+0,9
4. Ich könnte mir vorstellen, das NARIDAS häufig zu benutzen.	2,7	3,1	+0,4
5. Das NARIDAS würde meine Arbeit erleichtern.	2,6	2,6	0,0
6. Durch das NARIDAS wäre meine Arbeit [nicht] weniger interessant.	2,7	3,1	+0,4
7. Ich denke, dass das NARIDAS ein zuverlässiges System ist.	2,1	2,7	+0,6
8. Das NARIDAS würde zur Erhöhung der Sicherheit in der Schifffahrt beitragen.	2,6	3,1	+0,6
9. Die meisten Schiffsführer würden den Umgang mit dem System schnell erlernen.	2,9	2,6	-0,3
10. Das System ist für den Einsatz auf Schiffsbrücken [nicht] ungeeignet.	2,9	3,1	+0,3
SUS Score	2,6	2,9	+0,3

Ergebnisse (Mittelwerte, MW) der System Usability Scale (SUS) (Skala von 0=“stimme gar nicht zu“ bis 4=“stimme völlig zu“)

Die Experten finden NARIDAS überwiegend sinnvoll (Item 1), für den Einsatz auf der Brücke geeignet (Item 10) und denken, dass es eine Unterstützung für die Schiffsführung bietet (Item 2). Eine deutliche Verbesserung nach dem Test zeigt sich für die Beurteilung der Kompetenzförderlichkeit des Systems (Item 3). Auch Sicherheitsförderlichkeit (Item 8) und Zuverlässigkeit (Item 7) von NARIDAS werden nach dem Test besser beurteilt als zuvor. Allerdings beurteilen die Experten die Zuverlässigkeit des Systems trotz der deutlichen Steigerung nach dem Test nach wie vor etwas zurückhaltend. Am wenigsten positiv bewertet werden die mögliche Entlastung durch NARIDAS (Item 5) und die Erlernbarkeit (Item 9). Die etwas weniger positive Beurteilung der Erlernbarkeit nach dem Test bestätigt die Schlussfolgerung, dass auf die Einweisung in das System ein hohes Gewicht gelegt werden muss. Das Verständnis der Bedeutung der Teilrisiken und die Kenntnis der Eingangsparameter sind eine notwendige Voraussetzung für die effektive Nutzung von NARIDAS.

Auch in der detaillierten Beurteilung des Systems nach Abschluss des Tests wird die Gestaltung der Benutzungsoberfläche insgesamt positiv bewertet. Leichte Einschränkungen finden sich für die Auffindbarkeit gesuchter Informationen. In den Interviews zeigt sich, dass sich die Kritik der Experten hierbei vor allem auf die Darstellung der Informationen im *Details* Fenster bezieht. Die tabellarische Darstellung erscheint zum schnellen Auffinden momentan relevanter Informationen suboptimal. Auch die von den Entwicklern vorgesehene Möglichkeit der Erstellung eines festen Benutzerprofils mit farblich (grau) hervorgehobenen Zellen (die in dieser Untersuchung nicht systematisch getestet wurde) kann problematisch sein. Da die Relevanz der unterschiedlichen Informationen über die Zeit variiert, kann es vorkommen, dass sich momentan relevante Informationen (z.B. die *Causes* eines hohen Risikos) nicht im vordefinierten Profil befinden. Hierbei würde ein solches Profil das Auffinden der in der bestimmten Situation relevanten Werte eher behindern, da die Aufmerksamkeit auf die hervorgehobenen, momentan weniger relevanten Zellen gelenkt würde.

Für eine schnelle Übersicht wird auch angeregt, die *Causes* von hohen Risiken (z.B. $>0,8$) direkt im *Overview* Fenster darzustellen, um den Benutzern die Suche nach dieser wichtigen Information zu erleichtern. Längerfristig erscheint es empfehlenswert, die alphanumerische, tabellarische Darstellung im *Details* Fenster so weit wie möglich durch eine übersichtliche grafische Darstellung zu ergänzen oder zu ersetzen (entsprechend der Lösung für die grafische Darstellung des Resonanzkurses, die in dieser Untersuchung ebenfalls noch nicht systematisch getestet wurde).

Zudem wird von mehreren Experten angemerkt, dass die Balken im *Overview* Fenster für die Anzeige eines niedrigen Risikos ($<0,4 = „No Risk“$) zu lang seien, wodurch sie unnötige Aufmerksamkeit auf sich zögen. Eine einfache Lösung könnte darin bestehen, die Balken im unteren Skalenbereich zu stauchen.

Akzeptanz

Die Bewertungen der Experten in den Fragebögen, Interviews und Kommentaren weisen insgesamt darauf hin, dass eine hohe Akzeptanz von NARIDAS erwartet werden kann. Aus systemergonomischer Sicht liegt die grundlegende Herausforderung zur Erreichung einer hohen Akzeptanz in der Vermeidung neuer, zusätzlicher Arbeitsschritte durch die Einführung von NARIDAS. Auch wenn dies in den bisherigen Untersuchungen noch nicht getestet werden konnte, ist davon auszugehen, dass die manuellen Update Prozeduren eine

kritische Hürde für Zuverlässigkeit und Akzeptanz darstellen werden. Ein umfassendes arbeitsorganisatorisches Konzept zur Integration von NARIDAS in den Arbeitsablauf auf der Brücke ist dringend erforderlich. Zur Erstellung dieses Konzepts könnte z.B. geprüft werden, ob und wie sich die manuellen Eingaben für NARIDAS mit einem neu einzuführenden elektronischen Logbuch koppeln lassen. Hierdurch könnte ein zusätzlicher Dokumentationsaufwand für die Wachhabenden vermieden werden. Auch die Kombination mit einem möglichen elektronischen Check-In der Besatzung auf der Brücke (zur Berechnung von MANNING) wäre zu prüfen.

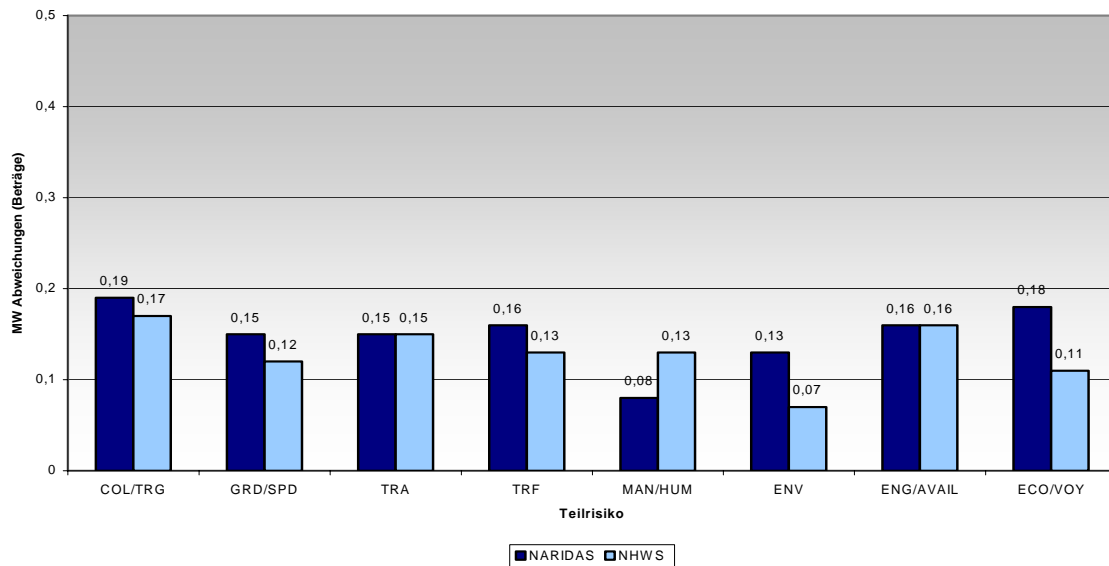
Validität der Risikoberechnungen

Über alle Szenen und Teilprozesse ergibt sich für die sieben Experten und NARIDAS ein Cronbachs Alpha von 0,89, was einer sehr hohen Übereinstimmung entspricht. Tab. 2 zeigt die bivariaten Korrelationskoeffizienten (Spearman Rho) zwischen den einzelnen Experten und NARIDAS. Für jeden einzelnen Experten ergibt sich über alle Szenen und Teilprozesse eine signifikante Korrelation mit NARIDAS ($p < .01$). Allerdings ergeben sich für zwei Experten (VP 1 und 7) deutlich niedrigere Korrelationskoeffizienten als für die übrigen, was darauf hinweist, dass die Experten unterschiedlich stark mit den Risikoberechnungen des Systems übereinstimmen. Da sich jedoch kein Zusammenhang zwischen der Höhe der Übereinstimmung mit NARIDAS und der Bewertung der Gebrauchstauglichkeit (SUS Score) ergibt, erscheint die Übereinstimmung mit den Risikobewertungen die Gesamtbeurteilung des Systems nicht zu beeinflussen, so dass diese Unterschiede vernachlässigt werden können. Somit zeigt sich, dass die Risikoberechnungen von NARIDAS der Situationseinschätzung von Experten insgesamt gut entsprechen und nachvollziehbar sind.

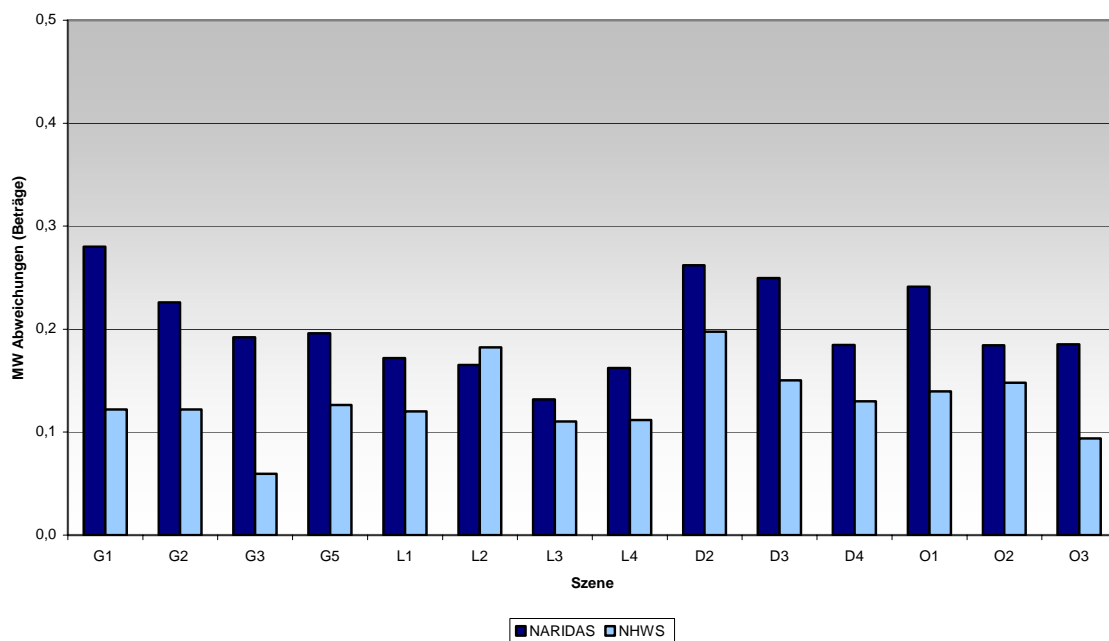
	VP 1	VP 2	VP 3	VP 4	VP 5	VP 6	VP 7	MW VPn
Korrelation mit NARIDAS	.27	.63	.50	.56	.67	.55	.31	.66

Bivariate Korrelationen (Spearman Rho) zwischen Experten (VPn) und NARIDAS

Ein Vergleich zeigt, dass die Übereinstimmung der Experten mit NARIDAS in der vorliegenden Untersuchung etwas niedriger ist als in der vorangegangenen Pilotstudie. Cronbachs Alpha sinkt von 0,94 auf 0,89, der Mittelwert der Beträge der absoluten Abweichungen zwischen Experten und NARIDAS steigt von 0,17 auf 0,20. Dieser Anstieg findet sich bei nahezu allen Teilrisiken und Szenen.



Vergleich der Mittelwerte der Beträge der absoluten Abweichungen zwischen aktueller Untersuchung (NARIDAS) und Pilotstudie (NHWS) in den Teilprozessen



Vergleich der Mittelwerte der Beträge der absoluten Abweichungen zwischen aktueller Untersuchung (NARIDAS) und Pilotstudie (NHWS) in den Szenen

Weitere detaillierte Ergebnisse zu den 8 partiellen Risiken und in den verschiedenen Szenarien findet man in der angegebenen Quelle : Gauss / Loth : Zwischenbericht NARIDAS Projekt. - TU Berlin, Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme. - November 2005.

Analyse von Spezifität und Sensitivität der Risikoberechnungen von NARIDAS

Zwei wichtige Kriterien für die Evaluation der in NARIDAS implementierten Algorithmen zur Risikoberechnung sind Spezifität und Sensitivität. Spezifität wird hier verstanden als das Ausmaß, in dem vom System erkannte kritische Zustände auch von den Experten als kritisch beurteilt werden. Hat ein System eine niedrige Spezifität, bedeutet dies, dass es eine hohe Rate von Fehlalarmen produziert. Im Gegensatz dazu kann Sensitivität definiert werden als das Ausmaß, in dem das System von den Experten identifizierte kritische Zustände ebenfalls als kritisch bewertet. Eine niedrige Sensitivität bedeutet demzufolge, dass das System nicht in der Lage ist, vor gefährlichen Situationen zu warnen. Während eine niedrige Spezifität in erster Linie eine schlechte Akzeptanz des Systems erwarten lässt (da es aus Sicht der Benutzer ohne Anlass warnt), ist eine niedrige Sensitivität sowohl hinsichtlich der Akzeptanz als auch hinsichtlich der Zuverlässigkeit eines Systems zur Risikobewertung verheerend, da ein wesentlicher Zweck des Systems, die Warnung vor Gefahren, verfehlt wird.

Für die nachfolgende Analyse wird Spezifität über den Anteil an Fehlalarmen erfasst. Ein Fehlalarm (*false alarm*) wird operationalisiert als ein Fall, in dem mehr als der Hälfte der Experten das Teilrisiko um mehr als 0,2 Punkte geringer bewertet als NARIDAS. Sensitivität wird über den Anteil an Auslassungen erfasst. Eine Auslassung (*miss*) wird operationalisiert als ein Fall, in dem mehr als die Hälfte der Experten ein Teilrisiko um mehr als 0,2 Punkte höher bewertet als NARIDAS.

Nach dieser Definition liegt die *false alarm* Quote in der vorliegenden Untersuchung bei 17%, die *miss* Quote bei 7,1%. Allerdings sind hierbei alle Fälle auf der gesamten Risikoskala berücksichtigt. Da ein „Fehlalarm“ in einem niedrigen Risikobereich („no risk“, „low risk“) als relativ unkritisch betrachtet werden kann, sollten jedoch für eine derartige Analyse in erster Linie die kritischen Zustände betrachtet werden. Wertet man lediglich NARIDAS Risikowerte >0,8 als kritisch, so ergibt sich eine *false alarm* Quote von 7,1% (bzw. eine Spezifität von 92,9%). Betrachtet man dementsprechend lediglich diejenigen Auslassungen als kritisch, in denen über die Hälfte der Experten das Risiko >0,8 einschätzt, liegt die *miss* Quote bei 0,9% (bzw. die Sensitivität bei 99,1%).

In den Tab.3 und 4 sind für alle Teilrisiken diejenigen Szenen aufgelistet, in denen ein *false alarm* bzw. *miss* auftrat, sowohl für die Pilotstudie (NHWS) als auch für die aktuelle Untersuchung (NARIDAS).

	NHWS	NARIDAS
COL/TAR	L2(2), O1(7)	O1 (5)
GRD/SPD		
TRA	D1(2)	
TRF	G1(2), D1(1), D2, D3, D4	G1(3), D2(1), D3, D4(1), O1(1)
MAN/HUM	D1(3), O1(1)	
ENV		L1, O1(3)
ENG/AVAIL		
ECO		

Vergleich der Szenen, in denen misses auftreten NHWS (Studie 2004, N=9) vs. NARIDAS (Studie 2005, N=7)

Eine weiterer Einsatz des Assistenzsystems NARIDAS ist ab März 2006 am Schiffsführungssimulator des Fachbereiches Seefahrt in Elsflth vorgesehen.

Literatur

Alert! The International Maritime Human Element Bulletin, Issue No. 3, April 2004. Verfügbar unter: <http://www.he-alert.org> [Zugriff: 25. Februar 2005]

ATLAS (2000). ATLAS NACOS (Integrated Navigation and Command Systems). Firmenprospekt STN ATLAS Marine Electronics GmbH.

Bainbridge, L. (1987). Ironies of Automation. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Hrsg.), *New Technology and Human Error*. Chichester: Wiley (276-283).

Bea, R. G. (1999). Risk Assessment & Management (RAM) of Marine Systems: Past, Present, Future. *Paper presented at the Pipeline Risk Management Conference in Perth, Australia, 22-23 November, 1999.*

Carstensen, P. H. & Nielsen, M. (1997). *Task Analysis of Navigator Performance*. DMI 96818, Report No.2, SAFECO WP II.1.2. Brussels: Commission of the European Communities, DGVII, Transport.

Fisher, K. (2003). The Future of Navigation Displays. *Presentation at the Using Electronic Charts in Commercial Shipping Congress, Hamburg, 8-9 April 2003*. Verfügbar unter: <http://www.thedigitalship.com/powerpoints/charts/kim%20fisher,%20mca.PDF> [Zugriff: 11. April 2005]

Gauss, B., Kersandt, D. & Timpe, K.-P. (*in Druck*). Entwicklung und Gestaltung eines Risikomanagementsystems für die Schiffsführung. *GMA-Kongress 2005, „Automation als interdisziplinäre Herausforderung“* in Baden-Baden, 7.-8. Juni 2005.

Giesa, H.-G. (2003). *Die Bewertung der Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen (ZMMS Spektrum Band 17)*. *Fortschr.-Ber. VDI Reihe 22 Nr. 13*. Düsseldorf: VDI Verlag.

Giesa, H.-G. & Timpe, K.-P. (2002). Technisches Versagen und menschliche Zuverlässigkeit. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation* (2. Auflage). Düsseldorf: Symposium (63-106).

Hauß, Y. & Timpe, K.-P. (2002). Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation* (2. Auflage). Düsseldorf: Symposium (41-62).

Kersandt, D. (2004). Entscheidungshilfen: Operationelle Messung von Risiko und Kompetenz in Hochrisikosystemen, dargestellt am Beispiel der Schiffsführung. In C. Steffens, M. Thüning, L. Urbas (Hrsg.), *Entwerfen und Gestalten, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 22, ZMMS Spektrum, Band 18* (554-571). Düsseldorf: VDI Verlag.

Klein, G. A., Orasanu, J., Calderwood, R. & Zsombok, C. (1993) (Hrsg.). *Decision Making in Action: Models and Methods*. Norwood: Ablex.

Lee, J. D. & Sanquist, T. F. (1996). Maritime Automation. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and Human Performance: Theory and Applications*. Mahwah: Lawrence Erlbaum (365-384).

Loth, A. (2005). *Sind die Risikodimensionen in der Schiffahrt für den Menschen darstellbar? Evaluation eines Assistenzsystems für die Schiffsführung*. Diplomarbeit. Technische Universität Berlin: Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaften.

- Luczak, H., Egeuz, G., Fuchs, H. J., Hagemann, B., Meyer, K., Müller-Schwenn, B., Schmellenkamp, H.-J., Schmidt, H., Schütte, M., Schiwer, W., Bruce Thomas, D. & Tiez, S. (1986). *Ergonomische Gestaltung von Schiffsarbeitsplätzen*. Bonn: Bundesanstalt für Arbeitsschutz.
- Lützhöft, M. (2004). "The technology is great when it works" – *Maritime Technology and Human Integration on the Ship's Bridge*. Linköping Studies in Science and Technology, Dissertation No. 907. Linköping: Linköpings Universitet.
- Lützhöft, M. & Dekker, S. W. A. (2002). On Your Watch: Automation on the Bridge. *Journal of Navigation*, 55(1), 83-96.
- Moreton, M.-B. (2000). *Human Factors on the Ship's Bridge*. Dissertation. Liverpool: John Hopkins University.
- Sanquist, T. F., Lee, J. D., McCallum, M. C., Rothblum, A. M. (1996). Evaluating Shipboard Automation: Application to Mariner Training, Certification, and Equipment Design. Paper presented at the *National Transportation Safety Board Forum on Integrated Bridge Systems*, May 6-7, 1996.
- Sauer, J., Wastell, D. G., Hockey, R. J., Crawshaw, C. M., Ishak, M & Downing, J. C. (2002). Effects of display design on performance in a simulated ship navigation environment. *Ergonomics*, 45 (5), 329-347.
- Sheridan, T. B. (1997). Supervisory control. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors*. New York: Wiley (1295-1327).
- Sheridan, T. B. & Verplank, W. L. (1978). *Human and computer control of undersea teleoperators*. Cambridge, MA: MIT Man-Machine-Systems Laboratory Report.
- Timpe, K.-P. & Kolrep, H. (2002). Das Mensch-Maschine-System als interdisziplinärer Gegenstand. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation* (2. Auflage). Düsseldorf: Symposium (9-40).
- Warm, J. S., Dember, W. N. & Hancock, P. A. (1996). Vigilance and Workload in Automated Systems. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and Human Performance: Theory and Applications*. Mahwah: Lawrence Erlbaum (183-200).