

Dissertation Charlotte Meyer:

**Zur Leistung und Leistungsdeterminanten von Operateuren in der Interaktion mit
Automation: Theorie und Empirie zur kooperativen Automatisierung**

Durch die stetige, sich ausbreitende Automatisierung von Handlungen und Informationsverarbeitungsprozessen in sicherheitskritischen wie alltagsbezogenen Domänen (Parasuraman & Wickens, 2008¹) drängt sich heute noch stärker die Art von Fragen auf, welche Wiener & Curry² bereits 1980 stellten: Führt Automation zu einer Reduktion von Workload? Können Automaten jemals effektiv überwacht werden? Wissen Nutzer, was die Automatik tut? Über all diesen Fragen steht das Problem der *Funktionsallokation (FA)* – welche Aufgaben bzw. Funktionen sollen in welchem Grad von der Automatik (AM) bzw. von dem Operateur (Human Operator: HO) übernommen werden?

In vielen Bereichen ersetzt die Automation bereits sehr erfolgreich menschliche (Teil-) Handlungen, um Effizienz und/oder Sicherheit zu erhöhen (z.B. Briefsortieranlagen, Börsenhandel, Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP)) oder übernimmt Aufgaben, dessen Ausführung durch Menschen gar nicht möglich wäre (z.B. Bodenfolgeradar). Insbesondere vor dem Hintergrund sicherheitsgefährdender Aspekte der Automation (vgl. Ironien der Automatisierung nach Bainbridge (1987³)) geht es jedoch (noch) nicht darum, den Menschen vollständig bzw. ganzheitlich durch Automation zu ersetzen. Die Frage ist eher, wie und bei welchen Aufgaben Mensch und Automatik in zunehmend komplexen großtechnischen Anlagen wie im Flugverkehr, in Kernkraftwerken, Flugzeugen, Militärsystemen und Krankenhäusern (Sheridan & Parasuraman, 2006⁴) noch bestmöglich miteinander interagieren können. Diese Frage stellt sowohl den „Prozess-antizipierenden“ Entwickler der Automatik, als auch den „Prozess-in-Echtzeit-überwachenden-und-steuernden“ Operateur eines automatisierten komplexen Systems vor neue Herausforderungen bei der Aufgabenausführung. Beide Personengruppen, Entwickler und Operateure, unterscheiden sich also maßgeblich in den an sie gestellten Anforderungen, und ihre jeweilige

¹ Parasuraman, R., & Wickens, C. D. (2008). Humans: Still vital after all these years of automation. *Human Factors*, 50, 511-520.

² Wiener, E. L., & Curry, R. E. (1980). Flight-deck automation: Promises and problems. *Ergonomics*, 23, 995-1011.

³ Bainbridge, L. (1987). Ironies of automation. In J. Rasmussen, K. Duncan, & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (pp. 271-283). New York: Wiley.

⁴ Sheridan, T., & Parasuraman, R. (2006). Human-automation interaction. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 1, 89-129. Parasuraman, R. (2000). Designing automation for human use: Empirical studies and quantitative models. *Ergonomics*, 43, 931-951.

Leistungsfähigkeit steht im Mittelpunkt des Projekts ATEO (Arbeitsteilung Entwickler Operateur). Mit diesem Projekt werden klassische Ansätze zur Mensch-Maschine-Funktionsteilung wie die MABA-MABA-Listen von Fitts (1951)⁵ erweitert: Nicht die Maschine bzw. Automatik wird in ihren Potenzialen und Defiziten mit dem Operateur verglichen, sondern der *Entwickler dahinter* (Wandke & Nachtwei, 2008⁶), auf dessen Intelligenz das Funktionieren einer Maschine maßgeblich zurückzuführen ist (Norman, 2007⁷). Entsprechend liegt der Schlüssel zu einer erfolgreichen Operation von hoch-automatisierten Systemen in der Frage, *wie (gut)* Entwickler die Kooperation von automatischem System und Operateur unterstützen (Kaber, Riley, Tan & Endsley, 2001⁸) und unterstützt haben.

In der vorangegangenen Projektphase ATEO 2.0 wurde für Entwickler und Operateure betrachtet, welche internen und externen Ressourcen ihre jeweilige Leistungsfähigkeit ausmachen. Angestrebt wurden Versuche, um die Leistung von Operateuren mit der Leistung von durch Entwickler konzipierte Automaten zu vergleichen (z.B. Nachtwei & Meyer⁹, submitted).

In der dritten – mit diesem Dissertationsvorhaben verfolgten – Projektphase ATEO 3.0 besteht die Herausforderung nicht mehr (nur) in einer separaten Betrachtung, sondern gerade in der Betrachtung der Koexistenz von Mensch und (der von Entwicklern konzipierten) Maschine (Sheridan & Parasuraman, 2006), welche entsprechend neue Implikationen für die Funktionsallokation mit sich bringt. Einer großen Zahl an bisherigen Studien zum Thema Funktionsallokation (FA) ist gemein, dass FA ausschließlich als eine Design-Entscheidung betrachtet wird (z.B. Inagaki, 2003¹⁰), mit dem Ziel, eine sichere und effiziente Systemleistung zu gewährleisten. Die FA wird also vor dem eigentlichen Prozess bzw. dem eigentlichen Eingreifen des Operateurs abgeschlossen und daher auch als *fixierte* FA (Fitts, 1951) kritisiert (z.B. Kaber et al., 2001). Dekker und Woods (2002)¹¹ sprechen bei

⁵ Fitts, P.M., 1951. *Human Engineering for an Effective Air Navigation and Traffic-Control System*. Columbus, OH: Ohio State University Research Foundation.

⁶ Wandke, H. & Nachtwei, J. (2008). The different human factor in automation: the developer behind vs. the operator in action. In: D. de Waard, F.O. Flemisch, B. Lorenz, H. Oberheid, and K.A. Brookhuis (Eds.), *Human factors for assistance and automation* (pp. 493-502). Maastricht, the Netherlands: Shaker Publishing.

⁷ Norman, D.A. (2007). *The Design of Future Things*. New York: Basic Books.

⁸ Kaber, D.B., Riley, J., Tan, K-W and Endsley, M.R. (2001). On the design of adaptive automation for complex systems. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 5(1), 37-57.

⁹ Nachtwei, J. & Meyer, C. (submitted). Between keyhole and clutter effect - A multi-level evaluation of interface extensions using the ATEO master display (AMD).

¹⁰ Inagaki, T. (2003). Adaptive automation: Sharing and Trading of Control. In E. Hollnagel (Ed.) *Handbook of Cognitive Task Design* (pp. 147-169). LEA.

¹¹ Dekker, S. W. A., & Woods, D. D. (2002). MABA-MABA or abracadabra? Progress on human- automation coordination. *Cognition, Technology, and Work*, 4, 240-244.

dieser FA von einer Substitutionspraxis, bei der die Interaktion von Operateur und Automatik auf eine trennscharfe Aufgabenteilung („Du tust dies, ich tue das“, S. 7) reduziert wird. Gefordert wird statt dieser FA *vor*, eine FA *während* des Interaktionsprozesses (Sheridan & Parasurama, 2006). Diese flexible Automatisierung oder dynamische FA (Kaber, Riley, Tan & Endsley, 2001) erlaubt es Operateur und Automatik, Funktionen einander dynamisch zu übertragen (Scallen & Hancock, 2001). Flemisch et al. (2008) und Löper et al. (2008) sprechen in diesem Zusammenhang auch von *Kooperativer Automatisierung* (vgl. Cooperative Control, Sheridan, 1992). Unter diesen Begriff werden Formen kooperativer, adaptiver und adaptierbarer Automatisierungen gefasst, die sich mit Regeln für die Art und Form der Zusammenarbeit von Mensch und Maschine mit dem Ziel einer effizienten, effektiven und sicheren Leistung befassen. Design-Analogien wie die H-Metapher (Flemisch Adams, Conway, Goodrich, Palmer, & Schutte, 2003¹²) dienen dabei einem verbesserten Vorstellungsvermögen über eine solche Art der Abstimmung zwischen Mensch und Automatik. Kriterien für (dynamische) FA sind bisher jedoch unzureichend definiert (Sheridan & Parasuraman, 2006) und wie Interfaces am Ende tatsächlich gestaltet sein müssen, um eine dynamische FA zu unterstützen ist entsprechend noch unklar (Kaber et al., 2001).

Das Ziel der Arbeit besteht folglich darin, auf Basis von Literaturrecherche und empirischen Untersuchungen konkrete Empfehlungen für dynamische FA abzuleiten. Unterschiedliche Aspekte der kooperativen Automatisierung (z.B. Hakuli, Bruder, Flemisch, Löper, Rausch, Schreiber & Winner, 2009¹³) werden zunächst im Rahmen eines theoretischen Modells integriert und anschließend in Studien mit dem über die vergangenen Jahre entwickelten *ATEO Lab System* (Abb. 1) empirisch überprüft. Hier überwacht ein Operateur mittels einer Leitwarte, dem sog. *ATEO Master Display (AMD)* (Abb. 2; Abb. 1: rechter Teil) zwei weitere Probanden (Abb. 1: linker Teil), die eine kooperative Tracking- und Entscheidungsaufgabe an einem zweiten Arbeitsplatz ausführen. Diese bildet einen komplexen Prozess ab, für den Entwickler Automatikkonzepte entwickeln und den Operateure in Echtzeit optimal überwachen und führen sollen.

¹² Flemisch, F.O., Adams, C.A., Conway, S.R., Goodrich, K.H., Palmer, M.T., & Schutte, P.C. (2003). *The H-Metaphor as a Guideline for Vehicle Automation and Interaction*. Technical Report NASA/TM 2003-212672. Online. Retrieved 2010/04/02, from <http://techreports.larc.nasa.gov/ltrs/PDF/2003/tm/NASA-2003-tm212672.pdf>

¹³ Hakuli, S., Bruder, R., Flemisch, F., Löper, C., Rausch, H., Schreiber, M., Winner, H. (2009). Kooperative Automation. In: Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G.: Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2009, S. 647-656.

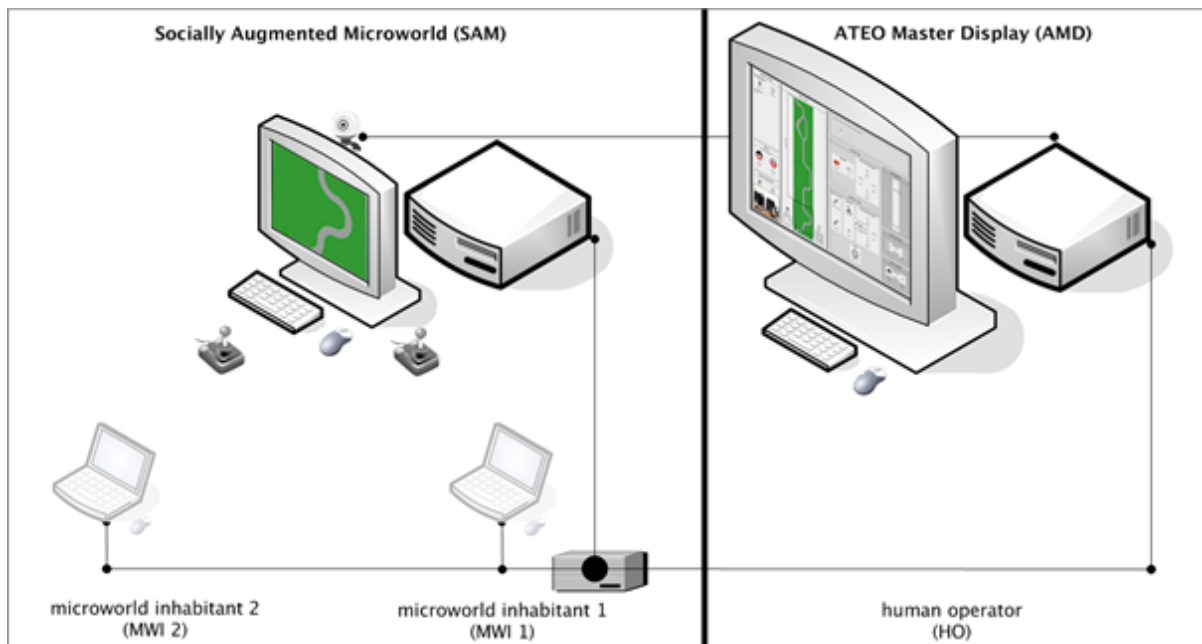


Abb. 1. Das ATEO-Lab-System (ALS): Rechts: Das ATEO Master Display (siehe auch Abb. 2). Links: Die Socially Augmented Microworld. Über das AMD (als Leitwarte zu verstehen) überwacht ein Operateur einen komplexen, dynamischen Prozess (kooperatives Tracking zweier Mikroweltbewohner (MWB)); dieses Subsystem wird als „Socially Augmented Microworld“ (SAM) bezeichnet).

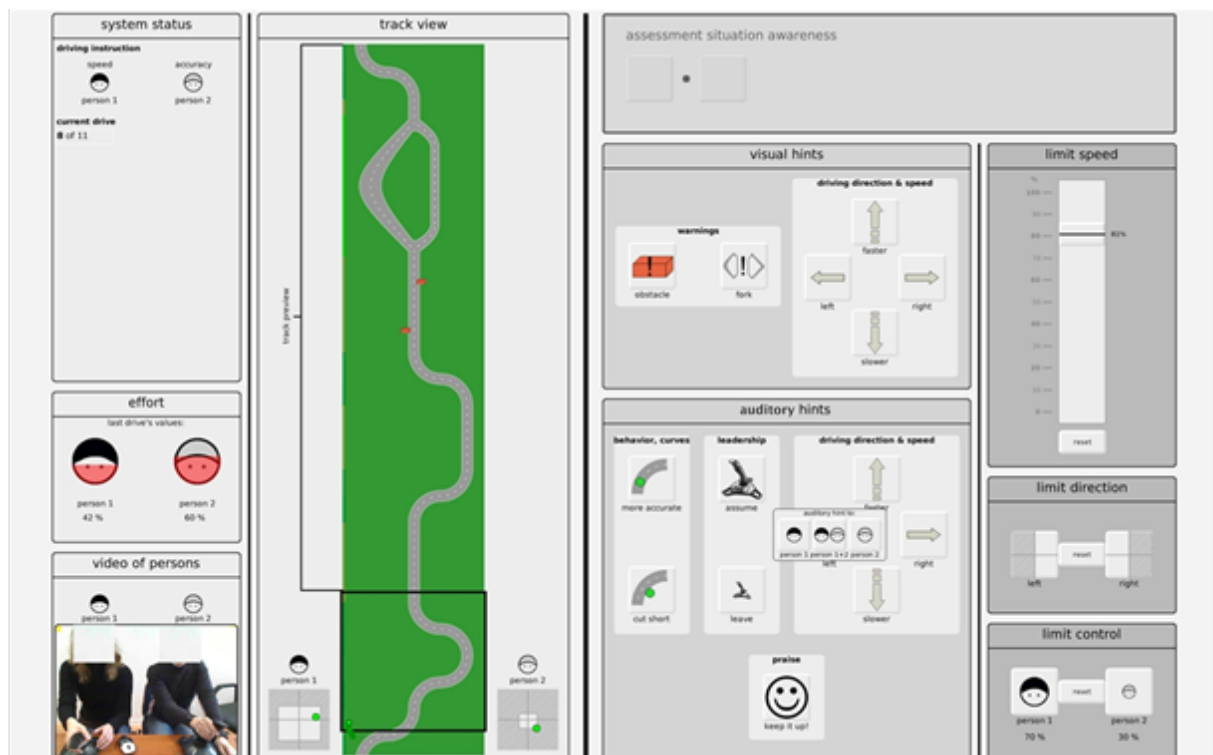


Abb. 2. Das ATEO Master Display (Nachwei, eingereicht¹⁴). Ein Operateur überwacht (links) und führt (rechts) SAM durch unterschiedliche Output (z.B. harte und weiche Eingriffe, Lob) - und Inputmöglichkeiten (z.B. Streckenvorausschau, Registrationsmöglichkeit der Anstrengung der MWB über Video und Visualisierung subjektiver Einschätzung).

¹⁴ Nachwei, J. (submitted). A multi-level design approach for a supervisory control master display in human factors experiments. Manuscript submitted for publication.

Für die Überwachung und Steuerung dieses Prozesses (und für Teile daraus) wurden Entwickler gebeten, Automatikkonzepte zu entwickeln, welche anschließend in Bezug zu der Prozessüberwachungs- und Führungsleistung der Operateure gesetzt werden können. Als Ergebnis stehen aktuell 30 Automatikkonzepte zur Prozessüberwachung und -führung für Teile des komplexen Prozesses zur Verfügung. Darüberhinaus wurden bisher zwei weitere Automatikkonzepte für nur einen Ausschnitt des komplexen Prozesses (die Situation Gabelung auf der virtuellen Strecke) erarbeitet. Eine Auswahl von Automatikkonzepten (siehe Dissertationsvorhaben zur Entwicklerperspektive) soll nun hypothesengenerierend mit der Leistung des Operateurs verglichen werden. Von diesen Ergebnissen werden jeweils Potenziale des Operateurs und der Automatik abgeleitet, die als erste Gestaltungshinweise für das darauf aufbauende *kooperative* Versuchsszenario von Operateur und Automatik dienen. Entsprechend dieser Gestaltungshinweise müssen im AMD Schnittstellen implementiert werden, die eine kooperative Interaktion von Operateur und Automatik erst ermöglichen. Über diesen Zwischenschritt können dann Verhaltensmuster des Operateurs beobachtet werden, die erstmals Aufschluss über seine Stärken und Schwächen *in Kooperation* mit der Automatik geben. Anhand dieser Hinweise wird eine finale Studie angestrebt, in welcher Kooperationsformen (z.B. Aufgabenteilung vs. adaptive Form) miteinander verglichen werden. Die Gesamtheit an Ergebnissen fließt in die Entwicklung von Kriterien für dynamische FA ein.