

**Design and Evaluation of a Supervisory Control Lab System for Automation Research  
- A Theoretical and Empirical Contribution to the Discussion on Function Allocation -**

**DISSERTATION**

submitted in fulfillment of the requirements for the degree of  
doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.) in psychology  
at Faculty of Mathematics and Natural Sciences II, Humboldt University Berlin

by

Jens Nachtwei

(\* 24.06.1979, Stralsund, Germany)

diploma in psychology, Humboldt University Berlin, 2006

E-Mail: jens.nachtwei@gmx.de

President of Humboldt University Berlin:

Prof. Dr. Jan-Hendrik Olbertz

Dean of Faculty of Mathematics and Natural Sciences II:

Prof. Dr. Peter Frensch

**Advisors:**

1. Prof. Dr. Hartmut Wandke (Humboldt University Berlin)
2. Prof. Dr. Matthias Rötting (Berlin Institute of Technology)
3. Prof. Dr. Raja Parasuraman (George Mason University Fairfax, VA)

Submitted: 01.12.2010

Day of disputation: \_\_. \_\_. \_\_\_\_

**ABSTRACT**

Function allocation between human and machine has been one of the major challenges in human factors research. Without a sound complementary approach, safe, efficient and satisfactory human-machine interaction seems at risk and traditional strategies comparing human and machine are outdated. Thus the intelligence behind the machine has to be focused: the developer. This thesis aims to offer not only a theoretical but especially an empirical approach to function allocation, explicitly including the developers' perspective. Thus the focus is not the comparison of machine and human operator but rather of developer and human operator. The thesis concentrates on the human operator's perspective and relates it to research regarding the developer of automation and human-machine systems. Through this approach, resources of human operators and developers should be identified and evaluated in order to offer first insights concerning the main goal of this thesis: improving function allocation.

Firstly, two descriptive models were derived from the literature on automation and accidents in supervisory control. The first model concentrates on important performance shaping factors of human operators. The second model gives an overview of potentials and deficiencies operators have before and during their interaction with a complex technical system. These models are meant to support human-centered design of automation and human-machine systems in general by sensitizing developers concerning the strengths and weaknesses of human operators (= sub-goal "support developers").

Secondly, a new supervisory control lab system comprising of a complex microworld and a master display to supervise and control this microworld was designed based on both the two theoretical models and usability engineering methods. Different extensions of the master display (add-ons regarding input and output variables) were empirically evaluated through extensive usability tests. The aim was to avoid both key-hole and clutter effect. This lab system was built to empirically investigate potentials and deficiencies of human operators (= sub-goal "design lab system") and finally contrast these to the resources of developers of automation. Accordingly the results of such a comparison, embedded into the theoretical models described above, should lead to recommendations for an improved function allocation in complex and dynamic supervisory control settings (= main goal).

The thesis' structure is oriented at these goals and based on six research articles. These articles should be read in the recommended order (see page 75) before starting with the text at hand.

*Keywords:* function allocation, automation, supervisory control, human operator, microworld

**ZUSAMMENFASSUNG**

Die Funktionsteilung zwischen Mensch und Maschine ist eine der großen Herausforderungen in der Human Factors Forschung. Ohne einen durchdachten, komplementären Ansatz ist sichere, effiziente und zufriedenstellende Mensch-Maschine-Interaktion klar gefährdet. Dabei sind traditionelle Allokationsstrategien veraltet, weshalb die Intelligenz hinter der Maschine in den Fokus gestellt werden muss: der Entwickler. Diese Dissertation zielt nicht nur darauf ab, einen theoretischen, sondern insbesondere auch einen empirischen Beitrag zur Funktionsteilung zu leisten, indem explizit die Perspektive des Entwicklers einbezogen wird. Daher liegt der Fokus nicht auf dem Vergleich von Maschine und Operateur, sondern vielmehr auf dem Vergleich von Entwickler und Operateur. Diese Arbeit konzentriert sich auf die Operateursperspektive und stellt diese in Bezug zu Forschung bezogen auf den Entwickler von Automation und Mensch-Maschine-Systemen. Durch diesen Zugang sollen Ressourcen von menschlichen Operateuren und Entwicklern identifiziert und evaluiert werden, um eine erste Annäherung an das Hauptziel der Arbeit zu gewährleisten: die Verbesserung von Mensch-Maschine-Funktionsteilung. Zunächst wurden zwei deskriptive Modelle aus der Literatur zur Automatisierung und Unfallforschung in der Prozessüberwachung und -führung abgeleitet. Das erste Modell konzentriert sich dabei auf wichtige leistungsbeeinflussende Faktoren bei Operateuren. Das zweite Modell hingegen gibt einen Überblick über Potentiale und Defizite, die Operateure aufweisen. Diese Modelle dienen dem Zweck, eine Mensch-zentrierte Entwicklung von Automation und Mensch-Maschine-Systemen im Allgemeinen zu unterstützen, indem Entwickler für die Stärken und Schwächen von Operateuren sensibilisiert werden (= Unterziel „Unterstützung von Entwicklern“). Des Weiteren wurde auf Grundlage der zwei genannten theoretischen Modelle sowie basierend auf Methoden des Usability Engineering ein neuartiges Laborsystem entwickelt, welches aus einer komplexen Mikrowelt und einem Leitstand besteht, mit welchem diese Mikrowelt überwacht und geführt wird. Verschiedene Ausbaustufen des Leitstands wurden im Rahmen umfassender Usability Tests empirisch evaluiert. Das Ziel war es, sowohl „key-hole effect“ als auch „clutter effect“ zu vermeiden. Das Laborsystem wurde konzipiert, um die Potentiale und Defizite von Operateuren empirisch untersuchen (= Unterziel „Entwicklung Laborsystem“) und diese letztlich den Ressourcen von Entwicklern von Automaten gegenüberstellen zu können. Entsprechend sollten die Ergebnisse eines derartigen Vergleichs zu Empfehlungen für eine verbesserte Mensch-Maschine-Funktionsteilung führen (= Hauptziel). Die Struktur dieser Arbeit ist orientiert an den genannten Haupt- und Unterzielen und basiert auf sechs Forschungsartikeln, welche in der auf Seite 75 empfohlenen Reihenfolge gelesen werden sollten, bevor mit diesem Text fortgefahren wird.

*Schlagwörter:* Funktionsteilung, Automatisierung, Prozessüberwachung und -kontrolle, menschlicher Operateur, Mikrowelt