

Visualisierung im Produktionsbereich: Wie wichtig ist Realitätsnähe ?

Production area visualization: How important is reality nearness?

Dr.-Ing. Sascha Stowasser

Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab)
Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag beschreibt eine am ifab durchgeführte Evaluationsstudie zum Vergleich zweier Visualisierungsformen für die operative Werkstattsteuerung (vgl. [1]). Hierbei handelt es sich um eine traditionelle fensterbasierte Werkstattvisualisierung (*FEWER*) und eine innovative realitätsnahe Visualisierungsform (*VISOR*). An der experimentellen Untersuchung mit verschiedenen Evaluationsmethoden (z.B. Blickregistrierung) waren 20 Versuchspersonen beteiligt. Ein Ergebnis der Studie zeigt, dass sich bei Verwendung der realitätsnahen Visualisierung der Vorteil einer schnelleren Verarbeitung des dynamischen Werkstattgeschehens und einer damit verbundenen Entlastung von mentalen Informationsverarbeitungsprozessen bei der Durchführung operativer Werkstattsteuerungsaufgaben ergibt.

Summary

A key objective in designing human-computer interfaces in the field of industrial manufacturing should be the dynamic visualization of manufacturing processes with help of innovative visualization elements. This article describes a comparative evaluation study of two ways of visualizing complex shop floor activities in real-time: a traditional window-based form of visualization *FEWER* and an innovative realistic interface, the so-called Virtual Shop Floor (*VISOR*) [1]. In order to evaluate both visualizations, an experimental investigation with 20 test persons and the application of different evaluation methods (e.g. eye mark registration) was performed at the ifab-Institute of the University of Karlsruhe. One result of this investigation shows, that the cognitive strain of the test person is high-significantly lower when using the realistic interface in comparison with the traditional visualization.

1. Visualisierung im Produktionsbereich

1.1 Stand der Informationsvisualisierung

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung von Benutzungsoberflächen. Diese wird stark von den Fortschritten bei der Hardware und von neuen Ein- und Ausgabegeräten beeinflusst (vgl. [2]). Die Evolution der Benutzungsoberflächen kann als eine kontinuierliche Erweiterung des Kommunikationskanals zwischen Mensch und Rechner-system angesehen werden [3].

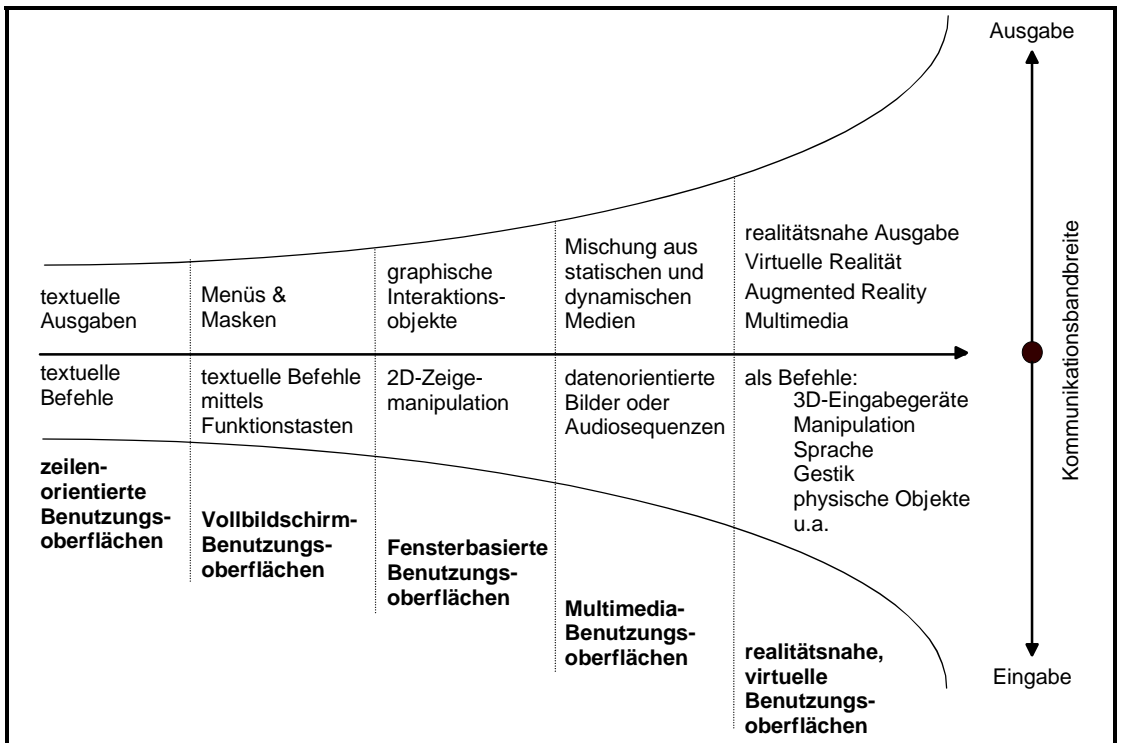


Abb. 1: Generationen von Benutzungsoberflächen ([3], modifiziert)

Auf der Eingabeseite stellen zweidimensionale Zeigegeräte (z.B. Maus) bei gegenwärtigen Rechnersystemen das flexibelste Mittel dar. Es zeichnet sich ab, dass die Möglichkeiten auf der Eingabeseite zukünftig verstärkt erweitert werden (z.B. durch dreidimensionale Zeigegeräte) und darüber hinaus erkenntnisbasierte Benutzungsoberflächen realisiert werden (z.B. akustische Spracherkennung, Gestenerkennung; vgl. [2]).

Insbesondere auf der Ausgabeseite des Rechnersystems kann die Erweiterung des Kommunikationskanals beobachtet werden. Fenstersysteme sind heute auf den meisten Rechnersystemen aller Größenordnungen als Standard zu finden. Multimedia und realitätsnahe Visualisierung sowie Virtuelle Realität erweitern zukünftig die Bandbreite der Benutzungsoberflächen. Trotz vielfältiger Einsatzgebiete und Formen der innovativer Visualisierungsformen gibt es derzeit relativ wenige Aussagen darüber, wann es empfehlenswert ist, eine derartige Visualisierungsform zu wählen [4]. Es ist meist unklar, bei welchen Rahmenbedingungen eine realitätsnahe bzw. virtuelle Visualisierung Vorteile bzw. Nachteile besitzt. Zukünftige Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Software-Ergonomie müssen sich deshalb verstärkt mit der benutzungsfreundlichen Anwendung dreidimensionaler Visualisierungsformen beschäftigen. Empirische Studien sollten derartig konzipiert und durchgeführt werden, dass sie Empfehlungen darüber aussprechen, welche Visualisierungsform sich

für eine spezifische Situation oder ein spezielles Anwendungsgebiet besonders gut eignet (vgl. [5]).

1.2 Rechnerunterstützte Werkstattsteuerung im Produktionsbereich

Trotz zahlreicher neuer Softwaretechnologien im Produktionsbereich stellt sich vor allem die Fertigungs- und hier insbesondere die kurzfristige, operative Werkstattsteuerung noch immer als Problemfall dar (vgl. [1], [6]). In einer Werkstatt werden Fertigungsaufträge in mehreren Arbeitsvorgängen mit Hilfe von Betriebsmitteln durch die Werkstattmitarbeiter gefertigt. Eine der Hauptaufgaben der kurzfristigen operativen Werkstattsteuerung im betrieblichen Leistungsprozess liegt in der Fortschrittsüberwachung der Fertigungsprozesse, d.h. einem prozessorientierten Controlling der Werkstattaufträge [7]. Die Werkstattmitarbeiter (hauptsächlich Meister, Facharbeiter sowie angeleitete Mitarbeiter) überwachen beispielsweise die Einhaltung vorgegebener Fertigungsauftragstermine, reagieren auf unvorhergesehene Störungen im Fertigungsprozess, führen eine Bestandskontrolle (z.B. der Materialien) durch oder greifen in den Fertigungsablauf ein. Vielfältige organisatorische Störungen und das Nichtbeherrschen von technologischen Prozessen führen auf der Ebene der operativen Werkstattsteuerung zu Eingriffen und Umplanungen der ablaufenden Werkstattprozesse [1]. Fehlentscheidungen bei der Werkstattsteuerung (z.B. aufgrund unzureichender Informationsbereitstellung und Transparenz der für diese Aufgabe notwendigen Informationen) haben dabei direkte Auswirkungen auf die Auslastung, Termintreue, Kostensituation und somit auch auf die Wettbewerbsfähigkeit des Betriebes.

Trotz der Wichtigkeit dieses Fertigungsbereiches und seiner softwaretechnischen Unterstützung und trotz jahrelanger Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Mensch-Rechner-Schnittstellen liegen im Bereich der rechnerunterstützten Visualisierung innerhalb der betrieblichen Werkstattsteuerung kaum praktisch verwendbare Systeme vor, die den Mitarbeiter bei der Durchführung kurzfristiger operativer Werkstattsteuerungsaufgaben (z.B. Überwachung der Werkstattprozesse, Störungsbehebung) vor Ort in der Werkstatt unterstützen. Verschiedene Studien zeigen, dass gerade in der Werkstattsteuerung eine defizitäre Gestaltung der Benutzungsfreundlichkeit von existierenden Werkstattsteuerungssystemen offensichtlich ist und deshalb die Akzeptanz dieser Systeme bei den Mitarbeitern oftmals sehr gering ist ([8], [9]).

2. Konzipierte Visualisierungsformen zur Werkstattsteuerung

2.1 Anforderungen an eine Visualisierungsform zur Werkstattsteuerung

Wenn ein Werkstattsteuerungssystem so konzipiert und realisiert werden soll, dass es die Mitarbeiter in der Werkstatt effektiv bei der Durchführung ihrer operativen Werkstattsteuerungsaufgaben unterstützen soll, müssen softwareergonomische und

kognitionspsychologische Aspekte bei der Gestaltung besonders berücksichtigt werden. Neben generellen softwareergonomischen und kognitionspsychologischen Anforderungen lassen sich aus den spezifischen Ausprägungen der operativen Werkstattsteuerungsaufgaben weitere Ansprüche an ein Werkstattsteuersystem und dessen Benutzungsoberfläche ableiten [1]:

- umfassende Visualisierung der Werkstattprozesse,
- Transparenz der Eingriffsmöglichkeiten in die Werkstattprozesse,
- Möglichkeiten zur Echtzeit-Überwachung der Werkstattprozesse sowie
- Funktionen zur Archivierung von Werkstattinformationen.

Eine der wichtigsten Anforderungen an die Mensch-Rechner-Schnittstelle ist die Sicherstellung der Durchschaubarkeit des aktuellen Werkstattgeschehens, sodass die Prozesse in der Werkstatt verfolgt werden können und bei einem Ist-Zustand, der vom Soll-Zustand abweicht, rechtzeitig korrektiv eingegriffen werden kann.

2.2 Beschreibung der Visualisierungsformen

Aufbauend auf dem Stand der Technik sowie grundlegenden Forschungsansätzen aus dem Bereich der Visualisierung und basierend auf handlungs- bzw. kognitionsorientierten Modellen (Modell von RASMUSSEN, Handlungsregulationstheorie von HACKER, Theorie der mentalen Modelle) wurden am Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab) der Universität Karlsruhe (TH) zwei Visualisierungsformen zur operativen Werkstattsteuerung entwickelt [1].

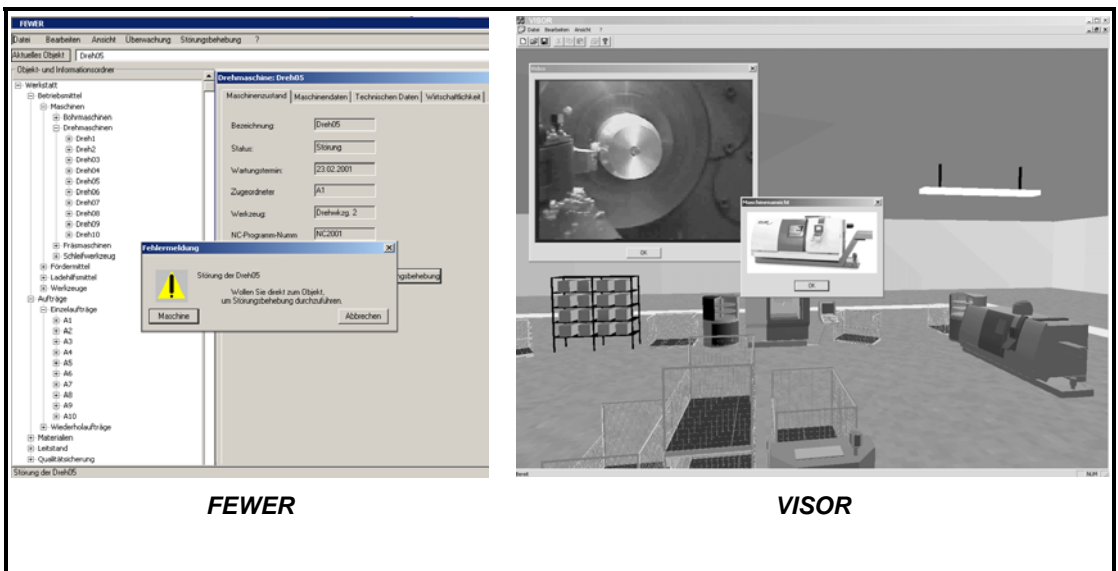


Abb. 2: Fensterbasierte und realitätsnahe Visualisierungsform zur operativen Werkstattsteuerung [1]

Hierbei handelte es sich einerseits um die fensterbasierte Benutzungsoberfläche *FEWER* (Fensterbasierte Werkstattsteuerung) mit den gegenwärtig weit verbreiteten Standard-Fensterelementen (Abbildung 2). Darüber hinaus wurde *VISOR* (Virtual Shop Floor) als innovative, realitätsnahe Darstellungsform der Werkstatt konzipiert. Mit Hilfe der Werkstattvisualisierung *VISOR* kann der Benutzer durch die Werkstatt navigieren und Informationen direkt am gegenständlichen Objekt abrufen. Zum Beispiel ist es möglich, prozessorientierte Auftragszustände direkt an den Gitterboxen abzurufen.

3. Vergleichende Evaluation der fensterbasierten und realitätsnahen Visualisierung

3.1 Design und Methoden der Evaluation

Beide Visualisierungsformen waren Untersuchungsgegenstand einer vergleichenden experimentellen Evaluation [1]. Zur experimentellen Untersuchung wurden verschiedene Methoden der Kommunikationsergonomie eingesetzt. Aufgrund der Bedeutung des visuellen Systems bei der rechnerunterstützten Durchführung operativer Werkstattsteuerungsaufgaben lag der besondere Schwerpunkt auf der Methode der Blickregistrierung. Keystroke Recording, halbstandardisierte Interviews sowie Verhaltensbeobachtungen vervollständigten die eingesetzten Evaluationsmethoden.

Die experimentellen Untersuchungen wurden mit 20 Versuchspersonen aus zwei Versuchspersonentypen (Industriepraktiker und Studenten) durchgeführt. Die Arbeitsaufgabe der Versuchspersonen bestand in der Bearbeitung mehrerer Überwachungs- und Steuerungsaufgaben der operativen Werkstattsteuerung. Verändert wurden dabei die Visualisierungsform der Informationen (fensterbasiert versus realitätsnah) und die Komplexität der zu bearbeitenden Versuchsaufgaben, welche über die Anzahl dargestellter Werkstattobjekte sowie über die Art und das Auftreten unvorhersehbarer Werkstattsteuerungsaufgaben variiert wurden.

3.2 Hypothese der vergleichenden Evaluation

Unter der kognitiven Kompatibilität der Mensch-Werkstatt-Schnittstelle wird eine derartige Darstellung von Informationen verstanden, dass die Repräsentation möglichst vollständig dem zur Bewältigung der Arbeitsaufgabe vorliegenden mentalen Modell des Benutzers entspricht. Nach [10] wird eine Arbeitsaufgabe umso effektiver ausgeführt werden, je angemessener das der Handlungsregulation zugrunde liegende mentale Modell ist.

Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen soll festgestellt werden, ob der am Werkstattprozess orientierte Einsatz der realitätsnahen Werkstattvisualisierung *VISOR* im Vergleich zur fensterbasierten Darstellung *FEWER* kognitionspsycholo-

gische Konsequenzen zur Folge hat. Eine unmittelbare Kohärenzbewertung zwischen den mentalen Modellen der verschiedenen Benutzer und der Repräsentation der Werkstatt durch das Werkstattsteuerungssystem kann nicht durchgeführt werden, da momentan kein aus der Kognitionspsychologie begründeter Mechanismus vorliegt, um mentale Benutzermodelle formal zu erfassen [11].

Um dennoch vergleichende Aussagen über die mental-kompatible Repräsentation der Werkstatt in der fensterbasierten bzw. realitätsnahen Visualisierung zu machen, wird indirekt über die Ausprägungen einiger relevanter abhängiger Variablen der Blickregistrierung auf kognitionspsychologische Konsequenzen geschlossen. Hierbei werden psychologisch fundierte Annahmen herangezogen. Dazu zählt beispielsweise der Effekt, dass die mangelnde mentale Kompatibilität einer Repräsentation zu einer höheren Beanspruchung bei der kognitiven Informationsverarbeitung führt, was sich wiederum in der Zunahme der mittleren Fixationsdauer niederschlägt (vgl. [12]) und mit der Blickregistrierung nachgewiesen werden kann.

Die Arbeitshypothese der vergleichenden Evaluation lautet: Die realitätsnahe Visualisierung einer Werkstatt repräsentiert die vorhandenen mentalen Modelle der Benutzer geeigneter als die fensterbasierte Darstellung.

3.2 Ergebnisse

Die varianzanalytische Auswertung der Untersuchungsergebnisse zeigt (im Detail in [1]), dass bei Verwendung der realitätsnahen Benutzungsoberfläche *VISOR* die subjektive Beanspruchung der Benutzer hochsignifikant geringer war. Betrachtet man beispielsweise die mittlere Fixationsdauer als Maß, so lag die Beanspruchung der Versuchspersonen bei Verwendung von *VISOR* ca. 25 % niedriger als bei der fensterbasierten Visualisierungsform (vgl. Abbildung 3).

Ähnliche Effekte konnten aus der Analyse weiterer Blickregistrierungskennzahlen und aus den persönlichen Angaben der Versuchspersonen abgeleitet werden. Aus der graphisch-räumlichen Visualisierung ergab sich somit der Vorteil einer schnelleren Verarbeitung des dynamischen Werkstattgeschehens und einer damit verbundenen Entlastung von mentalen Informationsverarbeitungsprozessen bei der Durchführung operativer Werkstattsteuerungsaufgaben. Die prozessorientierten Informationen zur operativen Werkstattsteuerung werden in der realitätsnahen Visualisierung schneller wahrnehmbar. Demnach ist die Interpretation der Informationen auf der jeweilig relevanten kognitiven Handlungsebene für den Benutzer einfacher. Dies zeigt sich vor allem bei der Orientierung des Benutzers in weniger komplexen Aufgaben. Das mentale Modell des Benutzers wird geeigneter durch die realitätsnahe Werkstattdarstellung repräsentiert, was sich auch aus den ermittelten Leistungssteigerungen (geringere Gesamtbearbeitungszeiten, kürzere Gesamtmauszeigerwege) ablesen lässt.

Die Auswertung der mittleren Initialfixationsdauer unterstützt die Annahme der Arbeitshypothese (vgl. Abbildung 3). Die mittlere Initialfixationsdauer, d.h. die durchschnittliche Dauer zur Orientierung des Benutzers in einer neuartigen Szene, fällt bei der Nutzung von *VISOR* hochsignifikant kürzer aus als bei der fensterbasierten Darstellung. Offenbar können neuartige Reizsituationen im operativen Werkstattbereich schneller unter Nutzung einer realitätsnahen Repräsentation der Werkstatt wahrgenommen und auf kognitiver Ebene vom Benutzer verarbeitet werden.



Kennzahl (arithmetisches Mittel über Versuchspersonen)			p- Wert
	fensterbasiert	realistisch	
Fixationsdauer [ms]	330	256	0,000 **
Anzahl Fixationen [1]	918	1170	0,000 **
Fixationsrate [1/s]	2,6	3,4	0,000 **
Initialfixationsdauer [ms]	330	258	0,001 **
Sakkadenweite [°]	19,7	22,9	0,000 **
Sakk.-beschleunigung [°/s]	328	561	0,000 **
Bearbeitungszeit [s]	353	341	0,010 *
Legende: * signifikanter Einfluss der Visualisierungsform ** hochsignifikanter Einfluss der Visualisierungsform			

Abb. 3: Signifikante Effekte der Visualisierungsform auf die Blickregistrierung

4. Diskussion

Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen machen deutlich, dass die Visualisierungsform ausgesprochen relevant ist für die kognitive Leistung und die Beanspruchung der Benutzer bei der Durchführung operativer Werkstattsteuerungsaufgaben. Werkstattsteuerungssysteme sollten die individuellen mentalen Modelle der Benutzer von der zu steuernden Werkstatt widerspiegeln. Durch die realitätsnahe Visualisierung wird die kompatible Repräsentation von mentalen Modellen, auf denen die kognitive Handlungsplanung des Werkstattmitarbeiters basiert, in geeigneter Weise unterstützt. Die Untersuchungen zeigen jedoch auch, dass die realitätsnahe Visualisierung nicht uneingeschränkt für alle Aufgaben der operativen Werkstattsteuerung zu bevorzugen ist.

Die Versuchspersonen bevorzugen die realitätsnahe Darstellung hauptsächlich bei der Durchführung derjenigen Aufgaben, die durch eine räumliche Vorstellung über die Werkstatt und die Objektanordnung in ihr unterstützt werden und für die der Gesamtblick auf die Werkstatt sinnvoll ist. Hierzu sind vor allem die Überwachungsaufgaben unter Echtzeitbedingung (Kontrolle der Betriebsmittel- und Auftragszustände) zu zählen. Die fensterbasierte Visualisierungsform eignet sich demgegenüber besser zur Darstellung von abstrakten Sachverhalten. Die Vorteile beider Visualisierungsformen, d.h. der realitätsnahen und der fensterbasierten Darstellung, sollten demnach in einer hybriden Visualisierungsform unter Ausnutzung multipler Informationscodierungen vereint werden [1].

Literaturverzeichnis

- [1] STOWASSER, Sascha: Vergleichende Evaluation von Visualisierungsformen zur operativen Werkstattsteuerung. Aachen: Shaker Verlag, 2002. (ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 26)
- [2] PREIM, Bernhard: Entwicklung interaktiver Systeme. Berlin, Heidelberg, New York u.a.: Springer-Verlag, 1999.
- [3] ZIEGLER, Jürgen: Benutzungsschnittstellen - mehr als nur Oberfläche. In: Information Management, München, 14(1999)4, S. 63-68.
- [4] ZÜHLKE, Detlef: MMI – Quo vadis? In: Menschengerechte Bedienung technischer Geräte. Hrsg.: ZÜHLKE, Detlef; RÖSE, Kerstin. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1999, S. 1-12. (VDI-Berichte, Band 1498)
- [5] SHNEIDERMAN, Ben: Designing the User Interface. Reading MA: Addison Wesley Longman, 3. Auflage 1998.
- [6] KÖBERNIK, Gunnar: Moderne Methoden für die Fertigungssteuerung bei Werkstattfertigung. Lohmar: Josef Eul Verlag, 1999. (Produktionswirtschaft und Industriebetriebslehre, Band 3)
- [7] BINNER, Hartmut F.: Prozeßorientierte Arbeitsvorbereitung. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1999. (Organisationsmanagement und Fertigungsautomatisierung)
- [8] SCHOLZ-REITER, Bernd; HELLMANN, Ulf: Nutzung von Fertigungs-/Werkstattsteuerungssystemen in der Praxis. In: CIM-Management, Berlin, 11(1995)1, S. 15-20.
- [9] GREENOUGH, R. M.; KAY, J. M.; FAKUN, D.; TJAHOJONO, B.: Multimedia and Hypermedia in Manufacturing. In: Technology Transfer and Innovation (tti2000), Hrsg.: Commonwealth Institute. London UK: Commonwealth Institute, 2000, S. 17-22.
- [10] HACKER, Winfried: Allgemeine Arbeitspsychologie. Bern, Göttingen, Toronto u.a.: Verlag Hans Huber, 1998. (Schriften zur Arbeitspsychologie, Band 58)
- [11] JÜRGENSOHN, Thomas; NIESSEN, Cornelia; LEUCHTER, Sandro: Bedienermodellierung: Beispiele. In: Mensch-Maschine-Systemtechnik. Hrsg.: TIMPE, K.-P.; JÜRGENSOHN, T.; KOLREP, H. Düsseldorf: Symposion Publishing, 2000, S. 149-177.
- [12] WICKENS, Christopher D.; HOLLANDS, Justin G.: Engineering psychology and human performance. Upper Saddle River NJ: Prentice Hall, 3. Auflage 2000.