

Interaktions- und Kommunikationsversagen in Mensch-Maschine-Systemen als Analyse- und Modellierungskonzept zur Verbesserung sicherheitskritischer Technologien

Michael Herczeg

Kurzfassung

In Untersuchungen von Anomalien, Störungen, Störfällen (*Incidents*) und Unfällen (*Accidents*) sicherheitskritischer Systeme wird oft eine Klassifizierung in *menschliches* und *technisches Versagen* vorgenommen. In diesem Beitrag soll diskutiert und begründet werden, warum eine solche Klassifikation der Problematik nicht angemessen ist und daraus sowohl die falschen technologischen und gesellschaftlichen Schlussfolgerungen gezogen als auch unangemessene und daher wenig wirksame Maßnahmen ergriffen werden.

1. Einleitung

Wie bereits seit Jahren ausführlich untersucht wird, gibt es vielfältige Formen menschlicher *Fehlhandlungen* und daraus resultierende *Handlungsfehler*, die in unterschiedlichster Weise klassifiziert wurden (z.B. Norman, 1981; Rasmussen, 1982; Hacker, 1986, Reason, 1992). In ähnlicher Weise werden auch Fehler und Fehlereinflüsse für technische Systeme untersucht und in Methoden abgebildet, wie z.B. durch FMEA (Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse) und probabilistische Fehleranalyse. Die untersuchten und beschriebenen Formen von Fehlern seitens des Menschen sowie seitens technischer Systeme sind wichtige Konstrukte für die Analyse und Vermeidung von Anomalien, Störungen, Störfällen und Beinaheunfällen (*Incidents*) und Unfällen (*Accidents*) in Mensch-Maschine-Systemen, oder umgekehrt gesehen, Merkmale für die Zuverlässigkeit solcher Systeme. Diese Einflussgrößen werden gelegentlich zu Fehlerwahrscheinlichkeiten in verschiedenen Anwendungsfeldern aufgerechnet, wie z.B. bei technischen Komponenten als MTBF (Mean Time Between Failure) oder bei menschlichen Operateuren als HEP (Human Error Probability) (Zimolong, 1990).

Selten findet man eine kombinierte Berechnung der Fehler- oder Ausfallwahrscheinlichkeiten aus menschlichen Fähigkeiten und technischen Komponenten, obwohl diese eng zusammenwirken. So werden beispielsweise im Bereich der Kernkraft Fehlerwahrscheinlichkeiten für den Menschen hinsichtlich einzelner Fehlbedienungen (Swain & Guttman, 1983; Zimolong, 1990) und Fehlerwahrscheinlichkeiten für die Technik der Anlagen getrennt berechnet. In die Öffentlichkeit wird dann die Sicherheit kerntechnischer Anlagen ausschließlich unter Betrachtung der technischen Anlagenzuverlässigkeit kommuniziert. So entstehen auch gesellschaftliche Fehlwahrnehmungen der Gesamtwahrscheinlichkeit für den Eintritt schwerer Störfälle und Unfälle und damit verzerrte Wahrnehmungen realer Risiken (so genannter Restrisiken).

Diese, schon kulturtechnisch und wissenschaftsmethodisch systematisierte Trennung von menschlichen und technischen Fehlereinflüssen führt typischerweise auch zu einer getrennten Behandlung und Zuordnung der Fehlerursachen. So wird auf der einen Seite versucht, menschliche Fehler durch verbessertes *Training* oder noch grundlegender durch Etablierung von *Sicherheitskultur* zu reduzieren. Technische Fehler auf der anderen Seite sollen durch systematischeres und qualitätsgesichertes Entwickeln und Produzieren von Geräten, Fahrzeugen und Anlagen sowie durch das Vorsehen von redundanten oder mit anderen Auslegungsreserven versehenen Systemen behandelt werden.

Zusätzlich zu dieser systemtechnisch strikt getrennten und damit vereinfachten Betrachtung des Auftretens menschlicher und technischer Fehler benötigen wir eine Methodik, die das zunehmend dichte und komplexe Zusammenspiel von Mensch und Maschine, die *Mensch-Maschine-Interaktion* bzw. die *Mensch-Maschine-Kommunikation* hinsichtlich des Auftretens von Fehlern ins Zentrum der Betrachtung rückt. Fehler, die durch mangelnde oder fehlerhafte Anpassungen zwischen dem menschlichem Interaktions- und Kommunikationsverhalten und den realisierten technischen Interaktions- und Kommunikationsfähigkeiten entstehen, sollten *Interaktions- und Kommunikationsfehler* genannt werden und resultieren weder in menschlichem noch in technischem Versagen sondern in Folgen, die, wenn man den Begriff des *Versagens* überhaupt verwenden möchte, am ehesten als *Interaktions- oder Kommunikationsversagen* bezeichnen könnte. Sie bilden eine eigene Kategorie von Fehlern. Zum Unterschied zwischen Interaktion und Kommunikation mit technischen Systemen siehe Herczeg, 2004a und 2004b. In diesem Beitrag wird im Wesentlichen nur noch von Interaktion und Handlungen gesprochen, auch wenn diese kommunikative Elemente, wie z.B. natürliche Sprache als Eingabeform, beinhalten.

Es ist zu vermuten und kann in vielen Einzelfällen auch gezeigt werden, dass bei einem beträchtlichen Teil der Incidents und Accidents, bei denen insbesondere *menschliches Versagen* als Ursache diagnostiziert wurde, Interaktions- oder Kommunikationsversagen vorlag, d.h. Systemzusammenbrüche, die aus Fehlanpassungen des Zusammenwirkens von Mensch und Maschine resultieren. In diesem Beitrag sollen solche Fehlanpassungen, ihre Modellierung, Entstehung und Vermeidung auf Grundlage von differenzierten Interaktionsmodellen (Herczeg, 1994, 2004a, 2004b) diskutiert werden.

2. Deformationen in der Abbildung von Prozessen und Intentionen

In einer Prozessführungssituation sind systemtechnisch drei wesentliche Komponenten beteiligt: der zu überwachende und zu steuernde dynamische *Prozess*, das *Prozessführungssystem* sowie der *Operateur*. Wir können zum Zweck unserer Betrachtung in diesem Beitrag von potenziellen weiteren Akteuren, wie anderen Operateuren oder umgebenden organisatorischen Funktionseinheiten absehen.

In Abbildung 1 wird der Transformationsprozess bei der Wahrnehmung des Prozessgeschehens durch einen Operateur dargestellt. Dabei entstehen teils zwangsläufig, teils unbeabsichtigt, *Deformationen* in der Wahrnehmung des realen Prozesses und seiner Eigenschaften:

1. Die maschinelle Sensorik erfasst nur einen Teil des Prozesses, kodiert die Messdaten und erzeugt dabei Lücken.
2. Durch fehlerhafte maschinelle Sensorik entstehen Artefakte, wodurch real nicht Vorhandenes im Prozessführungssystem erscheint.
3. Durch Vorverarbeitungsfunktionen in der maschinellen Sensorik zur Erzeugung von Messdatagrammen (Nachrichten) werden Transformationen (Normierungen, Skalierungen, Kodierungen) der Messdaten vorgenommen, die die Sensordaten weiter verändern.
4. Maschinelle Funktionen im Prozessführungssystem aggregieren die Daten durch meist mathematische und logische Verknüpfungen und fassen so mehrere einfache Daten zu abstrakteren Daten und komplexeren systeminternen Datenstrukturen zusammen.
5. Eine Fokussierung durch maschinelle Funktionen des Prozessführungssystems lenkt und reduziert die Sicht des Operateurs auf einen Ausschnitt des ganzen Prozesses.

6. Maschinelle Funktionen des Prozessführungssystems vereinfachen die Präsentation des Prozesses durch Bildung abstrakter Prozessgrößen, die für die Operateure Bedeutung haben und für diese verständlich sind.
7. Die Präsentation durch maschinelle Funktionen visualisiert auch Nicht-Visuelles mit unklaren Konsequenzen hinsichtlich vorhandener Erfahrungen und mentaler Modellbildungen.
8. Die Informationsaufnahme durch die menschliche Wahrnehmung mit ihren Beschränkungen erfasst nur einen Teil des Präsentierten.
9. Eine Fokussierung durch die menschliche Aufmerksamkeit reduziert den präsentierten Ausschnitt durch selektives Wahrnehmen weiter.
10. Die erfahrungsbasierte Interpretation durch den Menschen versucht die Dekodierung des Wahrgenommenen zur Extraktion von Information, um Systemzustände zu erkennen.
11. Die erfahrungs- und erwartungsbasierte Bewertung durch den Menschen erzeugt Bedeutungen von Systemzuständen.
12. Abstraktion durch den Menschen führt zu einer weiteren Vereinfachung des Wahrgenommenen.

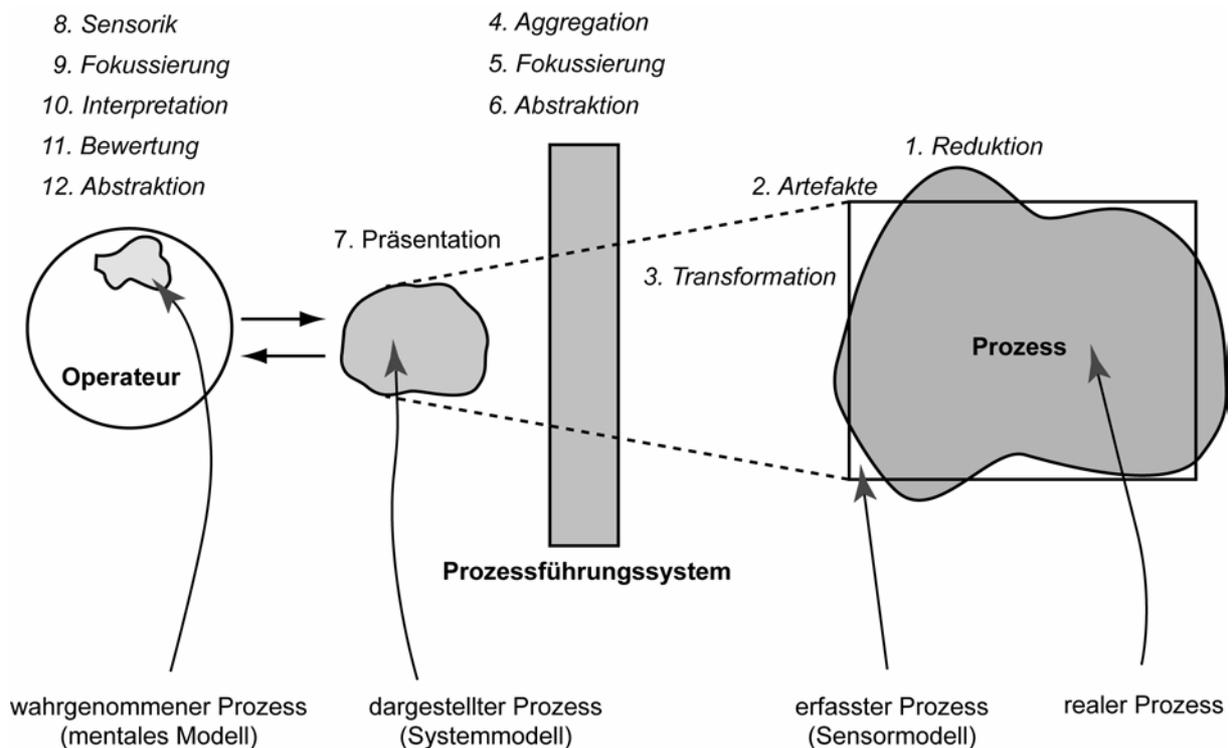


Abbildung 1. Abbildung des Prozessgeschehens über das Systemmodell des Prozessführungssystems in das mentale Modell des Operateurs

Die dargestellten Auslassungen, Artefakte und Verzerrungen der Abbildung des zu überwachenden und zu steuernden Prozesses über das Systemmodell des Prozessführungssystems bis zum mentalen Modell des Operateurs finden eine Entsprechung in der Umkehrung des Vorgangs bei den Handlungen des Operateurs zum Zweck der Steuerung des Prozesses. Auch hier sind Deformationen der Intentionen des Operateurs bis zur Abbildung auf die Aktoren in

den Prozess festzustellen.

Diese Abbildungsschritte und die damit verbundene Verzerrung der Prozessrealität kann als Grundlage für die zu leistenden Prozessüberwachungs- oder Prozessführungsaufgaben nur funktionieren, wenn die Grenzen und Schwächen dieser Abbildung den Systementwicklern und den Operateuren bewusst sind und in den Prozessführungssystemen und dem damit verbundenen Training berücksichtigt werden. Sollen Leistungen außerhalb dieses antizipierten Betriebs erbracht werden, gibt es keine Garantien, dass die Prozessabbildungen in das Prozessführungssystem und daraufhin in die mentalen Modelle der Operateure noch irgendwelche Gütekriterien hinsichtlich der Abbildungstreue erfüllen können und zu angemessenen, d.h. *zeitgerechten sicherheitsgerichteten Wahrnehmungen und Handlungen* des Operateurs führen können. Selbst wenn eine Erweiterung und Umbildung des mentalen Modells des Operateurs erwartet werden kann, da das Prozessführungssystem möglicherweise nützliche Information und Stimuli liefert, ist der Zeitfaktor zu sehen, in dem eine solche mentale Modelländerung und Modellerweiterung durch diagnostische Analyse- und Schlussfolgerungsprozesse realistisch erfolgen kann.

Der menschliche Operateur und das Prozessführungssystem interagieren oder kommunizieren unter den oben dargestellten Randbedingungen verzerrter Wahrnehmungen und Handlungen. Die Verzerrungen lassen sich auch als *Inkompatibilitäten* von mentalem Modell, Systemmodell und Prozess betrachten (Dutke 1994; Herczeg, 2004a und 2004b). Diese Inkompatibilitäten resultieren in vielfältigen Fehlwahrnehmungen und Fehlhandlungen.

Es gibt eine Vielzahl von Ereignissen, bei denen die mentalen Modelle der Operateure auf Grundlage der Beobachtung der vorhandenen Prozessführungssystemen so weit von den realen Prozesszuständen entfernt waren, dass die Ereignisse nicht erkannt oder nicht verstanden wurden. Einige dieser Ereignisse endeten mit Unfällen, wie z.B. Tschernobyl am 26.4.1986 und der Absturz einer B757 der Birgenair am 6.2.1996 andere durch glückliche Umstände nur mit Beinaheunfällen, wie z.B. Three Mile Island am 28.3.1979 (Perrow, 1997; Kletz, 2001). Es ist aus den genannten Gründen wenig hilfreich, im Hinblick auf die hochinteraktive, aber nicht mehr im Rahmen der Auslegung ablaufende Prozessführung im Mensch-Maschine-System von menschlichem Versagen zu sprechen.

3. Zusammenbruch der Handlungsregulation

Fehlhandlungen werden sich in vielen Fällen aufgrund der Dynamik des Prozesses und seiner Zeitanforderungen nicht immer zeitgerecht und angemessen durch menschliche *Handlungen* und *Handlungsregulation* sowie entsprechende maschinelle *Aktionen* und *Regelungsfunktionen* auffangen und beheben lassen. So entstehen in Prozessführungssystemen, anders als in den meisten anderen Anwendungssystemen, Incidents und auch Accidents im Falle komplexer, nicht korrekt oder zeitgerecht regulierbarer Anomalien im Systembetrieb. Es unterstützt weder das Verständnis noch die Vermeidung solcher Ereignisse, diese nach ihrem Auftreten mit menschlichem oder technischem Versagen zu attributieren, solange die Ursache letztlich in einer *fehlabgestimmten Mensch-Maschine-Schnittstelle*, die die eingeschränkte sensorische Instrumentierung des Prozesses und andere begrenzte maschinelle Funktionen bzw. die physischen und psychischen Grenzen menschlicher Operateure nicht angemessen berücksichtigt. Situationen hoher *Interaktionsdichte* mit Ausfallerscheinungen oder kompletten Zusammenbrüchen im Regulationsprozess müssen stattdessen als *Interaktions- oder Kommunikationsversagen des Mensch-Maschine-Systems* eingestuft werden. Eine solche Einstufung ist ein klarer Hinweis auf geeignete Maßnahmen, nämlich vor allem die konzeptionelle und technische Verbesserung der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Die Fehlerart *Interaktions- und Kommunikationsfehler* fehlt weitgehend in den bisherigen Studien und

Analysen von Fehlhandlungen im Bereich der Prozessführung.

Rasmussen (1984) geht von einer Entscheidungs- und Aktionspyramide (*Decision-Ladder*) aus, bei der Beobachtungen des Prozesses zu zunehmend höherwertigen, semantisch zunehmend aufgeladenen Informationen und Erkenntnissen verarbeitet werden und die dann mehr oder weniger schnell in Handlungen einmünden (Abbildung 2). Diese Handlungen laufen in Abhängigkeit von auslösenden Stimuli, nämlich *Signalen (Signals)*, *Zeichen (Signs)* oder *Symbolen (Symbols)* entweder *fertigkeitsbasiert (skill-based)*, *regelbasiert (rule-based)* oder *wissensbasiert (knowledge-based)* ab (Abbildung 3) (Rasmussen, 1983). Die Einflüsse und vor allem Rückwirkungen einer Benutzungsschnittstelle eines interaktiven Prozessführungssystems auf die Wahrnehmungen und Handlungen bleiben dabei weitgehend ungeklärt.

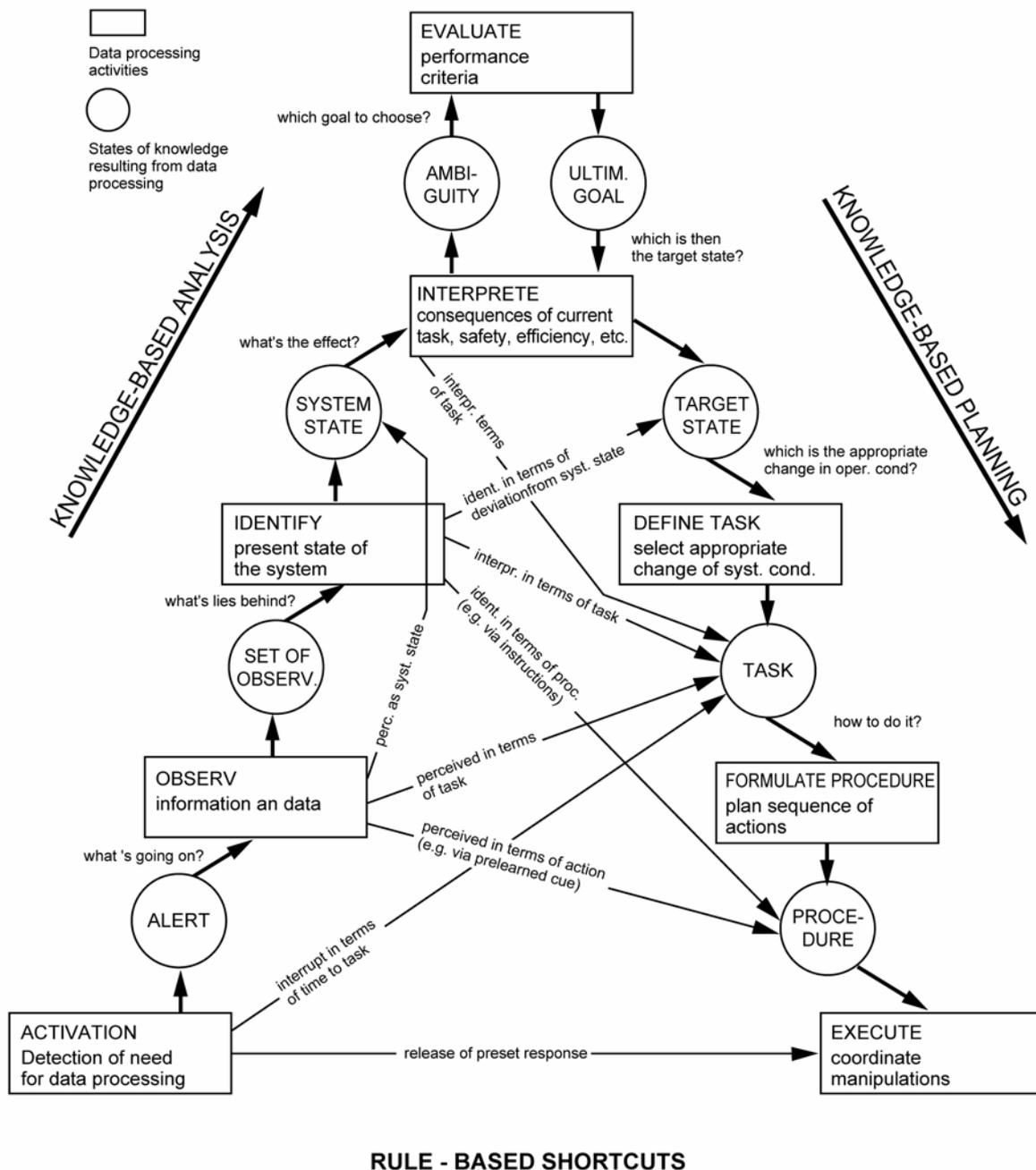


Abbildung 2. Decision-Ladder (nach Rasmussen, 1984)

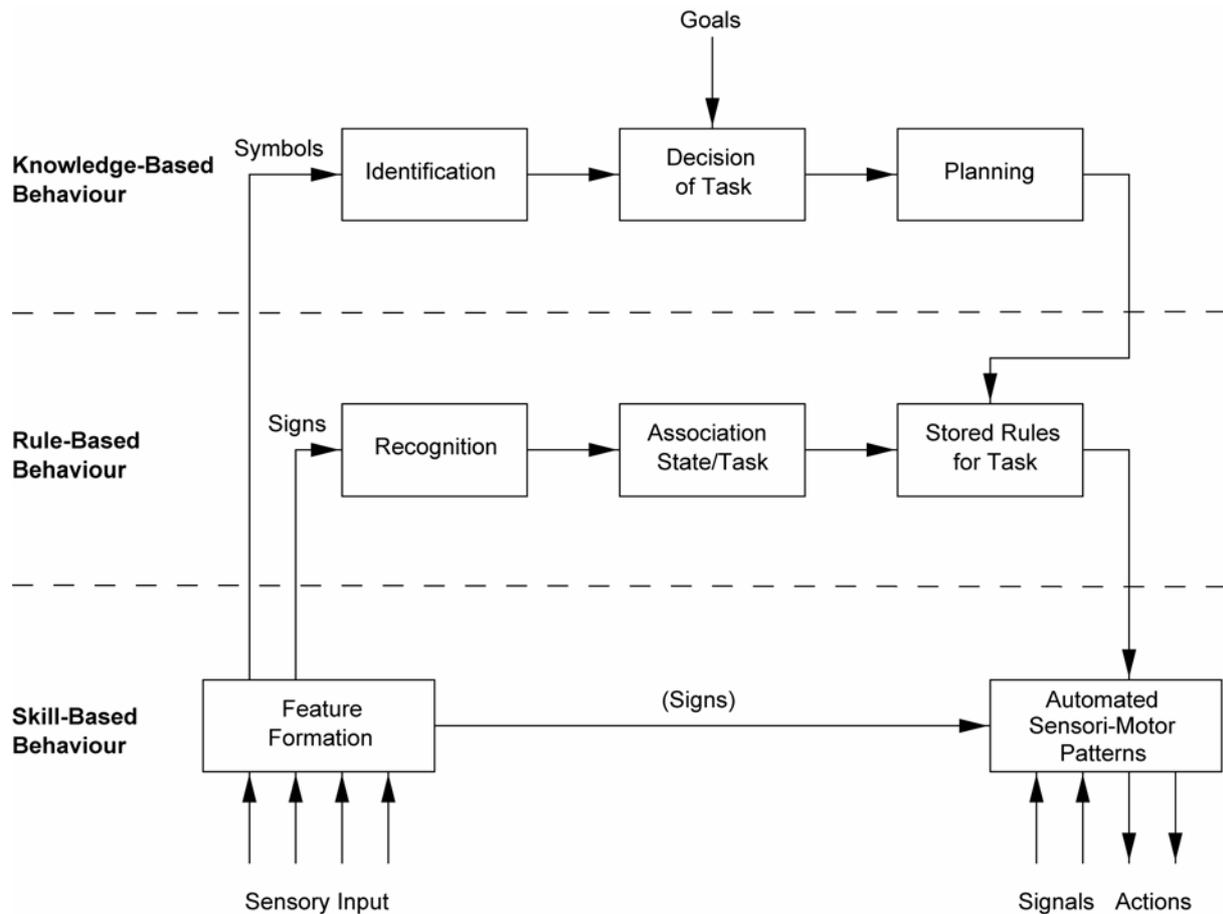


Abbildung 3. Ebenen der Handlungssteuerung nach Rasmussen (1983)

Reason (1992) stützt sich in seiner Klassifizierung von Fehlertypen unter anderem auf die beiden dargestellten Modelle von Rasmussen und kommt zu einer Einordnung von Fehlhandlungen („sicherheitsgefährdende Handlungen“ nach Reason) auf den drei von Rasmussen beschriebenen Ebenen der fertigkeit-, regel- und wissensbasierten Verhaltensebenen. Reason unterscheidet dabei in erster Stufe beabsichtigte und unbeabsichtigte Fehlhandlungen und differenziert bei beabsichtigten Fehlhandlungen *Fehler (Mistakes)* und *Verstöße (Violations)* und bei den unbeabsichtigten Fehlhandlungen *Patzer (Slips)* und *Schnitzer (Lapses)*. Hierzu wurden von Reason auch psychische Faktoren untersucht und diskutiert, die zu diesen Fehlerarten führen. Die Handlungsregulation und Interaktion als komplexer Prozess, bei dem nicht nur der Mensch sondern auch maschinelle Funktionen auf verschiedenen Handlungsebenen regulierend wirken und gelegentlich auch versagen, wird so nicht erfasst.

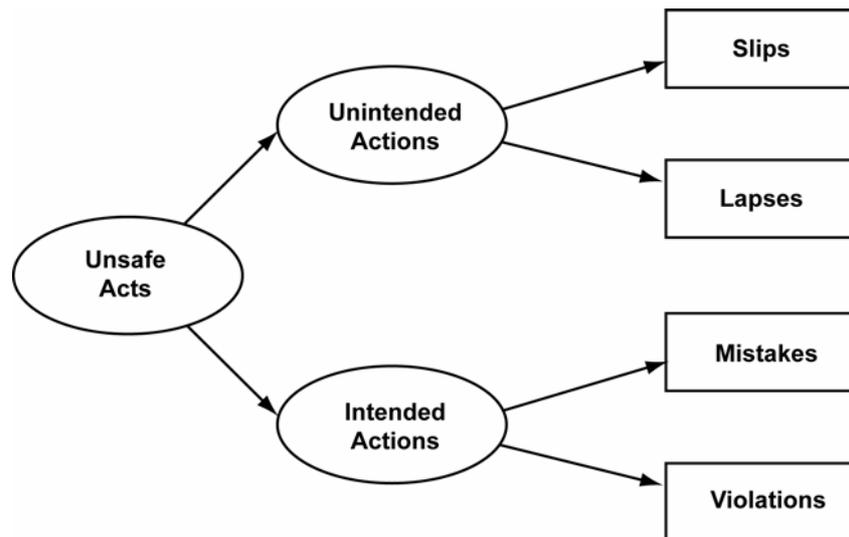


Abbildung 4. Fehlhandlungskategorien nach Reason (1992)

Norman (1981) kommt zu einer anderen Klassifizierung von Fehlhandlungen (*Action Slips*) bei denen er sich vor allem an fehlerhafter Formierung von Intentionen, fehlerhafter Aktivierung von Schemata sowie an falschen Auslösemechanismen oder Auslösemustern (*Trigger*) auf Grundlage einer Aktionstheorie (*Activation-Trigger-System*) orientiert. Dies trifft die Situation bei hochinteraktiven Systemen besser, wenn auch nicht erschöpfend, da zumindest auch *Feedback-Mechanismen* einer intendierten Aktion betrachtet werden.

In den weitergehenden Modellen von Norman (1986) sowie arbeitspsychologischen Modellen (Leontjew, 1979) findet sich eine auf mehreren Ebenen modellierte Handlungsstruktur, die bei Norman auch die entscheidende Handlungsregulation erfasst. Diese Modelle lassen sich zu sechs typischen Handlungsebenen (*6-Ebenen-Modell*) weiter verfeinern und als *mentales Modell* des Benutzers oder Operators (Abbildung 5) als auch als *Systemmodell* (Abbildung 6) eines interaktiven Systems auffassen. Als drittes Modell neben mentalem Modell und Systemmodell ist der zu steuernde Prozess zu sehen. Mit diesen Modellen lassen sich sowohl die Effekte der Handlungsregulation eines Operators als auch die Kompatibilitäten dieser Modelle in hoher Auflösung betrachten.

Auf jeder der sechs Ebenen können Aktionen und Handlungsregulationen ablaufen, die je nach verfügbarer Zeit, Trainings- und Bewusstseinszustand des Operators innerhalb jeder dieser sechs Ebenen entweder auf der Basis von Fertigkeiten, Regeln oder explizitem Wissen generiert und gesteuert werden. Die drei unterschiedlichen Handlungsebenen von Rasmussen (Abbildung 3) werden hierbei nicht nur auf das gesamte Problemlösungsverhalten sondern auf die Mikrostruktur der Interaktion und des Wissens zur Handlungsregulation bezogen.

Die 6-Ebenen-Modelle ähneln der Decision-Ladder von Rasmussen (Abbildung 2), da sie von einfachen sensorischen Wahrnehmungen über einige Zwischenstufen bis auf die bewusste Aufgabenebene reichen. Sie sind jedoch als mentale Modelle einzelner Operateure zu sehen anstatt diejenigen einer ganzen Betriebsorganisation mit einigen pathologischen „Kurzschlüssen“ wie beim Modell von Rasmussen. Sie zeigen somit auch besser als die Decision-Ladder die Rückkopplungspfade der laufenden individuellen Handlungsregulation und weisen somit auch stärker auf die hohe Interaktivität moderner Prozessführungssysteme, die in der Lage sind, große vorverarbeitete Volumina an Prozessdaten zu liefern und über die visuellen, auditiven und haptischen Ausgabegeräte zu präsentieren und sich über entsprechende Eingabegeräte steuern lassen. Die Qualität der Entsprechung von Prozess, System-

modell und mentalem Modell entscheidet in hohem Maße darüber, wie gut und direkt der Operateur in der Lage ist, den aktuellen Zustand des Prozesses zu verstehen und zu beurteilen, d.h. über eine angemessene *Situation Awareness* (Endsley & Garland, 2000; Endsley, Boltè & Jones, 2003) zu verfügen und geeignete Entscheidungen mit funktionierenden Regulations-schleifen umzusetzen. Fehlende Isomorphie der Modelle und ungeeignete Regulationsmecha-nismen durch die Wahl der Interaktionsformen führen dann zu erhöhten Kommunikations- und Interaktionsfehlern, die verhindern, dass korrekt, ökonomisch und zeitgerecht gehandelt wird. Insofern ergibt sich im Bereich der Interaktion die Ursachenkette in der Weise, dass aus Fehlwahrnehmungen Fehlregulationen und damit letztlich Fehlhandlungen resultieren, die Interaktionsfehler auf einer oder mehreren der dargestellten sechs Ebenen nach sich ziehen. Aus dem Normalbetrieb mit funktionierender Handlungsregulation auf allen Ebenen ent-wickelt sich letztlich im Accident oder Incident ganz oder zeitweise ein Zusammenbruch der Handlungsregulation. Dies kann von Interaktionsversagen auf der intentionalen Ebene bis zum Interaktionsversagen auf der sensomotorischen Ebene reichen.

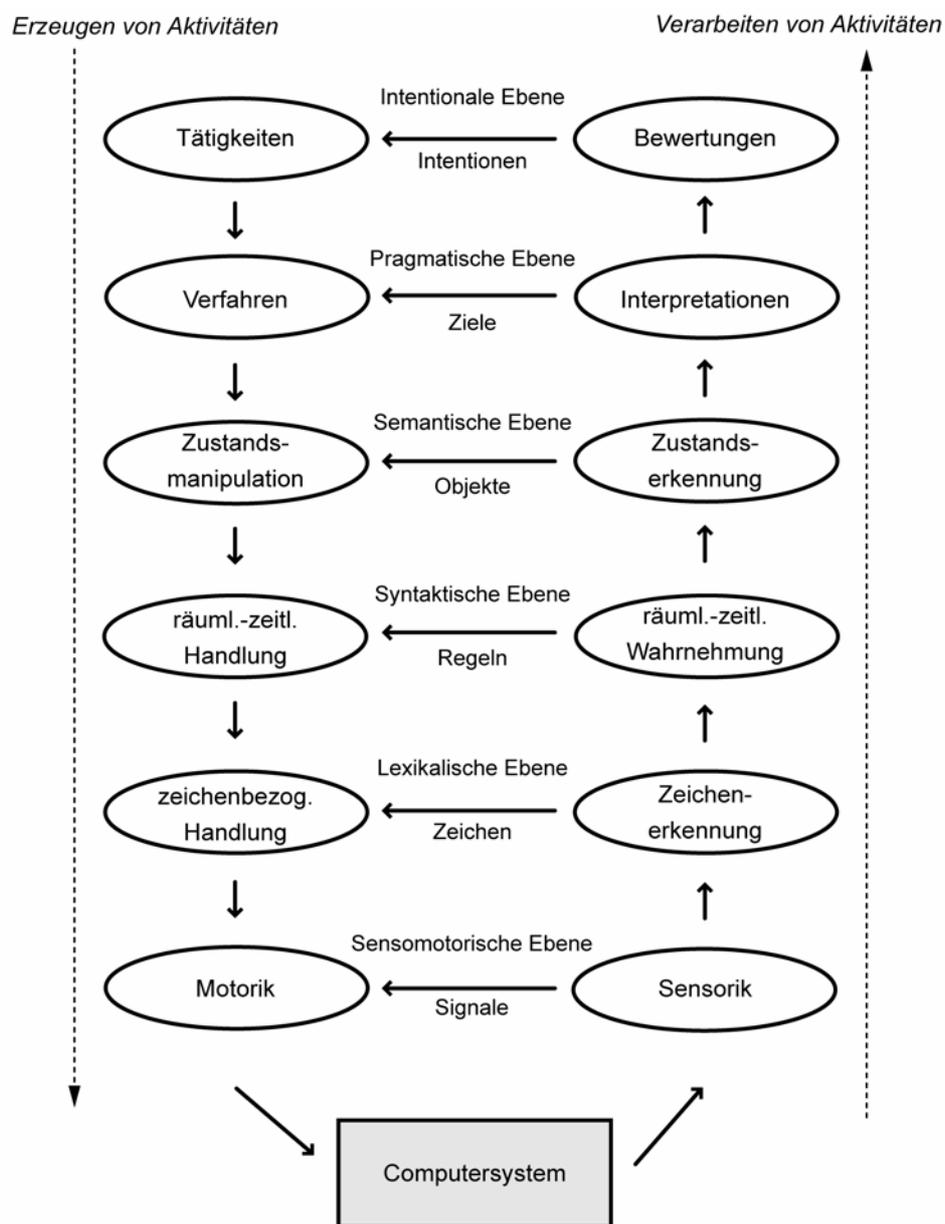


Abbildung 5. Modell eines Benutzers/Operateurs (nach Herzog, 2004a)

Interaktionsversagen, das im Sinne dieser Handlungsmodelle auf den sechs verschiedenen Ebenen und dort in Form der drei Handlungsformen fertigungs-, regel- und wissensbasierten Handelns auftreten kann, ist so vielfältig und komplex, dass es in jeder anspruchsvollen Prozessführungssituation mit einem interaktiven Prozessführungssystem auftreten wird. Hier wird noch einmal deutlich, warum solche Fehlhandlungen oder Fehlverhalten des Systems nicht sinnvoll einer der beiden Seiten Mensch oder Technik zuzuschreiben sind.

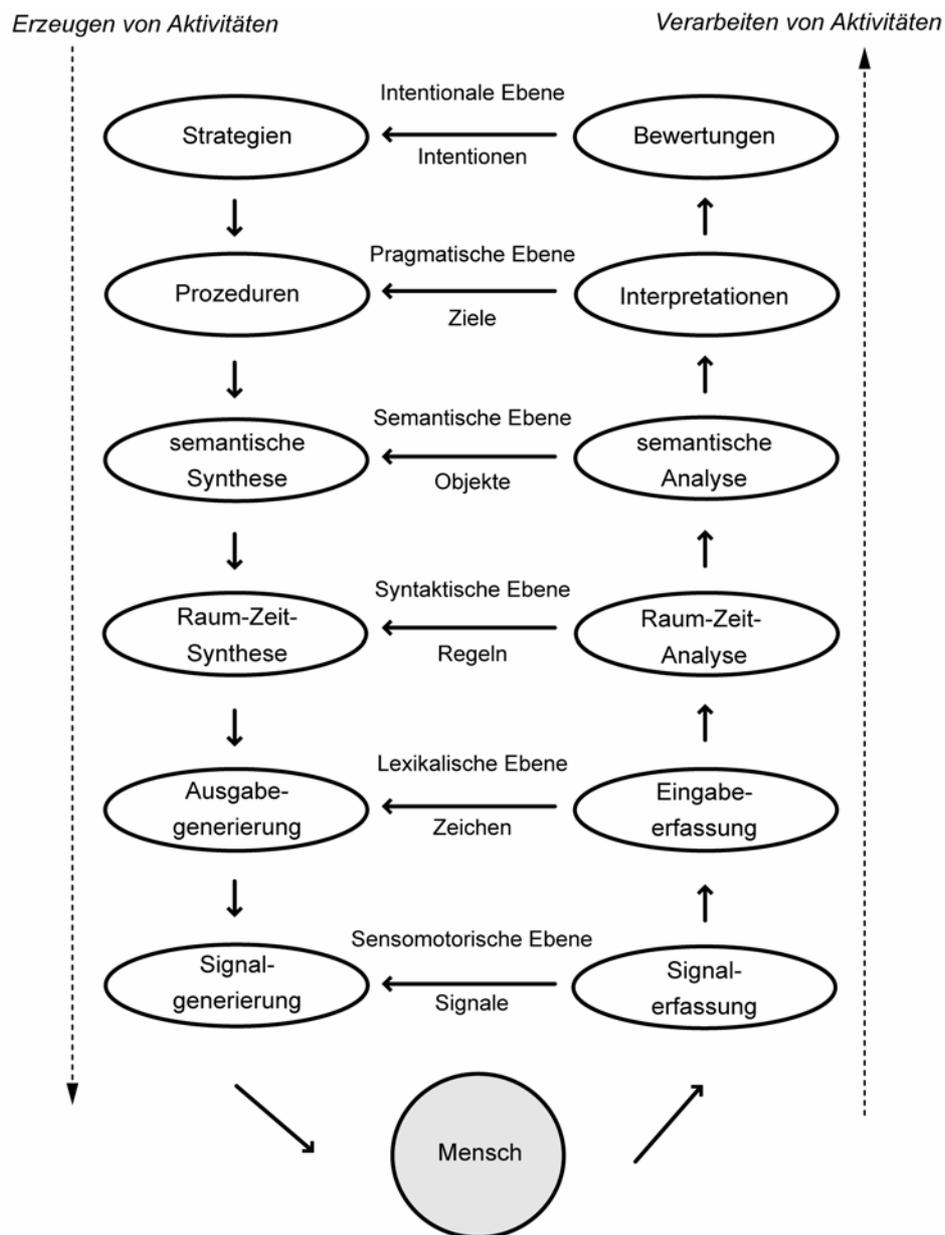


Abbildung 6. Modell eines interaktiven (Prozessführungs-)Systems (nach Herczeg, 2004a)

4. Interaktionsdesign für sicherheitskritische Anwendungen

Der zweckgemäße, d.h. menschen- und anwendungsgerechte Ablauf in der Nutzung bzw. der prinzipiellen Nutzbarkeit eines interaktiven Systems wird als *Gebrauchstauglichkeit* bezeichnet. *Effektivität*, *Effizienz* und *Zufriedenstellung* der Benutzer sind die Hauptkriterien nach denen die Gebrauchstauglichkeit eines Systems bewertet wird (ISO 9241-11). Weitere

Kriterien fokussieren auf Dialogeigenschaften wie die *Aufgabenangemessenheit*, *Selbstbeschreibungsfähigkeit*, *Steuerbarkeit*, *Erwartungskonformität*, *Fehlerrobustheit*, *Individualisierbarkeit* und *Lernförderlichkeit* (ISO 9241-10). Auch wenn diese Kriterien nur wenig für spezifische Fragen im Bereich der Prozessführung entwickelt und interpretiert wurden, zeigen sie doch die Vielfalt und Komplexität interaktiver Systeme und weisen auf mögliche Schwierigkeiten und Benutzungsprobleme hin.

Entwicklungsprozesse für interaktive Systeme werden als benutzerzentrierte Prozesse beschrieben (ISO 13407), die insbesondere die Analyse der Benutzer, deren Aufgaben sowie die organisatorische Einbettung in den Vordergrund stellen (Herczeg, 1999 und 2001). Da in kritischen Prozessführungssituationen vor allem ereignis- statt aufgabenorientierte und eher nicht vorhersehbare Problemstellungen vorliegen, geraten wir an die derzeitigen Grenzen der Entwicklungsmethodik interaktiver Systeme für sicherheitskritische Anwendungen. Aber zumindest der Normalbetrieb einer Prozessführungssituation lässt sich damit erfassen und unter Nutzung der genannten Handlungsmodelle auch systematisieren. Diese Form des benutzerzentrierten Entwickelns wurde abgeleitet aus dem *Cognitive (Systems) Engineering* (Norman, 1986; Woods & Roth, 1988; Rasmussen, Pejtersen & Goodstein, 1994) und auch als *User-Centered System Design* (Norman & Draper, 1986) sowie als *Usability-Engineering* beschrieben (Mayhew, 1999).

Die Fehlerwahrscheinlichkeiten in den Interaktionsschleifen auf den dargestellten Ebenen setzen sich zusammen aus den statistisch auftretenden menschlichen und maschinellen Schwächen im Regulationsprozess. Spezifische Berechnungsmodelle für die komplexen Handlungs- und Handlungsregulationsprozesse unter Berücksichtigung der dargestellten Ebenen und ihrer spezifischen Ausprägungen in Abhängigkeit vom Trainings- und Erfahrungsstand der Operateure muss als ein weitgehend offenes Thema wahrgenommen werden. Entsprechendes gilt für die Modellierungs- und Gestaltungsprinzipien, die auf den genannten Gestaltungsebenen Einsatz finden können. Hier gibt es eine Vielzahl von Ansätzen, die allerdings mehr oder weniger als kreative und erfahrungsbasierte Gestaltungsprozesse angesehen werden müssen. Eine Generierung von Interaktionsformen mit definierten Eigenschaften aus Aufgabenbeschreibungen ist für komplexe Anwendungen noch nicht zu sehen. Auch Vorgehensweisen wie *Design for Error* sind derzeit eher noch als Forschungsprogramm und noch nicht als Konzept anzusehen.

Interaktionsdesign im weitesten Sinne umfasst im Sinne einer Methodik zur Handlungs- und Handlungsregulationsmodellierung auch die Fragen der *Mensch-Maschine-Arbeitsteilung*, die bislang als eigenständige Thematik, wie im Fall der Aufgabenverteilung (*Task Allocation*) (Sheridan, 1988; Billings, 1997; Kantowitz, & Sorkin, 1997) und *Supervisory Control* (Sheridan, 1987) angesehen wurde. Der Ansatz eines *Intention-Based Supervisory Control* (Herczeg, 2003) versucht ein Teil der Interaktionsaufwände und Fehlerquellen durch bessere Systemmodellierungen zu reduzieren.

5. Zusammenfassung

Die Zuschreibung von Fehlern zu Mensch oder Maschine in Form sogenannten *menschlichen oder technischen Versagens* bei Incidents oder Accidents sicherheitskritischer Systeme beruht auf einer falschen Wahrnehmung der Struktur von Mensch-Maschine-Systemen. Es wird einerseits übersehen, dass die Transformation des Prozesses über das Prozessführungssystem bis zum mentalen Modell des Operateur von einer Vielzahl von *Deformationen in der mehrstufigen Abbildung* von statten geht. Ähnliches gilt für die Abbildung von Intentionen zu Einwirkungen auf den Prozess. In hochinteraktiven Anwendungen wie wir sie heute in vielen computergestützten Prozessführungssystemen vorfinden, liegen darüber hinaus auf vielen

Ebenen Handlungs- und Handlungsregulationsprozesse vor, die durch unzulängliches Interaktionsdesign vielfältige *Inkonsistenzen zwischen mentalem Modell, Systemmodell des Prozessführungssystems und Prozessmodell* aufweisen. Es wäre daher angemessener von *Interaktions- und Kommunikationsversagen des Mensch-Maschine-Systems* zu sprechen und durch geeignete Entwicklungsmethoden im Interaktionsdesign dafür zu sorgen, dieses zu beheben.

6. Literatur

- Billings, C.E. (1997): *Aviation Automation: The Search for a Human-Centered Approach*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Dutke, S. (1994): *Mentale Modelle. Konstrukte des Wissens und Verstehens – Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie*. Göttingen: Verlag für angewandte Psychologie.
- Endsley, M.R. & Garland, D.J. (Ed.): (2000). *Situation Awareness – Analysis and Measurement*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Endsley, M.R., Bolté, B. & Jones, D.G. (2003): *Designing for Situation Awareness*. London: Taylor & Francis.
- Hacker, W. (1986): *Arbeitspsychologie*. Bern: Hans Huber.
- Herczeg, M. (1994): *Software-Ergonomie*. 1. Auflage. Bonn: Addison-Wesley und München: Oldenbourg.
- Herczeg, M. (1999): *A Task Analysis Framework for Management Systems and Decision Support Systems*. In: Proceeding of AoM/Iaom, 17. International Conference on Computer Science, San Diego, California, August 1999, pp. 29-34.
- Herczeg, M. (2000): *Sicherheitskritische Mensch-Maschine-Systeme*. In: FOCUS MUL 17(1), Universität zu Lübeck, pp. 6-12.
- Herczeg, M. (2001): *A Task Analysis and Design Framework for Management Systems and Decision Support Systems*. In: ACIS International Journal of Computer & Information Science, 2(3), September 2001, pp. 127-138.
- Herczeg, M. (2002): *Intention-Based Supervisory Control – Kooperative Mensch-Maschine-Kommunikation in der Prozessführung*. In: Grandt, M. & Gärtner, K.-P. (Hrsg.): *Situation Awareness in der Fahrzeug- und Prozessführung*, DGLR-Bericht 2002-04. Bonn: DGLR e.V., 29-42.
- Herczeg, M. (2004a): *Software-Ergonomie*. 2. Auflage. München: Oldenbourg, 2004.
- Herczeg, M. (2004b): *Analyse und Gestaltung multimedialer interaktiver Systeme*, In: *Enzyklopädie der Psychologie, Band Ingenieurpsychologie*, Göttingen: Hogrefe, 2004.
- Kantowitz, B.H. & Sorkin, R.D. (1997): *Allocation of Functions*. In: G. Salvendy (Ed.): *Handbook of Human Factors*, John Wiley and Sons, 1997, pp. 355-369.
- Kletz, T. (2001): *Learning from Accidents*, 3rd Edition, Oxford: Gulf Professional Publishing.
- Leontjew, A.N. (1979): *Tätigkeit, Bewusstsein, Persönlichkeit*. Berlin: Volk und Wissen.
- Mayhew, D.J. (1999): *The Usability Engineering Lifecycle*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Norman, D.A. (1981): *Categorization of Action Slips*. *Psychological Review*, 88(1), pp. 1-15.

- Norman, D.A. (1986): Cognitive Engineering. In: Norman, D.A. & Draper S.W. (Eds.), *User Centered System Design*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 31-61.
- Norman, D.A. & Draper, S.W. (Eds.) (1986): *User Centered System Design*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Perrow, C. (1987): *Normale Katastrophen: Die unvermeidbaren Risiken der Großtechniken*. Frankfurt/M., New-York: Campus.
- Rasmussen, J. (1982): *Human Errors – A Taxonomy for describing Human Malfunction in Industrial Installations*. Journal of Occupational Accidents, 4/1982, pp. 311-333.
- Rasmussen, J. (1983): *Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 13(3), May/June 1983, pp. 257-266.
- Rasmussen, J. (1984): *Strategies for State Identification and Diagnosis in Supervisory Control Tasks, and Design of Computer-Based Support Systems*. Advances in Man-Machine Systems Research, Vol.1, Denmark, August 1985, pp. 139-193.
- Rasmussen, J. (1985): *The Role of Hierarchical Knowledge Representation in Decision-making and System Management*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-15, No. 2, March/April 1985, pp. 234-243.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A.M. & Goodstein, L.P. (1994): *Cognitive Systems Engineering*. New York: Wiley.
- Reason, J. (1992): *Human Error*. New York: Cambridge University Press.
- Reason, J. (1994): *Menschliches Versagen*. Übersetzung von Reason 1992): *Human Error*. Heidelberg: Spektrum.
- Sheridan, T.B. (1987): Supervisory Control. In: G. Salvendy (Ed.): *Handbook of Human Factors*, John Wiley and Sons, pp. 1243-1268.
- Sheridan, T.B. (1988): Task Allocation and Supervisory Control. In: M. Helander (Ed.): *Handbook of Human-Computer Interaction*, Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., pp. 159-173.
- Swain, A. & Guttman, H. (1983). *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*. NUREG/CR-1278, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1983
- Woods, D.D. & Roth, E.M. (1988): Cognitive Systems Engineering. In: Helander, M. (Ed.), *Handbook of Human Computer Interaction*, Amsterdam: Elsevier, pp. 3-43.
- Zimolong, B. (1990): Fehler und Zuverlässigkeit, In: *Enzyklopädie der Psychologie, Band Ingenieurpsychologie*, Göttingen: Hogrefe, pp. 314-345.

Autor

Prof. Dr. Michael Herczeg
 Universität zu Lübeck
 Institut für Multimediale und Interaktive Systeme
 Willy-Brandt-Allee 31a
 D-23554 Lübeck
 Tel: 0451/2803-4100
 Fax: 0451/2803-4190
 E-Mail: herczeg@imis.uni-luebeck.de