

## **Design for Responsibility: Die Rolle des Operators zwischen Automation und Verantwortung**

Michael Herczeg

### **Zusammenfassung**

Die Konzeption von Automation in komplexen Mensch-Maschine-Systemen wird immer mehr zur Abwägung zwischen Notwendigkeit, Machbarkeit und Beherrschbarkeit. Die Notwendigkeit von Automatisierung leitet sich neben der Zweckbetrachtung insbesondere auch aus zeitlichen, technischen und kognitiven Grenzen der menschlichen Operateure und der Prozessführungssysteme ab, die entscheidend dafür sind, welche Rolle ein Mensch hierbei überhaupt physisch und psychisch einnehmen kann. Automatisierung ist inzwischen durch die technologischen Entwicklungen immer weniger eine Frage der Machbarkeit der technisch-algorithmischen Steuerungs- und Regelungstechniken und immer mehr eine Frage der Folgen von Automatisierung in Mensch-Maschine-Systemen, bei denen der Mensch, hier Operateur, zunehmend zum passiven Überwacher und Verantwortlichen degradiert wird oder womöglich werden muss. Die Verantwortbarkeit von Automatisierung muss sich ableiten aus einerseits der Qualität und Zuverlässigkeit der algorithmisch-technischen Lösungen von Steuerungs- und Regelungsaufgaben und andererseits der Kontrollierbarkeit und Beherrschbarkeit durch den Menschen. Die Folgen umfassender Automatisierung werden in betrieblichen Anwendungsfeldern mit ausgebildeten Operateuren, wie z.B. Luftfahrt, Schifffahrt oder Kerntechnik, immer deutlicher und kritischer gesehen (Complacency, Verlust an Kompetenz, Out-of-the-Loop Performance), während im Bereich von Automations- und Assistenzsystemen für Laien (z.B. Autofahrer) geradezu eine „Hoch-Zeit“ der Vollautomatisierung angebrochen scheint. Der Beitrag setzt Automations-, Risiko- und Verantwortungskonzepte in Bezug, um einige wichtige Aspekte und Leitlinien für Automatisierungsstrategien in Mensch-Maschine-Systemen diskutieren zu können, in denen insbesondere Verantwortung und Verantwortbarkeit, im Sinne eines „Design for Responsibility“, im Zentrum der Betrachtungen stehen.

### **1 Einleitung**

Im Rahmen der Prozessführung durchlaufen die geführten Anwendungsprozesse mehr oder weniger dynamisch eine Vielzahl von Systemzuständen, die unterschiedlichste Gefährdungspotenziale tragen. Operateure haben dabei die Aufgabe, die Prozesse durch eine Folge möglichst bekannter und sicherer Zustände zu

steuern. Sie bedienen sich dabei inzwischen meist computerbasierter Prozessführungssysteme in Form von Cockpits, Leitwarten oder Leitständen, die die Präsentation der Prozesszustände sowie die Steuerungsfunktionen bereitstellen. Viele dieser Funktionen sind ganz oder teilweise von Automationen gekennzeichnet, die selbst wieder mehr oder weniger autonom einen Teil der Analyse, Steuerung und Regelung übernehmen. Der menschliche Operator ist somit auf ein mehr oder weniger autonom arbeitendes Prozessführungssystem für die Prozesswahrnehmung wie auch die Einflussnahme auf den Prozess angewiesen (Herczeg, 2000). Die auf dem Operator lastende Verantwortung für die geeignete gefährdungsarme Führung des Prozesses setzt voraus, dass dieser das Prozessführungssystem hinsichtlich seiner funktionalen Fähigkeiten und Grenzen kennt und versteht. Kann dies nicht gewährleistet werden, ist es für den Operator auch nicht möglich, vorausschauend, sicherheitsorientiert und verantwortungsbewusst zu handeln. Aus diesem Grund sowie der Tatsache der zunehmenden Automatisierung und Komplexität von Prozessführungssystemen und Prozessen stellt sich immer deutlicher die Frage, inwieweit hier Verantwortung noch angemessen zugeordnet und wahrgenommen werden kann. Umgekehrt kann konstruktiv gefragt werden, inwieweit Prozessführungssysteme im Sinne eines „*Design for Responsibility*“ so konzipiert werden können, dass die Zuordnung und Wahrnehmung von Verantwortung in angemessenem Maße möglich und nachvollziehbar erscheint.

## 2 Grundbeziehungen der Verantwortung

Verantwortung (Responsibility) lässt sich definieren als (vgl. Herczeg, 2014):

*A-priori-Zuschreibung einer Pflicht eines Akteurs gegenüber einer Autorität, im Rahmen von Aktivitäten oder Entscheidungen bezüglich eines Objekts oder Systems unnötige oder kritische Gefährdungen zu vermeiden oder sich für eventuell auftretende Schäden zu rechtfertigen und bestimmte Konsequenzen zu tragen.*

Verantwortung definiert sich so über eine dreistellige Relation, nämlich

1. Subjekt: handelnder oder entscheidender Akteur;
2. Objekt/System: Gegenstand oder Ergebnis der Handlung;
3. Autorität: Instanz, gegenüber der die Verantwortung besteht.

Weitere Differenzierungen einzelner Komponenten der Relation finden sich in Bild 1. Im Zusammenhang mit Prozessführung liegt es nahe, diese dreistellige Relation insbesondere dahingehend auszuprägen, dass wir als handelndes Subjekt den Operator eines sicherheitskritischen Mensch-Maschine-Systems sehen (z.B. Pilot). Das Objekt ist der bzw. das gesteuerte oder zumindest beeinflusste Prozess oder System (z.B. Flugzeug und Passagiere). Als Autorität kann die Betriebsleitung bzw. das Betreiberunternehmen gesehen werden (z.B. Airline, Flugsicherung), die ihrerseits wieder in einem Verantwortungsverhältnis zu einer nationalen Autorität oder einer internationalen Organisation (z.B. ICAO) steht.

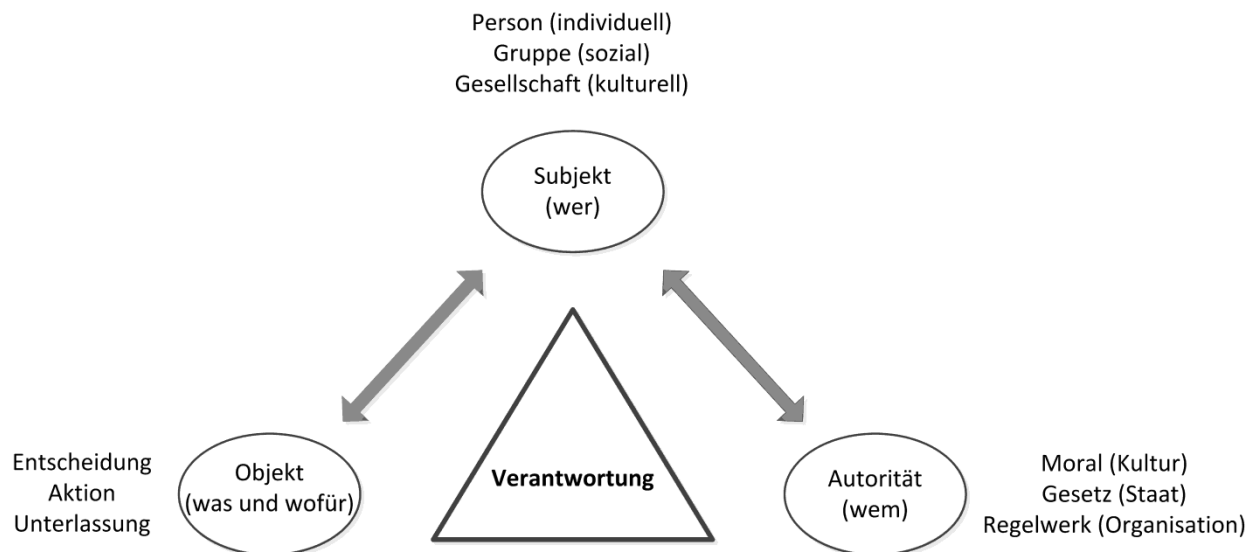


Bild 1: Grundbeziehungen der Verantwortung

Die Wahrnehmungen und Handlungen eines Operators erfolgen immer weniger direkt und stattdessen immer mehr indirekt über teilautomatisierte Prozessführungssysteme. Gerade in der Indirektion des Handelns über komplexe und von den Operateuren nur teilweise als transparent wahrgenommene Technik stellt sich die Frage, inwieweit die Operateure die Verantwortung wie bislang behalten und tragen können oder ob diese in andere Systemebenen und Verantwortungskontexte verlagert wird, womöglich aber wegdiffundiert und sich so letztlich womöglich unmerklich auflöst. Dieser Frage folgen Alternativen zum Umgang mit dieser aktuellen Situation im Bereich der Hochtechnologie:

- In welcher Weise kann trotz Automation eine eindeutige und klare Zuordnung von Verantwortung durch konzeptionelle oder technische Lösungen im Bereich der Prozessführungssysteme gewährleistet werden?
- Wohin und wie muss Verantwortung künftig verlagert werden, falls diese nicht beim Operateur verbleiben kann?
- Müssen bisherige Konzepte und Wahrnehmungen von Verantwortung in heutigen und künftigen komplexen sicherheitskritischen Mensch-Maschine-Systemen verändert oder ersetzt werden?

### 3 Verantwortungskontexte

Die Frage der Lokalisierung von Verantwortung und Autorität soll als Erstes betrachtet werden. Die Verantwortung für Entscheidungen oder Handlungen manifestiert sich auf unterschiedlichen Ebenen oder Schalen des Herstellungs- oder Nutzungskontextes eines Prozessführungssystems. Moray (2000) schlägt für die Faktoren und Einflüsse auf sicherheitskritische Mensch-Maschine-Systeme ein umfassendes Schalenmodell vor (siehe Bild 2), das möglicherweise auch die Diskussion um die Lokalisierung von Verantwortung unterstützen kann.

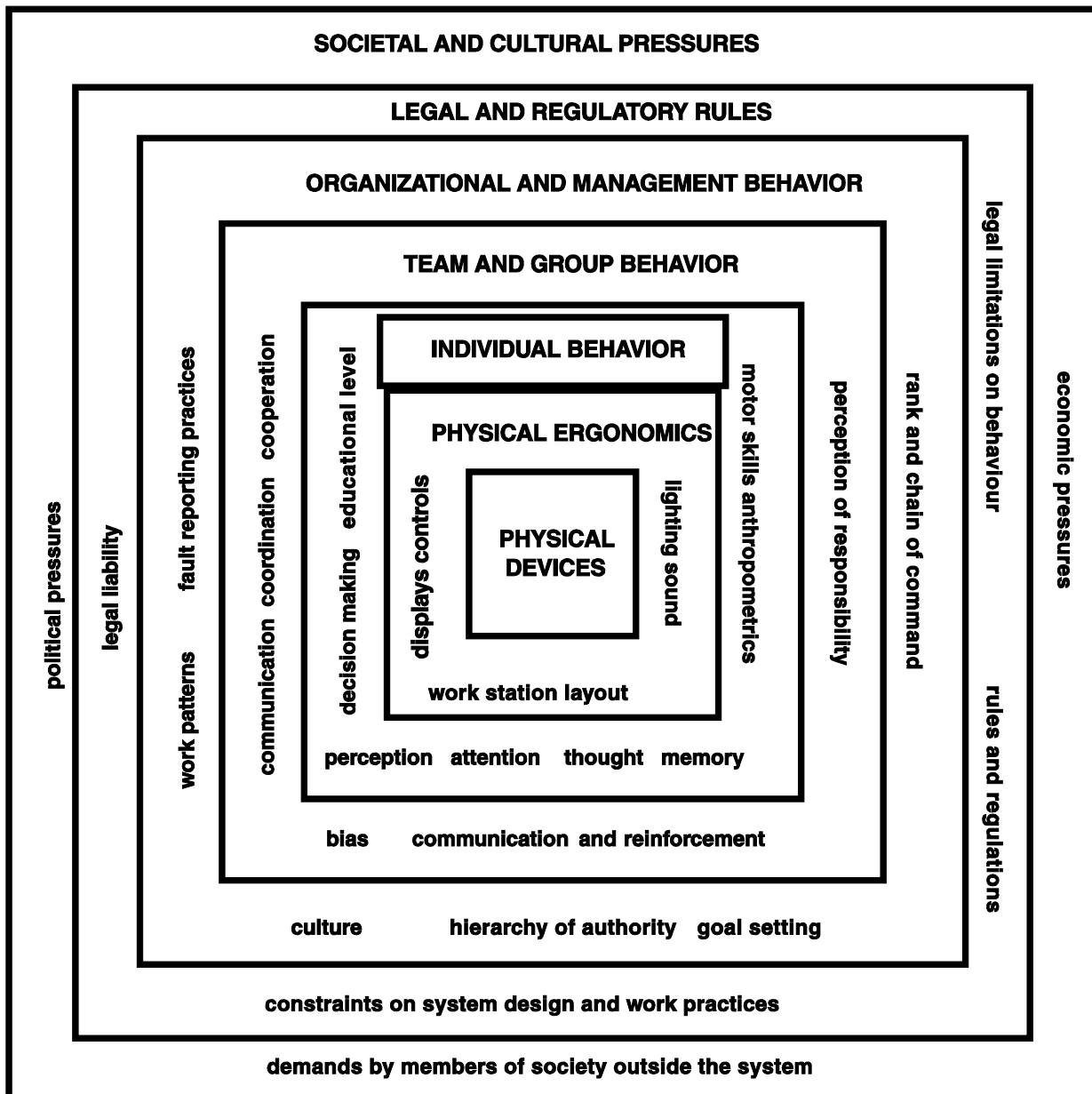


Bild 2: Schalenmodell nach Moray (2000)

Im Zentrum der Betrachtung finden sich die technischen Systeme, die betrieben bzw. gesteuert werden müssen. In Form der klassischen Ergonomie wurde bereits vor mehr als 150 Jahren ein Rahmen geschaffen, der die Nutzung von Werkzeugen optimieren und letztlich nicht nur ökonomisch und menschengerecht, sondern auch verantwortbar machen soll. Das individuelle menschliche Verhalten erkannte man erst in den letzten 50 Jahren als nicht zwangsläufig stabile und verlässliche Einflussgröße. Dies motivierte auch den Begriff der „Human Factors“. Erst in den vergangenen 20 Jahren wurde durch Berücksichtigung des Zusammenwirkens von Mensch, Technik und Organisation (MTO) auch der Bogen über Teamprozesse und andere organisationale Rahmenbedingungen gezogen. Den äußeren Abschluss bilden politische, vor allem gesetzliche und andere regulatorische Rahmenbedingungen sowie allgemeine gesellschaftliche oder auch spezifische kulturelle Einflüsse.

Schon aus dieser Betrachtung heraus wird erkennbar, dass Verantwortung sowohl bezüglich des Akteurs wie auch der Autorität über alle diese Schalen verteilt werden kann. Typischerweise findet sich die o.g. Autorität für Entscheidungen, Handlungen oder auch Unterlassungen von Akteuren in der nächst höheren Schale, wobei die Entscheidungen und Handlungen dieser höheren Autorität wiederum gegenüber einer Autorität in deren umgebenden Schale zu verantworten sind. Dieses Prinzip birgt die Gefahr des Durchreichens von Verantwortung vom Akteur bis in diffuse gesellschaftliche Ebenen. Viele kritische Ereignisse, wie z.B. der Atomkatastrophe von Fukushima im Jahr 2011 (Herczeg, 2013), zeigen dieses Problem, wenn vom Operateur auf das Team, von Team in die nächsten organisationellen Ebenen und von dort weiter in die Legislative und am Ende in die Gesellschaft als diffuses Verantwortungskonstrukt verwiesen wird.

Die Frage, die sich hier stellt: Wie kann durch geeignete Strukturen oder Maßnahmen verhindert werden, dass Verantwortung durch das gesamte System diffundiert und sich am Ende weitgehend auflöst?

#### **4 Menschliche Fähigkeiten und Grenzen für Verantwortung**

Ergonomie und Human Factors waren die Antwort auf immer komplexer werden Werkzeuge, denen sich der Mensch in Beruf und Alltag zu bedienen hatte. Auch wenn sich hier selten eine klare Bezugnahme auf die Frage der Verantwortung im Umgang mit Technik zeigte, wurde dabei das Ziel verfolgt, Werkzeuge menschen- und anwendungsgerecht zu gestalten, so dass die Nutzung effektiv (problemgerecht), effizient (ökonomisch) und zufriedenstellend (verständlich, leistbar und motivierend) erfolgen kann. Insbesondere der Aspekt der Zufriedenstellung, als subjektiver Eindruck der Akteure, birgt die Wahrnehmung, dass es einem Akteur möglich ist, ein Werkzeug in kontrollierter und gefährdungsarmer Weise zu nutzen. Beides sind Voraussetzungen dafür, dass ein Akteur die Verantwortung für die Nutzung eines Werkzeugs überhaupt tragen kann.

##### **4.1 Zeitaspekte**

Prozessführungssysteme sollen es per Konstruktion ermöglichen, dynamische Prozesse zu überwachen und zu steuern. Die Dynamik der Prozesse erzeugt die Anforderung an die Operateure die Prozessparameter in Echtzeit, d.h. innerhalb definierter Zeitfenster wahrzunehmen und auf diese Einfluss zu nehmen. Legt man das 3-Ebenen-Modell von Rasmussen (1983) zugrunde, sind drei Handlungsebenen erkennbar, die unterschiedliche zeitliche Rahmen schaffen (siehe Bild 3).

Die drei Handlungsebenen der Fertigkeiten, der Regeln und des Wissens schaffen zeitliche Anforderungen an Prozessführungssysteme, insbesondere zeitliche obere Schranken oder auch Zeitabschnitte für Darstellungs-, Informations-, Entscheidungs-, Handlungs- und Regulationsprozesse (Herczeg & Stein, 2012). Die zeitlichen Spektren liegen bei Sekundenbruchteilen bis wenige Sekunden auf der Ebene der Skills (menschliche Automatismen), wenige Sekunden bis Minuten auf

der Ebene der Regeln und mehrere Sekunden bis Stunden oder Tage auf der Ebene des wissensbasierten Entscheiden und Handelns.

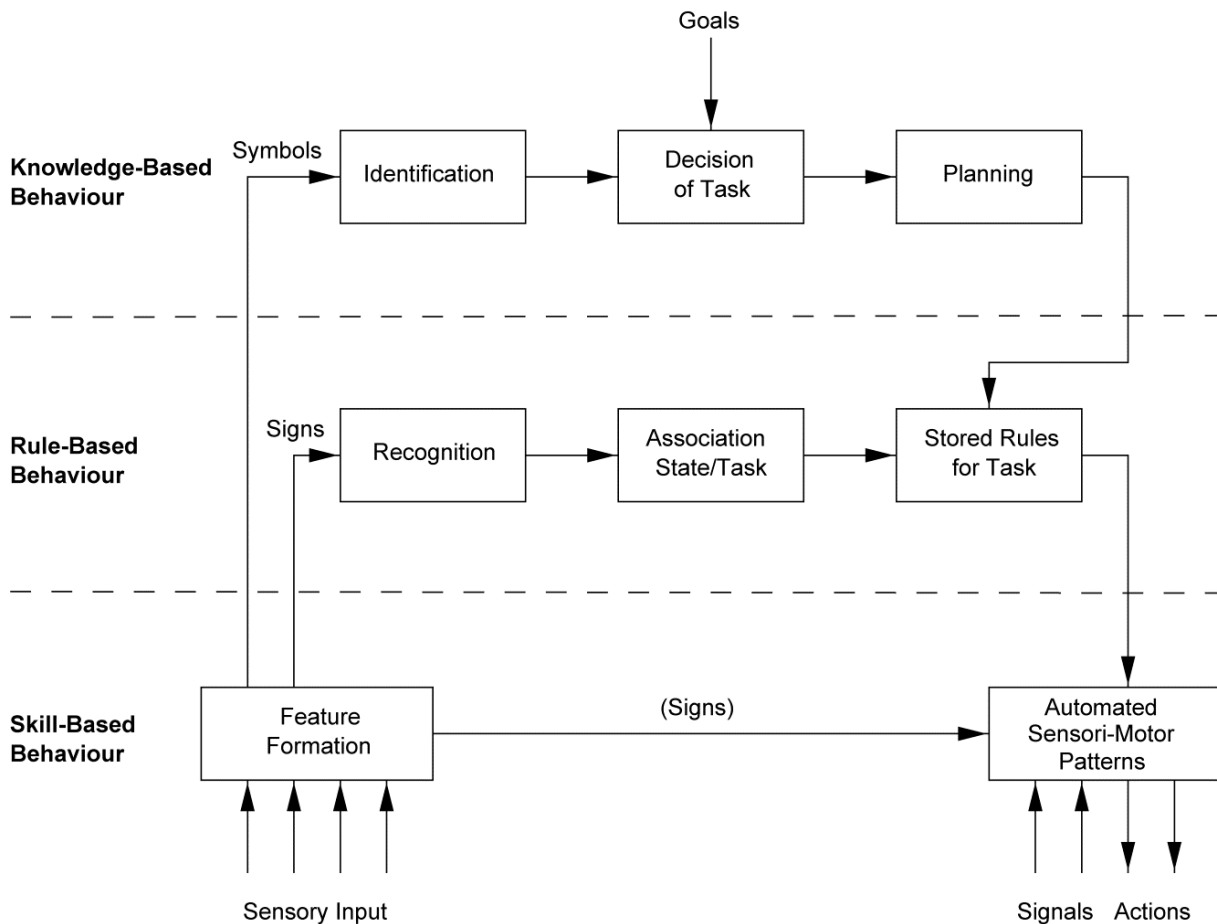


Bild 3: 3-Ebenen-Handlungsmodell nach Rasmussen (1983)

Die Übernahme von Verantwortung durch einen Operateur setzt voraus, dass das Prozessführungssystem innerhalb der jeweiligen Zeitfenster Aktivitäten ermöglichen und unterstützen kann. Ist dies aufgrund der Systemkonstruktion nicht gewährleistet, können Operateure auch keine Verantwortung für solche zeitkritischen Entscheidungen und Handlungen übernehmen. So müssen beispielsweise analoge manuelle Steuerungsvorgänge ohne eine für die Operateure wahrnehmbare Latenz, also typischerweise je nach relevanten sensorischen Kanälen schneller als 5-10 Millisekunden erfolgen.

## 4.2 Regelbasierte Produktionssysteme

Man kann in der Praxis davon ausgehen, dass ein beträchtlicher Teil der Prozessführung regelbasiert abläuft. Dies bedeutet, dass Prozessparameter (Zustandsinformationen) erkannt und verknüpft werden müssen, um aus dem Repertoire der erlernten oder in Betriebs- oder Notfallhandbüchern nachgeschlagenen Regeln Geeignete auszuwählen und entsprechend zu handeln. Dabei kann es auch notwendig werden, Kaskaden von Regeln im Sinne sogenannter Produktionssysteme anzuwenden.

Prozessführungssysteme müssen zu den Regelrepertoires passen. Die für die Regeln relevanten Prozessparameter müssen eindeutig auffindbar, erkennbar und im Rahmen der Regelauswahl und -anwendung interpretierbar sein. Daraus ist ableitbar, dass die Festlegung von Betriebsvorschriften sowie die Gestaltung der Prozessführungssysteme Hand in Hand gehen müssen, um regelbasiertes Handeln zeitgerecht möglich zu machen. Dies ist allerdings selten der Fall, da die Realisierung der Prozessführungssysteme meist weitgehend abgeschlossen ist, während Betriebsvorschriften über die gesamte Lebensdauer von Systemen weiterentwickelt und dabei auch verändert werden. Dieses Problem wird teilweise umgangen, indem die Prozessführungssysteme basale Prozessparameter bereitstellen, die von den Operateuren erst zu problemorientierten und den Direktiven entsprechenden Parametern verdichtet werden müssen. Beispiele sind die Leitwarten von Kernkraftwerken, bei denen im Falle der am meisten verbreiteten analogen Leitwarten das Prinzip „One Sensor, one Display“ die Grundlage bildet. Dies führt oftmals nicht nur zu Zeitproblemen, sondern auch zu Fehlern in der Zustandsanalyse. Der Vorteil ist, dass es praktisch keine unsichtbaren Informationsverdichtungen oder teilautonome Automaten im System gibt, die verschränkt mit den Aktivitäten der Operateure ablaufen. Die Verantwortung liegt dort eindeutig beim Operateur bzw. im Falle von Anordnungen und Delegationen bei deren Vorgesetzten.

#### 4.3 Mentale Modelle

Auf der Ebene der wissensbasierten Aktivitäten erfordert die Prozessführung die Anwendung entsprechender mentaler Modelle, über die geeignete Problemlöseprozesse ablaufen können. Die Kongruenz, Verträglichkeit oder auch Präzision dieser Modelle entscheidet maßgeblich über die wahrgenommene Transparenz der Vorgänge für die Operateure (Situation Awareness) sowie über die Eignung und Qualität der erarbeiteten Problemlösungen. Das Feld der mentalen Modelle und ihrer Komponenten und Repräsentationen ist weit und vielfältig (Näheres siehe Herczeg, 2014). Es ist insbesondere festzustellen, dass viele Prozessführungssysteme zumindest ohne explizite Modellierung mentaler Modelle von Operateuren entstehen. Insofern spiegeln die realisierten Prozessführungssysteme vor allem die Vorstellungen und mentalen Modelle der Entwickler wider. So zeigt es sich beispielsweise in der Medizintechnik, dass die Systeme kaum für eine der relevanten Zielgruppen Ärzte oder Pflegekräfte entwickelt worden sind, sondern für eine diffuse Rolle, die es betrieblich gar nicht gibt. Inwiefern ein Pfleger in der Lage ist, die Verantwortung für die Einstellung eines Beatmungssystems zu übernehmen, in dem sich vor allem medizinische und ingenieurtechnische Konzepte widerspiegeln, darf zumindest in Frage gestellt werden. Insofern scheint hier die aktuelle Vorbereitung der FDA (U.S. Food and Drug Administration) sehr nachvollziehbar, Hersteller medizintechnischer Systeme künftig für eine Zulassung ihrer medizintechnischen Produkte auf die nachgewiesene Anwendung von Usability-Engineering hinzuweisen und eventuell später auch zu verpflichten

(FDA, 2011). In anderen Anwendungsdomänen finden sich ähnliche Herausforderungen und Erkenntnisse.

#### 4.4 Abstraktionsebenen und Verantwortung

Wie schon im Zusammenhang mit mentalen Modellen ausgeführt, muss es zur Übernahme von Verantwortung bei der Prozessführung eine Übereinstimmung zwischen dem mentalen Modell des Operators und des technischen Modells des Prozessführungssystems kommen. Eine solche Kongruenz setzt geeignete Übereinstimmungen auf allen Ebenen der Interaktion, d.h. der Wahrnehmungs- und Handlungsprozesse voraus (Herczeg, 2006b; Herczeg, 2009). Auf jeder einzelnen der folgenden Ebenen:

1. Intentionale Ebene,
2. Pragmatische Ebene,
3. Semantische Ebene,
4. Syntaktische Ebene,
5. Lexikalische Ebene und
6. Sensomotorische Ebene

findet die Interaktion zwischen Mensch und Maschine auf einer bestimmten Abstraktionsebene statt. Rasmussen (1985) schlägt für die Modellierung und Gestaltung von Prozessführungssystemen eine Dimension der Abstraktion vor, die wiederum fünf Abstraktionsniveaus umfasst (siehe Bild 4).

Die Kaskaden des Absteigens und Aufsteigens entlang einer Abstraktionshierarchie dienen bei der Prozessführung der Suche nach Ursachen von Abweichungen bzw. dem Verstehen von eingetretenen oder möglichen Auswirkungen von technischen Defekten. Die mentale Leistung des Verstehens entspringt dabei vor allem der menschlichen Fähigkeit, die Systemelemente zu verstehen und logische Schlussfolgerungen hinsichtlich deren Eigenschaften und Verhalten ziehen zu können. Dies wiederum erfordert geeignete mentale Repräsentationen. Die Übernahme von Verantwortung für Entscheidungen oder für das Erkennen von Gefährdungen setzt also geeignete Abstraktionsniveaus für die Operateure voraus. Verantwortung findet bei einer solchen Betrachtung seine Fundierung in schlüssigen Erklärungs- und Vorhersagemodellen. Ein Anlagenoperator, der eine Flusstopologie mittels eines Prozessführungssystems untersucht und dann entscheidet, ein Ventil abzusperren, um eine Leckage einzudämmen, denkt in der Abstraktion eines Ventils mit den beiden Zuständen offen oder geschlossen. Dass genau dieses Ventil im Moment möglicherweise aufgrund mechanischer oder elektrischer Randbedingungen seine Funktion gar nicht erfüllen kann, liegt im Allgemeinen außerhalb seiner Fachkompetenz und damit auch außerhalb seiner Verantwortung. Er darf annehmen, dass das Ventil auf seine Steuerhandlung hin öffnet oder schließt, falls dies die Grundlage seiner Ausbildung und Befähigung darstellt. Entsprechend zeigt ihm das Prozessführungssystem Ventile als Komponenten und eine Zustandssymbolik, die genau

dies vermitteln. Das heißt, dass Verantwortung auf Abstraktionen für jede Interaktionsebene bezogen werden muss. Wahrnehmung und Einflussnahme des verantwortlichen Operators muss auf einer oder mehrerer im Voraus definierter Abstraktions- und Interaktionsebenen, und damit auf Vereinfachungen der Realität basieren.

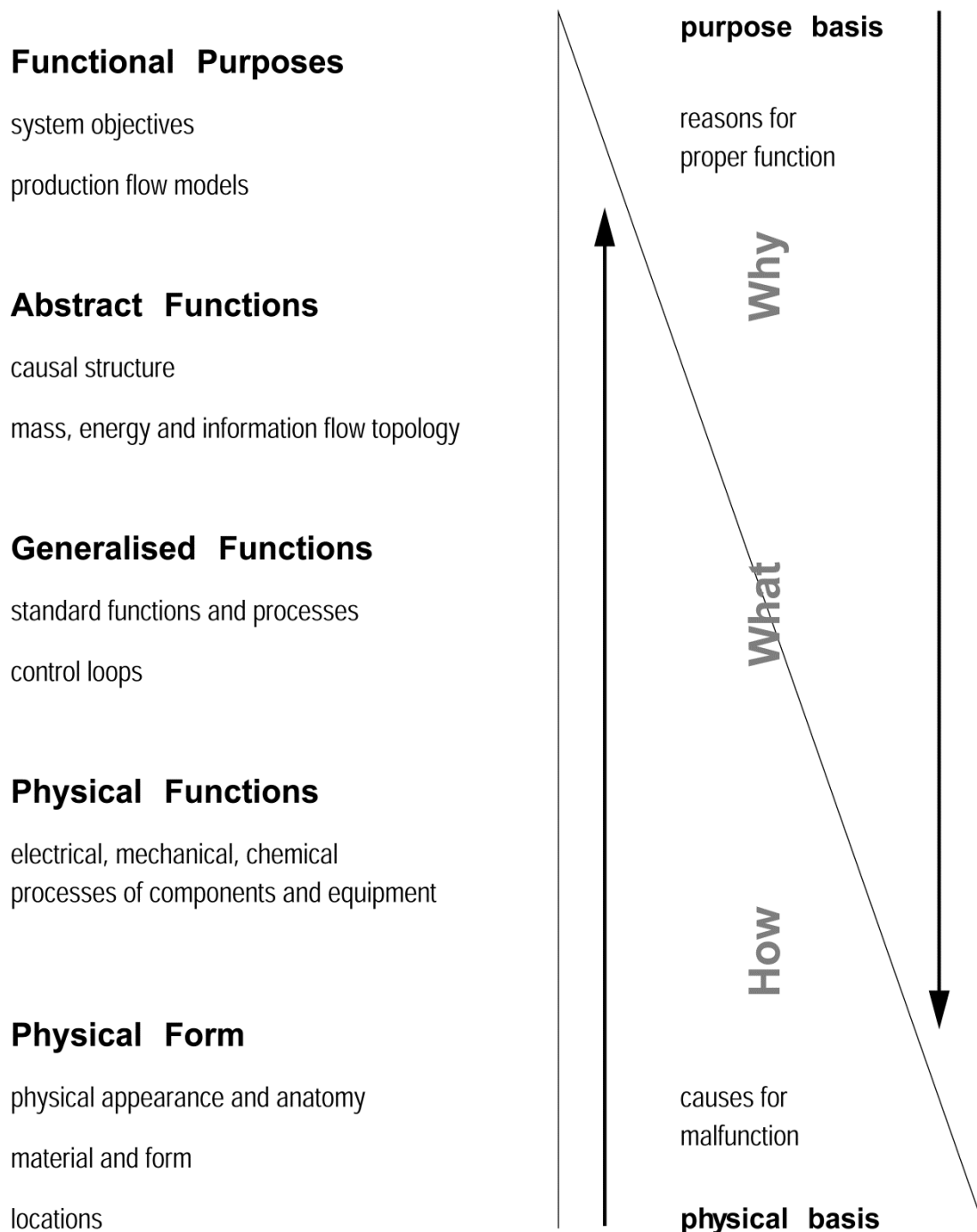


Bild 4: Abstraktionshierarchie nach Rasmussen (1985)

## 5 Automation und Verantwortung

Werden komplexe sicherheitsrelevante Aktivitäten mittels Automaten durchgeführt, stellt sich die Frage, wer hierfür die Verantwortung trägt. Bainbridge

(1983) hat schon in frühen Phasen der Automatisierung darauf hingewiesen, dass zunehmende Automatisierung mit dem Verlust an Kompetenz und Verständnis bei den Operateuren einhergeht. Das Dilemma besteht darin, dass zunehmende Komplexität der Anwendungen mehr Automationen erfordert und dies wiederum zu weiterem Verlust an Wissen über die Funktionsweise eines Systems bei den Operateuren führt. Da die Operateure potenziell insbesondere bei kritischen Abweichungen im Systembetrieb gebraucht werden, bei denen rigide programmierte Automaten eher versagen, stellt sich die Frage, wie das entsprechende Wissen bei den Operateuren entwickelt oder mindestens erhalten werden kann.

### 5.1 Automaten als Quellen von Unsicherheit und Erosion von Verantwortung

Wie Bainbridge und andere vielfältig festgestellt haben, führt die zunehmende Automatisierung zu immer weniger erfahrenen und immer weniger trainierten Operateuren. Besser werdende und weitreichendere Automationen führen über Generationen von Systemen letztlich fast zwangsläufig zu einem weitgehend automatischen Betrieb. So wird berichtet, dass Verkehrspiloten bei Langstreckenflügen weniger als 5% der aktiven Steuerungszeit über die gesamte Flugzeit leisten. Oft reduziert sich dies vor allem auf Start und Landung, wobei Landungen inzwischen ebenfalls weitgehend automatisiert ausgeführt werden. Bei zwei Langstreckenflügen pro Monat und Pilot führt dies statistisch noch zu maximal ein bis zwei Landungen pro Monat. Routine kann sich nicht mehr einstellen. Noch problematischer wird es bei der Behandlung von Anomalien oder Störfällen. Die Seltenheit und Komplexität kritischer Ereignisse mit solchen Systemen überfordert normale Operateure, so dass nicht mehr davon ausgegangen werden kann, dass Operateure in kritischen Situationen die Kontrolle erfolgreich übernehmen können. Ganz im Gegenteil muss sogar damit gerechnet werden, dass diese die Problemsituation verschlimmern werden. Unfallszenarien wie der Birgenair-Flug 301 am 6.2.1996 oder der Air France-Flug 447 am 1.6.2009 sind beängstigende Beispiele für den Verlust grundlegender fliegerischer Fähigkeit und Kompetenz. Selbst die in diesen Fällen von ausgebildeten Verkehrspiloten prinzipiell noch überschaubaren Problemkonstellationen aus Geschwindigkeitssensoren, Autopiloten und Fluglagen haben in desaströse Situationen geführt. Die angenommene Verantwortung der Piloten für die ordnungsgemäße Durchführung der Flüge unter Einsatz von Standardautomation und fliegerischer Kompetenz war bei weitem nicht mehr gewährleistet. Überträgt man diese Problemstellung in andere Domänen, wie das teil- oder gar vollautomatische Steuern eines Automobils mit einer Vielzahl von automatischen Assistenz- und Steuerungssystemen für praktisch unausgebildete Operateure, also Laien, so verschärft sich Problematik von Kompetenz und Verantwortung beim Führen von Fahrzeugen in oft hochdynamischen Verkehrssituationen drastisch. Hier kann kaum noch von Verantwortung der Operateure für die Fahrzeugführung im Falle des Einsatzes hochautomatisierter Fahrzeugführungssysteme gesprochen werden. Die Hypothesen von Bainbridge und anderen bestätigen sich eindrucksvoll und tragisch zugleich. Die weitere Automatisierung kann auf diesem beschrittenen Pfad

zwangsläufig nur noch in Richtung Vollautomatisierung erfolgen, unter Akzeptanz der damit verbundenen Risiken durch Versagen der Automaten. Die Komplexität des Fahrens eines Pkw mit Unterstützung Dutzender von Assistenzsystemen und Automaten wird inzwischen nicht einmal mehr von erfahrenen Testfahrern verstanden und bewältigt. Von der Wahrnehmung von Verantwortung durch die Operateure in solchen Situationen kann kaum mehr realistisch ausgegangen werden.

## 5.2 Automaten zur Ermöglichung der Übernahme von Verantwortung

Bei der Weiterentwicklung teilautomatisierter Prozessführungssysteme könnte man aber auch die Hypothese in den Raum stellen, dass Automaten bedarfsweise verantwortungsvoll gewählt und eingesetzt werden. Billings (1997) schlägt hierzu ein Spektrum von Automatisierungskonzepten vor, das in diskreten Schritten von manueller Kontrolle über mehrere Stufen gemeinsamer Kontrolle bis zur Vollautomatisierung führt (siehe Bild 5). Interessant an dieser Darstellung ist die Dimension des Involvement, also des Beteiligtseins an der Prozessführung. Verantwortung zu übernehmen setzt prinzipiell Beteiligung voraus. Ein Operateur, der nach Vorgaben eine Vollautomatik einschaltet, kann für die ordnungsgemäße Funktion nicht verantwortlich gemacht werden und der Glaube der Entwickler an die Fähigkeit der Operateure, eine komplexe Automatik mit einer Vielzahl von Sensoren, Algorithmen und Aktuatoren überwachen zu können, um in kritischen Fällen einzugreifen, erscheint wenig schlüssig. Wie also kann das Zusammenwirken von Mensch und Automation in einer Weise erfolgen, dass der Operateur nicht nur im „Loop“ bleibt, sondern auch versteht oder spürt, was abläuft und wann die Automation an ihre Grenzen gerät?

## 5.3 Kognitive Automation und Intention-Based Supervisory Control

Im Rahmen moderner Automationskonzepte werden seit einigen Jahre Modelle diskutiert, bei denen man sich bei der Konzeption von Automaten versucht, an den mentalen Modellen, d.h. auch an den menschlichen Möglichkeiten und Grenzen zu orientieren. Kognitive Automation (Onken & Schulte, 2010) sowie intentionsbasierte Automationskonzepte (Herczeg, 2002) bieten Ansätze, wie Mensch und Maschine „dicht beieinander“ bleiben können. Die Maschine verhält sich im Rahmen der Möglichkeiten hinsichtlich der Schnittstelle zwischen Mensch und Automatik wie ein menschlicher Akteur. Die Kommunikation findet auf Grundlage von kommunizierten und für Mensch und Maschine verständlichen Zielen, Aufgaben, Verfahrensweisen und Prozesszuständen statt. Der Mensch beauftragt und überwacht die Maschine wie einen menschlichen Akteur im Sinne der Delegation von Aufgaben an einen Assistenten, der dann wiederum über den Fortgang oder auch über Probleme auf Grundlage verständlicher Begriffe und Konzepte berichtet. Auch wenn diese Form der Modellierung von Automation noch am Anfang ihrer Entwicklung steht, orientiert sie sich letztlich an dem Verständnis, dass der Mensch die Ziele vorgibt, die Aufgaben delegiert, die Systemzustände versteht und überwacht und damit auch in der Lage ist und bleibt,

gegenüber Dritten (Autoritäten) Verantwortung wahrzunehmen. Das Stufenmodell von Billings kann in diese Richtung interpretiert werden, wobei die dort genannten Automationsstufen nicht zwangsläufig kognitiv kompatibel sind. Inwieweit ein Autofahrer die Kombination aus Tempomat, Antikollisionssystem, Brems- und Spurhalteassistent noch versteht und sich selbst als verantwortlich für die Fahrsituation und das Fahrverhalten hält, muss deutlich in Frage gestellt werden.

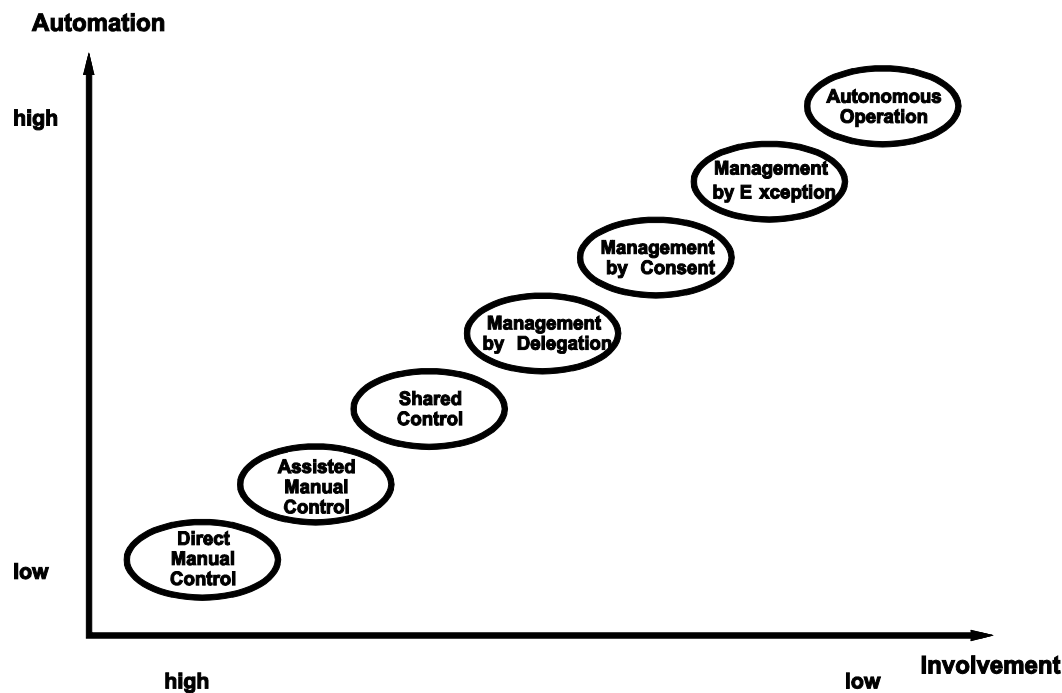


Bild 5: Formen der Automation nach Billings (1997)

## 6 Verantwortung als Gestaltungsziel

Möchte man nicht in die Fallen der genannten Dilemmata von Automation geraten und möchte man nach wie vor den menschlichen Operateur in einer definierten und leistbaren Verantwortungsposition sehen, so kann es prinzipiell keinen anderen Weg geben, als die verbleibende Lokalisierung von Verantwortung primär beim Menschen als das zentrale Gestaltungsziel zu betrachten. Verantwortung als Gestaltungsziel, ein „Design for Responsibility“ muss dabei folgende Zielsetzungen und Gestaltungsprinzipien verfolgen:

- der Operateur ist der verantwortliche Akteur, steht über den Automationen und gibt die Ziele vor;
- der Operateur delegiert Aufgaben an die Automationen und erhält verständliche Rückmeldungen über erreichte oder nicht erreichbare Zustände;
- der Operateur bleibt insoweit in das Prozessgeschehen involviert, wie er die Kontrolle nicht temporär bewusst abgibt;
- gibt der Operateur die Kontrolle ab, so bleibt er sich seiner Verantwortung bewusst, wird von der Automation auf Problemsituationen hingewiesen und kann die Kontrolle im Bedarfsfall zeitgerecht wieder an sich nehmen;

- der Operateur kommuniziert mit dem Prozessführungssystem in Begriffen und Konzepten seines Fach- und Anwendungswissens; er beobachtet, versteht, entscheidet und handelt auf definierten Abstraktionsebenen.

Im Folgenden finden sich einige Gestaltungsgrundsätze auf den Interaktionsebenen mit Beispielen, die ein solches Design for Responsibility bestimmen oder zumindest unterstützen (vgl. Abschnitt 4.4 und Interaktionsmodelle in Herczeg, 2009):

- die menschliche Sensomotorik wird auf natürliche Weise stimuliert bzw. verknüpft (z.B. haptisches Feedback);
- die für die Kommunikation verwendeten Zeichen sind eindeutig und vom Menschen erkennbar, unterscheidbar und interpretierbar (z.B. Warnleuchten);
- die Interaktionssyntax ist einfach und mit hoher Redundanz ausgestattet, so dass Aktionen nicht zufällig oder versehentlich ausgelöst werden (z.B. Nutzung von zwei Kanälen zur Eingabe, zwei Finger bei Toucheingabe);
- die Arbeitsobjekte sind sinnbildend und entstammen dem Fach- und Domänenwissen des Operateurs und damit einer definierten Abstraktionsform (Arbeits- und Informationsobjekte entsprechen sich);
- die Arbeitsverfahren und Prozeduren sind auch im Falle von Automaten für Operateure verständlich und nachvollziehbar und entsprechen soweit möglich und sinnvoll auch den manuellen Arbeitsverfahren (die Arbeitsschritte sind bekannt und verfolgbar); müssen Automaten abweichend davon realisiert werden, werden die Methoden den Operateuren soweit wie möglich vermittelt, so dass sie in der Lage bleiben, den ordnungsgemäßen und korrekten Ablauf zu prüfen und im Zweifelsfall geordnet einzugreifen;
- Ziele, Intentionen und Problemsituationen lassen sich zwischen Mensch und Maschine kommunizieren, so dass sie gegenseitig in Übereinstimmung gebracht oder auch in Zweifel gezogen werden können (z.B. Kommunikation des Ziels, ein Fahrzeug so schnell wie möglich zum Stillstand zu bringen, auch wenn dies schädliche technische Belastungen erzeugt).

Auch wenn diese genannten Gestaltungskonzepte teils schwierig realisierbar erscheinen, scheinen sie der derzeit einzige Weg für durchgängig transparente, überwachbare und verantwortbare Prozessführungssysteme mit einem hohen Grad an Automation zu sein.

## **7 Zusammenfassung**

Design for Responsibility ist eine Denkweise, die die Frage der Verantwortung für den Einsatz sicherheitskritischer Mensch-Maschine-Systeme zu einem Designmerkmal erhebt. Verantwortung kann nicht einfach verteilt werden, sie muss aus einem geeigneten Systemdesign ableitbar sein. Die Realisierung von teilautomatisierten Mensch-Maschine-Systemen orientiert sich an menschlichen Fähigkeiten und Denkweisen und bezieht deren Grenzen mit ein. Der Mensch delegiert an die Maschine, behält aber dabei die Kontrolle über das Gesamt-

geschehen und ist aufgrund der Automatisierungsmodelle in der Lage, das Verhalten und die Begrenzung der Automation zu überwachen und zu verstehen. Beim Versagen von Automation bleibt dem menschlichen Operateur genügend Zeit, um sich im Rahmen seiner natürlichen und erlernten Fähigkeiten ein Bild von der Lage zu machen und bedarfsweise einzugreifen. Die Maschine wird zu einem Hilfsmittel zur Abstraktion, um Verantwortung für komplexe Systeme und Automationen überhaupt tragen zu können und nicht zur Ursache für deren Verlust. Die Konsequenz können niedrigere Automatisierungsgrade sein, die zwar den Verlust von Komfort, nicht aber den Verlust von Kontrolle bedeuten. Erst wenn eine Automation nachweislich besser als die menschlichen Fähigkeiten ist, ist die Verlagerung der Verantwortung von einzelnen Operateuren auf die Maschine, genau genommen auf deren Hersteller, Zulassungsbehörden und auch die Gesellschaft als Ganzes im Sinne einer Gesamtrisikobetrachtung vorstellbar und sinnvoll.

## Literatur

- Bainbridge, L. (1983). The Ironies of Automation. *Automatica*, 19, 775-779.
- Billings, C.E. (1997). *Aviation Automation - The Search for a Human-Centered Approach*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- FDA (2011). *Applying Human Factors and Usability Engineering to Optimize Medical Device Design, Draft Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff*, <http://www.fda.gov/downloads/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/GuidanceDocuments/UCM259760.pdf>; letzter Zugriff: 18.08.2014.
- Herczeg, M. (2000). Sicherheitskritische Mensch-Maschine-Systeme. *FOCUS MUL*, Vol. 17, 1, 6-12.
- Herczeg, M. (2002). Intention-Based Supervisory Control - Kooperative Mensch-Maschine-Kommunikation in der Prozessführung. In M. Grandt & K.-P. Gärtner (Hrsg.), *Situation Awareness in der Fahrzeug- und Prozessführung* (DGLR-Bericht 2002-04, S. 29-42), Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt.
- Herczeg, M. (2006a). *Interaktionsdesign*. München: Oldenbourg-Verlag.
- Herczeg, M. (2006b). Analyse und Gestaltung multimedialer interaktiver Systeme. In U. Konradt & B. Zimolong (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie* (Enzyklopädie der Psychologie, Serie III, Band 2, S. 531-562), Göttingen: Hogrefe.
- Herczeg, M. (2009). *Software-Ergonomie*. 3. Auflage. München: Oldenbourg-Verlag.
- Herczeg, M. (2013). Risiken beim Betrieb von Kernkraftwerken: Die Kernkraft nach Fukushima und der Faktor Mensch. In Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MELUR) des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.), *Wendepunkt Fukushima - Warum der Atomausstieg richtig ist* (S. 23-32). Kiel.
- Herczeg, M. (2014). *Prozessführungssysteme: Sicherheitskritische Mensch-Maschine-Systeme und interaktive Medien zur Überwachung und Steuerung von Prozessen in Echtzeit*. Berlin, München: de Gruyter, Oldenbourg-Verlag.
- Herczeg, M. & Stein, M. (2012). Human Aspects of Information Ergonomics. In M. Stein & P. Sandl (Eds.) *Information Ergonomics: A theoretical approach and practical experience in transportation* (pp 59-98). Berlin: Springer.

- Moray, N., Inagaki, T. & Itoh, M. (2000). Situation adaptive automation, trust and self-confidence in fault management of time-critical tasks. *Journal of Experimental Psychology: Applied*. 6(1), 44-58.
- Onken, R. & Schulte, A. (2010). *System-Ergonomic Design of Cognitive Automation: Dual-Mode Cognitive Design of Vehicle Guidance and Control Work Systems* (Studies in Computational Intelligence 235). Heidelberg: Springer.
- Parasuraman, R. & Mouloua, M. (Eds.) (1996). *Automation and Human Performance – Theory and Applications*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- 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*, SMC-13(3), 257–266.
- Rasmussen, J. (1985). The Role of Hierarchical Knowledge Representation in Decisionmaking and System Management. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-15, 234–243.

**Autor**

Prof. Dr. M. Herczeg

Universität zu Lübeck

Institut für Multimediale und Interaktive Systeme  
(IMIS)Kontakt: [herczeg@imis.uni-luebeck.de](mailto:herczeg@imis.uni-luebeck.de)

