

Differenzierung mentaler und konzeptueller Modelle und ihrer Abbildungen als Grundlage für das Cognitive Systems Engineering

Michael Herczeg

Zusammenfassung

Im Rahmen der Entwicklung von Systemen zur Prozess- und Fahrzeugführung im Sinne des Cognitive Systems Engineering sind mentale Modelle von Operateuren sowie konzeptuelle Systemmodelle zu erheben oder zu entwerfen. In diesem Beitrag wird ein strukturelles formales System dargestellt, mit dem mentale Modelle von Operateur und Systementwickler sowie konzeptuelle Modell des Systems auf verschiedenen gegenseitigen Reflektionsebenen formal abgebildet und unterschieden werden können. Die entstehende Systematik kann als Grundlage der Identifikation, Zuschreibung und Diskussion mentaler und konzeptueller Modelle für eine differenzierte Systemanalyse und Systemgestaltung sowie für eine systematische Qualifizierung von Operateuren und Systementwicklern dienen. Einige Beispiele erläutern die Darstellungen.

1 Einleitung

Bei der Entwicklung interaktiver Mensch-Maschine-Systeme, im Folgenden insbesondere Prozessführungssysteme (PFS) für Anlagen und Fahrzeuge, ist eine Vielzahl von menschlichen, bei der späteren Nutzung auch von maschinellen Akteuren (Systemfunktionen, Automaten) beteiligt. Dabei stellt sich bereits bei der Problemanalyse und den ersten Konzeptionen die Frage, wie das für die Entwicklung und Nutzung relevante bewusste Wissen, d.h. die mentalen Modelle von Operateuren und Entwicklern, mit der Realisierung, d.h. dem konzeptuellen Modell des PFS in Einklang gebracht werden können. In der gängigen Praxis geschieht dies durch eine mehr oder weniger intensive Analytik und Dokumentation, aus der dann eine Systemspezifikation abgeleitet wird, die dann die Grundlage der Systemrealisierung bildet.

Ein bekanntes Problem bei diesem Prozess ist, dass die unterschiedlichen Ziele, Vorstellungen und Erfahrungen von Operateuren und Systementwicklern nur teilweise verträglich sind. Beim Entwicklungsprozess kommt es daher laufend zu Entscheidungen, deren Grundlage später nicht mehr rekonstruiert oder zugeordnet werden kann. In der Nutzung des PFS zeigen sich als Folge davon oft Inkompatibilitäten zwischen Struktur und Funktionalität des PFS und den mentalen Modellen der Operateure. Dies wird zu einem bestimmten Grad immer

der Fall sein. Als Ziel bleibt daher, diese Inkompatibilitäten durch geeignete Methoden bei der Entwicklung des PFS sowie der Qualifizierung der Operateure so weit wie möglich vermieden oder minimiert werden können.

Im Bereich des *Cognitive Systems Engineering* (Rasmussen, 1985a; Woods & Ross, 1988; Rasmussen et al., 1994; Vicente, 1999) wurde modellhaft und exemplarisch diskutiert, welche Rolle mentale Modelle bei der Systementwicklung spielen und wie die Modelle von Operateur, Systemdesigner und System bei der Entwicklung und Anwendung von Prozessführungssystemen zusammen wirken können.

Im Bereich der *Software-Ergonomie* wurde die Bedeutung mentaler und konzeptueller Modelle schon vor längerer Zeit in den Mittelpunkt analytischer Methoden für die Konzeption, Realisierung und Evaluation interaktiver Systeme gestellt (Streitz, 1990; Dutke, 1994). Ihre Bedeutung setzt sich bei der Qualifizierung von Benutzern, hier den Operateuren der PFS, fort.

Im folgenden Abschnitt wird zunächst ein formales System zur Benennung, Notation und Charakterisierung von mentalen und konzeptuellen Modellen vorgestellt. Das System baut auf einigen Grundkonzepten von Streitz (1990) auf und wurde im Rahmen der software-ergonomischen Forschung weiter entwickelt (Herczeg, 1994; Herczeg, 2005; Herczeg, 2006a; Herczeg, 2006b). Anschließend wird diskutiert, wie dieses System für konkrete Fragen der Systementwicklung und Qualifizierung von Operateuren angewandt werden kann.

2 Ein System mentaler und konzeptueller Modelle

Zur formalen Definition der Modelle werden die an einem Mensch-Maschine-System Beteiligten als *Operatoren* und die Gegenstandsbereiche der mentalen und konzeptuellen Modelle als *Operanden* der Abbildung (Transformation) der Modelle verwendet. Für eine detailliertere Darstellung siehe Herczeg (2005). Im Folgenden werden die allgemeinen Begrifflichkeiten und deren Bedeutung auf den Anwendungsbereich der Fahrzeug- und Prozessführung spezialisiert:

- S:** System (Prozessführungssystem)
- B:** Benutzer (Operateur)
- D:** Designer (Systementwickler)
- A:** Anwendungsbereich (Prozess)

Durch Anwendung der Operatoren auf den Anwendungsbereich, d.h. auf den zu überwachenden und zu steuernden Prozess (Begriffe, Komponenten, Struktur, Verhalten) lassen sich die *Modelle 1.Ordnung* bilden (siehe Tabelle 1):

- S(A):** Anwendungssystem (Implementierung des Anwendungsbereiches)
- B(A):** Modell des Operateurs vom Anwendungsbereich (Fachkunde)
- D(A):** Modell des Systemdesigners vom Anwendungsbereich

Tab. 1: Mentale Modelle 1. Ordnung

1. Ordnung	S	B	D
A	S(A)	B(A)	D(A)

Aus den Modellen 1. Ordnung und den beschriebenen drei Operatoren lassen sich durch weitere Abbildungen auch *Modelle 2.Ordnung* definieren (siehe Tabelle 2).

Tab. 2: Mentale Modelle 2. Ordnung

2. Ordnung	S	B	D
S(A)	<u>S(S(A))</u>	B(S(A))	D(S(A))
B(A)	S(B(A))	<u>B(B(A))</u>	D(B(A))
D(A)	S(D(A))	B(D(A))	<u>D(D(A))</u>

Die unterstrichenen Modelle sind wichtige Selbstreflexionen, d.h. Modelle der jeweiligen Akteure oder des PFS von sich selbst. Zur weiteren Erläuterung des Formalismus seien im Folgenden die im Fettdruck hervorgehobenen und ebenfalls relevanten Modelle 2.Ordnung kurz erläutert:

- B(S(A))**: Modell des Operators vom PFS; d.h. der Operator stellt sich vor, wie das PFS realisiert ist, um das Systemverhalten besser zu verstehen oder es vorherzusehen.
- D(B(A))**: Modell des Systementwicklers vom Modell des Operators vom Anwendungsgebiet; d.h. der Systemdesigner versetzt sich in die Situation des Operators und stellt fest, was dieser vom Anwendungsbereich weiß.
- D(S(A))**: Modell des Systementwicklers von der der Systemrealisierung; d.h. der Systementwickler reflektiert sein Wissen über die geplante oder bestehende Implementierung.
- S(B(A))**: Modell des PFS vom mentalen Modell des Operators vom Anwendungsgebiet; d.h. das PFS baut ein eine technische Repräsentation auf, die beschreibt, welche Bereiche des Anwendungsgebiets der Operator kennt, benötigt und benutzt.
- S(S(A))**: Modell des PFS von seiner eigenen Implementierung; d.h. das System baut ein explizites Modell seiner eigenen Realisierung auf (Metasystemmodell).

Nach den Modellen 2. Ordnung lassen sich darauf aufbauend auch *Modelle 3.Ordnung* definieren, von denen die fett gedruckten ebenfalls besondere praktische Bedeutung aufweisen (siehe Tabelle 3).

Tab. 3: Mentale Modelle 3. Ordnung

3. Ordnung	S	B	D
S(S(A))	<u>S(S(S(A)))</u>	B(S(S(A)))	D(S(S(A)))
B(S(A))	S(B(S(A)))	B(B(S(A)))	D(B(S(A)))
D(S(A))	S(D(S(A)))	B(D(S(A)))	D(D(S(A)))
S(B(A))	S(S(B(A)))	B(S(B(A)))	D(S(B(A)))
B(B(A))	S(B(B(A)))	<u>B(B(B(A)))</u>	D(B(B(A)))
D(B(A))	S(D(B(A)))	B(D(B(A)))	D(D(B(A)))
S(D(A))	S(S(D(A)))	B(S(D(A)))	D(S(D(A)))
B(D(A))	S(B(D(A)))	B(B(D(A)))	D(B(D(A)))
D(D(A))	S(D(D(A)))	B(D(D(A)))	<u>D(D(D(A)))</u>

3 Mentale und konzeptuelle Modelle im Cognitive Systems Engineering

Das im vorhergehenden Abschnitt dargestellte formale System und die daraus ableitbare kombinatorische Vielfalt von mentalen und konzeptuellen Modellen ist nicht nur theoretischer Natur. Das System lässt sich gut mit den Methoden des *Cognitive Systems Engineering* (Rasmussen et al., 1994), der *Cognitive Work Analysis* (Vicente, 1999) sowie dem *Contextual Design* (Beyer & Holtzblatt, 1998) verknüpfen und schließt eine Lücke der formalen Zuordnung und auch Zuschreibung von mentalen und konzeptuellen Modellelementen in Analyse, Konzeption, Implementierung, Evaluation und Qualifizierung. Es erlangt auf diese Weise praktische Bedeutung für die Entwicklung und den Betrieb von PFS.

In der *Analysephase* analysieren *Systemdesigner* Aufgaben, Anwendungskontexte und Anwendungssituationen von *Operateuren*, die sie in einer *Konzeptions- und Designphase* in Konzepte und Spezifikationen für Systemfunktionen überführen (Rasmussen, 1985b; Vicente, 1999, Herczeg, 1999; Herczeg, 2001). In der *Realisierungsphase* implementieren sie diese in Systemfunktionen und in der *Validierungsphase* evaluieren sie, inwieweit die definierten Anforderungen hinsichtlich Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit erfüllt sind. Auf diese

Weise wird ein Teil der mentalen Modelle der Entwickler zu codierter Systemfunktionalität, d.h. zu einem konzeptuellen implementierten *Systemmodell* im PFS. Dieses Modell wird sich also zu einem gewissen Grad mit den mentalen Modellen von *Operateuren* decken, da es gerade ein wesentliches Merkmal des *Cognitive Systems Engineering*, speziell der *Cognitive Work Analysis* ist, die mentalen Modelle der Operateure zu erfragen oder durch Beobachtung zu extrahieren, zu dokumentieren, in Reviews abzusichern und zur Grundlage der Systementwicklung zu machen. Ähnliches gilt für das *Contextual Design*, in dem insbesondere die Methodik der Beobachtung, Befragung und des Abgleichs mentaler Modelle im Zentrum steht (Beyer & Holtzblatt, 1998). Die realisierten Systemfunktionen sollen an die Zustände, Kontexte und Situationen anknüpfen, in die der zu überwachende und zu steuernde Prozess gelangen kann und in denen dann die realisierten Systemfunktionen automatisch ablaufen oder von den Operateuren aktiviert werden sollen.

Bei dieser Form des Entwicklungsprozesses stellt sich die Frage der *Verträglichkeit* oder *Kompatibilität* dieser Modelle zwischen *Systemdesigner*, *Operateur* und realisiertem *System*. Im Folgenden soll davon abstrahiert werden, dass es auch unterschiedliche Modelle innerhalb der Gruppe von Systemdesignern und auch innerhalb der Gruppe der Operateure gibt. Für den Fall einer engen Zusammenarbeit der Systemdesigner und bei standardisierter Qualifizierung der Operateure gehen wir für die weitere Betrachtung von jeweils abgestimmten Modellen unter Entwicklern bzw. unter Operateuren mit geringeren Variationen aus. Wenn nötig, ist eine Verfeinerung zur Berücksichtigung dieses Effekts prinzipiell möglich, wenn auch wenig praktikabel. Beträchtlich in ihren Auswirkungen sind jedoch insbesondere die Unterschiede (Konflikte) zwischen den mentalen Modellen der Systementwickler und der Operateure, wie auch zwischen den mentalen Modellen der Operateure und den konzeptuellen Modellen des PFS, implementiert in Form der Systemfunktionen.

Im Rahmen eines Cognitive Systems Engineering lassen sich die Modellbetrachtungen, insbesondere die differenzielle Analyse der Modelle, entsprechend in vielfältiger Weise nutzen:

- zur *Markierung von Analyseergebnissen*, um in der weiteren Entwicklung des Systems zwischen Vorstellungen von Benutzern, Entwicklern und Systemeigenschaften unterscheiden zu können; hierbei können kritische *Konfliktsets* identifiziert werden, die geklärt und aufgelöst werden müssen;
- zur *nachvollziehbaren Entscheidung von Lösungsansätzen* bei divergierenden Vorstellungen von Benutzern, Entwicklern und bestehenden Lösungen;
- zur *Untersuchung und Erklärung von Nutzungsproblemen* bei Evaluationen;
- zur expliziten *konzeptuellen Modellierung von Benutzerwissen im System*;
- zur *systematischen Schulung* neuer oder veränderter Systemkonzepte.

Im Folgenden sollen einige konkrete Anwendungen der Methodik im Bereich der Fahrzeug- und Prozessführung diskutiert werden.

4 Nutzen der Modellierungen in der Fahrzeug- und Prozessführung

Im Folgenden sollen Anwendungsfelder der Differenzierung mentaler und konzeptueller Modelle noch dem dargestellten Formalismus und Schema für die Fahrzeug- und Prozessführung diskutiert werden. Dabei werden sowohl Anwendungsfelder in der Entwicklung als auch während des Systembetriebs diskutiert.

4.1 Mentale Modelle zur Systementwicklung

Seit Beginn des *User-Centered System Design* (Norman & Draper, 1986) sowie des *Cognitive (Systems) Engineering* (Norman, 1986; Woods & Ross, 1988; Rasmussen et al., 1994) werden mentale Modelle als Grundlage der Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen diskutiert. Dazu wurden insbesondere *Kommunikations-, Handlungs- und Entscheidungsmodelle* entwickelt, die als Grundlage für eine Systematik der Erfassung und Dokumentation mentaler Modelle dienen können (Rasmussen, 1983; Rasmussen, 1985c; Norman, 1986). Eine systematische und formale Unterscheidung und Notation mentaler und konzeptueller Modelle unter Berücksichtigung ihrer gegenseitigen Abbildungen wurde bei diesen Modellen nicht eingeführt.

Die in den vorausgegangenen Abschnitten dargestellte Systematik und Notation soll helfen, die Fragen und Methoden des Cognitive Systems Engineering möglichst umfassend und vollständig anzuwenden und zu dokumentieren. Es muss beispielsweise unterschieden werden, welche Vorstellungen direkt aus dem Anwendungswissen der Systementwickler stammen und welche aus Befragungen der Anwender, insbesondere der Operateure abgeleitet wurden:

$D(A)$ vs. $D(B(A))$

Ähnliches gilt für Schlussfolgerungen der Systementwickler aus den erfragten oder beobachteten Verhaltensweisen der Operateure bei der Nutzung des PFS, also einem Modell 3. Ordnung:

$D(B(S(A)))$

Letztlich ist auch die Selbstreflektion der Entwickler hinsichtlich ihres eigenen Fach- und Systemwissens von Bedeutung, da dies oft erst der Anlass zu weiteren Analysen, Erweiterung der Kenntnisse in der Anwendung oder auch zur Entwicklung neuer Systemkonzepte darstellt:

$D(D(A))$ sowie $D(D(S(A)))$

Schon die Diskussion dieser unterschiedlichen Aspekte und Fragen mit Systementwicklern öffnet erfahrungsgemäß den Blick aus eingefahrenen Denkweisen und schafft eine Grundlage für eine offenerere und hinterfragendere Arbeitsweise bei der Systementwicklung oder auch bei der Systemeinführung.

4.2 Mentale Modelle zur Ereignisanalyse

Ereignisanalysen nach Incidents oder Accidents erfordern eine Rückverfolgung von Zuständen und Entscheidungsprozessen und daraus resultierenden Hand-

lungsabläufen und Kommunikationsprozessen. Dabei müssen Feststellungen getroffen werden, bei welchem Funktionsträger welches Wissen vorhanden, inwieweit dieses Wissen qualifiziert und inwieweit die rekonstruierbaren, daraus folgenden Handlungen situationsgerecht und zielführend waren. Bei der Dokumentation von Ereignisanalysen fehlen im Allgemeinen Modelle und Methoden, um die Zuordnung der erkannten Diskrepanzen systematisch dokumentieren zu können. Stattdessen werden individuell sehr unterschiedliche und dadurch auch missverständliche Verbalisierungen gewählt. Darüber hinaus wird bei Ereignisanalysen die spätere statistische Auswertung innerhalb, aber vor allem auch über mehrere Ereignisanalysen hinweg erschwert oder praktisch unmöglich gemacht. So ist es nur mit hohem Aufwand möglich, Probleme im Bereich des Fachwissens und des Verhaltens von Systembetreibern über mehrere Ereignisse hinweg systematisch und summarisch zu untersuchen.

Kategorien in der systematischen und praxisgerechten Ereignisanalyse, wie sie beispielsweise von Wiegmann und Shappell (2003) vorgeschlagen wurden, könnten mit den Modellkategorien für eine automatische statistische Auswertung angereichert und verfeinert werden.

4.3 Mentale Modelle zur Qualifizierung von Operateuren

Die Qualifizierung von Betriebspersonal, hier insbesondere Operateure, basiert üblicherweise auf langfristig angelegten Fortbildungssystemen. Dabei sind in der gängigen Praxis zwei Ansätze zu unterscheiden:

- a. Fortbildung nach festen Qualifizierungsplänen, die von Sachverständigen und Aufsichtsbehörden geprüft bzw. genehmigt werden;
- b. Fortbildung mit Qualifizierungs- und Leistungszielen und Feedbackkonzepten.

Im Rahmen der Kerntechnik wird seitens der internationalen Atombehörde IAEA (International Atomic Energy Agency) die sogenannte *SAT-Methode* (*Systematic Approach to Training*) empfohlen (IAEA, 1998; IAEA, 2000). Die Methode sieht vor, dass es einen organisatorischen Prozess gibt, bei dem

1. eine Analyse des Trainingsbedarfs durch Aufgaben- und/oder Kompetenzanalysen,
2. ein Entwurf des Trainingsprogramms,
3. die Entwicklung des Trainingsmaterials,
4. das Trainings selbst und
5. abschließend die Evaluation der Effektivität des Trainings

durchgeführt wird. Das Besondere an diesem ansonsten kanonischen Vorgehen sind die *Aufgaben-* und die *Kompetenzanalysen*, bei denen untersucht werden soll, inwieweit das vorhandene Wissen und die vorhandenen Einstellungen der Funktionsträger den Aufgaben und Sicherheitsanforderungen eines ordnungsgemäßen Betriebs genügen. Am Ende des Prozesses werden die Ergebnisse der

Qualifizierungsmaßnahmen im Sinne eines geschlossenen Prozesses in die Analysen rückgekoppelt. Bei dieser Analyse ist es von zentraler Bedeutung, die folgenden mentalen und konzeptuellen Modelle

$$B(A) \leftrightarrow A$$

sowie

$$B(S(A)) \leftrightarrow S(A)$$

abzugleichen. Dabei muss das Wissen eines Operators über den Anwendungsbereich vom Wissen von der Implementierung des Anwendungsbereichs im PFS unterschieden werden. Praktisch heißt dies, dass auch geklärt werden muss, inwieweit es Diskrepanzen (Konflikte) zwischen $B(A)$ und $S(A)$ gibt, d.h. das PFS stellt den geführten Prozess anders dar, als er sich nach Vorstellung des Operators darstellen sollte. Probleme dieser Klasse haben zu vielen bekannten Incidents und Accidents geführt.

Einen ähnlichen Nutzen kann die Differenzierung von mentalen und konzeptuellen Modellen im Bereich des *CRM (Crew Resource Management)* mit sich bringen. Hier sind insbesondere der Vergleich unterschiedlicher mentaler Modelle, z.B. zwischen Pilot P und Kopilot K, bezüglich des Verhaltens bestimmter technischer Teilsysteme T

$$B_P(S_T(A)) \neq B_K(S_T(A))$$

oder Unterschiede in der Einschätzung einer spezifischen äußeren Problemsituation S relevant:

$$B_P(A_S) \neq B_K(A_S)$$

bzw. bezogen auf ein möglicherweise dabei zu nutzendes Teilsystem T

$$B_P(S_T(A_S)) \neq B_K(S_T(A_S)).$$

Die Identifikation und Zuordnung von Diskrepanzen im Betrieb durch das Personal selbst kann im Sinne des CRM helfen, fehlerhafte und möglicherweise fatale Ursache-Wirkungsketten zu unterbrechen und eine andere Sicht auf das Problem zu erhalten. Da beim CRM Einstellungen (*Attitudes*) des Personals sowie das Error-Management in den neueren Formen des CRM einen hohen Stellenwert haben (Helmreich et al., 1999), ist ein expliziter Bezug zu mentalen und konzeptuellen Modellen und den damit verbundenen CRM-Qualifizierungsmaßnahmen von besonderer Bedeutung.

4.4 Konzeptuelle Modelle zur aktiven Systemunterstützung

Neben der mentalen Abbildung von Anwendungs- und Systemwissen in mentalen Modellen kann dieses auch auf einer höheren Ebene im System selbst abgebildet werden. Das System baut also ein explizites Modell (Repräsentation) von mentalen und konzeptuellen Modellen auf, die das Systemverhalten beeinflussen.

Eine besondere Bedeutung kommt dem folgenden konzeptuellen Modell zu:

S(B(A)): Modell des PFS vom Modell des Operators vom Anwendungsgebiet; d.h. das PFS baut ein Modell auf, das beschreibt, welche Bereiche des Anwendungsgebiets der Operator kennt und benötigt.

Dieses S(B(A)) kann dazu dienen, einem Operator kontextabhängig effizientes Arbeiten im Arbeitsgebiet zu ermöglichen oder ihn auf Funktionalitäten hinzuweisen, die er anscheinend noch nicht kennt, möglicherweise aber nutzbringend einsetzen könnte. Dies ist möglich, wenn das System durch die Beobachtung des Verhaltens des Operators Informationen sammelt, welche Teile der Anwendungswelt der Benutzer bereits kennt und steuert.

Ein anderes interessantes konzeptuelles Modell ist

S(S(A)): Modell des Systems von der Implementierung des Systems, d.h. das System besitzt ein explizites Modell seiner eigenen Realisierung.

Eine solche Selbstreflexion ist eine Voraussetzung für *adaptive Systeme* (Systeme, die sich an ihre Benutzer anpassen) und *aktive Hilfesysteme* (Hilfesysteme, die selbst die Initiative zur Hilfe ergreifen). Das System besitzt dazu eine Beschreibung seiner eigenen Funktionalität und seines Verhaltens, auf die es selbst zugreifen kann. Dadurch ist es in der Lage, sich bedarfsweise dem Operator gegenüber aktiv selbst zu erklären. Gleichzeitig bietet dies eine Grundlage für das *Intention-Based Supervisory Control*, bei dem Intentionen von Operator und System verknüpft werden müssen (Herczeg, 2002).

Ein solches System könnte beispielsweise beim Ausfall einer Systemkomponente erklären, dass es über bestimmte, aktiv geprüfte und funktionsfähige Redundanzen verfügt. Auch eine transparente Versionshaltung von Systemeigenschaften ist durch eine explizite Modellierung im System für die Operateure hilfreich. Solche Metaebenen werden in vielen Systemen implizit realisiert, ohne jedoch diese Modellierungen in systematischer Weise den Operateuren passiv (auf Nachfrage) oder aktiv (automatisch) darzustellen. Ein derartiges, explizit metamodelliertes System kann am besten in die Lage versetzt werden, Operateuren auf Grundlage seiner eigenen expliziten Strukturbeschreibung S(S(A)) abhängig von Betriebszustand oder auch im Zusammenspiel mit der beobachteten Systemerfahrung des Operators S(B(S(A))) eine reduzierte oder erweiterte Benutzungsschnittstelle anbieten. Hierbei sind jedoch anwendungsspezifisch Fragen der Erwartungskonformität (Konsistenz) des Systems zu klären.

Selbstbeschreibungen, d.h. Metamodellierungen eines Systems sind zu einem gewissen Grad immer Teil von Prozessführungssystemen, indem Systemeigenschaften mehr oder weniger fest codiert das Systemverhalten implizit steuern. Nur wenige Systeme besitzen jedoch ein explizites, systematisches und dynamisches Metamodell seiner eigenen Eigenschaften.

5 Beispiele

Die Bedeutung der Modellierungen lassen sich an den folgenden konkreten Beispielen und teils fiktiven Vorstellungen diskutieren. Dabei wurden Beispiele aus der Kraftfahrzeug-, der Luftfahrt- und der Kerntechnik verwendet, die typische Konfliktsets in den wichtigen Modellen darstellen. Der Zweck der Beispiele ist weniger eine präzise Darstellung der teils komplexen konkreten Fälle, deren nähere Analyse hier nicht ausführlich dargestellt werden kann, als vielmehr die Anschaulichkeit der Bedeutung der Modellierungen und ihrer gegenseitigen Inkompatibilitäten.

5.1 Beispiel: Pkw-Technik

Die Wirkung des Bremskraftverstärkers und des Antiblockersystems (ABS) bei Personenkraftwagen ist vielen Autofahrern nur ansatzweise bekannt. Daraus resultieren häufig Überraschungen und damit verbundene zusätzliche Gefahrensituationen beim Einsatz dieses wichtigen Fahrerunterstützungssystems.

S(A): Der Bremskraftverstärker ermöglicht das schnelle Herstellen eines hohen Bremsdrucks. Im Falle des Blockierens eines Rads, wird durch das automatische Lösen der entsprechenden Radbremse das Rad wieder zum Rollen und zur Bodenhaftung gebracht. Der Wagen bleibt auf diese Weise lenkbar. Der Bremsweg kann sich aber in bestimmten Fällen verlängern.

B(S(A)): Ein Fahrer weiß, dass er durch das Drücken des Bremspedals die Bremsung sofort einleiten kann und dabei vom Bremskraftverstärker, sowie, im Falle des Blockierens der Räder, vom ABS unterstützt wird. Er geht davon aus, dass der Bremsweg in jedem Fall durch diese Unterstützungsfunktionen verkürzt wird.

D(B(S(A))): Die Entwickler diskutieren mit repräsentativen Autofahrern über Bremssituationen bei glatten Oberflächen über typische Witterungsbedingungen und erkennen die Diskrepanz zwischen den Erwartungen und Erfahrungen der Autofahrer und dem realisierten ABS-System. Sie diskutieren dabei, wie den Fahrern zu vermitteln ist, dass der größere Vorteil die verbleibende Lenkbarkeit des Wagens und nicht der kürzeste Bremsweg unter Verlust der Spurhaltung ist und die Fahrer daher im Falle des Wirkens des ABS Hindernissen ausweichen und nicht versuchen sollen, vor den Hindernissen zum Stehen zu kommen. Es wird die Alternative diskutiert, dass bei hoher Pedalkraft und bestimmten externen Bedingungen die Wirkung des ABS reduziert werden könnte, um phasenweise eine höhere Gleitreibung zu nutzen.

In der Praxis des Straßenverkehrs stellt sich an diesem Beispiel die Frage, wie die Modelle abgeglichen werden können. Die Fahrschule ist dafür nicht ausreichend, da es weder Nachschulungen noch Training für kritische Situationen und neue

Fahrerunterstützungssysteme gibt. Fahrzeughandbücher werden meist nicht oder nur einmal gelesen. Insofern sind Diskrepanzen zwischen komplexen Systemmodellen und typischen Pkw-Fahrern ein prinzipielles Problem.

5.2 Beispiel: Luftfahrttechnik

Am 14.9.1993 verunglückte ein Airbus A320 der Lufthansa bei der Landung in Warschau bei schlechtem Wetter und nasser Landebahn. Die Maschine setzte bedingt durch die Witterungsverhältnisse spät und in leichter Schräglage auf. Die Schubumkehr und die Radbremsen setzen zu spät ein, um die Kollision der Maschine mit einem Erdwall noch zu verhindern.

- S(A): Die Schubumkehr wird zur Sicherheit erst bei einem Mindestdruck auf den Federbeinen der Hauptfahrwerke aktiviert. Die Schubumkehr läuft dann mit reduzierter Triebwerksleistung. Die Radbremsen sind erst aktivierbar, sobald sich die Räder mit einer Mindestdrehzahl drehen, um Aquaplaning und ein Blockieren der Räder zu vermeiden.
- B(S(A)): Die Piloten haben durch Windscherungen und starkem Regen die Maschine weit in der Landebahn und erst auf einem Fahrwerk aufgesetzt und wollen deshalb die Radbremsen und die Schubumkehr mit maximaler Leistung für einen möglichst kurzen Bremsweg aktivieren. Sie wundern sich, dass die Schubumkehr und die Radbremsen erst mit einiger Verzögerung aktiv werden.
- D(S(A)): Die Schubumkehr soll zur Vermeidung von Unfällen in der Luft erst bei vollständigem und deutlichem Bodenkontakt der Hauptfahrwerke eingeschaltet werden, um sicherzugehen, dass sich die Maschine sicher am Boden befindet und keine Fehlauflösung in der Luft, wie z.B. beim Unfall der B767 der Lauda Air am 26.5.1991, möglich ist. Die Leistung der Schubumkehr wurde reduziert, um die Standzeit der Triebwerke zu erhöhen. Als Indikator für einsetzbare Radbremsen wird eine Mindestdrehzahl der Räder gewählt, um Blockierungen zu vermeiden.

An diesem Beispiel ist zu erkennen, dass die Intentionen (mentale Modelle) der Entwickler in dieser wichtigen Flugsituation nicht mit denen der Piloten abgeglichen worden waren. Den Piloten wurde durch eine vermeintliche Sicherheits-einrichtung die Kontrolle über eine kurze Flugphase durch eine maschinelle „Schutzfunktion“ entzogen. Hätten die Piloten den Sachverhalt gekannt, hätten sie die Maschine möglicherweise früher aufgesetzt oder den Anflug beim Erkennen der Windscherungen abgebrochen. Alternativ hätte man eine Override-Funktion für die Schubumkehr und seine Leistung vorsehen können.

5.3 Beispiel: Kerntechnik

Am 14.12.2001 ereignete sich eine Radiolysegasexplosion in einer Kühlwasserleitung (Deckelduschleitung) im Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB). Dabei ist die

Kühlwasserleitung geborsten. Der gesamte Reaktordruck lastete anschließend auf einem am Ende der geborstenen Leitung übrig gebliebenen Rückschlagventil, das letztlich zwei Monate lang den Kühlmittelverlust (KMV) des Reaktordruckbehälters (RDB) verhinderte. Die Betriebsmannschaft hatte das Ausmaß des Ereignisses über die ganze Zeit nicht erkannt und den Reaktor weiterbetrieben.

S(A): Die Deckelduschleitung war durch eine Radiolysegasexplosion geborsten. Im Sicherheitsbehälter (SHB) waren eine Vielzahl von Systemen und Sensoren beschädigt. Ein übrig gebliebenes Rückschlagventil hat den Reaktordruck und damit das Kühlmittel des Reaktors gehalten. Die durch die Explosion verursachte Leckage war durch ein Ventil abgestellt worden.

B(S(A)): Der Arbeitsstab im KKB kam nach Erkennen eines Ereignisses über die Leitwarte nach einiger Beratung zum Schluss, es mit einer spontanen Flanschleckage in der Deckelduschleitung zu tun zu haben. Die Leckage in der Leitung war sofort durch Schließen eines Ventils erfolgreich abgestellt werden. Einige ungeklärte Fragen zu diversen Sensordaten aus dem SHB blieben bei den Mitgliedern des Arbeitsstabs zurück. Die Vorstellung der Möglichkeit einer Radiolysegasexplosion bestand zusätzlich bei einigen Mitgliedern des Arbeitsstabs. Die Deckelduschleitung wird für den Betrieb der Anlage nicht benötigt. Daher sollte die Anlage bis zur nächsten Revision weiterbetrieben werden, um ein Abschalten und eine sofortige Inspektion der Anlage zu vermeiden.

D(S(A)): Die Entwickler der Anlage hatten den geringen Vorteil der Deckelduschleitung zum schnelleren Abfahren der Anlage gegenüber dem Risiko von Radiolysegasansammlungen und Radiolysegasexplosionen in der selten durchflossenen Deckelduschleitung, die direkt am Deckel des RDB angebaut ist, nicht gesehen.

S(S(A)): Die Anlage hatte in der Leitwarte kritische Fehler in vielen Teilsystemen gemeldet, die teilweise vom Betriebspersonal abgestellt und ignoriert wurden. Eine Reaktorschnellabschaltung (RESA) wird in einem solchen Fall nicht ausgelöst.

Monate nach dem Ereignis wurde Deckelduschleitung entfernt und die Begleitschäden repariert. In einer umfassenden Maßnahme wurde das KKB-Personal geschult, künftig systematische und dokumentierte Ereignisanalysen durchzuführen und dabei sicherheitsgerichtet zu entscheiden. Nur nach einem alle beobachteten Symptome vollständig und schlüssig abdeckenden Erklärungsmodell, sowie nach Feststellung der Unbedenklichkeit des Anlagenzustandes in Sinne einer Worst-Case-Betrachtung, soll die Anlage künftig nach betrieblichen Abweichungen weiterbetrieben werden. Sicherheitsgerichtetes Verhalten soll bei Entscheidungen und Verhaltensweisen des Betriebspersonals an erster Stelle stehen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die differenzierte Analyse, Zuordnung und Dokumentation von mentalen und konzeptuellen Modellen ist eine nützliche Methode für das Cognitive Systems Engineering. Auch wenn aufgrund des hohen Aufwands oder fehlender Quellen nur Teilaspekte analysiert und dokumentiert werden (Konfliktsets), können einzelne kritische Gestaltungsentscheidungen auf einer besser definierten Grundlage erfolgen.

Neben der Nutzung dieser Modellierungen während der Systementwicklung können sie auch für die systematische Qualifizierung in Aus- und Fortbildung von Operateuren und anderem Betriebspersonal genutzt werden.

Die dargestellten Beispiele zeigen die prinzipielle Sinnhaftigkeit und Bedeutungen der Unterscheidung der Modelle auf verschiedenen Modellebenen. In der praktischen Anwendung findet sich ein solcher Ansatz bislang nur punktuell. Die grundlegende Methodik der differenzierten Nutzung mentaler und konzeptueller Modelle muss mit den anderen Methoden, wie der Cognitive Systems Analysis und ähnlichen Analyseformen, die auf eine Wissenserhebung abzielen, verknüpft werden. Dabei werden auch Erhebungs-, Dokumentations- und Managementwerkzeuge benötigt, die die Erstellung und weitere Verwendung der Modelle während der Entwicklung eines Prozessführungssystems und bei der Qualifizierung der beteiligten Personen unterstützen. Hierfür ist weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf zu erkennen.

Literatur

- Beyer, H. & Holtzblatt, K. (1998). *Contextual Design*. San Diego: Academic Press.
- 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.
- Helmreich, R.L., Merritt, A.C. & Wilhelm, J.A. (1999). The Evolution of Crew Resource Management Training in Commercial Aviation. *International Journal of Aviation Psychology*, 9(1), 19-32.
- Herczeg, M. (1994). *Software-Ergonomie*. 1. Auflage. Bonn: Addison-Wesley.
- 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. (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: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt, 29-42.

- Herczeg, M. (2005). *Software-Ergonomie*. 2. Auflage. München: Oldenbourg.
- Herczeg, M. (2006a). *Interaktionsdesign*. München: Oldenbourg.
- Herczeg, M. (2006b). Analyse und Gestaltung multimedialer interaktiver Systeme. In: Zimolong, B. & Konradt, U. (Hrsg.). *Enzyklopädie der Psychologie, Ingenieurpsychologie*, 2. Auflage. Göttingen: Hogrefe, S. 531-562.
- IAEA (1998). *Experience in the Use of Systematic Approach to Training (SAT) for Nuclear Power Plant Personnel*. IAEA-TECDOC-1057, Wien: IAEA.
- IAEA (2000). *Analysis Phase of Systematic Approach to Training (SAT) for Nuclear Plant Personnel*. IAEA-TECDOC-1170, Wien: IAEA.
- 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.
- 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. (1985a). *A Framework for Cognitive Task Analysis in Systems Design*. Report M-2519, Roskilde: Risø National Laboratory.
- Rasmussen, J. (1985b). *Decision Support in Supervisory Control*. Report M-2525, Roskilde: Risø National Laboratory.
- Rasmussen, J. (1985c). The Role of Hierarchical Knowledge Representation in Decisionmaking 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.
- Streitz, N. (1990). Psychologische Aspekte der Mensch-Computer-Interaktion. In Hoyos, C.G. & Zimolong, B. (Hrsg.). *Enzyklopädie der Psychologie, Ingenieurpsychologie*, 1. Auflage. Göttingen: Hogrefe. S. 240–284.
- Vicente, K.J. (1999). *Cognitive Work Analysis*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wiegmann, D.A. & Shappell, S.A. (2003). *A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System*. Burlington: Ashgate.
- Woods, D.D. & Roth, E.M. (1988). Cognitive Systems Engineering. In: Helander, M. (Ed.), *Handbook of Human Computer Interaction*, Amsterdam: Elsevier, pp. 3-43.

Autor

Prof. Dr. M. Herczeg

Universität zu Lübeck
Institut für Multimediale und Interaktive Systeme