

# Vermittlung und Erhebung von mentalen Kausalmodellen komplexer dynamischer Sys- teme

ANNE KLOSTERMANN & JÖRG HUSS

*Zentrum Mensch-Maschine-Systeme, TU-Berlin*

*Schlüsselwörter: Mentale Kausalmodelle, Prozessführung, Wissensvermittlung, Wissensdiagnose*

## **Zusammenfassung**

Im Rahmen der Frühjahrsschule des Zentrum Mensch-Maschine-Systeme wurde ein Workshop zu der Vermittlung und Erhebung von mentalen Kausalmodellen komplexer dynamischer Systeme durchgeführt. Ziel war es, Experten in interdisziplinären Teams Lösungsansätze anhand eines konkreten Untersuchungsszenarios generieren und diskutieren zu lassen. In dem vorliegenden Artikel wird zunächst das Konzept der Kausalmodelle vorgestellt, inklusive einer Theorie zum Erwerb derartigen Systemwissens. Im Anschluss wird das Untersuchungsszenario „Druckregelung einer Destillationskolonne“ erläutert. Zum Abschluss werden die Workshop-Ergebnisse dargestellt und hinsichtlich der weiteren Forschungsarbeiten diskutiert.

## **1. Kausalmodelle**

Überwachungs- und Kontrolltätigkeiten moderner, hoch automatisierter Produktionsprozesse erfordern eher selten Eingriffe vom Operateur. Zum Aufgaben-Portfolio von Operateuren gehören unter anderem die Ausführung von An- und Abfahrprozeduren, die Analyse von Systemzuständen, die Vorhersage zukünftigen Systemverhaltens, die Fehlerdiagnosen sowie die Auswahl geeigneter Gegenmaßnahmen, um auf Störungen im System angemessen reagieren zu können. Nach Hollnagel (1989) lassen sich 15 kritische kognitive Aktivitäten von Operateuren komplexer Systeme identifizieren, u.a. das Erstellen von Diagnosen, die Evaluation von Zuständen, die Überwachung des Systems, die Regelung und die Handlungs-Planung. Operateure

greifen bei der Erledigung dieser Aufgaben auf ihre mental repräsentierten Kausalmodelle des Produktionssystems zurück. Was aber ist unter einem *Kausalen Mentalen Modell* zu verstehen? Dutke definiert *Mentale Modelle* als „Ausdruck des Verstehens eines Ausschnittes der realen Welt.“ (Dutke, 1994, S.2). Mentale Modelle sind interne Abbilder der Umwelt, die den Menschen dazu befähigen Handlungen zu planen und auszuführen. Nach Rouse und Morris (1986) sind *Mentale Modelle* Mechanismen, welche die Beschreibung von Zweck, Struktur, Funktionsweise und Zustand komplexer Systeme ermöglichen, wobei sich auch verschiedene zukünftige Systemzustände prognostizieren lassen.

Für den Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion verstehen wir *Kausale Mentale Modelle* als Spezialform Mentaler Modelle. In ihnen ist Wissen über die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge im System repräsentiert, d.h. das Wissen über einzelne Systemkomponenten und ihre Verbindungen untereinander. Hat ein Operateur ein Kausalmodell von einem technischen System aufgebaut, ermöglicht ihm dies zum einen die Systembedienung. Auf das Kausalmodell kann aber auch zurückgegriffen werden, um unterschiedliches Systemverhalten zu erklären. Dies beinhaltet unter anderem die Vorhersage von Systemzuständen. Das Kausalmodell bietet darüber hinaus die Grundlage für die Entwicklung und Anwendung von Kontrollstrategien. Das in Form von Kausalmodellen gespeicherte Wissen stellt zudem eine Abstraktion und Reduktion der Realität dar. Gerade bei Prozessführungstätigkeiten ist dies von Vorteil, da die zu überwachenden Prozesse äußerst komplex sind, und in ihrer Vollständigkeit nur schwer repräsentiert werden können.

Kausalmodelle dynamischer Systeme dienen also dazu, zukünftiges Systemverhalten vorherzusagen, Ursachen für beobachtete Abnormalitäten und Störungen zu finden sowie angemessene Eingriffe in das System vorzunehmen (Rasmussen, 1983).

## 2. Erwerb von Kausalmodellen komplexer technischer Systeme

Wie aber entwickeln Operateure solche Kausalmodelle? Verschiedene Theorien beschäftigen sich mit dem Erwerb mentaler Modelle. De Kleer und Brown (1983) haben eine Theorie zum Erwerb von Kausalmodellen technischer Geräte entwickelt, die sich aber auch auf komplexe Systeme im Bereich der Prozessführung anwenden lässt. Eine Veranschaulichung des Modellerwerbs bietet Abbildung 1.

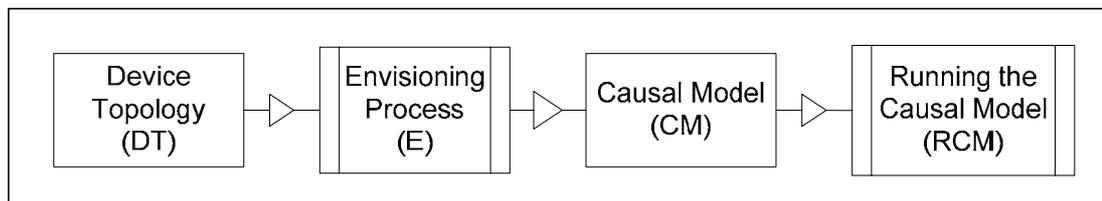


Abbildung 1: Erwerb mentaler Kausalmodelle nach De Kleer und Brown (1983)

In einem ersten Schritt wird Wissen über die am System beteiligten Komponenten erworben und repräsentiert sowie Wissen darüber, welche Komponenten miteinander verbunden sind. Dieser Schritt wird Komponenten-Topologie (Device Topology/DT) genannt. Im Grunde beschreibt diese Stufe die mentale Repräsentation der einzelnen Komponenten des Systems, ihrer räumlichen Anordnung und ihrer Verbindungen.

Damit ein Kausalmodell vom System entstehen kann, muss ein Veranschaulichungsprozess (Envisioning/E) stattfinden, in dem für jede einzelne Komponente des Systems mental simuliert wird, mit welchen anderen Komponenten sie kausal verknüpft ist. Weiterhin wird in diesem Prozess mental simuliert, welche Zustände jede einzelne Komponente annehmen kann und wie sich eine Zustandsänderung einer Komponente auf andere Komponenten im System auswirkt. Der Veranschaulichungsprozess ist ein Deduktionsprozess, in dem die Funktionen der Systemkomponenten ermittelt werden. Für jede einzelne Komponente wird ein Komponentenmodell angenommen, in dem das Wissen über die möglichen Verhaltensweisen einer Komponente repräsentiert ist. Zustände sind meist qualitative Attribute, wie z.B. „an“ vs. „aus“ oder „steigend“ vs. „fallend“. Jede Komponente hat einen Definitionsteil und einen Übergangsteil. Der Definitionsteil beschreibt, welche Auswirkungen der Zustand auf andere Teile des Systems hat. Der Übergangsteil beschreibt, wann der Zustand 1 in den anderen Zustand 2 übergeht. Um die Funktionsweise des gesamten Systems zu bestimmen, müssen alle einzelnen Komponenten beschrieben und zugehörige miteinander verbunden werden. Am Ende des Veranschaulichungs-Prozesses liegt als Resultat ein vollständiges Kausalmodell (Causal Model/CM) vor. Es repräsentiert die kausalen Zusammenhänge zwischen den Komponenten und deren Zuständen und beschreibt die Arbeitsweise bzw. das Funktionieren des Systems/Geräts über konditionale Regeln (Input-Output-Regeln etc.). Dieses Kausalmodell lässt sich nun ebenfalls mental simulieren („Running of the causal model“ /RCM). Hier geschieht beispielsweise die Vorhersage eines spezifischen Verhaltens des Systems auf der Grundlage des Kausalmodells. Ausgehend von einem angenommenen Zustand einer Komponente können Auswirkungen auf die anderen Komponenten des Systems und ihre Zustände simuliert und vorhergesagt werden.

### **3. Kausalmodell einer Destillationskolonne**

Für experimentelle Untersuchungen innerhalb unserer Forschungsprojekte verwenden wir die Mikrowelt PE/SSE (*ProperEduct/SmallSystemsEdition*) (Urbas, 1999) für die experimentelle Untersuchung unterschiedlicher Fragestellungen.

In einem Projekt wird die Mikrowelt für Simulationsexperimente verwendet, um einerseits Aspekte der Vermittlung von Kausalen Mentalen Modellen durch angemessene Interfacegestaltung und andererseits Methoden zur Erfassung kausaler mentaler Modelle auf der Grundlage der Theorie von De Kleer und Brown (1983) zu untersuchen (Klostermann, 2006).

In einem zweiten Projekt werden Visualisierungsmöglichkeiten von geschätzten Prozessgrößen entwickelt und überprüft (Barz, Huss & Wozny, 2006). Die Schätzungen werden dort von einem Computer anhand eines physikalischen, in Form von Differentialgleichungen vorliegenden Modells vorgenommen. Eine Herausforderung stellt dar, einerseits den Anlagenoperator mit möglichst wenig verwirrenden Details über diese Form von Zustandsschätzung zu konfrontieren, andererseits ihn mit so viel Information auszustatten, wie für den Aufbau eines mentalen Kausalmodells über den Zustandsschätzer notwendig ist. Relevante Komponenten sind hier u. a. die Genauigkeitsparameter der Messabnehmer und des Prozessmodells.

Zur formativen Evaluation einer prototypischen Trend-basierten Suchmaschine soll das Mikrowelt-Szenario im Rahmen einer dritten Studie genutzt werden (Huss, Stefens & Urbas, 2006). Hier werden die Methoden zum Erwerb mentaler Kausalmodel-

le genutzt, um die Versuchspersonen möglichst effizient auf ein homogenes Level an Systemwissen heranzuführen.

Um eine Übertragung der Workshopergebnisse auf diese Forschungsvorhaben zu ermöglichen, wurde das innerhalb der Mikrowelt PE/SSE bereits zu großen Teilen implementierte Szenario „Destillationsprozess in einer Rektifikationskolonne“ für den Workshop ausgewählt. Die Destillation ist ein thermischer Trennprozess, welcher die unterschiedlichen Siede- und Taupunkte der Komponenten eines Flüssigstoffgemischs ausnutzt. Bei einer Rektifikationskolonne wird der Destillationsprozess mehrfach auf sog. Kolonnenböden durchgeführt (Abbildung 2). Derartige Böden sind mit Öffnungen ausgestattet, welche die Dampfphase von unten eindringen lassen. Die Flüssigkeit fließt dagegen über den Bodenrand die Kolonne hinab. Auf jedem Boden unterscheiden sich die Stoffkonzentrationen von Flüssig- und Gasphase. Darüber hinaus findet die Destillation auf jedem Boden auf Basis einer anderen Ausgangskonzentration statt. Im oberen Teil der Kolonne wird das Gemisch durch den Leichtsieder dominiert, im unteren Teil durch den Schwertsieder. Ziel ist es, möglichst reine Stoffe am oberen und unteren Kolonnenteil abzuziehen. Diese Reinheit wird u. a. durch die Anzahl und Beschaffenheit der Kolonnenböden determiniert.

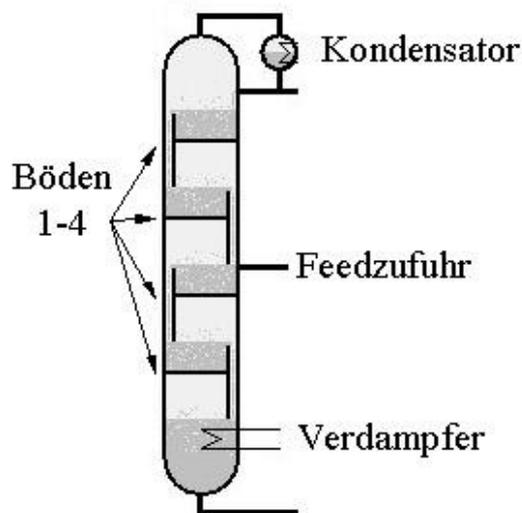


Abbildung 2: Rektifikationskolonne. Die Flüssigkeit ist hellgrau dargestellt. Die Gasphase ist mit weißen und grauen Punkten verbildlicht.

Als Sonderfall der Destillation kann die Trennung eines azeotropen Gemisches gesehen werden, da hier bei einer bestimmten Konzentration (*Azeotroper Punkt*) die Zusammensetzung des Stoffgemisches in der Flüssigkeit und der Gas-Phase die gleiche Qualität aufweist. Hier würde auch keine erhöhte Anzahl an Kolonnenböden abhelfen. Als Lösung gilt ein Zwei-Kolonnen-System, bei welchem die zweite Kolonne unter erhöhtem Gasdruck betrieben wird (z. B. 4 Bar). Dies ermöglicht die Destillation auf beiden Seiten des azeotropen Punktes.

Als experimentelles Aufgabenszenario wurde die Druckregelung der Hochdruckkolonne gewählt (Abbildung 3). Die Druckregelung erfolgt dabei vor allem über die Kondensatorleistung bzw. über den Wärmeaustausch  $Q$ . Wesentlich für den Kondensator ist der Kühlkreislauf. Mehrere Größen beschreiben den Prozess. Für unsere Aufgabe lassen sich der Druck  $p$  und der Produktabzug  $V_p$  als die zwei Zielgrößen benennen. Der Druck muss zur Stabilisation der Kolonne konstant gehalten werden.

Der Produktabzug muss ebenfalls konstant gehalten werden (z. B. 30l/s), da ein Nachfolgeprozess einen möglichst konstanten Zufluss benötigt. Es gibt mehrere Störgrößen, die auf das Subsystem Kondensator Einfluss nehmen. Abhängig von den Prozessen in der Kolonne verändert sich Temperatur ( $T_d$ ) und Menge ( $V_d$ ) des zuströmenden Dampfes. Das Kühlwasser wird aus der Umwelt entnommen und unterliegt darum nicht beeinflussbaren Schwankungen. Als Eingriffsmöglichkeiten stehen die Zuflussregelung des Kühlwassers  $V_{kin}$ , sowie die Abflussregelung des Produktes zur Verfügung. Die verbleibenden Prozessgrößen ( $T_k$ ,  $L$ ,  $T_{kout}$ ,  $Q$ ) werden durch die Stör- und Eingriffsvariablen determiniert und beeinflussen zum Teil ( $L$ ,  $Q$ ) die Zielgrößen. Für die weitere Betrachtung des Subsystems vernachlässigen wir den Rücklaufstrom  $V_r$  in die Kolonne und halten ihn konstant.

**Zielgrößen:**

Kolonndruck ( $p$ ), Produktabzug ( $V_p$ )

**Störgrößen:**

Dampfstrom ( $V_d$ ), Dampftemperatur ( $T_d$ ),  
Kühlwassereingangstemperatur ( $T_{kin}$ )

**Eingriffsmöglichkeiten:**

Kühlwasserzufluss ( $V_{kin}$ ), Produktabzug ( $V_p$ )

**Konstante Größen:**

Kolonnenrücklauf ( $V_r$ )

**zusätzliche Größen („moderierende Variablen“):**

Temperatur-Kondensat ( $T_k$ ), Kondensatorlevel ( $L$ ),  
Kühlwasserausgangstemperatur ( $T_{kout}$ ),  
Wärmeaustausch ( $Q$ )

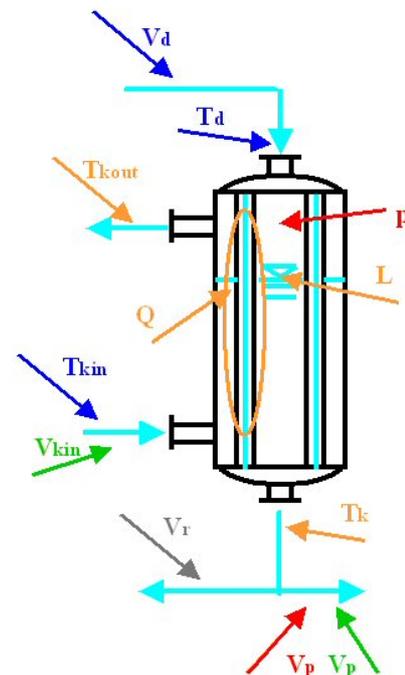


Abbildung 3: Kondensatormodell

In Anlehnung an die Theorie von De Kleer & Brown (1983) wäre zum Erwerb eines mentalen Kausalmodells über den vorgestellten Kondensationsprozess eine Topologie von Geräten möglich. Allerdings sind die Geräte (Ventile, Tank, Rohre) als Komponenten nicht wirklich hilfreich. Dagegen kann man die genannten Prozessgrößen analog zu Komponenten betrachten. Eine Topologie muss nun alle Komponenten bzw. Prozessvariablen inklusive ihrer Beziehungen aufzeigen. Ein Produkt des Envisioning-Prozesses sind die Wirkrichtungen zwischen den Komponenten des Systems sowie deren Vorzeichen. Die ist in Abbildung 4 schematisch veranschaulicht.

Die Pfade zwischen den Eingriffsgrößen und Zielgrößen sind die wesentlichen deterministischen Pfade. Der Druck lässt sich dabei über den Produktabzug und/oder Kühlwasserstrom regeln.

Regelungsstrategie 1: Erhöht man den Produktabzug, verringert sich der Level. Damit vergrößert sich die Fläche für den Wärmeaustausch zur Gasphase. Dies be-

schleunigt die Kondensation und erhöht die Kühlleistung  $Q$ . Dadurch verringert sich wiederum der Druck  $p$ .

$$V_p \uparrow \rightarrow L \downarrow \rightarrow Q \uparrow \rightarrow p \downarrow$$

Regelungsstrategie 2: Erhöht man dagegen den Kühlwasserstrom, verhält sich die Temperaturdifferenz konstanter über die Kondensatorfläche bzw. zwischen  $T_{kout}$  und  $T_{kin}$ . Dies verstärkt die Kondensation und die Kühlleistung  $Q$ . Daraufhin verringert sich ebenfalls der Druck  $p$ .

$$T_{kin} \uparrow \rightarrow Q \uparrow \rightarrow p \downarrow$$

Ein Dilemma ergibt sich jedoch aus der Situation, dass die Eingriffsgröße „Produktabzug“ gleichzeitig eine Zielgröße darstellt. Das bedeutet, dass es taktisch klug wäre, lediglich Regelungsstrategie 2 zu fahren und den Produktabzug per Ventilstellung konstant zu lassen. Dies ist jedoch nicht immer möglich, da der Produktabzug das Vorhandensein eines Levels bedingt und die Druckregelung auf Basis des Kühlwasserstromes nur begrenzt zeitnah erfolgen kann. Der Druck hat jedoch erste Priorität, da er wesentlich zur Stabilität der Kolonne beiträgt. Sollte die Stabilität der Kolonne nicht gewährleistet sein, kann auch der Produktabzug nicht erfolgreich erfolgen.

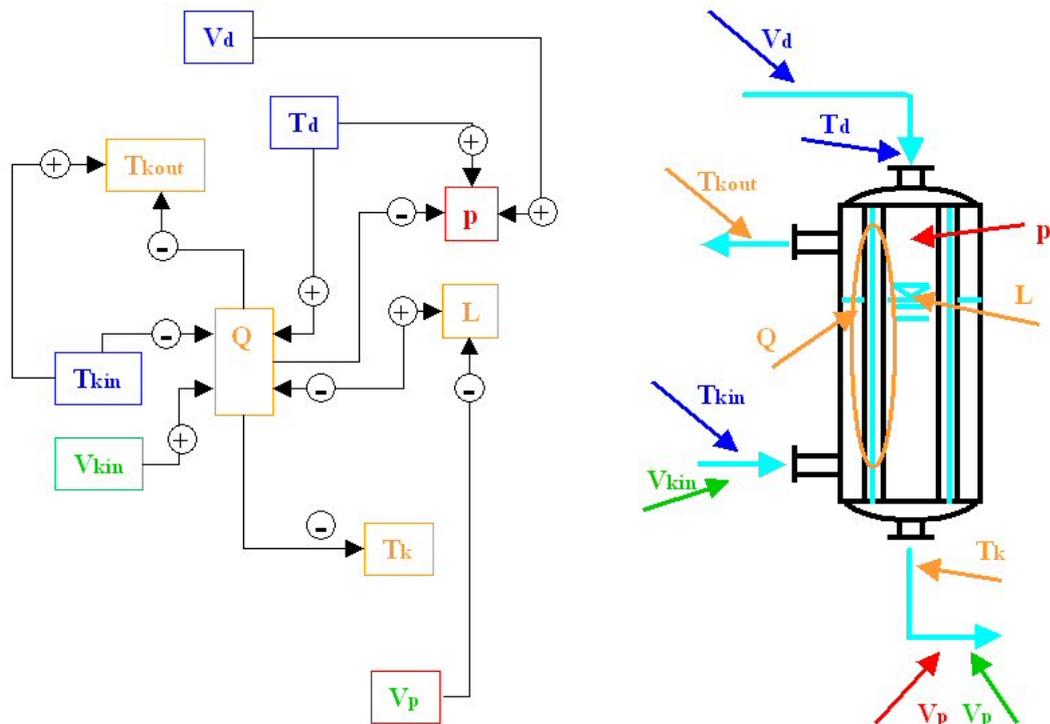


Abbildung 4: Komponententopologie des Kondensators inklusive Wirkrichtungen (linke Seite)

## 4. Expertenworkshop: Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Workshops vorgestellt. Insgesamt fünf interdisziplinäre Gruppen bearbeiteten unterschiedliche Aspekte der Wissensvermittlung und -diagnose. Jeder der insgesamt fünf Gruppen wurde jeweils ein Prozessführungsexperte zugeordnet.

Die Aufgabe bestand darin, Methoden a) zur Vermittlung und b) zur Erfassung von mentalen Kausalmodellen zu erarbeiten und auf das konkrete Anwendungsbeispiel „Druckregelung in einer Rektifikationskolonne“ anzupassen. Zudem sollten Vor- und Nachteile sowie Umsetzungsprobleme der einzelnen Methoden thematisiert werden. In den folgenden Absätzen werden die Ergebnisse kurz vorgestellt.

## **4.1 Workshopergebnisse: Methoden zur Vermittlung von mentalen Kausalmodellen**

Mentale Kausalmodelle über ein zu bedienendes System werden zum einen durch das Studium von Benutzerhandbüchern, durch Schulungen oder durch Instruktionen von Ausbildern aufgebaut. Dies sollte in den Instruktionen und Trainings für Operateure berücksichtigt werden. Zu einem großen Teil werden mentale Kausalmodelle aber auch während der Interaktion mit dem System erworben. Hierfür ist die Rückmeldung von Systeminformationen über die visuelle Darstellung des Prozesses für den Aufbau eines mentalen Kausalmodells von großer Bedeutung. Vor diesem Hintergrund wurden zwei Workshopgruppen gebildet, die sich mit der Vermittlung von mentalen Kausalmodellen beschäftigen sollten. Gruppe 1 wurde angewiesen, sich mit Möglichkeiten der Vermittlung von mentalen Kausalmodellen durch angemessene Dialoggestaltung zu beschäftigen. Gruppe 2 sollte sich mit der Vermittlung mentaler Kausalmodelle anhand von Trainings befassen.

### **4.1.1 Dialoggestaltung (Gruppe 1)**

In der Workshop-Gruppe wurde als eine wesentliche Aufgabe bei der Dialoggestaltung die Berücksichtigung des Hintergrundwissens des Operators diskutiert. Dies betrifft einerseits das Wissen über die Symbolik der Mensch-Maschine-Interaktion. Andererseits betrifft dies auch Wissen über die physikalischen Zustände und Zusammenhänge des technischen Systems (Systemwissen hinsichtlich Ein- und Ausgangsgrößen sowie vermittelnden Größen). Als Leitlinien bzw. Strategien für den Wissenserwerb, unterstützt durch eine angemessene Interfacegestaltung, kommen folgende Prinzipien in Frage: „start simple“, „expand on demand“, „show dynamics predictively“ (d.h. die Verzögerung muss überbrückt werden, dies ist vor allem relevant bei Prozessen mit Totzeiten. Außerdem müssen Zielwechsel angezeigt werden).

Ebenfalls wesentlich ist die Auseinandersetzung mit der Darstellungsproblematik: Wie vollständig sollten Zusammenhänge dargestellt werden? Ein Optimum hierfür muss gefunden werden. Das Minimum wäre die Darstellung der Ein- und Ausgangsgrößen. Ebenfalls ist zu klären, wie prädiktive Anzeigen dargestellt werden sollten.

### **4.1.2 Traininggestaltung (Gruppe 2)**

Laut den Ergebnissen aus der Teamarbeit in Gruppe 2 kann bei der Trainingsgestaltung grundsätzlich zwischen der induktiven und der deduktiven Form unterschieden werden.

Bei der induktiven Trainingsgestaltung ist es zunächst wichtig, einen Kontext herzustellen. Dies kann beispielsweise in Form von Anwendungsbeispielen geschehen. Für das Gesamtsystem oder einzelne Systemkomponenten müssen die Zusammenhänge erklärt, visualisiert und interaktiv erlebbar gemacht werden. Das interaktive Erleben geschieht durch ein sukzessives Erweitern bzw. Hinzunehmen von Prozessgrößen (erst werden Zweierbeziehungen vermittelt, dann Dreierbeziehungen, etc.).

Eine Trainingsgestaltung der deduktiven Art stellt zuerst das System im Überblick vor, anstatt dass einzelne Systemkomponenten und deren Verbindungen vermittelt werden. Das Aktivieren von Erfahrungen geschieht dann anhand von vorgegebenen Analogien aus bereits bekannten Domänen.

## **4.2 Workshopergebnisse: Methoden zur Erhebung von mentalen Kausalmodellen**

Obwohl eine Vielzahl an Methoden zur Wissensdiagnose existiert, ist nach wie vor fraglich, inwieweit Wissen in Form von mentalen Kausalmodellen vollständig erfasst werden kann. Zum einen liegt dies daran, dass sich räumliche, visuelle Bestandteile von mentalen Kausalmodellen nur schwer verbalisieren lassen.

Mentale Kausalmodelle sind per Definition auch nicht direkt beobachtbar. Es lassen sich aber über Verbalisierungsmethoden, Befragungsmethoden sowie über die Erhebung von Leistungsdaten Rückschlüsse auf die Güte des mentalen Kausalmodells ziehen.

Vor diesem Hintergrund wurden drei Gruppen beauftragt, aus einem jeweils anderen Ansatz heraus leistungsfähige Methoden zur Erhebung von Kausalen Mentalen Modellen über die Rektifikationskolonne vorzuschlagen.

### **4.2.1 Verbalisierungsmethoden (Gruppe 3)**

Mentale Kausalmodelle lassen sich mit verschiedenen Verbalisierungsmethoden ermitteln. Beispielsweise sieht die „Methode des Lauten Denkens“ vor, dass der Proband während der Ausführung seiner Aufgabe dem Versuchsleiter seine Gedanken mitteilt. Kennzeichen des „Retrospektiven Interviews“ ist eine Befragung des Probanden im Anschluss an die Aufgabenausführung. Weitere Verbalisierungsverfahren sind das Strukturierte Interview, Fehleranalyse-Verfahren, die „Critical-Incidents-Technik“ sowie die Methode der Introspektion. Diese Methoden lassen sich nach unterschiedlichen Dimensionen klassifizieren. Zum einen können sie danach unterteilt werden, ob sie eine Experten- oder eine Novizenbefragung vorsehen. Auch lassen sie sich hinsichtlich der Aufgabenspezifität klassifizieren. Der Aufwand der Durchführung ist ein weiterer Faktor, anhand dessen die Methoden unterschieden werden können. Ebenfalls lassen sich die Methoden danach klassifizieren, inwieweit die erzielten Ergebnisse generalisierbar sind. Die generellen Vorteile dieses methodischen Ansatzes sind zum einen die ökonomische Datengewinnung sowie die hohe ökologische Validität im Vergleich zu einem Experiment. Außerdem sind im Falle von Verständnisproblemen auf Seiten des Versuchsleiters sowie auf Seiten der Probanden Warum-Fragen möglich. Ein generelles Problem bei Methoden der vorgestellten Art ist allerdings, implizites Wissen abzufragen. Hinzu kommt, dass die Auswertung sehr aufwendig ist, häufig nur unvollständig vollzogen werden kann, und dass die Ergebnisse unter mangelnder Objektivität leiden. In der Teamarbeit wurde ein Vorschlag für eine mögliche Kombination der Methoden ausgearbeitet, um die jeweiligen Nachteile zu überwinden: die Verbindung von einem strukturierten retrospektiven Interview mit der „Freeze“-Technik.

### **4.2.2 Visualisierungsmethoden (Gruppe 4)**

Diese Gruppe stellte die „Strukturlegetechnik“ und die „freie Visualisierung anhand von Skizzen oder Topologien“ als die beiden wesentlichen Visualisierungsmethoden

einander gegenüber. In der unten stehenden Tabelle sind die qualitativen Vergleiche hinsichtlich der Vor- und Nachteile jeder Methode dargestellt (Tabelle 1).

Tabelle 1

	Strukturlegetechnik	freie Visualisierung
Vorteile	gute Vergleichbarkeit	besseres Matching zwischen mentalem Modell und Visualisierung
	leichtere Durchführbarkeit	Trainingseffekt inklusive
	schnell (Vorbereitung, Durchführung)	deckt Fehler im mentalen Modell auf
	geringe Schwelle für Proband	unabhängig von Vorstellungen des Versuchsplaners
Nachteile	eingeschränkte Validität → Lücken im mentalen Modell können übersehen werden → anderer Prozess zum Zusammenfügen der vorgegebenen Komponenten	eigentlich repräsentierte Komponenten ohne Prozesse können nicht abgerufen werden
	verschiedene Freiheitsgrade für die zu legenden Komponenten	interindividuelle Unterschiede im Schwierigkeitsgrad erschwerter Vergleichbarkeit

#### 4.2.3 Erhebung von Leistungsdaten (Gruppe 5)

Vor dem Hintergrund, dass die Regelung des Kolonnendrucks als Primäraufgabe für das Mensch-Maschine-System angesehen wird, unabhängig davon, ob nun die Regelung im Normalfall von einer Automatik oder „per Hand“ erfolgt, wurden folgende Empfehlungen für ein Untersuchungsszenario erarbeitet:

An erster Stelle steht die hypothesengerichtete Erstellung von Testszenarien mit definierten Störfällen. Danach sollten ein oder mehrere normative(s) Verhaltensmodell(e) für die Testszenarien entworfen werden. Dies kann sowohl auf Basis von explorativen Beobachtungen als auch anhand analytischer Modellierung erfolgen.

Nun können Erhebungen mit Versuchspersonen durchgeführt werden. Dabei können Fehlerszenarien grundsätzlich per Mikrowelt-Simulation sowie per Fragebogen bearbeitet werden. Die Regelung von dynamischen Prozessen mit unterschiedlichen Zeitkonstanten und Totzeiten verlangt jedoch auch ein Systemwissen um die zeitlichen Dynamiken. Dies lässt sich am ehesten über Latenzzeiten in der direkten Interaktion mit der Mikrowelt erheben. Da Latenzzeiten unterschiedliche Ursachen haben können, wird insbesondere die *Erhebung von Blickbewegungs- und Interaktionsdaten* angeraten.

Die Leistungsdaten sind nicht eindeutig und direkt auf die Ausprägung der Güte von Mentalen Modellen zurückzuführen. Vielmehr sind sie mit persönlichen Strategien, Instruktionsverständnis und Vorwissen konfundiert. Deshalb wird eine Kombination

mit Erhebungsverfahren verlangt, die einen direkteren, wenn auch weniger objektiven Zugang zum kausalen Systemwissen ermöglichen.

### **4.3 Bewertung der Ergebnisse**

Die interdisziplinären Workshop-Teams haben eine Vielzahl von Ideen zur Vermittlung und Erfassung kausaler mentaler Modelle generiert. Die Ergebnisse beziehen sich in der Regel allerdings nicht auf das Anwendungsszenario der Destillationskolonne. Dies mag darauf zurückzuführen sein, dass es sehr schwierig ist, innerhalb einer so kurzen Zeit ein notwendiges grundlegendes Verständnis von einem so komplexen System aufzubauen, dass es einem ermöglicht, Methoden darauf anzuwenden. Dies verdeutlicht allerdings auch die Notwendigkeit der interdisziplinären Zusammenarbeit von Psychologen und Ingenieuren, sowohl bei der Entwicklung von Trainings und Interfaces, als auch bei der Gestaltung der Wissensdiagnose bei Operateuren. Die Psychologen sollten dabei als Fachleute für Methoden das Handwerkszeug zur Wissensvermittlung und –ermittlung in komplexen dynamischen Systemen liefern, während es die Aufgabe der Ingenieure ist, mit ihrem fachspezifischen Wissen diese Methoden auf Praktikabilität und Anwendbarkeit zu prüfen und sicherzustellen, dass die Probleme der Wissensvermittlung und Kontrolle anwendungsnah gelöst werden können.

#### **4.3.1 Methoden zur Vermittlung**

Trainingsmethoden sind ebenso bedeutsam wie Visualisierungsmethoden. In jedem Fall bleibt anzuraten, dass Psychologen gemeinsam mit Ingenieuren Trainings- und Visualisierungsmethoden zur Vermittlung Kausaler Mentaler Modelle entwickeln, da auf diese Weise eine ganzheitliche Wissensvermittlung angestrebt wird.

#### **4.3.2 Methoden zur Erfassung**

Abschließend lassen sich die Ergebnisse aus dem Workshop dahingehend interpretieren, dass es nach wie vor nicht die Methode der Wahl zu geben scheint, mit denen sich Kausale Mentale Modelle ermitteln lassen. Ein Methodenmix scheint nach wie vor die geeignete Lösung zu sein, vor allem vor dem Hintergrund, dass hierdurch am ehesten die Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden überwunden werden können.

## **5. Ausblick**

Im ersten Forschungsprojekt werden die Ergebnisse des Workshops in die Planung und Durchführung der experimentellen Untersuchungen einfließen. Zur Ermittlung von Kausalen Mentalen Modellen der Destillationskolonne wird auf der Grundlage der Theorie von De Kleer und Brown (1983) ein umfassendes Methodeninventar entwickelt. Das Wissen über die Komponenten des Systems wird dabei durch eine an die Strukturlegetechnik angelehnte Methode erfasst. Ferner werden Verbalisierungstechniken wie z.B. das Strukturierte Interview eingesetzt, um Komponentenmodelle von Probanden zu ermitteln. Die Freeze-Technik eignet sich gut zur Ermittlung des Wissens bei Störungsdiagnosen und wird daher ebenfalls zum Einsatz kommen. Um eine möglichst ganzheitliche Ermittlung der Kausalen Mentalen Modelle sicher zu stellen, werden die vorgestellten Methoden durch die Erfassung von Leistungsdaten ergänzt. Die Workshopergebnisse zur Vermittlung von mentalen Kausalmodellen

werden in experimentellen Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Interface-Designlösungen eingesetzt. Vor allem wird dabei auf die Darstellungsproblematik Bezug genommen, indem getestet wird, wie viel respektive wenig Information (d.h. wie vollständig bzw. unvollständig sind Zusammenhänge zwischen Systemkomponenten dargestellt?) dem Operateur notwendigerweise zur Verfügung stehen muss, um ein angemessenes mentales Kausalmodell zu entwickeln.

Im zweiten Forschungsprojekt werden vor allem die Ergebnisse zur Dialoggestaltung Berücksichtigung finden. Anhand einer Aufgabenanalyse lässt sich das Hintergrundwissen hinsichtlich MMI-Symbolik, Prozesswissen und Automatisierungswissen eines Operateurs des Mikroweltszenarios definieren. Ausgehend davon lassen sich dann sowohl Startkonfigurationen (start simple) als auch abrufbare Zusatzinformationen (expand on demand) des Interface ableiten. Der den Workshop-Experten geäußerte Bedarf an Prozessprädiktion wird anhand der Zustandsschätzung ohne Messwertvalidierung umgesetzt. Die dabei auftretende Frage nach der Visualisierung kumulierender Fehlerwahrscheinlichkeiten wird zu klären sein.

Für Forschungsprojekt drei sind vor allem die Ergebnisse der Gruppe 2 zur Trainingsgestaltung hilfreich. Aus diesen wird der Bedarf an einer modellbasierten interaktiven Simulation des Kondensators deutlich, anhand welcher die zuvor anhand einer Topologie erklärten Systemkomponenten sukzessiv in kausaler Interaktion erlebbar werden (induktives Vorgehen).

## 6. Danksagung

Unser Dank gilt allen Teilnehmern der Frühjahrsschule des Zentrum Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS), welche vom 06. bis 10. März 2006 im Spreewald stattfand. In diesem Zusammenhang ist im Besonderen der Geschäftsstelle des ZMMS für die professionelle Organisation zu danken.

Die Autoren promovieren im Rahmen des dankenswerter Weise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Graduiertenkollegs prometei.

## 7. Literatur

- Barz, T., Huss, J. & Wozny, G. (2006). *Visualisierung modellbasierter Prozessgrößen in der verfahrenstechnischen Leitwarte*. Useware 2006 - Nutzergerechte Gestaltung technischer Systeme, VDI Fachtagung.
- De Kleer, J. und Brown, J.S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In D. Gentner and A.L. Stevens (Hrsg.), *Mental Models* (S. 155-190). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens*. Göttingen: Hogrefe.
- Hollnagel, E. (1998). *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. Oxford: Elsevier Science Ltd.
- Huss, J., Steffens, C. & Urbas, L. (2006). Gebrauchstauglichkeit bei der Gestaltung von Mensch-Technik-Systemen in der Prozessführung. *Automatisierungstechnische Praxis*, 48(3), 36-41.
- Klostermann, A. (2006). Erwerb von Kausalen Modellen bei Prozesskontrolltätigkeiten und Implikationen für Usability-Gestaltungsempfehlungen. *Innovationen für Arbeit und*

*Organisation. Bericht zum 52. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 20.-22. März 2006, 711-714.*

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), 257-266.

Rouse, W.B. & Morris, N.M. (1986). On looking into the Black Box: Prospects and Limits in the Search for Mental Models. *Psychological Bulletin*, 100(3), 349-63.

Urbas, L. (1999). *Entwicklung und Realisierung einer Trainings- und Ausbildungsumgebung zur Schulung der Prozessdynamik und des Anlagenbetriebs im Internet*. Düsseldorf: VDI-Verlag.