

**Quantitative Bewertung
wissensbasierter
Handlungen in einer
probabilistischen
Sicherheitsanalyse**

Technischer Bericht/ Technical Report

Reaktorsicherheitsforschung-
Vorhabens Nr.:/
Reactor Safety Research-Project No.:
RS1180

Vorhabensitel / Project Title:
Weiterentwicklung und Erpro-
bung von Methoden und
Werkzeugen für probabilisti-
sche Sicherheitsanalysen

Development and Test
Applications of Methods and
Tools for Probabilistic Safety
Analyses

Berichtstitel:
Quantitative Bewertung wis-
sensbasierter Handlungen in
einer probabilistischen
Sicherheitsanalyse

Autor / Authors:
Dr. Werner Faßmann
Wolfgang Preischl

Berichtszeitraum / Publication Date:
August 2010

Anmerkung:

Das diesem Bericht zugrunde lie-
gende F&E-Vorhaben wurde im
Auftrag des Bundesministeriums
für Wirtschaft und Technologie
(BMWi) unter dem Kennzeichen
RS1180 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt
dieser Veröffentlichung liegt beim
Auftragnehmer.

Kurzfassung

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) beauftragten Vorhabens RS1180 sollen Methoden und Werkzeuge für die Durchführung probabilistischer Sicherheitsanalysen (PSA) weiterentwickelt und für die Anwendung in der PSA nutzbar gemacht werden

Als Ergebnis der Entwicklungsarbeiten liegt eine Methode vor, um die bislang mit den Methoden des Leitfadens für die PSA deutscher Kernkraftwerke nicht bewertbaren, sicherheitstechnisch erforderlichen wissensbasierten Handlungen in einer PSA zu berücksichtigen. Die Methode umfasst drei Teile für die Bestimmung, Analyse und Bewertung wissensbasierter Handlungen.

Wissensbasierte Handlungen haben zwei Bedingungen zu erfüllen:

- Sie gehören zu keiner Prozedur und keiner Routineaufgabe, die für den betrachteten Ereignisablauf sowohl vorgesehen als auch trainiert sind.
- Sie sind aber Bestandteil des Fachwissens, welches bei anderen Aufgaben auf der Anlage einzusetzen ist und dafür auch trainiert wird.

Die Analysemethode unterstützt den Anwender dabei, die wesentlichen, ergonomischen und psychologischen Rahmenbedingungen zu ermitteln und zu beurteilen, von denen abhängt, ob das Personal erkennt, welche sicherheitstechnisch relevanten wissensbasierten Handlungen der jeweils betrachtete Ereignisablauf erfordert. Das Analyseergebnis wird zu einer qualitativen Beurteilung der Erfolgsaussichten verdichtet. Die Beurteilung umfasst die drei Kategorien, dass dafür 'gute' 'mäßige' oder 'keine' Erfolgsaussichten bestehen. Als Grundlage dieser Einschätzung dient ein Modell menschlicher Kognition und des Problemlösens, also der Leistungen des Erkennens und der Wissensnutzung, die den Menschen in die Lage versetzen, neuartige und unvertraute Situationen zu meistern.

Die Bewertung zuverlässigen Problemlösens unter guten, mäßigen bzw. nicht gegebenen Erfolgsaussichten nutzt Daten, die teils aus Swains Methode THERP, teils aus Laborexperimenten der Grundlagenforschung stammen. Ein Ergebnis des Vorhabens war, dass Swains Daten für die konservative Bewertung der Zuverlässigkeit einer Diagnose unter den ungünstigsten Rahmenbedingungen auch zur Bewertung wissensbasierter Handelns herangezogen werden können, wenn die Erfolgsaussichten wis-

sensbasierten Handelns gut sind. Bei mäßigen Erfolgsaussichten findet das Personal nutzbaren laborexperimentellen Erkenntnissen zufolge in der Hälfte aller Fälle heraus, welche sicherheitstechnisch relevanten Handlungen der betrachtete Ereignisablauf erfordert. In allen anderen Fällen findet das Personal das sicherheitstechnisch notwendige Vorgehen nicht heraus.

Diese Methode ist an Fallbeispielen aus der Betriebserfahrung einer ersten Erprobung unterzogen worden. Die Dokumentation zu den Fallbeispielen enthält jedoch nicht alle Informationen, die eine vollständige Überprüfung der Methode erfordert. Der nächste Schritt sollte somit die Anwendung der Methode an ausgewählten praktischen Beispielen im Rahmen einer PSA für eine Referenzanlage sein. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse können dann in eine weitergehende Validierung oder ggf. in eine weitere Optimierung hinsichtlich der Vorgehensweise und der Gebrauchstauglichkeit der Bewertungsmethodik einfließen.

Abstract

In the project RS1180 funded by the German Federal Ministry for Economics and Technology (BMW) methods and tools for probabilistic safety analysis should be developed and be brought to a state applicable in a PSA.

As a result of this project, a method for evaluating safety related knowledge-based behaviour in probabilistic safety analysis has been developed. This methodological approach consists of three parts for identifying, analysing, and evaluating knowledge-based actions.

Knowledge-based actions to be considered for analysis and evaluation have to meet two criteria:

- They do not pertain to procedures and training provided for personnel's coping with the event sequence which requires knowledge-based actions.
- However, they do belong to those procedures and training to be performed for other tasks by the plant personnel.

The methodology supports the probabilistic analysis of knowledge-based actions by guiding identification and qualitative evaluation of ergonomic and psychological factors, which influence personnel's ability to identify the safety related knowledge-based actions required in the event sequence. Analysis results are rated with respect to personnel's likelihood to identify required knowledge-based actions under the ergonomic and psychological conditions given in the event. The method provides three rating categories: 'no chance', 'modest chances', and 'good chances' to take the required knowledge-based actions. This rating system has been developed based on a model of human cognition and problem-solving, i.e. a model of man's abilities to cope with novel and unfamiliar situations.

For the probabilistic evaluation of problem-solving rated to have 'no', 'modest' or 'good' chances of leading to personnel's identification of required knowledge-based actions, the method uses a mix of data pertaining to the THERP methodology developed by Swain and of data provided by basic research. As a result of this project, it has been demonstrated that Swain's data for a conservative estimate of the reliability of those diagnoses, which have to be performed under worst case conditions, is applicable to personnel's identification of the required knowledge-based actions, if the ergonomic

and psychological conditions provide good chances for problem-solving. Data from laboratory tests of basic research on problem-solving have been used to provide an estimate of $P = 0.5$ for identifying required knowledge-based actions, if modest ergonomic and psychological conditions prevail. In any other cases, problem-solving fails and the required knowledge-based actions will not be taken by personnel.

A first application and test of the method was performed by using several exemplary cases from nuclear power plant operating experience. However, a full-fledged test of the method was not possible due to the information provided by operating experience. Operating experience does not provide all the pieces of information which is required for application of the method for analysing and evaluating knowledge-based action. The next step thus has to be the application of the methodology in a PSA for a reference plant. The experience gained within the application may be used for further validation and optimisation of the approach with respect to its applicability.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Ziel der Arbeiten	4
3	Begriffsbestimmungen.....	6
3.1	Handeln	6
3.2	Handlung, Teilhandlung und Eingriff	7
3.3	Verhaltensebenen.....	8
3.4	Problemlösen.....	10
3.5	Fehler	11
4	Grundlegende Modelle	12
4.1	Bedarf an Modellentwicklungen	12
4.1.1	Handeln und Kognition in Methoden der zweiten Generation.....	12
4.1.2	THERP	13
4.1.3	Bisherige Arbeiten der GRS zu Modellen der Kognition	16
4.2	Modell der Kognition	22
4.2.1	Handlungsregulation.....	25
4.2.2	Kognitive Funktionen	27
4.2.3	Kognition und Gedächtnis.....	29
4.2.4	Vereinfachungen des Denkens	32
4.3	Modell des Problemlösens.....	32
4.3.1	Der grundlegende Erklärungsansatz.....	33
4.3.2	Lösungsprozesses.....	33
4.3.3	Faktoren für den Erfolg bzw. Misserfolg des Problemlösens	39
4.3.4	Lösungen beim wissensbasierten Handeln des Kraftwerkspersonals	40
5	Überblick über die Methode	41
6	Detaillierte Beschreibung der Methode.....	44
6.1	Bestimmung der wissensbasierten Eingriffe, die zu analysieren und zu bewerten sind	44

6.2	Analyse des wissensbasierten Handelns	46
6.3	Quantitative Bewertung wissensbasierten Handelns.....	52
6.3.1	Zuverlässigkeit des Problemlösens.....	52
6.3.2	Zuverlässigkeit der Handlungsausführung	57
6.3.3	Zuverlässigkeit wissensbasierten Handelns aus Problemlösen und wissensbasierten Handlungen	58
6.4	Diskussion der Methode	59
7	Erprobung der Methode	63
7.1	Beispiel 1: Überbrückung des Komponentenschutzes und Nutzung der Stellkraftreserve zum Schließen einer Armatur	64
7.2	Beispiel 2: Simulation einer Zuschaltvoraussetzung für die Inbetriebnahme der Entnahmestation des Volumenregelsystems.....	67
7.3	Beispiel 3: Fehlfunktion der Zuluft-Anlage des Schaltanlagegebäudes	71
7.4	Diskussion der Ergebnisse	73
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	76
9	Literatur.....	79
10	Verteiler	83

Abbildungsverzeichnis

Abb. 4-1	Kognition nach Swain: Kognitive Funktionen, ihre Wechselwirkungen und ihre Kopplung mit der Umwelt	15
Abb. 4-2	Globale Struktur eines Modelles der Handlungsregulation.....	21
Abb. 4-3	Anwendung des Kognitionsmodells zur Beurteilung der Erfolgsaussichten	23
Abb. 4-4	Modellierung des Denkprozesses zur Beurteilung der Erfolgsaussichten wissensbasierter Eingriffe	24
Abb. 4-5	Modell der Kognition mit erweitertem Umfang an Funktionen ohne Schnittstellen mit Stress, Motivation, Gedächtnis und Umwelt	28
Abb. 4-6	Kognition: Kognitive Funktionen und Gedächtnis	31
Abb. 4-7	Wechselwirkung zwischen Problemrepräsentation, Duncker'scher Suchstrategie, Langzeitgedächtnis und Lösung im Arbeitsgedächtnis (ohne Modellkomponenten 'Motivation' und 'Stress')	36
Abb. 5-1	Methodischer Ansatz	43
Abb. 6-1	Zuverlässigkeit des Problemlösens unter guten Erfolgsaussichten in Abhängigkeit von der Zeit	53
Abb. 7-1	Schematische Darstellung der systemtechnischen Zusammenhänge für Beispiel 1	65
Abb. 7-2	Schematische Darstellung der systemtechnischen Zusammenhänge für Beispiel 2	70
Abb. 7-3	Schematische Darstellung der Lüftungsanlage des betroffenen Kraftwerkes	73

Tabellenverzeichnis

Tab. 4-1	Zusammenstellung wichtiger Methoden der zweiten Generation	13
Tab. 4-2	Komponenten des Modells der Kognition nach Swain	14
Tab. 4-3	Beispiele für Vereinfachungen des Denkens Urteilens und Handelns	18
Tab. 6-1	Systematik der Begriffe 'wissensbasiertes Handeln, 'Problemlösen (Problemlösung)' und 'wissensbasierte Handlung'	46
Tab. 6-2	Stufen der zusammenfassenden qualitativen Wertung der Analyseergebnisse	51
Tab. 6-3	Quantitative Bewertung der Zuverlässigkeit des Problemlösen in Abhängigkeit von den Erfolgsaussichten	53

1 Einführung

Die GRS hat im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des Vorhabens RS1180 'Weiterentwicklung und Erprobung von Methoden und Werkzeugen für probabilistische Sicherheitsanalysen' eine Methode entwickelt und erprobt, mit der man wissensbasiertes Handeln des Personals in einer probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) analysieren und quantitativ bewerten kann. Dies ist aus folgenden Gründen erforderlich:

Ein Ereignisablauf kann Eingriffe des Personals erfordern, die Prozeduren und Training nicht vorsehen, um diesen Ablauf zu bewältigen oder zumindest nachteilige Folgen für Mensch, Umwelt und/oder Anlage zu mildern. In solchen Situationen hat das Personal das sicherheitstechnisch erforderliche Vorgehen selbst zu entwickeln, indem es sein Wissen, Informationen über den Anlagenzustand und vorhandene Ressourcen wie zum Beispiel die Zeit nutzt. Man nennt diese Art des Handelns 'wissensbasiert'. Als wissensbasiert werden Handlungen bezeichnet, die in Störfallsituationen erforderlich sind, wenn diese Handlungen folgende Bedingungen erfüllen: Für das Personal ist die Ausführung dieser Handlungen in der betrachteten Situation neu und ungewohnt, weshalb das Personal in der Situation die Notwendigkeit dieser Handlungen erkennen, sich für die Ausführung entscheiden sowie die Ausführung dieser Handlungen planen und der situationsspezifischen Planung entsprechend durchführen muss. Wissensbasiertes Vorgehen ist u. a. erforderlich, wenn vorgeplante, so genannte regelbasierte oder fertigkeitbasierte Handlungen nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen, um auslegungsüberschreitende Abläufe oder Abläufe mit Kernschmelzen zu verhindern. Im Folgenden wird in Übereinstimmung mit den Definitionen im Methodenband des PSA-Leitfadens /FAK 05/ von wissensbasierten Handlungen gesprochen, auch wenn sich die erforderlichen methodischen Entwicklungen auf die Modellierung und Untersuchung der diesen Handlungen vorausgehenden kognitiven Prozesse beziehen (zur Bestimmung verwendeter Fachbegriffe siehe Kapitel 3 des vorliegenden Berichts).

Im Mittelpunkt der Arbeiten steht die Entwicklung einer Methode, mit der die kognitiven Prozesse des Personals, das wissensbasiert handelt, modelliert und untersucht werden kann. Wissensbasiertes Handeln stellt höhere Anforderungen an das Personal als ein regel- oder fertigkeitbasiertes Vorgehen, bei dem sich das Personal auf Prozeduren bzw. Verfahrensweisen stützen kann, die für die anstehende Aufgabe vorgesehen, gut eintrainiert und, im Fall fertigkeitbasierten Handelns, hochgradig automati-

siert sind. Wie zahlreiche Fälle aus der Betriebserfahrung belegen, handelt das Personal in bestimmten Situationen wissensbasiert.

Während es seit langem etablierte Methoden für die Bewertung regel- und fertigkeit-basierten Handelns gibt, haben bisher Methoden gefehlt, um wissensbasiertes Vorgehen detailliert und systematisch analysieren und quantitativ bewerten zu können. Diese Einschränkung gilt insbesondere auch für die Methode /SWA 83/, die der Fachband zu PSA-Methoden /FAK 05/ zum PSA-Leitfaden für deutsche Kernkraftwerke vorsieht.

Methoden zur Bewertung wissensbasierten Handelns sind dringend erforderlich: Eine PSA hat heute Personalaufgaben einzubeziehen, die in erheblichem Umfang wissensbasiertes Handeln erfordern können. Aufgaben dieser Art sind zum Beispiel im Nichtleistungsbetrieb, bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen und Unfällen oder bei Reparaturen in Störfällen zu erwarten, deren Ablauf sich im Detail oft nicht absehen lässt. Dies schränkt die Möglichkeiten ein, Prozeduren und Trainingsprogramme als Grundlage eines regel- oder fertigkeitbasierten Vorgehens zu entwickeln.

Fehlende Bewertungsmethoden für wissensbasiertes Handeln schränken die Genauigkeit der PSA erheblich ein. Eine PSA zum Nichtleistungsbetrieb belegt eindrucksvoll, wie wichtig der Beitrag wissensbasierten Handelns zum Gesamtergebnis sein kann. Diese PSA enthält die Abschätzung, dass sich das Gesamtergebnis der PSA um etwa zwei Größenordnungen verbessern würde (siehe /FAS 03/, Kap. 4.4.7), wenn es eine gut eintrainierte Prozedur für Eingriffe gäbe, die das Personal bisher rein wissensbasiert ausführen müsste.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse der Arbeiten, die zur Entwicklung und Erprobung einer Bewertungsmethode für wissensbasiertes Handeln durchgeführt worden sind.

Der Bericht gliedert sich wie folgt: Im Anschluss an diese Einführung folgt in Kapitel 2 die Darstellung der Zielsetzung für die anstehenden Arbeiten. Das dritte Kapitel enthält Bestimmungen der verwendeten Fachbegriffe.

Die Ausführungen in Kapitel 4 erläutern die fachwissenschaftlichen Grundlagen und den Bedarf für die Methodenentwicklung. Grundlage bildet ein Modell, wie der Mensch Situationen bewältigt, für die er zunächst kein Vorgehen kennt, das er nur erinnern und anwenden müsste. Schnittstellen zu den Modellentwicklungen des Vorläufervorhabens

RS1112 werden herausgearbeitet. Zur genauen Bestimmung des Entwicklungsbedarfs wird gezeigt, dass die bisher vorhandenen Methoden die Analyse und Bewertung wissensbasierten Handelns in der PSA nicht unterstützen. Dabei ist vor allem die Methode zu betrachten, die /FAK 05/ vorsieht.

Das fünfte Kapitel gibt einen Überblick über die Methode, die aus den im Rahmen des Vorhabens RS1180 durchgeführten Entwicklungsarbeiten hervorgegangen ist. Das Kapitel dient dazu, das Verständnis der nachfolgenden detaillierteren Darstellung dieser Methoden durch Vorwegnahme ihrer wesentlichen Merkmale zu erleichtern.

Die ausführliche Dokumentation der Methode ist Inhalt des sechsten Kapitels. Art und Ergebnis der Methodenerprobungen werden im siebten Kapitel vorgestellt. Kapitel acht enthält eine abschließende Diskussion der Entwicklungs- und Erprobungsarbeiten.

Die Ergebnisse der Entwicklungs- und Erprobungsarbeiten wurden mit Herrn Professor Dr. Dietrich Dörner, Universität Bamberg, diskutiert. Dieser zählt zu den international führenden Experten auf den Gebieten der kognitiven Psychologie und des Lösens komplexer Probleme.

2 Ziel der Arbeiten

Das Ziel der Arbeiten besteht darin, die derzeit vorhandenen Methoden zur Berücksichtigung von Personalhandlungen so weiterzuentwickeln, dass nicht vorgeplante, zur Beherrschung von Störfällen erforderliche, so genannte 'wissensbasierte Handlungen' identifiziert, bewertet und in einer PSA berücksichtigt werden können.

Methodenentwicklung

Es ist eine Methode zur Identifikation wissensbasierter Handlungen zu erarbeiten, die in der PSA analysiert und bewertet werden müssen:

Mit der Methode sollen wissensbasierte Handlungen, die in der PSA zu berücksichtigen sind, und die wesentlichen Randbedingungen für die Ausführung solcher Handlungen ermittelt werden. Hierbei ist davon auszugehen, dass das Personal bei der Auswahl, Planung und Durchführung auf Erfahrungen aus Schulung und beruflicher Praxis zurückgreift und dass die Handlungen nach den Informationen, über die das Personal in der gegebenen Situation verfügt, als erlaubt und sicherheitsgerichtet erscheinen. Aufgabe der Methode für die Bestimmung wissensbasierter Handlungen ist es also, diejenigen Handlungen zu ermitteln, die nach den Ergebnissen der System- und Ereignisablaufanalyse sicherheitstechnisch notwendig sind, deren Ausführung aber Prozeduren und Training für den betrachteten Ereignisablauf nicht vorsehen bzw. einüben, die dem Personal aber aus anderen Aufgaben auf der Anlage gut bekannt sind.

Weiter ist ein Modell zu entwickeln, das die Beschreibung und Wertung der kognitiven Prozesse unterstützt, auf deren Grundlage das Personal die Notwendigkeit wissensbasierter Handlungen erkennt und die Ausführung dieser Handlungen plant.

Als kognitiv werden dabei die psychischen Aktivitäten bezeichnet, die dem Erwerb, der Organisation und der Nutzung von Wissen dienen /NEI 76/. Erfordert eine Situation Handlungen des Personals, die für diese Situationen im Betriebshandbuch, im Notfallhandbuch und im Training nicht vorgesehenen sind, kommt den kognitiven Prozessen der Informationsaufnahme und der Informationsverarbeitung mit dem Ziel maßgeblich, die notwendigen Eingriffe zur Bewältigung der Situation zu erkennen und ihre Ausführung zu planen. Wissensbasiertes Handeln ist mehr oder weniger wahrscheinlich. Diese Wahrscheinlichkeit hängt entscheidend von der ergonomisch günstigen bzw. ungünstigen Gestaltung der Faktoren ab, die den kognitiven Prozess des Erkennens und

Planens wissenschaftlicher Handlungen durch das Personal beeinflussen. Als wesentliche Bedingungen erfolgreichen wissenschaftlichen Handelns sind Erinnerung und Nutzung des erforderlichen Wissens durch das Personal unter den technischen, organisatorischen, ergonomischen und psychologischen Randbedingungen eines Ereignisablaufs zu berücksichtigen. Das Modell muss also Aufbau und Arbeitsweise menschlicher Kognition in ihren wesentlichen Merkmalen darstellen und eine systematische Bestimmung und Wertung der den Kognitionsprozess beeinflussenden Faktoren ermöglichen. Dieses Modell bildet die fachwissenschaftliche Grundlage für die Analysemethode.

Die Analysemethode hat den Anwender dabei zu unterstützen, bei der Durchführung einer PSA die Bedingungen herauszuarbeiten, unter denen man vom Personal erwarten kann, dass es im Ereignisablauf erkennt, welche wissenschaftlichen Handlungen notwendig sind, und diese Handlungen korrekt ausführt.

Die Bewertungsmethode muss die quantitative Abschätzung der Wahrscheinlichkeit ermöglichen, dass das Personal unter den gegebenen Bedingungen erkennt, welche wissenschaftlichen Handlungen die Bewältigung des betrachteten Ereignisablaufs erfordert.

Methodenerprobung

Die Eignung der Untersuchungs- und Bewertungsmethode soll an Hand von Fallstudien erprobt werden. Erkenntnisse aus der Erprobungsphase werden zur Weiterentwicklung und Verbesserung genutzt. Die Erprobung zielt darauf ab, die Praktikabilität dieser Methoden an mindestens einer wissenschaftlichen Handlung zu prüfen, die eine PSA einzubeziehen hätte. Dazu werden Erkenntnisse aus ausgewählten meldepflichtigen Ereignissen, analysiert und soweit möglich, bewertet herangezogen.

3 Begriffsbestimmungen

Dieses Kapitel enthält Bestimmungen der Fachbegriffe, deren Kenntnis die Methode für die Analyse und Bewertung wissensbasierten Handelns und die zugrundeliegenden Modelle voraussetzen. Der Detaillierungsgrad der Darstellung geht soweit, wie es die Entwicklungsarbeiten erfordern. Weitergehende Informationen sind der zitierten Fachliteratur zu entnehmen.

3.1 Handeln

Ein Ereignisablauf erfordert es, dass das Personal in bestimmter Weise tätig wird, um diesen Ablauf zu beherrschen oder zumindest nachteilige Folgen für Mensch, Umwelt und (oder) Anlage abzumildern. Diese Tätigkeit heißt im Folgenden 'Handeln'.

Begriffsbestimmungen:

Handeln ist ganz allgemein das zielgerichtete, psychisch regulierte Verhalten des Menschen in einer gegebenen Situation.

Mit dem Ziel ist das Ziel gemeint, das sich der Handelnde setzt. Bei Arbeitstätigkeiten besteht die Quelle des Ziels aus einem Auftrag, den der Beauftragte in bestimmter Weise versteht und wertet (siehe /HAC 05/, S. 48).

Der Regulationsprozess ist das wesentliche Kennzeichen des Handelns. Die Begriffsklärung konzentriert sich folglich auf diesen Prozess (siehe dazu ausführlich /HAC 05/, S. 46 ff.).

'Regulation' steht für die psychischen Prozesse, die dem Handeln zur Erreichung eines bestimmten Ziels von einer gegebenen Situation aus zugrundeliegen. Man spricht auch von der Steuerung, Kontrolle oder Organisation des Handelns. Die Regulation entzieht sich der direkten Beobachtung. Letzterer sind nur Körperbewegungen oder deren Unterlassung und Körperhaltungen zugänglich. 'Verhalten', dient als Sammelbezeichnung für diese direkt beobachtbaren Aspekte des Handelns.

Der Regulationsprozess lässt sich durch Phasen und Ebenen charakterisieren. Für den Ablauf sind Wechselwirkungen zwischen Motivation und Kognition bestimmend.

Mit dem Begriff der Motivation erfasst man die Anreize und Antriebe zum Handeln: Die Motivation erklärt, warum der Handelnde aktiv wird, welche Anstrengung er aufbringt und wie ausdauernd er sein Ziel verfolgt. 'Kognition' steht in Anlehnung an Neisser (vgl. /NEI 76/, S. 1) für die Prozesse, Erkenntnisse zu erwerben, zu behalten, zu ordnen, zu erinnern und zu nutzen.

Kommentare:

Abschnitt 3.3. geht auf die Regulationsebene ein. Der Regulationsprozess ist Gegenstand der anstehenden Entwicklungsarbeiten, Regulationsphasen werden daher ausführlich an späterer Stelle näher betrachtet (siehe Abschnitt 4.2).

Handeln darf nicht mit dem direkt durch Außenstehende beobachtbaren Verhalten einer Person gleichgesetzt werden. Es ist wesentlich durch den Regulationsprozess und durch das Ziel bestimmt, das sich der Handelnde setzt. Regulation und Zielsetzung sind psychische Prozesse, die sich der direkten Beobachtung entziehen.

3.2 Handlung, Teilhandlung und Eingriff

Handeln ist aus Handlungen aufgebaut.

Begriffsbestimmung:

Eine Handlung ist die kleinste durch ein Ziel bestimmte und in sich geschlossene Einheit des Handelns (siehe dazu /HAC 05/, S. 68 f.). In einer Handlung lässt sich Teilhandlungen unterscheiden, die zur Erfüllung des Handlungszieles erforderlich sind.

Ein Eingriff ist eine Handlung, deren Ausführung den Zustand eines Systems, einer Komponente oder eines anderen Bestandteils einer Anlage ändert.

Kommentar:

Das Ziel der Handlung ergibt sich aus dem Ziel des Handelns. Grundlage für die Bestimmung des Handlungsziels ist die Zerlegung des Ziels, das mit dem Handeln verfolgt wird. Die Zerlegung und damit die Bestimmung der Handlungen können unterschiedlich detailliert sein. Dieses Vorgehen ist in der Zuverlässigkeitsuntersuchung üblich. Es ist Teil der Aufgabenanalyse (vgl. /SWA 83/, Kapitel 5).

3.3 **Verhaltensebenen**

In der Zuverlässigkeitsbewertung ist der Begriff der Verhaltensebene, nicht derjenige der Regulationsebene, üblich. Die nachfolgenden Begriffsbestimmungen gehen auf die Methoden zurück, die der Methodenband des PSA-Leitfadens /FAK 05/ zur probabilistischen Bewertung der Zuverlässigkeit von Personalhandlungen empfiehlt. Maßgeblich für die Einteilung sind die erwartenden kognitiven Beanspruchungen bei Erkennung, Planung und Kontrolle einer Handlung.

Begriffsbestimmungen:

Fertigkeitsbasiertes Verhalten (skill-based behaviour): Darunter wird ein häufig geübtes Verhalten verstanden, das nach Wahrnehmung der Eingangsinformation auf Grund der vorhandenen Erfahrung bzw. Übung quasi „automatische“ Verhaltensweisen auslöst (Routinearbeiten, auch Maßnahmen nach erfolgter Diagnose bzw. erfolgter Wahrnehmung bzw. Erkennung).

Regelbasiertes Verhalten (rule-based behaviour): Darunter wird ein Verhalten verstanden, bei dem nach Erkennen der Eingangsinformation auf Grund bereits vorhandener Regeln, die entsprechenden vorgeplanten Aktionen abgearbeitet werden (auch Maßnahmen nach erfolgter Diagnose). Regeln können schriftlich niedergelegt (u. a. im Betriebshandbuch (BHB) und Notfallhandbuch (NHB)) oder im Gedächtnis gespeichert (verinnerlicht, nachweislich häufig geübt/angewandt) sein.

Wissensbasiertes Verhalten (knowledge-based behaviour): Darunter wird ein Verhalten in ungewohnten oder neuartigen Situationen verstanden, die eine Problemlösung (siehe dazu 3.4) durch das Personal erfordert. Nach Identifizierung der vorliegenden Merkmale einer Störfallsituation hat das Personal erforderliche Maßnahmen zu planen und auszuführen. Hierbei stützt er sich vor allem auf sein Fachwissen.

Kommentar:

Verhaltensebenen sind Ergebnis einer Kategorisierung nach bestimmten Merkmalen. Diese Kategorisierung bildet die Grundlage für die quantitative Bewertung zuverlässiger Handlungsausführung.

Die Bewertbarkeit der Handlungen auf den verschiedenen Verhaltensebenen ist wie folgt zu charakterisieren:

Fertigkeits- und regelbasiertes Verhalten kann mit den vorhandenen Methoden bewertet werden. Handlungen des Personals, die diesen beiden Kategorien zuzuordnen sind, sind in der Praxis u. a. durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Die Handlungen sind in der dem Betriebspersonal im Anforderungsfall zur Verfügung stehenden Dokumentation (vor allem Betriebs- und Notfallhandbuch) beschrieben.
- Dem Personal wird ein im Wesentlichen lückenloser Weg aufgezeigt, wie es mit den in der konkreten Anlagensituation beobachtbaren Informationen zu den dafür vorgesehenen Gegenmaßnahmen gelangen kann. Als Hilfsmittel werden hier u. a. bereitgestellt:
 - Störfallentscheidungsbaum,
 - Schutzzieltabelle mit Verweisen auf vorgeplante Maßnahmen zur Wiederherstellung gefährdeter Schutzziele oder Übergängen ins Notfallhandbuch bei Verletzung von Schutzzielen,
 - Maßnahmenleitschemata, um bei einer Reihe von möglichen Gegenmaßnahmen weitere Differenzierungen vorzunehmen,
 - Kriterien, die vorgeben, wann welche Maßnahmen vorzubereiten oder durchzuführen sind.
- Wirksamkeit und Ausführbarkeit dieser Maßnahmen und der damit verbundenen Handlungen werden im Rahmen einer detaillierten Vorplanung geprüft.

Das Personal folgt dabei vorgeplanten, situationsadäquaten Regeln. Das Vorgehen wird im Rahmen von anlageninternen und externen Schulungsmaßnahmen ausreichend häufig geübt. Davon abzugrenzen sind Handlungen, bei denen die sogenannte 'wissensbasierte Verhaltensebene' dominant ist. Solche Handlungen und dadurch eingeleitete Maßnahmen sind z. B. durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Die konkret vorliegenden Randbedingungen für den Einsatz von Maßnahmen decken sich nicht mit den in der Dokumentation beschriebenen Einsatzbedingungen.
- Hilfsmittel, die das Personal zu noch verfügbaren Gegenmaßnahmen leiten, stehen nicht oder nur lückenhaft zur Verfügung.
- Der Einsatz der Maßnahmen wird für Situationen geübt, die deutlich abweichen von der in der PSA postulierten Ereignissituation.
- Bedingt durch zusätzliche Ausfälle im Sicherheitssystem der Anlage stehen die verfügbaren vorgeplanten Maßnahmen nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung, um auslegungsüberschreitende Abläufe oder Abläufe mit Kernschmelzen zu verhindern.

Entsprechend den Vorgaben des Methodenbands /FAK 05/ sind wissensbasierte Handlungen in einer PSA nicht zu berücksichtigen. Mit den verfügbaren Methoden können sie nicht modelliert und bewertet werden.

3.4 Problemlösen

Wissensbasiertes Handeln wurde in 3.3 auf Problemlösen zurückgeführt.

Begriffsbestimmung:

Man spricht in den einschlägigen Fachwissenschaften ganz allgemein von einem 'Problem', wenn der Handelnde einen Istzustand in einen Sollzustand zu überführen hat, zunächst aber nicht weiß, wie er dieses Ziel erreichen könnte, und deshalb ein Vorgehen erarbeiten muss, das den Übergang vom Ist- zum Sollzustand ermöglicht (z. B. /STÄ 03/, S. 826). Ein solches Vorgehen heißt Problemlösung. Handeln aufgrund einer Problemlösung gehört der Ebene wissensbasierten Verhaltens an.

Kommentar:

Problemlösen ist Teil der Regulation wissensbasierten Handelns: Der Handelnde hat sich einen Weg zu überlegen, mit dem er sein Ziel erreichen kann, wenn ihm zumindest zu Beginn der Problemlösung dafür keinen Weg kennt.

Die anstehenden Entwicklungsarbeiten werden sich auf den Problemlösungsprozess konzentrieren.

3.5 Fehler

Analyse und Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit setzen einen klaren Fehlerbegriff voraus.

Begriffsbestimmung:

Ein Fehler liegt vor, wenn der Handelnde eine Anforderung an sein Handeln nicht erfüllt. Es liegt also eine inakzeptable Diskrepanz zwischen einem 'Ist' und einem 'Soll' vor (/SWA 83/, S. 2-7).

Kommentar:

Ein Fehler darf nicht einseitig oder vorschnell auf Verschulden oder Versagen des Handelnden zurückgeführt werden. Fehler sind zufällige Ereignisse. Ihre Wahrscheinlichkeit hängt von den Bedingungen ab, unter denen die Person gestellte Anforderungen zu erfüllen hat. Selbst unter optimalen Bedingungen muss wegen des stochastischen Charakters der Fehler mit einer so genannten Basisfehlerwahrscheinlichkeit gerechnet werden. Sie kann nicht unterschritten werden.

Die Untersuchung eines Fehlers hat zu zeigen, welche Bedingungen es erklären, dass die Fehlerwahrscheinlichkeit auf einen Wert oberhalb der Basisfehlerwahrscheinlichkeit angehoben worden ist.

Im vorliegenden Bericht werden keine Fehler betrachtet, die das Personal willentlich oder wissentlich begehen könnte.

4 Grundlegende Modelle

Dieses Kapitel dokumentiert die Modelle der Kognition und des Problemlösens, die im vorliegenden Projekt entwickelt worden sind. Aufgabe dieser Modelle ist es, den Zusammenhang zwischen Wissen, Handeln und Zuverlässigkeit zu beschreiben und zu zeigen, von welchen Faktoren die Zuverlässigkeit wissensbasierten Handelns abhängt. Die Methode für die Analyse und Bewertung setzt diese Erkenntnisse in eine Anleitung für die praktische Untersuchung und Bewertung wissensbasierten Handelns und der Faktoren um, von denen die Handlungszuverlässigkeit abhängt.

4.1 Bedarf an Modellentwicklungen

Die Bedarfsermittlung geht von einer Wertung der Modelle des Handelns und der Kognition aus, die als Grundlage für

- Bewertungsmethoden der so genannten zweiten Generation,
- die Swain'sche 'Technique for Human Error Rate Prediction (THERP)' /SWA 83/ und
- die bisherigen Arbeiten der GRS auf dem Gebiet der Analyse und Bewertung kognitiver Faktoren und ihres Beitrags zur Handlungszuverlässigkeit

dienen.

4.1.1 Handeln und Kognition in Methoden der zweiten Generation

Methoden der zweiten Generation erheben den Anspruch, psychische Prozesse, auf denen das Handeln beruht, und ihren Beitrag zur Zuverlässigkeit genauer zu erfassen als Methoden der ersten Generation. Zu letzteren rechnen insbesondere THERP /SWA 83/ sowie FH6 und PANAME, mit denen Electricité de France (EdF) bzw. das Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN, früher IPSN) die Zuverlässigkeit des Handelns in französischen Anlagen bewertet haben /MOS 90/, /IPSN 90/. Methoden der zweiten Generation sind insbesondere ATHEANA, CREAM, HERMES und MERMOS, Tab. 4-1 enthält die genauen Bezeichnungen und Referenzen.

Tab. 4-1 Zusammenstellung wichtiger Methoden der zweiten Generation

Akronym	Klartext der Bezeichnung	Referenz
ATHEANA	A Technique for Human Error Analysis	/COO 96/ /FOR 07/
CREAM	Cognitive Reliability and Error Analysis Method	/HOL 98/
HERMES	Human error risk management for engineering systems	/CAC 04/
MERMOS	Méthode d'évaluation de la réalisation des missions opérateurs pour la sûreté	/LEB 98/

Eine Sichtung dieser Methoden zweiter Generation zeigt:

- Modelle der Kognition sind nicht sehr detailliert ausgearbeitet. Der Anwender benötigt ein umfassendes Expertenwissen, um die Modelle für eine bestimmte Anwendung konkret ausformulieren und nutzen zu können.
- Bisherige Schwerpunkte der Anwendung waren Auslegungsstörfälle und Designprozesse. Das schließt eine Übertragung auf wissensbasiertes Handeln nicht aus. Dieser Schritt muss aber noch geleistet werden.

Die GRS verfolgt die Strategie, Analyse und Bewertung wissensbasierten Handelns durch möglichst detaillierte Methoden zu unterstützen, die dem Anwender dabei anleiten, sein Fachwissen gezielt einzusetzen. Konkrete Anleitungen engen Interpretationsspielräume und Unsicherheiten ein, wie ein gegebener Sachverhalt zu verstehen, zu erklären und/oder zu werten ist. Daraus ergibt sich der Bedarf, detaillierte Modelle zu entwickeln, mit denen sich klar begründen lässt, auf welche Faktoren der Methoden-anwender zu achten und wie er ihren Beitrag zur Zuverlässigkeit zu beurteilen hat.

4.1.2 THERP

Swain hat ein Modell vorgelegt, das zentrale Leistungen der menschlichen Kognition durch mehrere Komponenten und deren Wechselwirkungen repräsentiert (/SWA 83/, Kapitel 12). Tab. 4-2 und Abb. 4-1 geben einen Überblick über diese Komponenten.

Tab. 4-2 Komponenten des Modells der Kognition nach Swain

Modellkomponente	Leistung
Gewahr werden	Veränderungen in der Umwelt erkennen
Unterscheiden	Ein Signal oder eine Gruppe von Signalen von anderen unterscheiden
Interpretieren	Dem Signalmuster eine Bedeutung zuweisen („der gegebenen Signalisierung zufolge liegt das Ereignis X vor“)
Diagnostizieren	Dem Ereignis die wahrscheinlichste Ursache zuweisen, aus der sich die erforderlichen Aktionen ableiten lassen
Entscheiden	Auswahl zwischen mehreren Diagnosen und/oder Auswahl zwischen mehreren Aktionen
Agieren	Handlung ausführen, die sich aus der Diagnose, Vorgaben zum Betrieb der Anlage oder schriftlichen Prozeduren ergibt

Diese Komponenten erfüllen im Gesamtsystem der Kognition bestimmte Aufgabe. Sie werden deshalb im Folgenden auch als kognitive Funktionen bezeichnet. Komponenten und Funktionen sind abstrakte Begriffe, um Struktur und Abläufe in der Kognition in einfacher Form zu beschreiben.

Handlungen enthalten auch kognitive Komponenten, die den Ablauf der Bewegungen einleiten, steuern und überwachen. Insofern darf auch das Agieren zu den Komponenten eines Modells der Kognition gerechnet werden.

Im Swain'schen Modell können alle Komponenten in Wechselwirkung treten. Dies entspricht den Erkenntnissen der Grundlagenforschung. Man betrachte zur Verdeutlichung folgende Beispiele: (1) Wer etwas unterscheiden, interpretieren, diagnostizieren oder entscheiden muss, hält gezielt nach Informationen Ausschau, die er braucht. (2) Die Bedeutung eines Signals kann sich ändern, wenn der Anlagenzustand diagnostiziert worden ist. (3) Mit der Entscheidung für eine bestimmte Diagnose verlieren alternative Diagnosen, die zugehörigen Interpretationen von Signalen usw. an Bedeutung. (4) Und wer agiert, verändert die Umwelt oder zumindest die Position seiner Sinnesorgane relativ zu Signalquellen. Das hat Folgen für das Signalangebot, das für die Verarbeitung durch die Kognition zur Verfügung steht.

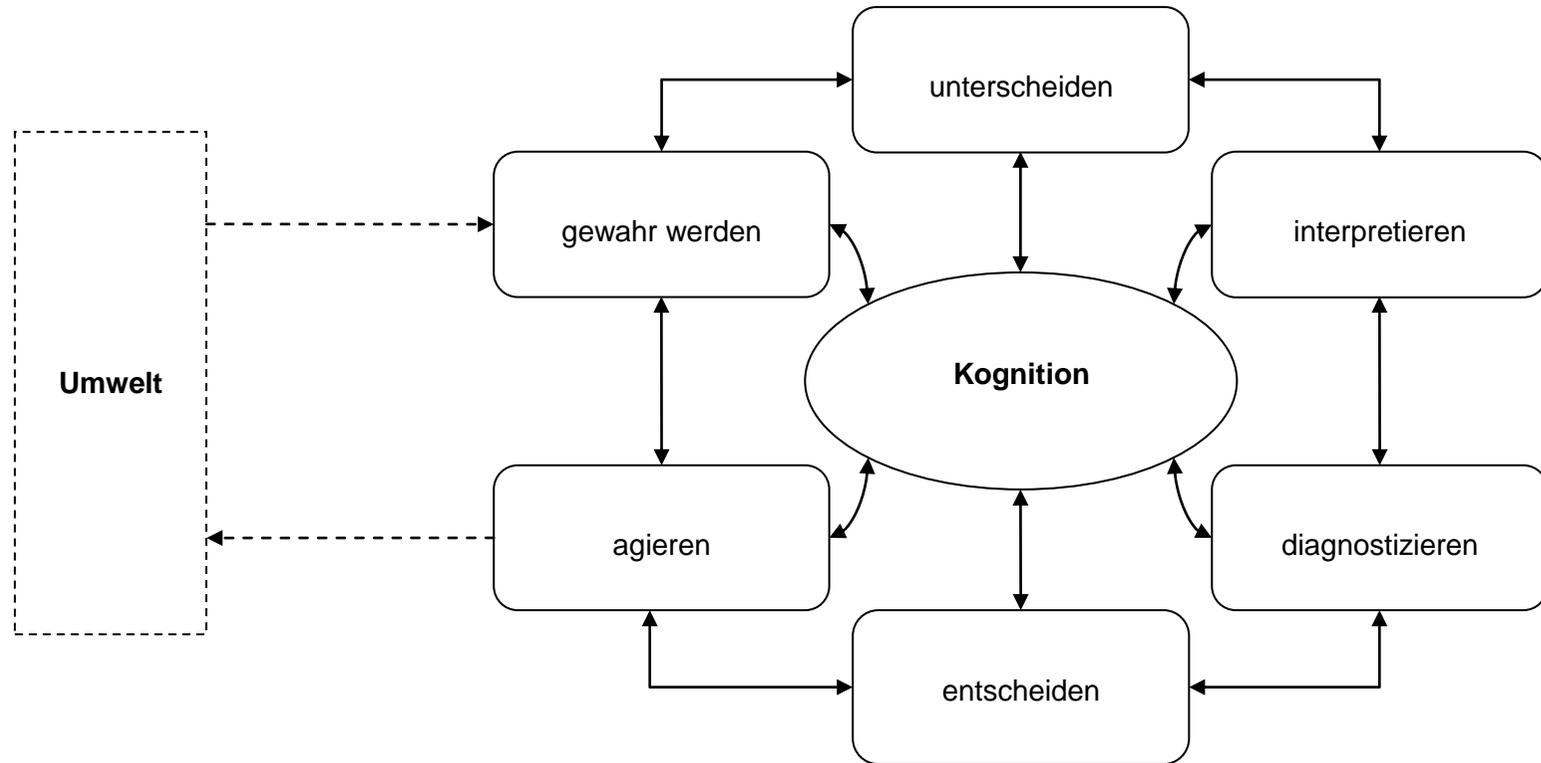


Abb. 4-1 Kognition nach Swain: Kognitive Funktionen, ihre Wechselwirkungen und ihre Kopplung mit der Umwelt

Diagnostizieren bedeutet nach Swain, die wahrscheinlichste Ursache eines Ereignisses zu bestimmen, aus der ersichtlich ist, welche System- oder Komponentenzustände zu ändern sind, um das Ereignis zu beherrschen oder zumindest seine nachteiligen Folgen zu mildern (vgl. /SWA 83/, S. 12-6, 12-8 und 12-10). Die Bestimmung der Ursachen und des zielführenden Vorgehens hängen somit eng zusammen. Swain berücksichtigt aber nur Änderungen von System- und Komponentenzuständen, wenn es für diese Änderungen Anweisungen in den Betriebsanweisungen und/oder den Prozeduren gibt, die zur Bewältigung des betrachteten Ereignisses vorgesehen sind (siehe /SWA 83/ S. 12-8). Dieses Kriterium erfüllt wissensbasiertes Handeln nicht. Swains Modell ist somit kein Modell des wissensbasierten Handelns, bei dem das Personal keine Prozeduren zur Verfügung hat, die für den Ereignisablauf vorbereitet und eintrainiert sind. Swains Modell lässt sich durch weitere Modellkomponenten erweitern. Dieser Weg wurde im Forschungs- und Entwicklungsvorhaben RS1112 besprochen.

4.1.3 Bisherige Arbeiten der GRS zu Modellen der Kognition

Gegenstand einschlägiger Arbeiten der GRS waren bisher Vereinfachungen und Verzerrungen des Denkens, Urteilens und Entscheidens, die man auch Heuristiken, 'Biases', kognitive Fehler, kognitive Täuschungen oder kognitive Tendenzen nennt /FAS 03/. Diese heißen im Folgenden zusammenfassend 'Vereinfachungen'.

Vereinfachungen können dazu führen, dass das Personal bestimmte Informationen, die für die Diagnose des Anlagenzustands und die Festlegung des Vorgehens notwendig sind, vernachlässigt, missversteht oder falsch bewertet. Aus der Sicht des Personals kann es dann plausibel, zulässig und notwendig sein, Eingriffe vorzunehmen, deren Ausführung objektiv nachteilige Folgen für die Sicherheit der Anlage hält.

Solche Vereinfachungen sind nicht beabsichtigt. Sie gehen darauf zurück, dass psychische Prozesse, die das Handeln regulieren, eine Anpassung an Belastungen und andere Bedingungen erfahren, unter denen das Handeln stattfindet. Tab. 4-3 zeigt, um welche Faktoren es geht.

Die Einteilung der Faktoren in Gruppen und die Beispiele stammen aus dem Bericht zum Vorhaben RS1112 (vgl. /FAS 03/, S. 152 ff.). Die Beispiele illustrieren die Wichtigkeit bestimmter Faktoren und Funktionen, die Swains Modell der Kognition überwiegend nicht enthält und die für die nachfolgende Modellentwicklung wichtig sind. Kommentare zu den Gruppen bzw. Beispielen zeigen, dass die Vereinfachungen auf extreme Ausprägungen von Faktoren zurückgehen, die der Handlungsregulation zugrundeliegen und bei „normaler“ oder optimaler Ausprägung den zuverlässigen Ablauf des Handelns ermöglichen.

Tab. 4-3 Beispiele für Vereinfachungen des Denkens Urteilens und Handelns

Gruppe	Bezeichnung	Beispiel	Kommentar
A	Ausrichtung von Kognition und Handeln auf Ziele	Einseitige Nutzung von Informationen, die mit dem Ziel zusammenhängen, Vernachlässigung anderer Informationen	Handeln und damit Kognition sind zielgerichtet. Ohne Ziel gibt es kein geordnetes Handeln, Überbewertungen und Vereinseitigungen der Zielsetzung sind aber zu vermeiden.
B	Lernen und Erfahrung	Bevorzugte Nutzung der Kenntnisse und Erfahrungen, die prompt erinnert werden, Vernachlässigung von Kenntnissen und Erfahrungen, an die man sich nicht sofort erinnert.	Grundlage des Handelns ist ein Bild (eine „kognitive Repräsentation“) der Situation, der Ziele und der Handlungsmöglichkeiten. Diese Repräsentation greift stets auf Kenntnisse und Erfahrungen zurück, Sie ist somit von Gedächtnisinhalten und Gedächtnisleistungen abhängig. Gründliche(er)s Nachdenken wirkt dem Effekt entgegen, bei Handeln von den „erstbesten“ Ideen und Einfällen auszugehen.
C	Auseinandersetzung mit Stressoren	Selektivere Nutzung von Informationen, Kenntnissen und Erfahrungen, Suche nach ad-hoc Lösungen für Einzelaspekte einer Situation	Es hängt wesentlich vom Ausmaß des Stress ab, ob er positiv oder negativ auf Handeln und Kognition wirkt. Zuverlässiges Handeln setzt ein „mittleres“ Ausmaß an Stress voraus.
D	Verknüpfung von Informationen zu einem inkonsistenten Bild der Handlungssituation	Bevorzugung monokausaler Erklärungen. Ausblendung einzelner inkompatibler Informationen aus einem Kollektiv zusammenpassender Informationen.	Gedankliche Modelle erleichtern das Handeln vor allem in komplexen Situationen. Gute Modelle sind einfach, aber nicht zu einfach.
E	Kapazitätsgrenzen	Das Arbeitsgedächtnis besitzt eine begrenzte Kapazität.	Kapazitätsgrenzen sind nicht starr, also mehr oder weniger eng, aber stets vorhanden.

Im Vorhaben RS1112 war Swains Modell der Kognition zu erweitern, um die Vereinfachungen und ihre Wirkungen auf die Handlungszuverlässigkeit darstellen zu können. Modellerweiterungen werden im Folgenden zusammengefasst, weil mit ihnen ein wichtiger Schritt zu einem Modell der Regulation wissensbasierten Handelns getan worden ist, das im vorliegenden Projekt zu entwickeln war. Die Abb. 4-3 dient als Orientierungshilfe. In dieser Abbildung vertritt die Komponente „Kognition“ das Swain'sche Modell aus Abb. 4-2. Neu hinzugekommen sind Komponenten für die Motivation, den Stress und das Gedächtnis einschließlich der Verflechtungen dieser Komponenten mit der Kognition:

- Der Austausch zwischen Kognition und Umwelt verläuft (wie in Abb. 4-3 dargestellt) über das Gedächtnis. Dies entspricht den Erkenntnissen der Grundlagenforschung (z. B. /BRE 98/, S. 57ff.). In der Folge verdichtet das Nervensystem Informationen aus den Sinnesorganen zu Mustern neuronaler Aktivität, die mit dem Gedächtnis in Wechselwirkung treten und mit neuronalen Strukturen verglichen werden, mit denen das Gedächtnis erworbene Erkenntnisse und Erfahrungen dauerhaft speichert. Der Vergleich ermöglicht es, Informationen aus den Sinnesorganen auf der Grundlage erworbener Erkenntnisse und Erfahrungen zu erkennen und zu verstehen. Da das Gedächtnis auch Programme für die Bewegungssteuerung umfasst, verläuft auch der Weg von der Kognition zur Umwelt über das Gedächtnis. Abb. 4-3 stellt aus Gründen der Übersicht nicht dar, wie das Gedächtnis strukturiert ist. Details sind in der Literatur zu finden (siehe /FAS 03/, S. 106).
- Motivation, Kognition und Stress stehen miteinander in Wechselwirkung, wie die folgenden Punkte zeigen:
 - Motivation veranlasst das Handeln durch Vorwegnahme erwünschter Ergebnisse und damit auch die kognitiven Leistungen wie zum Beispiel das Problemlösen, die zur Handlungsregulation gehören (vgl. Abb. 4-2). Die Vorwegnahme beruht, wie auch die Festlegung des Weges zum Ziel, auf kognitiven Leistungen.
 - Ergebnisse und ihre Anreize müssen erkannt werden. Das ist eine kognitive Leistung, von der die Motivation zu einem bestimmten Handeln, zur investierten Anstrengung und zur Ausdauer des Handelns direkt abhängen.
 - Handeln führt zu Anspannung und damit zu Stress (/SWA 83/, S. 17-1ff.).

- Der Handelnde erkennt, welche Stressoren, wie zum Beispiel knappe oder großzügige Termine in der Situation vorliegen. Erkennung der genauen Art vorliegender Stressoren ist eine kognitive Leistung.
- Die Person wertet Stressoren als erwünscht oder unerwünscht und setzt sich entsprechende Handlungsziele. Stress motiviert also auch das Handeln. Man beachte, dass nach Swain Stress zwei Arten an Prozessen umfasst (/SWA 83/, Kap. 17). Zum einen steht Stress für das Ausmaß an Anspannung, das außerhalb eines bestimmten optimalen Bereichs leistungsmindernd wirkt, als unangenehm erlebt wird und folglich unerwünscht ist. Zum anderen versteht Swain unter Stress die physische und psychische Reaktion auf Bedrohungen. Extremere Ausprägungen des Stresses beeinträchtigen kognitive Abläufe und Handeln bis hin zu ihrer Desorganisation. Stress kann somit den geordneten Ablauf der Kognition und des Handelns massiv beeinträchtigen oder auch unterbinden.

Diese Zusammenhänge sind bereits im Vorläufervorhaben ausführlich dokumentiert worden (FAS 03/, S. 94ff.), weshalb sich die Darstellung auf einige wesentliche Punkte beschränkt hat.

Neben diesen Modellerweiterungen Motivation und Stress war im Vorläufervorhaben auch an Swains Modell der Kognition selbst eine Modifikation vorzunehmen: Dieses Modell erfasst mit der Funktion „gewart werden“ die Leistungen der Aufmerksamkeit nicht sehr detailliert. Einerseits können Auftreten oder Veränderung eines Signals die Aufmerksamkeit auf sich ziehen und die kognitiven Prozesse auf bestimmte Aspekte in der Umwelt fokussieren. Andererseits können kognitive Vorgänge die Aufmerksamkeit auf bestimmte Aspekte der Umwelt lenken und dadurch die Entdeckung bestimmter Signale erleichtern oder erschweren. Eine bestimmte Diagnose kann zum Beispiel für Informationen blind machen, die mit dem diagnostizierten Analgenzustand nicht in Zusammenhang stehen. Die kognitive Funktion 'gewart werden' war daher um die aktive Suche nach Informationen zu erweitern (/FAS 03/, S.32ff.).

Mit diesen Änderungen am Swain'schen Modell ist der Stand beschrieben, von dem die Modellentwicklungen des vorliegenden Projekts ausgehen. Abb. 4-2 stellt Kognition und Gedächtnis wie zwei getrennte Bereiche dar. Dies ist ein Erbe der Swain'schen Modellbildung, in der das Gedächtnis nicht vorkommt (siehe Abb. 4-1. Die Modellweiterentwicklung wird auch das Verhältnis zwischen Gedächtnis und kognitiven Funktionen klären.

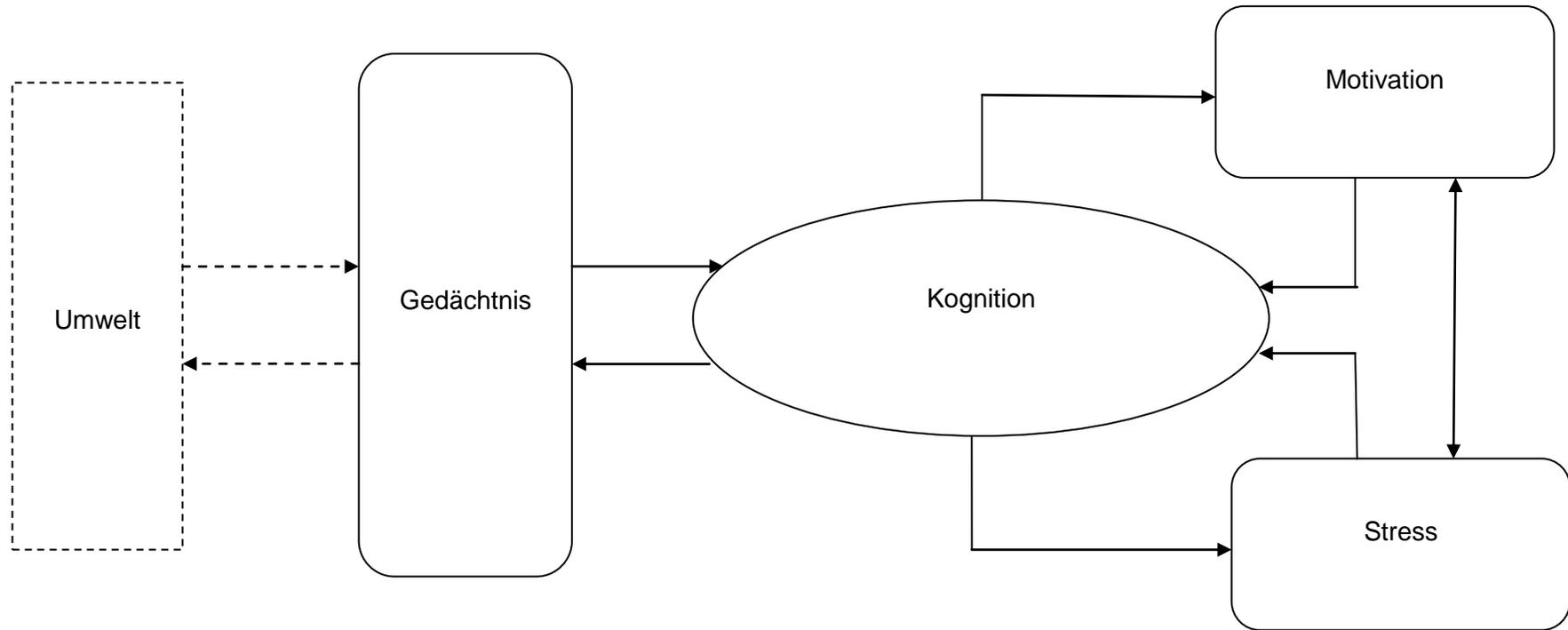


Abb. 4-2 Globale Struktur eines Modelles der Handlungsregulation

4.2 Modell der Kognition

Das Modell aus Abb. 4-1 und Abb. 4-2 war weiterzuentwickeln, um wissensbasiertes Handeln zu berücksichtigen. Kernstück des Modells der Kognition ist ein Modell des Problemlösens, das Gliederungspunkt 4.3 vorstellen wird. Das Modell der Kognition bildet den umfassenden Rahmen für das Modell des Problemlösens.

Das angestrebte Modell hat folgende Leistungen bzw. Effekte zu berücksichtigen:

- Verarbeitung von Informationen über Anlagenzustand, Auslegung, Aufbau, Arbeitsweise und Zugänglichkeit von Systemen und Komponenten sowie die Verarbeitung von Informationen in Form von Betriebsanweisungen, Prozeduren, Schaltplänen usw.
- Wirkung, die sich aus der Qualität ergonomischer Gestaltung dieser Informationen auf die Verarbeitung der Informationen ergibt.
- Einflussfaktoren der Situation wie zum Beispiel Terminspielräume und ihre Wirkung wie zum Beispiel das Ausmaß an Stress.
- Denken einschließlich Problemlösen auf der Grundlage der Informationen und unter der Wirkung dieser Einflussfaktoren.
- Effekte möglicher Vereinfachungen des Denkens auf Regulation und Zuverlässigkeit des Handelns.

Abb. 4-4 veranschaulicht, welche Leistungen das Modell zu berücksichtigen hat. Der Begriff des Inhalts steht in der Abbildung zusammenfassend für die Art des Eingriffes und die Bedingungen für seine Ausführung wie zum Beispiel Freischaltungen, die dem Eingriff vorausgehen müssen. Beim wissensbasierten Handeln sind Vereinfachungen des Denkens zu berücksichtigen, die zu sicherheitstechnisch unzulässigen Eingriffen führen können. Abb. 4-4 stellt den Zusammenhang zwischen kognitiven Aktivitäten (analog Abb. 4-1), Wissen, Gedächtnis, Problemlösen und Vereinfachungen konkreter dar.

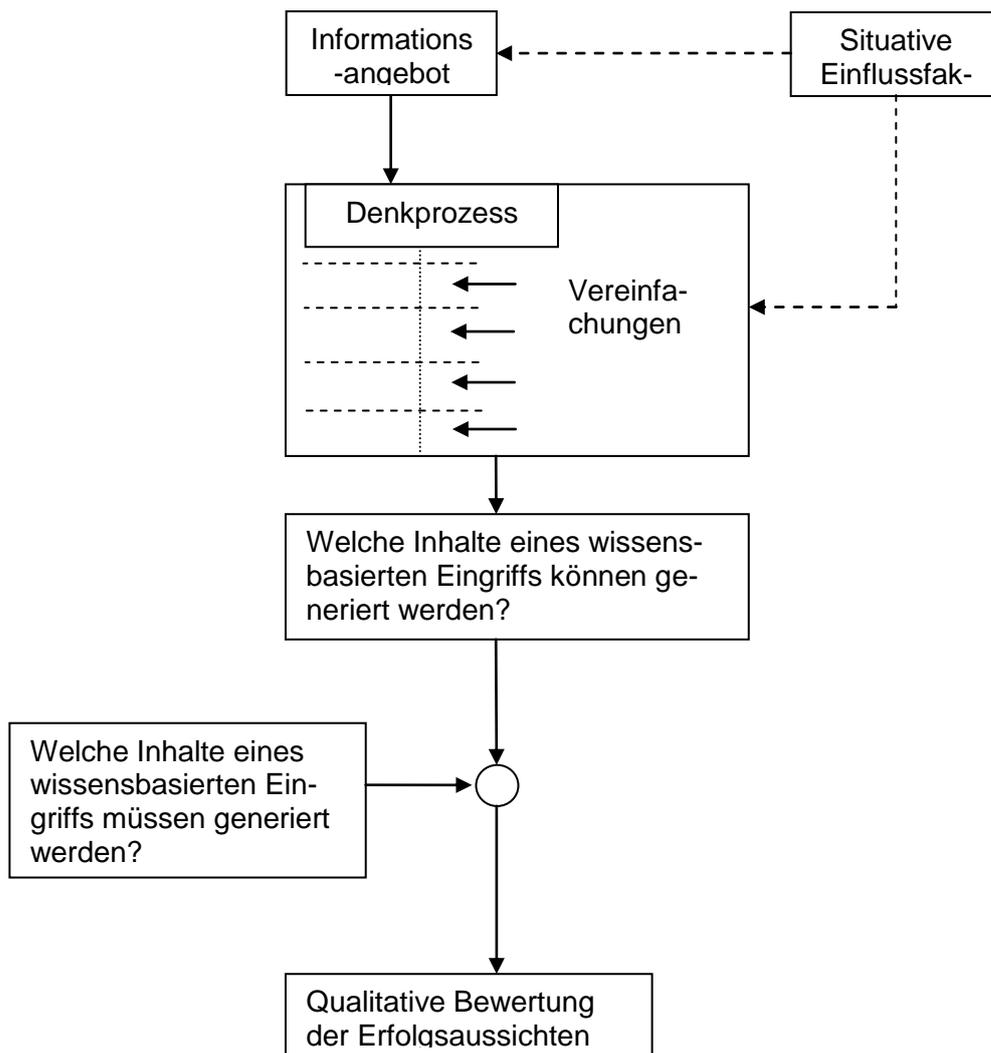


Abb. 4-3 Anwendung des Kognitionsmodells zur Beurteilung der Erfolgsaussichten

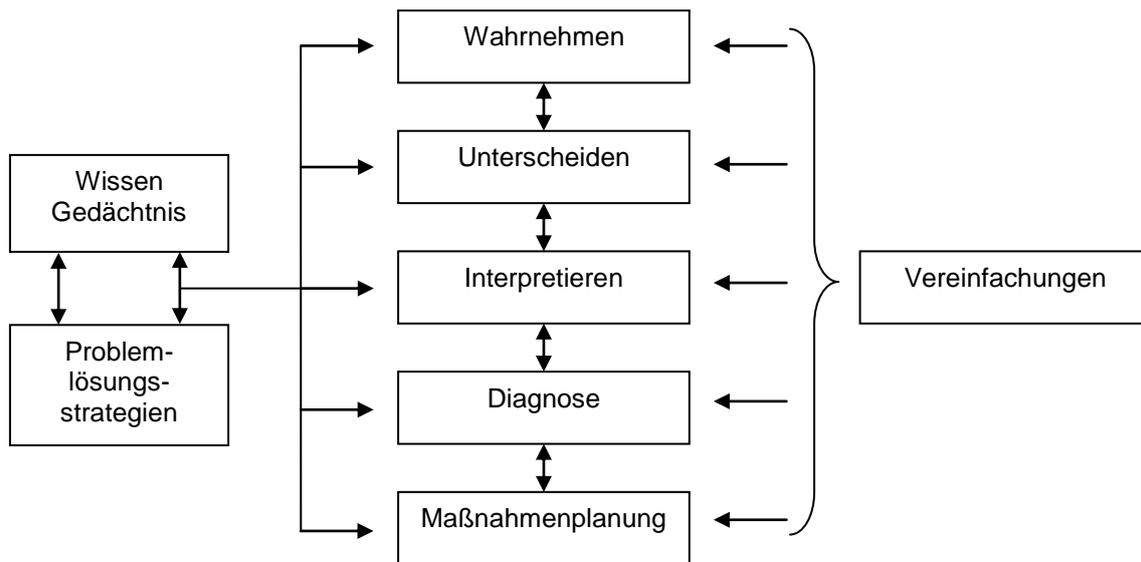


Abb. 4-4 Modellierung des Denkprozesses zur Beurteilung der Erfolgsaussichten wissensbasierter Eingriffe

Das angestrebte Modell muss zeigen, welche Erfolgsaussichten für das Personal bestehen, zu erkennen, welche Eingriffe der betrachtete Ereignisablauf erfordert, wenn das Problemlösen den Rahmenbedingungen unterliegt, die in den beiden Abbildungen repräsentiert sind.

Dieses Arbeitsprogramm erfordert eine praxisgerechte Synthese der grundlagenwissenschaftlichen Erkenntnisse zur Handlungsregulation (siehe Gliederungspunkt 3.1), zum Gedächtnis und zur Kognition. Die Entwicklungsarbeiten umfassen mithin die Modellierung der

- Handlungsregulation.
- kognitiven Funktionen.
- Relation zwischen Gedächtnis und kognitiven Funktionen.
- Wirkung möglicher Vereinfachungen des Denkens auf die Qualität des Regulationsprozesses.

Die Ergebnisse der zugehörigen Entwicklungsarbeiten werden nachfolgend dargestellt.

4.2.1 Handlungsregulation

Die Modellierung lehnt sich an die Gliederung des Handlungsregulationsprozesses in die Phasen, die Hacker vorsieht (siehe /HAC 04/, S. 46ff.). Änderungen im Wesentlichen terminologischer Art dienen dazu, den Bezug zur Handlungszuverlässigkeit deutlich herauszustellen.

Phasen des Regulationsprozesses sind Zielbildung, Orientierung, Entwurf eines Aktionsprogrammes, Entschluss und Ausführung:

- Zielbildung: In Situationen wie der Bewältigung eines Ereignisablaufs erhält der Handelnde mündlich oder schriftlich einen Auftrag, den er in bestimmter Weise versteht. Aufträge werden also nicht einfach „übernommen“, sondern in bestimmter Weise verstanden und bewertet. Dabei hängt die Wertung davon ab, wie die Motive und die Motivation des Handelnden beschaffen sind. Die vorliegende Untersuchung setzt voraus, dass der Handelnde grundsätzlich bereit ist, den Auftrag zu einem wissensbasierten Handeln auszuführen. Sabotageabsichten u. ä. werden also ausgeschlossen. Die beauftragte Person leitet aus ihrem Auftragsverständnis das Ziel ihres Handelns ab. Ziele erfüllen im Regulationsprozess zentrale Aufgaben. Dazu gehören die Motivation durch Vorwegnahme angestrebter Ergebnisse, die Ausrichtung des Handelns auf die Zielerreichung, Suche und Wahl eines geeigneten Vorgehens sowie die Bewertung des Handlungsfortschritts und des Ergebnisses durch Vergleich mit dem Ziel.
- Orientierung: Ausgangssituation und Ausführungsbedingungen des Handelns sowie Mittel und Wege zur Zielerreichung sind zu erkennen und zu werten. Bei Swain heißt dieser Teil der Regulation „Diagnose“. Die Erkennung der Situation und ihrer Bedingungen für das Handeln beansprucht Wahrnehmungs-, Gedächtnis- und Denkleistungen. Diese Leistungen verknüpfen Sinnesdaten mit Kenntnissen, die in der gegebenen Situation erinnert werden können, zu einer Diagnose der Situation und ihrer Anforderungen. Ferner erkennt der Handelnde, soweit er einschlägige Kenntnisse in der Situation erinnert, mögliche Vorgehensweisen zur Zielerreichung, aber auch Erfordernisse, Vorgehensweisen an die Situation anzupassen oder situationsspezifische Vorgehensweisen neu zu entwickeln. Wertungen beziehen sich auf die Erfolgsaussichten und die emotional positiv bzw. negativ besetzten Folgen des Handelns wie Erfolg, Scheitern, unerwünschte Nebeneffekte oder Gefahren, die der Handelnde gedanklich vorwegnimmt.

- Entwurf des Aktionsprogramms: Mit den erinnerten Kenntnissen und Erfahrungen wird ein Vorgehen entworfen, wie das Ziel vom gegebenen Ausgangszustand aus erreicht werden kann. „Aktionsprogramm“ dient bei Hacker als generischer Begriff für Vorgehensweisen, die von umfassenden Strategien bis zu Programmen für Bewegungsabläufe reichen. Die Vorgehensweisen lassen sich Verhaltensebenen zuordnen. Hacker nennt sie Regulationsebenen, die er mit anderen Begriffen belegt als sie in der Zuverlässigkeitsbewertung üblich sind. Die vorliegende Untersuchung bleibt bei den gängigen Bezeichnungen aus der Zuverlässigkeitsforschung (siehe Gliederungspunkt 3.3). Gibt es mehrere Möglichkeiten für den Übergang zum Ziel, ist eine davon für die Ausführung auszuwählen.
- Entschluss und Ausführung: Der Entschluss bewirkt den Übergang zur Ausführung des ausgewählten Aktionsprogramms. Die Ausführung unterliegt der Kontrolle durch Vergleich des jeweils erreichten, aktuellen Ergebnisses mit dem Ziel und der Wertung der Diskrepanz zum Ziel. Kontrollen und Wertungen haben sich auch darauf zu beziehen, ob die Bedingungen für die Ausführung des Aktionsprogramms, die zum Zeitpunkt der Auswahl des Aktionsprogramms geherrscht haben, noch erfüllt sind und/oder unerwünschte Nebeneffekte auftreten. Wertungen des Handlungsfortschrittes müssen die Möglichkeit berücksichtigen, dass die Nähe zum Ziel kein absoluter Maßstab für den Handlungsfortschritt ist. Der Weg zum Ziel kann Schritte erfordern, die zeitweise wieder vom Ziel entfernen, beispielsweise, um ein Hindernis zu umgehen. Laborexperimente zeigen, dass Personen dazu tendieren, Schritte in einem Aktionsprogramm zu vermeiden, die es erfordern, einen erreichten Teilerfolg wieder aufzugeben, um das Ziel erreichen zu können (/KNO 02/, S. 655). Daraus können sich Fehler oder zumindest Verzögerungen ergeben. Handlungsfortschritte sind also in Bezug auf ihre Bedeutung für das übergeordnete Aktionsprogramm und die Zielerreichung zu werten. Die Kontrolle des Handlungsfortschritts erfolgt zyklisch und auf unterschiedlichen Detaillierungsniveaus. Handlungsfortschritte wirken auf die Motivation zurück, die Bemühungen fortzusetzen, zu intensivieren oder zu vermindern, das Aktionsprogramm ganz aufzugeben oder im Extremfall ein andres Ziel zu wählen.

Der Regulationsprozess präzisiert die Zusammenhänge zwischen Motivation, und Kognition, die Abb. 4-2 vereinfachend darstellt. Der Prozess bildet den Rahmen für den Problemlösungsprozess, der in Gliederungspunkt 4.3 näher zu erläutern sein wird. Für die Wechselwirkungen mit dem Faktor Stress gelten die Ausführungen in Gliederungspunkt vier.

4.2.2 Kognitive Funktionen

Abb. 4-5 präsentiert das Modell der kognitiven Funktionen, die im Regulationsprozess des Handelns wichtig sind. Dieses Modell entspricht mit folgenden Änderungen den Komponenten der Kognition in Abb. 4-1 bzw. Abb. 4-2:

- Die Aufmerksamkeit wird genauer berücksichtigt, indem „gewahr werden“ und „agieren“ um die Leistungen „aufmerksam sein“ und „Information suchen“ erweitert werden.
- „Denken und Problemlösen“ ersetzt die „Diagnose“. Letztere steht bei Swain für ein Erkennen des Anlagenzustandes, das direkt zu den Prozeduren führt, die zur Änderung eines unerwünschten Anlagenzustandes oder zur Erhaltung eines erwünschten Zustandes vorgesehen sind. „Denken“ steht für diese Leistung, bei der ein bekanntes Vorgehen „nur“ erinnert werden muss. „Problemlösen“ ermöglicht es, ein Vorgehen in neuartigen bzw. unvertrauten Situationen zu finden.

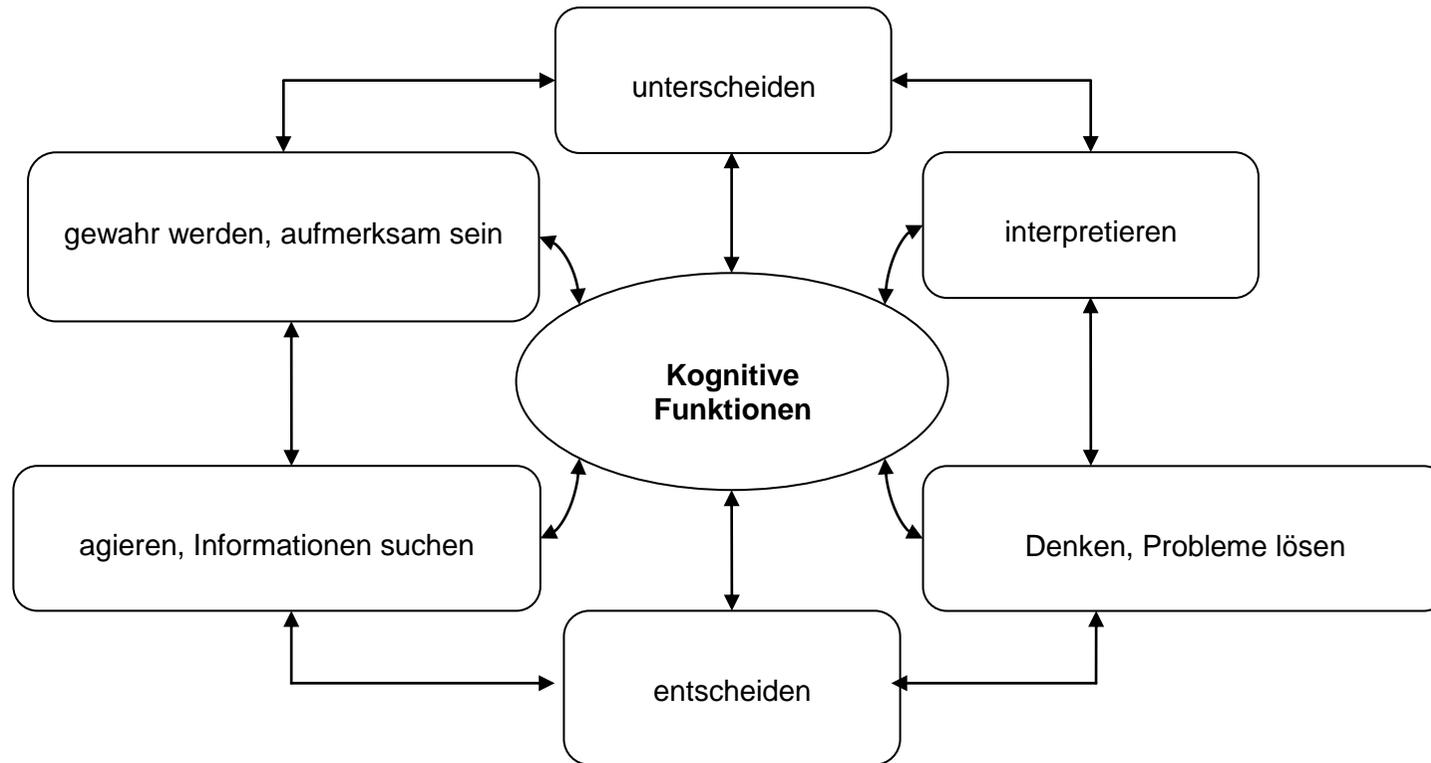


Abb. 4-5 Modell der Kognition mit erweitertem Umfang an Funktionen ohne Schnittstellen mit Stress, Motivation, Gedächtnis und Umwelt

4.2.3 Kognition und Gedächtnis

Abb. 4-6 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Kognitiven Funktionen und dem Gedächtnis. Eine ausführlichere Darstellung ist in (/FAS 03/, S. 196ff.) zu finden.

Der Begriff der Kognition steht für das Gesamtsystem aus Kognitiven Funktionen und Gedächtnis. Letzteres ist in Abb. 4-6 in sensorische Speicher, Langzeitgedächtnis und Arbeitsgedächtnis gegliedert:

- Sensorische Speicher enthalten das Ergebnis der Stimulation der Sinnesorgane und der Veränderung neuronaler Aktivität als Folge der Stimulation.
- Inhalte der sensorischen Speicher treten mit dem Langzeitgedächtnis in Wechselwirkung, um Speicherinhalte zu erkennen, zu interpretieren und in eine Form zu überführen, in der sie den sehr schnellen Zerfall sensorischer Speicherinhalte überdauern und weiteren Verarbeitungen im Gedächtnis zugeführt werden können. Das vorliegende Modell lässt die Form der Speicherung von Kenntnissen und Erfahrungen im Langzeitgedächtnis offen. Sie sind noch Gegenstand kontroverser Diskussionen in der Grundlagenforschung. Gedächtnisinhalte ordnen sich den beiden übergeordneten Kategorien des Wissens über Fakten und des Wissens über Vorgehensweisen zu (z. B. /HUS 98/, S. 46). Zu den Fakten gehört auch die Kenntnis der Quellen, aus denen weiteres Wissen gewonnen werden kann. Unter die Vorgehensweisen fallen auch sogenannte 'Heurismen', also Verfahren, wie Probleme zu lösen sind. Inhalte des Langzeitgedächtnisses stehen für eine weitere Verarbeitung nur zur Verfügung, wenn sie erinnert oder 'aktiviert' werden. Im Folgenden wird der Begriff der Aktivierung benutzt, weil 'Erinnerung' durch die mögliche Konnotation 'bewusst' eine zu enge Auffassung der Bereitstellung von Inhalten des Langzeitgedächtnisses hervorrufen könnte. Quellen der Aktivierung sind die Inhalte sensorischer Speicher und die Inhalte des Arbeitsgedächtnisses. Die Aktivierung kann durch den Grad an Voraktivierung der Inhalte des Langzeitgedächtnisses mehr oder weniger leicht und schnell erfolgen.
- Das Kurzzeitgedächtnis ist der aktive Teil des Gedächtnisses, der die Verarbeitung des Wissens bei der Handlungsregulation bewältigt. Das Modell verzichtet vereinfachend auf die weitere Untergliederung dieses Gedächtnisses (siehe dazu BRE 98/, S. 63).

Wissen muss also nicht nur prinzipiell vorhanden sein, es muss im Bedarfsfall aktiviert werden können, damit es genutzt werden kann. Im Modell des Problemlösens werden dieser Faktor und seine Abhängigkeit von ergonomischen und psychologischen Bedingungen des Handelns eine wichtige Rolle spielen.

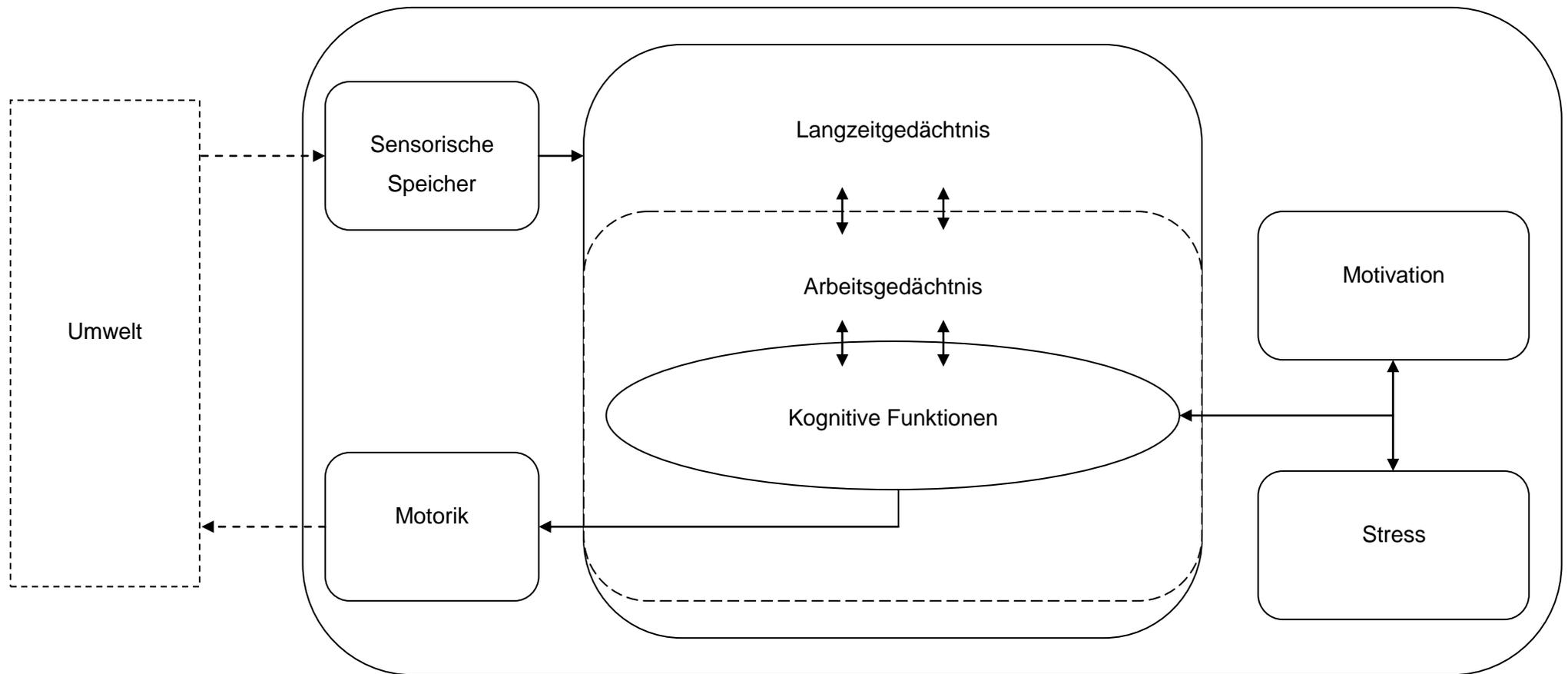


Abb. 4-6 Kognition: Kognitive Funktionen und Gedächtnis

4.2.4 Vereinfachungen des Denkens

Das vorliegende Modell geht davon aus, dass Vereinfachungen immer eintreten, wenn die Bedingungen für ihr Auftreten erfüllt sind. Dies steht in Einklang mit Erkenntnissen der einschlägigen Forschung (/STA 10/, S. 127ff.). Der Anwender der Methode hat also vor einer Untersuchung der Erfolgsaussichten einer Problemlösung zu analysieren und zu bewerten, ob Vereinfachungen greifen, die schnelles, oft auch richtiges Handeln ermöglichen, daher für den Handelnden sehr attraktiv sind und deshalb einer aufwendigeren Problemlösung vorgezogen werden können. Zur Analyse und Bewertung der Vereinfachungen liegt eine Methode bereits vor (/FAS 03/). Auf den Seiten 153 bis 167 der Quelle wird im Detail erläutert, wie und mit welchen Vereinfachungen wirken.

4.3 Modell des Problemlösens

Wissensbasiertes Handeln erfordert per Definition ganz allgemein die Nutzung von Kenntnissen und Erfahrungen, die für diese Situation nicht vorgesehen und nicht trainiert sind. Der Handelnde steht vor der Anforderung, zu erkennen, welche Teile seines Wissens er nutzen kann, um das angestrebte Ziel zu erreichen. Die Bewältigung dieser Anforderung erfolgt, sieht man von Zufall und blindem Raten ab, durch kognitive Prozesse, die in der Grundlagenforschung als Problemlösen bezeichnet werden. Das Projekt nutzt folglich einschlägige Erkenntnisse, um ein Modell des Problemlösens als Grundlage der angestrebten Methode für die Analyse und Bewertung wissensbasierten Handelns zu entwickeln.

Ein 'Problem' liegt vor, wenn der Handelnde einen Istzustand in einen Sollzustand zu überführen hat, zunächst aber nicht weiß, wie er dieses Ziel erreichen kann, und deshalb ein Vorgehen suchen muss, das den Übergang vom Ist- zum Sollzustand ermöglicht (z. B. /BER 64/, S. 521, /DUN 26/, S. 645, 702ff, /DUN 35/, S. 1f, /FUN 03/, S. 20f, /HUS 98/, S. 83f, /KNO 02/, S. 647). Mit anderen Worten: 'Zu Beginn des Lösungsprozesses ist die Endsituation noch nicht disponible Implikation des Anfangszustandes' (van der Geer, zitiert in /BER 64/, S. 521). Erfolgreiche systematische Suche und Anwendung eines zielführenden Vorgehens heißen 'Problemlösung' oder Problemlösen.

Die Entwicklungsarbeiten umfassten die Schritte, aus der Fachliteratur praxisnahe und empirisch fundierte Erklärungsansätze auszuwählen, ihre wesentlichen Schritte zu-

sammenzufassen und aus der Literatur Faktoren des Erfolgs bzw. Misserfolgs beim Problemlösen zu bestimmen. Außerdem ist festzulegen, was beim wissensbasierten Handeln des Kraftwerkspersonals als Lösung zu werten ist

4.3.1 Der grundlegende Erklärungsansatz

Die einschlägige Fachliteratur umfasst eine Fülle theoretischer und empirischer Untersuchungen /FUN 06/. Dazu kommen Computermodelle, die Problemlösungsprozesse simulieren. Das vorliegende Projekt hat als Grundlage für die Modellbildung auf die Arbeit von Karl Duncker zurückgegriffen /DUN 35/. Dafür haben folgende Gründe den Ausschlag gegeben:

- Die Arbeit ist noch keineswegs veraltet (vgl. /NEW 83/, S. 415f. und /KNO 06/, S. 22).
- Duncker stellt stets einen engen Zusammenhang zwischen theoretischen Begriffen und laborexperimentellen Beobachtungen her. Die Begriffe sind somit konkret; klar und leicht verständlich.
- Sein Ansatz ist nicht nur ein Modell des Problemlösens, sondern auch eine Anleitung für das Vorgehen zur Lösung von Problemen.
- Modell und Vorgehen lassen sich in einfachen Begriffen beschreiben, sind also leicht lehr- und lernbar.
- Man kann Duncickers Ansatz ohne weiteres mit den Erkenntnissen anderer Autoren erweitern und präzisieren.

4.3.2 Lösungsprozesses

Der Lösungsprozess weist im Duncker'schen Modell folgende wesentliche Merkmale auf:

- Der Handelnde verfolgt ein Ziel, ohne einen Weg zum Ziel zu kennen.
- Es beginnt ein systematischer Problemlösungsprozess.
- Dieser besteht darin, schrittweise Lösungsvorschläge zu erarbeiten, die bestimmte Merkmale der Lösung vorwegnehmen. Im Erfolgsfall antizipieren die aufeinander-

folgenden Lösungsversuche sukzessive die Merkmale vorweg, die der Lösung eigen sein müssen. Im einfachsten gelingt die Lösung in einem Schritt.

- Ein bestimmter Lösungsvorschlag zeichnet sich durch die Art und Weise aus, wie er den Übergang zum angestrebten Ziel und damit die Lösung des Problems bewirken kann. Duncker spricht vom „Funktionalwert“ des Gegenstandes oder des Vorgehens, um die Art der Verwendung zu bezeichnen, mit der die Person die die Lösung erreichen will (/DUN 35/, S. 5f.). Der Funktionswert bringt mit anderen Worten die Eigenschaften zum Ausdruck, die ein Gegenstand und/oder ein Vorgehen in den Augen des Handelnden zu erfüllen haben, um Lösung zu sein. (/DUN 26/, S. 704). Funktionalwerte beschränken sich nicht darauf, Spezifikation des gesuchten Objekts oder Vorgehens für eine Problemlösung zu sein. Ein einfaches Beispiel aus dem Alltag zeigt, was der Funktionalwert ganz allgemein ist: Der Funktionalwert eines Werkzeugs kann in einer bestimmten Handlungssituation darin bestehen, eine Unterlage zu beschweren und dadurch zu verhindern, dass sie verlorengeht. Funktionalwerte können mehr oder weniger abstrakt sein. Sie kennzeichnen also eine Klasse von Gegenständen oder Vorgehensweisen, die sich dazu eignen, eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen. Der geeignete Gegenstand oder das geeignete Vorgehen „verkörpern“ nach Duncker den Funktionalwert.
- Der Lösungsprozess wird durch eine Suchstrategie vorangetrieben, die aus der Situations- und der Zielanalyse besteht.
 - Die Situationsanalyse umfasst die beiden Teile der Konflikt- und der Materialanalyse:

‘Konflikt’ bezeichnet bei Duncker das Hindernis oder den Grund, warum ein Ziel zunächst nicht erreichbar ist. Das Nachdenken über die Ursachen des Konflikts fördert die Einsicht in die Natur des Problems und die Lösungsfindung. Nachdenken kann auch die Problemstellung selbst verändern, wenn man zum Beispiel erkennt, dass nicht ein Defekt, sondern eine vorrangige Automatik das Anlaufen einer Pumpe verhindert. Im Erfolgsfall führt die Konfliktanalyse dazu, die Gegebenheiten der Situation zu erkennen, die verändert werden müssen, um das Ziel erreichen zu können. Die Leitfrage bei der Konfliktanalyse lautet also ‘Woran scheitert es, was muss ich verändern?’ (/DUN 35/, S. 25). Der Funktionalwert stellte als Anforderung an den benötigten Gegenstand und/oder an das benötigte Vorgehen das positive Ergebnis

der Auseinandersetzung mit dem Problem während der Konfliktanalyse dar (/DUN 26/, S. 704).

'Material' steht für alle Aspekte einer Situation, die sich zur Problemlösung nutzen lassen. Die Leitfrage der Materialanalyse lautet: 'Was kann ich brauchen?' /DUN 35/. Die Suche nach passendem Material wird zum einen von den Merkmalen vorangetrieben, die eine Lösung auszeichnen. Geeignetes Material ist im Beispiel einer Pumpe, deren Start eine vorrangige Automatik verhindert, jede leittechnische Einrichtung, deren Betätigung die vorrangige Automatik außer Eingriff nimmt. Zum anderen kann das Material selbst Lösungsmöglichkeiten nahelegen. Man denke zum Beispiel an einen Hinweis in einer Systembeschreibung, dass Grenzwerte für Druck oder Temperatur beim Betrieb um zehn Prozent überschritten werden können, ohne das System zu schädigen. Dieser Hinweis kann die Nutzung des Systems in einer Situation nahelegen, in der diese Grenzwerte überschritten, die Marge der zusätzlichen zehn Prozent aber eingehalten wird.

- Die Zielanalyse steht unter der Leitfrage „Was will ich eigentlich?“ /DUN 35/, S. 27). Dazu gehört auch die Frage, was man nicht will oder worauf man verzichten kann. Mit dem Ziel nimmt der Handelnde vorweg, was er genau erreichen will. Ein präzises Ziel fördert die genaue Erkenntnis des Hindernisses und damit die Suche nach Lösungen.

Abb. 4-7 veranschaulicht den Lösungsprozess und seine Wechselwirkung mit dem Langzeitgedächtnis, die Duncker nicht explizit darstellt. Die Doppelpfeile deuten an, dass zwischen den Komponenten dieses Modells Wechselwirkungen bestehen.

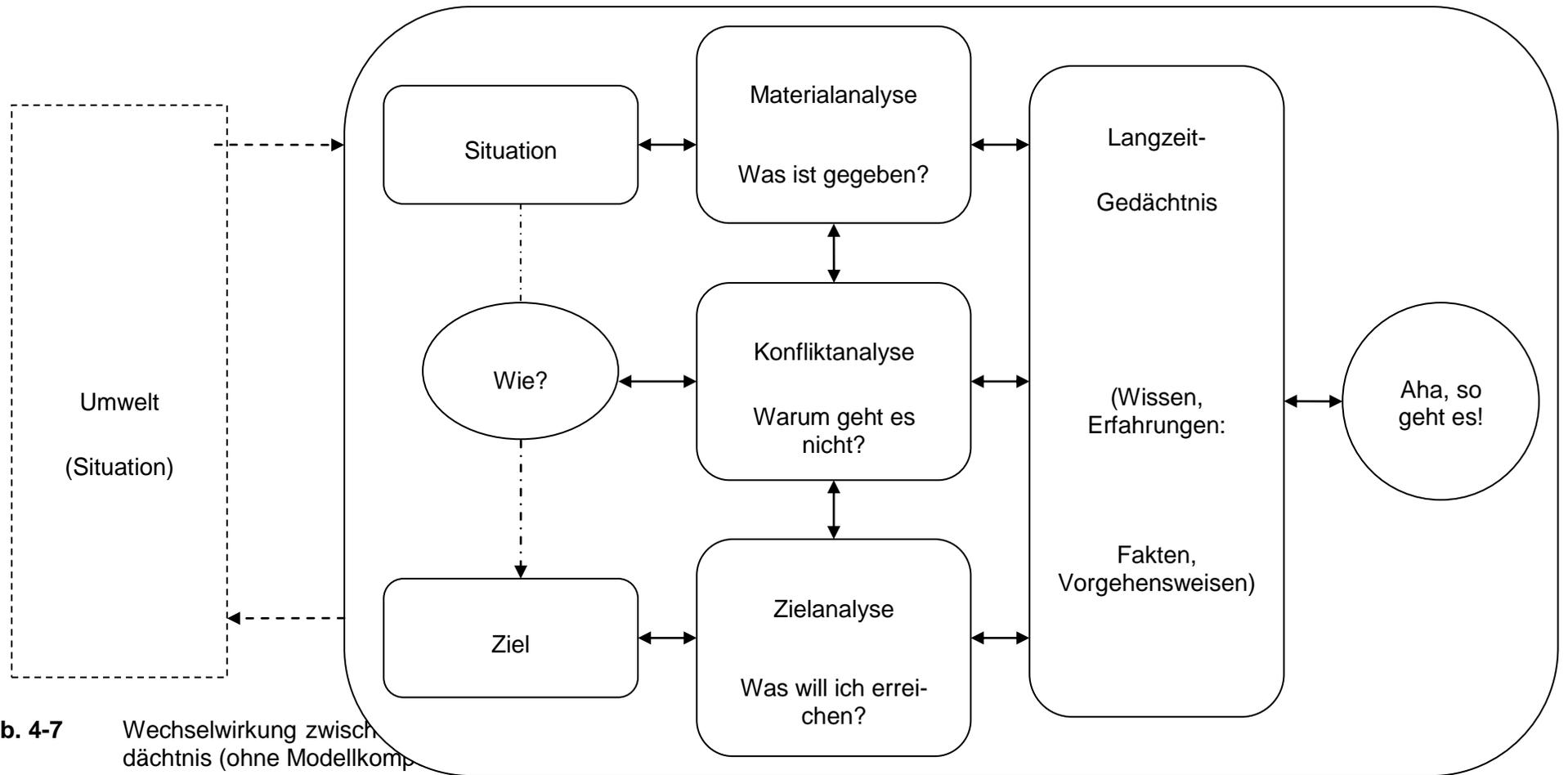


Abb. 4-7 Wechselwirkung zwischen
 dächtnis (ohne Modellkomponente)

Dieses Modell hat im vorliegenden Projekt eine Präzisierung erfahren, um die Systematik des Suchprozesses noch genauer darzustellen. Die Präzisierung beruht auf Dörners Beschreibung der Suchstrategie bei Problemen, die sich durch klare Ziele auszeichnen und durch Rückgriff auf bekannte Mittel lösbar sind (sogenannte „Interpolationsprobleme“, /DÖR 87/, S. 60ff.):

- Situations- und Zielanalyse (siehe oben), mit der ein Problemlöser erkennt, was gegebene und gesuchte Situation unterscheidet bzw. nicht unterscheidet und wie der Übergang bewerkstelligt werden kann.
- Prüfung der anvisierten Lösung (bei Dörner „Operator“) auf Anwendbarkeit und Nebenwirkungen.
- Auswahl eines ohne Nebenwirkungen anwendbaren Operators.
- Anwendung und Erfolgskontrolle, auch in Form gedanklicher Vorwegnahme der Ausführung und ihres Erfolgs.
- Bei Misserfolg der Anwendung eines Operators:
 - Bildung eines Zwischenziels, um die Anwendungsbedingungen eines zunächst nicht anwendbaren, zielführenden Operators herzustellen. Das Zwischenziel ist dann Ausgangspunkt der weiteren Problemlösung, also der Suche eines Operators, um das Zwischenziel zu erreichen.
 - Wechsel des Operators.
 - Wechsel der Absicht. So könnte der Problemlöser nach einem gescheiterten Reparaturversuch Möglichkeiten suchen, die Leistung eines ausgefallenen Systems durch Einsatz anderer Systeme zu ersetzen.
 - Wechsel des Ziels zum Beispiel von der Wiederherstellung der Schutzziele zur Abmilderung der Folgen eines Ereignisablaufs für Mensch, Umwelt und/oder Anlage.
 - Wechsel des Startpunktes, wobei der Problemlöser auf den Anfangspunkt oder eine bereits erreichte Teillösung zurückgeht, um den (weiteren) Weg zum Ziel zu finden, sowie
 - Wechsel des Suchverfahrens durch z. B. Übergang auf ein Probieren nach Versuch und Irrtum.

Ein Wechsel des Startpunktes liegt zum Beispiel vor, wenn nicht Eingriffe in der Warte, sondern in leittechnische Einrichtungen oder andere Komponenten vor Ort gesucht werden, die ein anstehendes Problem lösen.

Die vorliegende Untersuchung erweitert dieses Vorgehen um die nachfolgenden Schritte. Sie beziehen sich auf das Abstraktionsniveau der Problemlösung und Optionen, wenn kein Operator vorhanden ist, der die Ausgangssituation in das Ziel überführt.

- Bildung von zunächst umfassenderen Zwischenzielen und deren anschließende, schrittweise Verfeinerung. Es entstehen zeitlich und nach dem Detaillierungsgrad hierarchisch geordnete Teilziele, mit denen der Problemlöser das Gesamtproblem in immer kleinere Teilprobleme zerlegt.
- Bildung eines Zwischenzieles durch Ausführung von Handlungen, die zwar nicht den Übergang zum Ziel bewirken, aber zu einem Ergebnis führen, das näher am Ziel liegt als die Ausgangssituation. Man denke zum Beispiel an die Anhebung eines Füllstands auf einen Wert, der zwar nicht dem Grenzwert entspricht, ihm aber näher liegt als der Ausgangswert.
- Abwägen, ob und ggf. welche Lockerung der Anwendungsbedingungen und/oder welche Nebeneffekte einer anvisierten Lösung in Kauf genommen werden können.
- Bei der Teilzielbildung ist gedanklich oder mit Hilfsmitteln 'Buch zu führen', welche Teilziele bereits gebildet und mit welchem Ergebnis sie bearbeitet worden sind. Das wirkt Unklarheiten über den Handlungsfortschritt und der Möglichkeit eventueller wiederholter und erfolgloser Bearbeitungen desselben Teilziels entgegen.

In der Grundlagenforschung gelten die Teilzielbildung und Lösungsverfahren, bei denen der Abstand zum Ziel schrittweise immer weiter vermindert wird, als eigenständige Suchstrategien (z. B. /KNO 02/, S. 654). Die vorliegende Untersuchung bindet sie in eine Gesamtstrategie ein, das wirkt der Tendenz entgegen, sie als Alleinheilmittel zu verstehen. Lösungsversuche nur durch wiederholte Unterschiedsreduktion versagen, wenn er zur Erreichung des Gesamtzieles erforderlich ist, sich zeitweise wieder vom Ziel zu entfernen, also den Abstand zum Ziel wieder zu vergrößern (siehe oben, 4.2.2).

Die Teilzielbildung unterstützt auch die Planung, wie eine gefundene Lösung auszuführen ist, weil sie Art und Abfolge der 'Meilensteine' der Lösungsimplementierung vorwegnimmt.

4.3.3 Faktoren für den Erfolg bzw. Misserfolg des Problemlösens

Laborexperimente zeigen, dass der Problemlöser das erforderliche Wissen für die Problemlösung nicht nur besitzen, sondern auch parat haben muss. Vergleicht man Versuchsergebnisse, in denen das erforderliche Wissen nicht, teilweise oder ganz aktiviert war, so zeigt sich, dass die Problemlösewahrscheinlichkeit für diese drei Bedingungen bei ca. 0.2, 0.5. bzw. 0.9 liegt (z. B. /HUS 84/, S. 152ff., dort weitere Literatur).

Die vorliegende Untersuchung zieht daraus den Schluss, dass die Problemlösung sehr erschwert wird, wenn Wissen prinzipiell zwar vorhanden ist, in der Problemsituation aber nicht aktiviert werden kann. Bei teilweiser Aktivierung erforderlichen Wissens ist in rund fünfzig Prozent der Fälle mit einem Erfolg bzw. Misserfolg des Problemlösens zu rechnen.

Die Aktivierung des Wissens erfordert Hinweise in der Handlungssituation. In der Problemsituation müssen also im ausreichenden Umfang Hinweise, die die Verfügbarkeit des Fachwissens erhöhen, zur Verfügung stehen. Als Hinweise zählen Informationen zum Anlagenzustand, die auf Benutzeroberflächen angezeigt werden, und Anweisungen, welche Handlungen auszuführen sind, wenn eine Handlungssituation bestimmte Kriterien erfüllt. Die Hinweise regen benötigtes Wissen zum Verständnis des Anlagenzustandes und der Eingriffsmöglichkeiten umso wirkungsvoller an, je zuverlässiger, aussagekräftiger und klarer diese Informationen und Anweisungen sind und je leichter das Personal Informationen auf Benutzungsoberflächen und in Dokumenten zueinander in Bezug setzen kann.

Das Personal prognostiziert anhand der verfügbaren Informationen, ob es eine Lösung realisieren kann. Zu nutzen sind zum Beispiel Informationen über die verfügbare Zeit für die Ausführung erforderlicher Handlungen, die Zugänglichkeit der Handlungsorte sowie die Verfügbarkeit von Personen mit eventuell benötigten Spezialqualifikationen und spezieller Mittel. Relevant sind auch Informationen, die erforderlich sind, um eine Maßnahme aus dem dafür vorgeplanten Kontext in die konkrete Situation zu übertragen (z. B. Informationen zur Auslegungsreserve von Komponenten). Diese planerischen Aktivitäten werden im Modell als Teil des Problemlösungsprozesses behandelt (siehe oben die Ausführungen zur Teilzielbildung in 4.3.2).

Die Problemlösung erfolgt nach dem Muster der Ziel-, Material- und Konfliktanalyse. Dieses Vorgehen fördert die Kenntnis des genauen Problems und seiner Möglichkei-

ten. Mit diesem aktivierten Wissen kann der Problemlöser sein Langzeitgedächtnis nach Lösungsmöglichkeiten suchen.

Weitere Faktoren des Erfolgs bzw. Misserfolgs bestehen darin, dass keine Vereinfachungen des Denkens greifen, die ein Problemlösen verunmöglichen.

Das Gleiche gilt für das Ausmaß an Stress in der Problemlösungssituation. Stress darf zumindest keine extremen Ausprägungen annehmen, die Handlungsregulation, Kognition und Problemlösen stark beeinträchtigen oder desorganisieren.

4.3.4 Lösungen beim wissensbasierten Handeln des Kraftwerkspersonals

Das Personal versucht eine Problemlösung, indem es Prozeduren, Teile von Prozeduren und (oder) sonstige Handlungen, deren Kenntnis zum Fachwissen gehört, entweder einzeln oder in Kombination anwendet, um die Anlage in einen sicheren Zustand zu bringen, die Diskrepanz zu sicheren Zustand zu vermindern oder zumindest eine weitere Verschlechterung des Ist-Zustandes zu verhindern und dadurch Zeit zu gewinnen. Eine Lösung besteht also aus der technisch zulässigen, zielführenden Anwendung einzelner oder einer Kombination mehrerer bekannter Vorgehensweisen in einer Situation, für die mindestens eine dieser Vorgehensweisen weder vorgesehen noch eingeübt ist.

5 Überblick über die Methode

Diese Kapitel gib, einen Überblick, der nur die wesentlichen Merkmale der Analyse- und Bewertungsmethode herausstellt und dadurch das Verständnis der detaillierten Methodendarstellung im nachfolgenden Kapitel erleichtert (vgl. Abb. 5-1). Die Methode umfasst drei Teile für die Bestimmung, die Analyse und die Bewertung wissensbasierter Handlungen.

Eingangsinformationen sind die Ergebnisse der System- und Ereignisablaufanalysen in einer PSA. Sie zeigen, welche Eingriffe des Personals sicherheitstechnisch erforderlich sind.

Der erste Teil der Methode dient dazu, die Eingriffe zu bestimmen, die wissensbasiert sind und einer detaillierten Analyse und Bewertung zugeführt werden müssen.

Dazu sind die Eingriffe genau nach allen Merkmalen zu beschreiben, auf denen die Unterscheidung wissensbasierter und sonstiger Eingriffe beruht. Ergibt sich aus der Klassifikation, dass ein regel- oder fertigkeitbasierter Eingriff vorliegt, ist er mit den Methoden des PSA-Leitfadens /FAK 05/ zu analysieren und zu bewerten.

Die Informationen für die Beschreibung des Eingriffs stammen aus einer Anlagenbegehung und/oder einer Übung am Simulator. Dabei gibt der Anwender den betrachteten Ereignisablauf vor und lässt sich von zuständigem Anlagenpersonal erläutern bzw. zeigen, wie es den Ereignisablauf bewältigen würde. Es sollen sowohl Personen zur Verfügung stehen, die im Ereignisablauf für die Festlegung des Vorgehens zuständig sind, als auch Mitarbeiter, die das Vorgehen in der Warte und/oder vor Ort umzusetzen haben. Vor dem Übergang zur Analyse ist zu untersuchen, ob das Personal das erforderliche Wissen über den Eingriff hat.

Zeigt sich, dass der wissensbasierte Eingriff nicht durchführbar ist, endet die weitere Untersuchung dieses Eingriffs. Er unterbleibt mit hundertprozentiger Wahrscheinlichkeit.

Eingangsinformationen für den Analyseteil der Methode sind diejenigen wissensbasierten Eingriffe, deren Ausführung im betrachteten Ereignisablauf erwartet werden kann. Die Analyse hat zu zeigen, wie gut die Erfolgsaussichten des Personals sind, zu erkennen, welche sicherheitstechnisch erforderlichen Eingriffe auszuführen sind.

Um die Erfolgsaussichten wissensbasierten Handelns zu beurteilen, untersucht der Anwender der Methode, wie systematisch die Personen, die für die Festlegung des Vorgehens verantwortlich zeichnen, das Problem lösen, den Ereignisablauf zu bewältigen. Leitfragen sind dabei, welche Ziele sie setzen, welche Informationen über Ereignisablauf, Anlagenzustand und Eingriffsmöglichkeiten sie nutzen, wie sie diese Informationen zu einem Vorgehen zur Bewältigung des Ereignisablaufs verknüpfen und welchen leistungsbestimmenden Faktoren diese Aktivitäten unterliegen. Wichtige leistungsbestimmende Faktoren sind zum Beispiel der Stress, unter denen diese Personen zu handeln haben, und Merkmale der Informationen, wie Zugänglichkeit, Genauigkeit, Verlässlichkeit und ergonomische Aspekte der Gestaltung dieser Informationen und der Informationsmittel.

Die Erkenntnisse werden zu einem qualitativen Gesamturteil über die Erfolgsaussichten verknüpft, das Problem zu lösen, also zu erkennen, welche wissensbasierten Eingriffe die Situation erfordert, und zu planen, wie diese Eingriffe auszuführen sind (Veranlassung erforderlicher Freischaltungen, Einweisung des ausführenden Personals, usw.).

Der Methodenanwender hat dann im Zuge einer Anlagenbegehung und/oder einer Übung am Simulator das Personal bei der Umsetzung des Vorgehens zu beobachten und zu befragen. Er setzt dazu die gängigen Methoden ein, die z. B. Swain beschreibt (vgl. /SWA 83/, Kapitel 5).

Mit den Ergebnissen der Anlagenbegehung wird das wissensbasierte Handeln quantitativ bewertet. Der Anwender fasst die Analyseergebnisse zu einem Gesamturteil der Erfolgsaussichten um, dass die Problemlöser erkennen, welche sicherheitstechnischen Eingriffe der Ereignisablauf erfordert. Den Erfolgsaussichten entsprechend quantifiziert er die Zuverlässigkeit der Problemlösung mit den Daten, die Kapitel sechs dieses Berichts enthalten. Die Ausführung des Vorgehens ist mit den Methoden zu bewerten, die /FAK 05/ vorsieht.

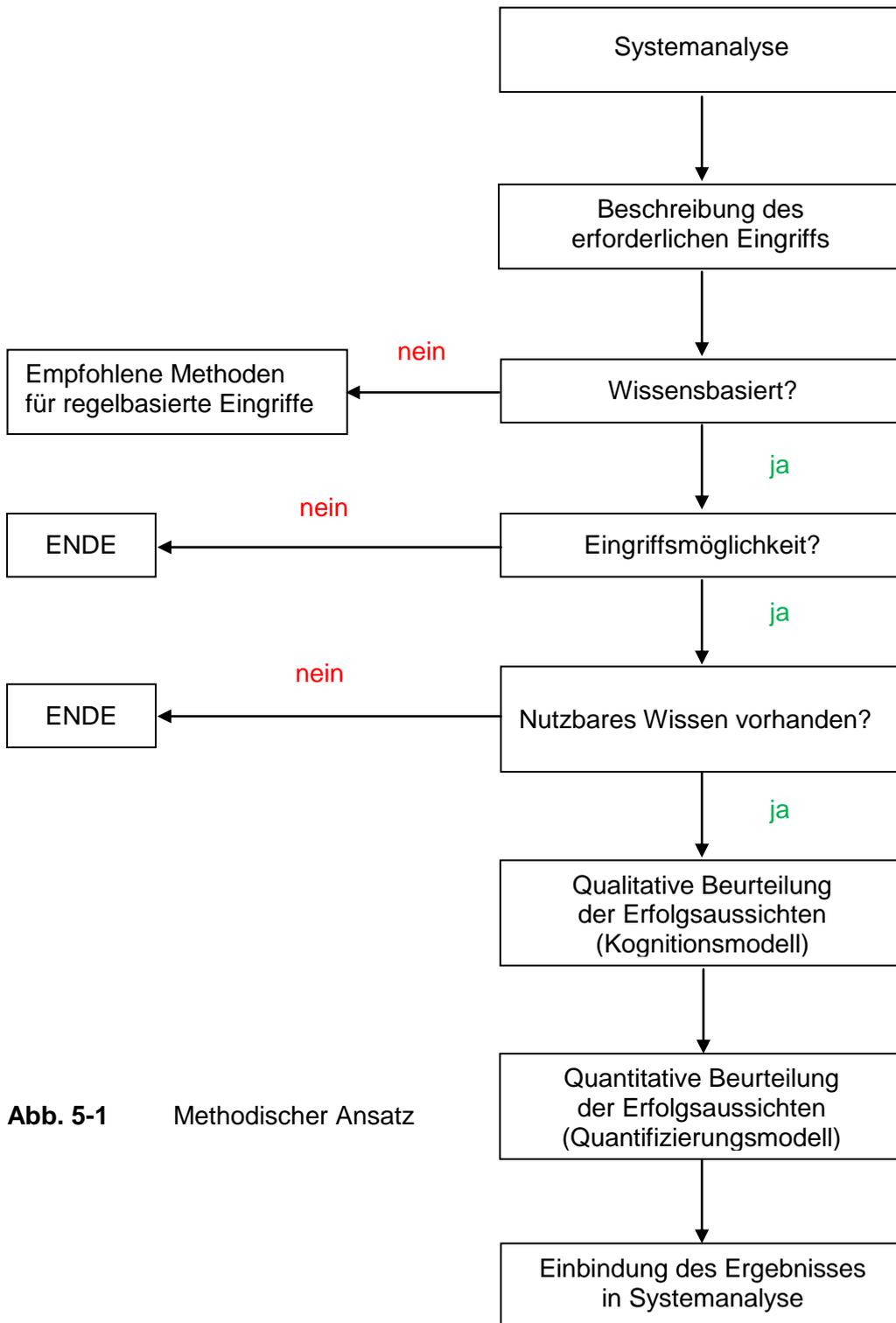


Abb. 5-1 Methodischer Ansatz

6 Detaillierte Beschreibung der Methode

Die Beschreibung der Methode gliedert sich in die drei Teile für die Bestimmung, die Analyse und die Bewertung der zu betrachtenden Handlungen. Das Kapitel schließt mit einer Diskussion der Methode.

6.1 Bestimmung der wissensbasierten Eingriffe, die zu analysieren und zu bewerten sind

Der Zweck dieses Teils der Methode besteht darin, diejenigen wissensbasierten Eingriffe zu bestimmen, die der qualitativen und quantitativen Beurteilung zuzuführen sind. Die Ermittlung dieser Eingriffe umfasst die folgenden Schritte:

- Die System- und Ereignisablaufanalysen haben gezeigt, welche Eingriffe des Personals bei den betrachteten Ereignisabläufen sicherheitstechnisch notwendig sind.
- Erforderliche Eingriffe müssen im Detail beschrieben werden. Hierzu ist ein „Handlungsmodell“ zu entwickeln. Es repräsentiert den erwartenden Ablauf und alle wesentlichen Randbedingungen des Handelns innerhalb des Zeitintervalls von der Erkennung des Anlagenzustands, der den Eingriff erfordert, bis zu dessen Ausführung (vgl. /MEI 85/, /SWA 83/, /GRS 02/). Der Ersteller eines Handlungsmodells nutzt insbesondere Informationen folgender Art bzw. aus folgenden Quellen:
 - organisatorische Regelungen der Anlage für die Bewältigung des Ereignisablaufs,
 - Eingriffsbefugnisse,
 - einschlägige Prozeduren,
 - sonstige Unterlagen und Anweisungen,
 - Ergebnisse thermohydraulischer Analysen zum Zeitablauf,
 - die Verfügbarkeit erforderlicher Systeme,
 - Eingriffsmöglichkeiten,
 - Möglichkeiten, vorrangige Automaten, die Eingriffe in der gegebenen Situation verhindern, abzuschalten oder deren Signale zurückzusetzen,

- die Verfügbarkeit der benötigten Informations- und Bedieneinrichtungen sowie der Informationen auf Benutzungsoberflächen,
 - Zugänglichkeit der Orte, an denen zu handeln ist,
 - die Arbeitsbedingungen an diesen Orten,
 - Erkenntnisse zu Handlungsablauf, leistungsbestimmenden Faktoren, Zeitbedarf usw. aus der Begehung der Handlungsorte, aus Gesprächen mit sachkundigem Personal des Betreibers und aus der eventuellen Teilnahme an Übungen auf der Anlage und/oder am Simulator.
- Es ist zu prüfen, ob die sicherheitstechnisch erforderlichen Eingriffe als wissensbasiert zu klassifizieren sind. Dazu kommen folgende Kriterien zur Anwendung, die alle erfüllt sein müssen:
 - Das Personal hat prinzipiell die Kenntnisse und Erfahrungen, um zu erkennen, dass der betrachtete Ereignisablauf diese Eingriffe erfordert. Auch weiß das Personal, welche Schritte es zur Vorbereitung und Ausführung des Eingriffs zu vollziehen hat. Teil der Vorbereitung ist zum Beispiel die Auswahl der benötigten Werkzeuge oder die Planung und Durchführung erforderlicher Freischaltungen. Die Quelle dieser Kenntnisse und Erfahrungen ist das professionelle Wissen. Professionelles Wissen geht auf Prozeduren, Training und berufliche Praxis zurück. Teil des Fachwissens ist auch die Kenntnis der Quellen, in denen erforderliche Informationen zu finden sind. Sonstige Wissensquellen können zwar Hinweise auf wissensbasierte Eingriffe geben, diese Quellen ordnen sich jedoch den individuellen außerberuflichen Erfahrungen und Beschäftigungen des Personals zu, die sich einer systematischen und umfassenden Analyse entziehen und daher vereinfachend ausgeklammert werden.

Zur Erfassung des prinzipiell vorhandenen Wissens sind schriftliche Unterlagen (u. a. Betriebshandbuch, Notfallhandbuch, Prüfhandbuch, Übungs- und Ausbildungspläne, Systembeschreibungen) und Erkenntnisse aus Gesprächen mit Schichtpersonal und anderem sachkundigen Personal des Anlagenbetreibers (z. B. Ausbilder) auszuwerten.

- Die wissensbasierten Eingriffe gehören zum professionellen Wissen, werden aber nicht für den betrachteten Ereignisablauf trainiert. Sie sind Bestandteil anderer Aufgaben, mit denen das Personal vertraut und für die es geschult ist.

Es ist davon auszugehen, dass diese Eingriffe aus der Sicht des Personals sinnvoll und adäquat sind, um den betrachteten Ereignisablauf zu bewältigen.

Die ermittelten wissensbasierten Eingriffe werden im Detail analysiert. Der Methoden-anwender geht aber nicht direkt zur Analyse der Erfolgsaussichten über, dass das Personal die erforderlichen wissensbasierten Eingriffe findet und ausführt. Er hat vor diesem Schritt zu untersuchen, ob in der gegebenen Situation Vereinfachungen des Denkens, Urteilens und Entscheidens wirksam werden können, die zu sicherheitstechnisch unzulässigen Eingriffen führen. Dafür steht die Methode bereit, die im Vorläufervorhaben RS1112 entwickelt worden ist (/FAS 03/). Kann diese Möglichkeit ausgeschlossen werden, beginnt die Analyse der Erfolgsaussichten wissensbasierten Handelns.

6.2 Analyse des wissensbasierten Handelns

Die folgenden Ausführungen nutzen 'wissensbasiertes Handeln' als Oberbegriff. Er umfasst 'Problemlösen (Problemlösung)' und „wissensbasierte Handlungen“ als Unterbegriffe. Sie stehen für die beiden Prozesse, erforderliche wissensbasierte Handlungen (1) zu erkennen und (2) auszuführen. Das Schema in Tab. 6-1 verdeutlicht diese Zusammenhänge. Wissensbasierte Handlungen sind die wissensbasierten Eingriffe sowie die Kontrollen und sonstigen Aktionen wie zum Beispiel Kommunikationsvorgänge, die der Eingriff voraussetzt.

Tab. 6-1 Systematik der Begriffe 'wissensbasiertes Handeln', 'Problemlösen (Problemlösung)' und 'wissensbasierte Handlung'

Wissensbasiertes Handeln	
Problemlösen (Problemlösung) (erkennen, welche wissensbasierten Handlungen erforderlich sind)	Ausführung wissensbasierter Handlungen (Kontrollen, Eingriffe, Kooperation und Kommunikation zwischen Personen, sonstige erforderliche Aktionen)

Ziel der Analyse ist es, die Erfolgsaussichten einzuschätzen, dass das Personal kennt, welche Handlungen auszuführen sind. Zur Analyse der Ausführung dieser Handlungen stehen in /FAK 05/ beschriebenen Methoden für PSA deutscher Kernkraftwerke bereit (siehe dazu auch /SWA 83/, Kapitel 5). Daher geht der vorliegende Bericht auf die Analyse der Handlungsausführung nicht weiter ein.

Eine Problemlösung besteht aus der technisch zulässigen, zielführenden Anwendung einzelner oder einer Kombination mehrerer bekannter Vorgehensweisen in einer Situation, für die mindestens eine dieser Vorgehensweisen weder vorgesehen noch eingeübt ist. Der Methodenanwender hat vor der Anlagenbegehung geklärt, welche wissenschaftlichen Vorgehensweisen beim betrachteten Ereignisablauf Problemlösungen im Sinne dieser Begriffsbestimmung sind.

Die qualitative Einschätzung der Erfolgsaussichten des Problemlösens dient als Grundlage für die quantitative Bewertung. Zur Vorbereitung der qualitativen Einschätzung untersucht der Methodenanwender die Aspekte 'Stress,, 'Systematik des Problemlösens' und 'Güte der Informationen für das Problemlösen':

- Das Ausmaß an Stress ist einzuschätzen. Wichtige Ursachen erhöhten oder hohen Stresses sind Zeitdruck, Aufgabenvielfalt, eingeschränkte Vorhersagbarkeit des Anlagenverhaltens, ungenaue Informationen über den Anlagenzustand sowie erwartete und reale Konsequenzen fehlerhaften Handelns. Leistung und Zuverlässigkeit sind am höchsten, wenn das Ausmaß an Stress in einem optimalen Bereich liegt, also keine extremen Ausprägungen annimmt.
- Die Systematik des Problemlösens ist zu werten. Folgende Merkmale zeichnen ein systematisches Vorgehen aus (siehe dazu 4.3.2 und 4.3.3. sowie /SCH 06/):
 - Die Problemlöser setzen und verfolgen ein klares Ziel, das sie während des Problemlöseprozesses nicht aus den Augen verlieren. Das Ziel des Personals entspricht demjenigen, das nach den Ergebnissen der System- und Ereignisablaufanalysen erreicht werden muss. Das Personal präzisiert oder ändert sein Ziel, wenn der Erkenntnisstand zum Beispiel zu den Ursachen des Problems dies erfordert. Während der Problemlösung überwacht das Personal den Anlagenzustand und prüft, ob er eine Änderung des Ziels erfordert. Bei mehreren Zielen setzt das Personal Prioritäten entsprechend der objektiv gegebenen Dringlichkeit und Wichtigkeit der einzelnen Ziele. Ziele werden in Teilziele zerlegt, wenn es kein Vorgehen gibt, das die gegebene Situation direkt in den Zielzustand überführt. Die Teilziele erfassen lückenlos die Etappen, die zur Erreichung des Ziels durchlaufen werden müssen. Teilziele führen zur Zerlegung des Gesamtproblems in Teilprobleme, die alle systematisch bearbeitet werden. Teilziele können ihrerseits in weitere Teilziele zerlegt werden usw. Die Liste unterscheidet aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht zwischen Problemen und Teilproblemen bzw. Zielen und Teilzielen und deren weiterer Zergliede-

rung. Die Merkmale der vorliegenden Liste sind auf alle Teilprobleme anzuwenden, die das Personal im Zuge der Problemlösung aufstellt.

Ein unsystematisches Vorgehen besteht dagegen darin, keine, zu allgemeine oder ungenaue Ziele zu setzen, Ziele ohne sachlich triftigen Grund zu wechseln, an Zielen festzuhalten, die geändert werden müssen, oder Ziele zu verfolgen, die eng formuliert sind und dadurch allenfalls zu Teillösungen des Problems führen. Bei mehreren Zielen unterbleiben klare Prioritätensetzungen. Eventuell definierte Prioritäten orientieren sich nicht an der objektiv gegebenen Dringlichkeit und Wichtigkeit der Ziele. Das hat die Folge, Ziele zu hoch oder zu niedrig bewerten.

- Das Personal sucht und findet die genauen Ursachen dafür, dass das Ziel auf dem üblichen Weg unerreichbar ist. Bei der Suche werden alternative mögliche Ursachen in Betracht gezogen und auf Stichhaltigkeit geprüft. Zum Beispiel: Geht die ausbleibende Förderleistung auf einen Defekt der Pumpe zurück oder auf einen vorrangigen Befehl der Automatik, die den Start auslegungsgemäß verhindert? Liegen keine offensichtlichen Ursachen vor, geschieht die Ursachensuche durch systematische Eingrenzung möglicher Ursachen. Die Suche ist erschöpfend, Ursachenketten werden bis an ihren Ausgangspunkt zurückverfolgt. Bei Ursachenbündeln werden Wechselwirkungen einbezogen.

Qualität und Erfolg des Problemlösens stehen zum Beispiel infrage, wenn mögliche Ursachen, Ursachenbereiche oder Alternativen zu gefundenen Ursachen und/oder Wechselwirkungen zwischen Ursachen ungeprüft verworfen werden („Es doch gar nicht sein, dass ...“), wenn die Suche vorzeitig und nicht bei der Ersturache endet, wenn scheinbar offensichtliche Ursachen nicht überprüft werden und/oder wenn ein planvolles Vorgehen zur Eingrenzung und Bestimmung der Ursachen fehlt.

- Im Zuge des Problemlösungsprozesses werden zutreffende Lösungsprinzipien formuliert und dem Stand der Ursachenerkenntnis entsprechend verfeinert (oder revidiert). In 4.3.2 wurde der Fachbegriff des Funktionalwertes benutzt, um diese Lösungsprinzipien zu bezeichnen. Aus Gründen der Einfachheit wird in der vorliegenden Analyse-methode auf diesen Fachausdruck verzichtet. Lösungsprinzipien nehmen in genereller Form das tatsächliche Vorgehen zur Lösung des Problems vorweg. Sie bringen zum Ausdruck, was die Lösung ausmacht. Dies unterstützt die Suche nach den konkreten und richtigen Vorge-

hensweisen und Mitteln wirksam. Man weiß, wonach man zu suchen hat und was eine Lösung auszeichnet.

Dagegen beeinträchtigen oder verhindern vage, unzutreffende oder fehlende Lösungsprinzipien die Suche nach adäquaten Lösungen.

- Die Problemlöser prüfen die gefundene(n) Vorgehensweise(n) zur Zielerreichung auf ihre sicherheitstechnische Zulässigkeit, Ausführbarkeit, Wirksamkeit und Nebeneffekte in der gegebenen Situation. Ausführbarkeit ist zum Beispiel aufgrund der verfügbaren Zeit für die Ausführung, der Zugänglichkeit der Ausführungsorte und der Arbeitsbedingungen an diesen Orten zu entscheiden. Werden Anwendungsbedingungen gelockert oder Nebeneffekte in Kauf genommen, erfolgt dies nach sorgfältiger Prüfung des Für und Wider Erfüllen gefundene Vorgehensweisen diese Anforderungen an Anwendbarkeit, Ausführbarkeit, Wirkung und Nebeneffekte nicht, verzichten die Problemlöser auf die Umsetzung. Entscheiden sie sich für die Umsetzung, antizipieren sie mögliche Hindernisse und Fehler bei der Ausführung und legen geeignete Vorkehrungen fest.

In einem unsystematischen Problemlösungsprozess wird eine gefundene Vorgehensweise umgesetzt, ohne zu prüfen, ob sie die Anforderungen an Zulässigkeit, Ausführbarkeit und Wirksamkeit wirklich erfüllen.

Im Problemlösungsprozess benötigt das Personal Informationen über

- den Zustand der Anlage, Systeme und Komponenten,
- den Aufbau der Systeme und Komponenten,
- ihre system- und verfahrenstechnischen Zusammenhänge,
- Prozeduren und andere Beschreibungen von Vorgehensweisen, mit denen sich System- und Komponentenzustände ändern lassen, und
- Lage, Aufbau und Aufteilung von Gebäuden, Gebäudebereichen, Räumen etc.

Die Unterstützung des Problemlösungsprozesses durch die vorhandenen Informationen ist der dritte Schritt der qualitativen Beurteilung.

- Der Methodenanwender hat die Güte der Informationen zu beurteilen. Zu betrachten sind Informationen auf den Benutzungsoberflächen und solche in Unterlagen. Dabei steht 'Benutzungsoberfläche' für alle Teile der Anlage innerhalb und außerhalb der Warte, an denen das Personal Kontrollen und/oder Eingriffe vorzunehmen hat. Zu den Kontrollen gehört nicht nur das Ablesen von Informationseinrichtungen, sondern auch Sichtprüfungen zum Beispiel auf Leckagen an Komponenten vor Ort. Gesichtspunkte für die Einschätzung sind
 - für Informationen auf Benutzungsoberflächen: Eindeutigkeit, Zuverlässigkeit, Genauigkeit, Übersichtlichkeit und Zugänglichkeit.
 - für Unterlagen: inhaltliche Korrektheit, Vollständigkeit und Klarheit, Übersichtlichkeit sowie Orientierungshilfen, mit denen der Nutzer zuverlässig erforderliche Informationen findet.
 - Vollständigkeit, Genauigkeit und ergonomisches Design der Informationen sind zu werten. Der Anwender der Methode untersucht, inwieweit es dem Personal gelingt, das Problem trotz unvollständiger, unpräziser und/oder ergonomisch suboptimal gestalteter Informationen zu lösen. Zu berücksichtigen sind Zeitverluste durch die Suche nach benötigten Informationen, Rückgriff auf zusätzliche Informationsquellen wie zum Beispiel erfahrene Kollegen, die aus ihrer Freizeit auf die Anlage geholt werden, und/oder Abschätzungen zur Ausprägung von Prozessgrößen, für die keine genaue Information auf der Benutzungsoberfläche vorliegt, etc. Liegen solche Bedingungen vor, hat der Anwender zu beurteilen, ob der Problemlösungsprozess trotzdem systematisch weiterläuft.

Der Methodenanwender verknüpft die gewonnenen Erkenntnisse zu einer Gesamtbeurteilung der Erfolgsaussichten. Tab. 6-2 zeigt, wie die zusammenfassende Wertung vorzunehmen ist.

Tab. 6-2 Stufen der zusammenfassenden qualitativen Wertung der Analyseergebnisse

Ergebnis der Analyse	Erfolgsaussichten
Mindestens eine der drei folgenden Aussagen trifft zu: <ul style="list-style-type: none"> • Fachwissen unzureichend • Erforderliche Informationen (auf Benutzungsoberflächen und in Unterlagen) nicht verfügbar oder nicht in der erforderlichen Qualität verfügbar • Problemlösungsprozess (wegen Stress oder mangelnder Systematik) nicht oder kaum in geordneter Form durchführbar 	keine
Alle vier Aussagen treffen zu: <ul style="list-style-type: none"> • Fachwissen ausreichend • Erforderliche Informationen (auf Benutzungsoberflächen und in Unterlagen) teilweise nicht verfügbar, • Anlagenbegehung zeigt, dass Informationsdefizite behoben werden, • Problemlösungsprozess systematisch durchführbar 	mäßig
Alle drei Aussagen treffen zu: <ul style="list-style-type: none"> • Fachwissen ausreichend • Erforderliche Informationen (auf Benutzungsoberflächen und in Unterlagen) verfügbar • Problemlösungsprozess systematisch durchführbar 	gut

Der Methodenanwender bestimmt oder schätzt darüber hinaus, wie viel Zeit die Problemlöser benötigen, bis sie herausgefunden haben, welche wissensbasierten Eingriffe der betrachtete Ereignisablauf erfordert, und die Ausführung geplant haben.

Zur Problemlösungszeit ist der Zeitbedarf für die Planung des Vorgehens hinzuzurechnen. Dazu gehört es, festzulegen, welche Freischaltungen ein Eingriff erfordert, welche Werkzeuge einzusetzen sind usw.

6.3 Quantitative Bewertung wissensbasierten Handelns

Zur quantitativen Bewertung wissensbasierten Handelns benötigt man Schätzwerte und Unsicherheitsbänder bzw. Fehlerfaktoren. Die Methode unterscheidet die Bewertung des Problemlösens und die Bewertung der Handlungsausführung. Der Methoden-anwender hat die Resultate beider Bewertungen zu einem Gesamtergebnis zu verknüpfen.

Wie in Abschnitt 6.2 dient 'wissensbasiertes Handeln, als Oberbegriff, welcher 'Problemlösen (Problemlösung)' und 'wissensbasierte Handlungen, als Unterbegriffe umfasst. Letztere stehen für die beiden Prozess, erforderliche wissensbasierte Handlungen (1) zu erkennen und (2) auszuführen (siehe Abb. 6-1).

6.3.1 Zuverlässigkeit des Problemlösens

Die Methode stellt Schätzwerte für die Wahrscheinlichkeit erfolgreichen Problemlösens bereit. Diese Schätzwerte sind in Abhängigkeit von den Aussichten auf eine erfolgreiche Problemlösung zu wählen (vgl. Tab. 6-2). Bei mäßigen und guten Aussichten muss der Anwender die Länge der Zeitspanne einbeziehen, die das Personal für die Problemlösung hat. Diese Zeitspanne beginnt mit dem Eintritt des Anlagenzustandes, der ein wissensbasiertes Handeln erfordert. Ein Fehlerfaktor ist nur für die Schätzwerte bei guten Erfolgsaussichten definiert. präsentiert die Schätzwerte und die Fehlerfaktoren. Bei guten Erfolgsaussichten besteht ein Zusammenhang zwischen Zeit und Zuverlässigkeit, der übersichtlich am besten durch eine Abbildung veranschaulicht werden kann (vgl. Abb. 6-1). Im Anschluss an diese Abbildung sind die Überlegungen dokumentiert, die zu diesen Festlegungen geführt haben.

Tab. 6-3 Quantitative Bewertung der Zuverlässigkeit des Problemlösen in Abhängigkeit von den Erfolgsaussichten

Qualitative Einschätzung der Erfolgsaussichten	Schätzwert für die Fehlerwahrscheinlichkeit
keine	$P = 1$
mäßig	$T \leq 20 \text{ min: } P = 1$ $T > 20 \text{ min: } P = 0,5$
gut	je nach Zeit ab Eintritt des Anlagenzustandes, der wissensbasiertes Handeln erfordert (mit Verlauf zwischen den folgenden Stützstellen entsprechend /SWA 83/, S. 12-13) $T \leq 20 \text{ min: } P = 1$ $T = 30 \text{ min: } P = 0,1$ $T = 60 \text{ min: } P = 0,01$ $T = 1 \text{ Tag und länger: } P = 0,003$ Fehlerfaktor für alle $P < ! 10$

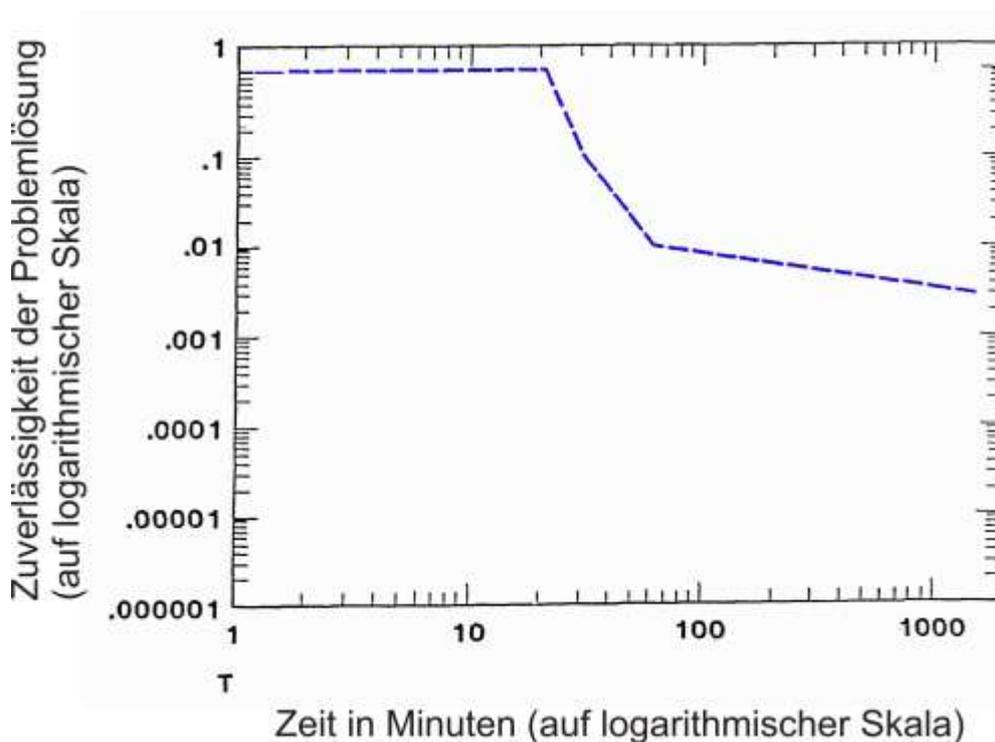


Abb. 6-1 Zuverlässigkeit des Problemlösens unter guten Erfolgsaussichten in Abhängigkeit von der Zeit

6.3.1.1 Schätzwerte und Unsicherheitsband für die Zuverlässigkeit des Problemlösens bei guten Erfolgsaussichten

Die Schätzwerte für ein Problemlösen unter guten Erfolgsaussichten entsprechen den Werten, die Swain für eine konservative Bewertung der Zuverlässigkeit vorsieht, dass das Personal ein Ereignis unter ungünstigen Rahmenbedingungen richtig und rechtzeitig diagnostiziert. Das Ereignis kann eine Störung, ein Störfall oder ein Notfall sein. Die Schätzwerte für erfolgreiches Problemlösen entsprechen somit der obersten der drei Kurven im Diagramm auf S. 12-13 in Swains Handbuch /SWA 83/. Sie wird im Folgenden kurz als die „oberste Kurve“ bezeichnet.

Swain sieht keine Anwendung dieser Kurve auf das Problemlösen vor. Die folgenden Überlegungen zeigen, weshalb der Anwendungsbereich der obersten Kurve auf das Problemlösen erweitert werden darf.

- Diagnostizieren bedeutet nach Swain, die wahrscheinlichste Ursache eines Ereignisses zu bestimmen, aus der man erkennen kann, welche Systeme oder Komponenten eine Zustandsänderung erfahren müssen, um das Ereignis zu beherrschen oder zumindest seine nachteiligen Folgen zu mildern (siehe /SWA 83/, S. 12-6, 12-8 und 12-10). Die Bestimmung der Ursachen und des zielführenden Vorgehens hängen somit eng zusammen. Swain berücksichtigt aber nur Änderungen von System- und Komponentenzuständen, wenn es für diese Änderungen Anweisungen in den Prozeduren gibt, die zur Bewältigung des betrachteten Ereignisses vorgesehen sind (vgl. /SWA 83/ S. 12-8). Dieses Kriterium erfüllt wissensbasiertes Handeln nicht.
- Es gibt verschiedene Fälle für die Anwendung der obersten Kurve zur Schätzung der Zuverlässigkeit einer Diagnose. Diese Kurve ist unter anderem dann zu nutzen, wenn die Bewältigung des Ereignisablaufs zwar durch eine Prozedur geregelt ist, ein Training der Ereignisbewältigung mit dieser Prozedur aber fehlt (siehe /SWA 83/, S. 12-23). Fehlendes Training für den betrachteten Ereignisablauf ist eines der beiden Merkmale wissensbasierten Handelns. Das zweite Merkmal besteht darin, dass wissensbasierte Handlungen keiner derjenigen Prozedur oder Routine-tätigkeiten angehören, die für den betrachteten Ereignisablauf vorgesehen und ein-trainiert, dem Personal aber aus anderen Aufgaben vertraut sind.
- Problemlösen dient wie die Diagnose dazu, ein zielführendes Vorgehen zu finden. Der Unterschied besteht darin, dass erfolgreiche Diagnosen nach Swain den

Schritt einschließen, diejenige(n) Prozedur(en) zu finden, die für das Ereignis vorgesehen sind. Die Nutzung der Daten aus Swain erfordert daher eine Begründung dafür, dass Diagnosen und Problemlösen gleichartig sind, wenn die folgenden, beiden Bedingungen gelten:

- Man betrachtet nur Diagnosen bei Ereignissen, für die eine bestimmte Prozedur zwar vorgesehen, aber nicht trainiert ist.
- Das Personal löst das Problem, indem es Prozeduren, routinierte Vorgehensweisen oder Teile daraus nutzt, die es für andere Situationen gelernt hat, deren Anwendung im betrachteten Ereignisablauf aber weder vorgesehen noch eintrainiert ist.

Die vorliegende Untersuchung geht davon aus, dass unter sonst gleichen Bedingungen die Erinnerung an eine vorhandene, für den betrachteten Ereignisablauf aber nicht trainierte Prozedur gleiche Anforderungen stellt wie die Einsicht in die Notwendigkeit, Zulässigkeit und Ausführbarkeit wissensbasierter Handlungen, die zu gut bekannten und trainierten Prozeduren oder ebensolchen Routineaufgaben für andere Situationen gehören. Diese Einschätzung beruht auf folgenden Überlegungen:

- In beiden Fällen fehlt ein Training der Prozeduren bzw. Handlungsrouninen. Dies folgt aus der Bedingung für die Anwendung der obersten Kurve bei Swain bzw. aus den Merkmalen, die wissensbasiertes Handeln auszeichnen.
 - Der vorliegende Gliederungspunkt setzt voraus, dass das Personal gute Erfolgsaussichten hat, das Problem zu lösen. Somit verfügt das Personal über die Informationen, die es dabei unterstützen, erforderliche Vorgehensweisen zu finden. Zudem wirken keine Faktoren, die Wissensnutzung, Denken und Problemlösen beeinträchtigen (Abschnitt 4.3). Damit entfallen wesentliche Schwierigkeiten, auf Prozeduren und Kenntnisse zu Handlungsabläufen zurückzugreifen, die für andere Situationen als den betrachteten Ereignisablauf vorgegeben und eingeübt sind.
- Problemlösen erfordert eher mehr Zeit als das Erinnern vorgegebener und eintrainierter Handlungen. Es fehlen Untersuchungen zum Zeitbedarf des Personals bei Ereignisabläufen mit sicherheitstechnisch erforderlichen, wissensbasierten Handlungen. Die Übertragung Swain'scher Daten auf das Problemlösen hat den eher höheren Bedarf an Zeit bei Problemlösungsprozessen Rechnung zu tragen. Dies

geschieht durch die Wahl der obersten Kurve für eine konservative Bewertung (s. /SWA 83/, S. 12-13). Sie ordnet der korrekten Diagnose im Allgemeinen eine deutlich geringere Zuverlässigkeit zu als die weniger konservative Nominalbewertung, für die Swain ebenfalls Daten bereitgestellt hat (vgl. /SWA 83/, S. 12-20). Beide Bewertungsansätze sehen gleiche Werte nur für Diagnosen innerhalb kurzer Zeitspannen bis zu zehn Minuten ab Ereignisbeginn vor. Betrachtet man einen beliebigen Schätzwert für die Zuverlässigkeit, so wird dieser Wert im konservativen Bewertungsansatz jenseits der Zeitschwelle von zehn Minuten stets deutlich später erreicht als im nominalen Bewertungsansatz. Daten für die konservative Bewertung erfassen daher besser als die Daten der nominalen Bewertung die Zuverlässigkeit bei einer Aufgabe wie dem Problemlösen, deren Erfüllung eher mehr Zeit beansprucht als eine Diagnose. Das vorliegende Projekt hat daher auf die oberste Kurve des konservativen Ansatzes für die Zuverlässigkeitsbewertung diagnostischer Aufgaben zurückgegriffen und diese auf das Problemlösen bei guten Erfolgsaussichten übertragen.

Problemlösen ist in einer Situation gefordert, in der das Personal nicht nach vorgeplanten und trainierten Prozeduren bzw. Routinen vorgehen kann. Als Fehlerfaktor war daher der Wert zehn zu wählen (siehe /SWA 83/, S. 7-13, Tabelle 7-2 (8)).

6.3.1.2 Schätzwert für die Zuverlässigkeit des Problemlösens bei mäßigen Erfolgsaussichten

Der Schätzwert für zuverlässiges Problemlösen bei mäßigen Erfolgsaussichten beträgt 0,5, sofern für das Problemlösen mehr als zwanzig Minuten Zeit zur Verfügung stehen. Bei kleineren Zeitspannen sieht die Methode vor, dass das Problemlösen scheitert. Auf diese Weise entstehen keine Inkonsistenzen mit der Zuverlässigkeit des Problemlösens unter guten Erfolgsaussichten, das der Methode zufolge ebenfalls misslingt, wenn in weniger als zwanzig Minuten Zeit zu erkennen wäre, welche wissensbasierten Handlungen die Situation erfordert.

Als Grundlage des Schätzwertes $P = 0,5$ dienen Ergebnisse aus Laborexperimenten (siehe Kapitel vier des vorliegenden Berichts).

6.3.1.3 Scheitern des Problemlösens

Problemlösen scheitert der vorgelegten Methode zufolge, wenn ungünstige, ergonomisch-psychologische Rahmenbedingungen vorliegen. Die Methodenentwicklung hat dabei vereinfachend prinzipiell vorhandene, aber geringe Erfolgsaussichten vernachlässigt:

- Effektives Problemlösen kann auch in lebensbedrohlichen Situationen stattfinden (vgl. /REA 94/, S. 97). Bis zum Vorliegen genauerer Erkenntnisse geht die Bewertung aber davon aus, dass Menschen Probleme nur dann erfolgreich lösen, wenn Stress und Beanspruchung zumindest keine extremen Ausprägungen annehmen.
- Erforderliches Wissen kann auch unter ergonomisch ungünstigen Bedingungen erfolgreich genutzt werden, um ein Problem zu lösen. Laborexperimente zeigen, dass Problemlöser auch dann Erfolg haben können, wenn sie erforderliches Wissen zunächst nicht parat haben (siehe Kapitel vier). Die Erfolgswahrscheinlichkeit ist allerdings gering. Die Bewertungsmethode unterstellt in solchen Fällen pessimistisch einen völligen Misserfolg.
- Der Handelnde kann Vereinfachungen seines Denkens, Urteilens und Entscheidens überwinden (siehe Kapitel vier). Diese Möglichkeit wird pessimistisch vernachlässigt. Vereinfachungen des Denkens, Urteilens und Entscheidens werden nur dann berücksichtigt, wenn sie zu sicherheitstechnisch unzulässigen Eingriffen führen /FAS 03/. Aus diesen Eingriffen können sich Anlagenzustände ergeben, für die es wissensbasierte Möglichkeiten der Bewältigung oder Milderung ihrer Folgen gibt. Auf letztere ist dann die Methode zur Analyse und Bewertung wissensbasierter Handeln anzuwenden.

Alle diese Annahmen führen dazu, die Zuverlässigkeit des Problemlösens zu unterschätzen und den Fehler einer zu hohen Bewertung des positiven Beitrags wissensbasierter Handeln zu vermeiden.

6.3.2 Zuverlässigkeit der Handlungsausführung

Die Umsetzung einer Problemlösung besteht in der Ausführung von Handlungen, die das Personal aus Betriebs-, Notfall- und Prüfhandbuch, Training, Routineaufgaben und beruflicher Praxis gut kennt. Analyse und Bewertung der Handlungsausführung kann sich daher auf die Methode von Swain /SWA 83/ aus /FAK 05/ stützen.

6.3.3 Zuverlässigkeit wissensbasierten Handelns aus Problemlösen und wissensbasierten Handlungen

Der Anwender schätzt die Zuverlässigkeit des Problemlösens bei guten und mäßigen Erfolgsaussichten auf dieselbe Weise wie die Wahrscheinlichkeit, ein Ereignis korrekt und rechtzeitig zu diagnostizieren (siehe /SWA 83/, Kapitel 12):

- Er bestimmt die Länge der Zeitspanne, die dem Personal zur Verfügung steht, um erforderliche wissensbasierte Handlungen in einem Prozess des Problemlösens zu erkennen und diese Handlungen dann auszuführen. Diese Zeitspanne beginnt mit dem Eintritt des Anlagenzustands, der die betrachteten wissensbasierten Handlungen erfordert. Das Ende dieser Zeitspanne ist durch den Zeitpunkt bestimmt, zu dem das Ziel der wissensbasierten Handlungen spätestens erreicht sein muss, um eine irreversible Weiterentwicklung des Ereignisablaufs zu verhindern. Ziele können sein, die Anlage in einen sicheren Zustand zu überführen, die Anlage diesem Zustand näher zu bringen, eine weitere Verschlechterung des Zustands hinauszuzögern oder nachteilige Folgen für Mensch und Umwelt abzumildern.
- Der Zeitbedarf für die Ausführung erforderlicher Handlungen ist zu bestimmen. Als Grundlage dienen die Beobachtungen aus Anlagenbegehungen und/oder Übungen an einem Simulator.
- Man bildet die Differenz aus der insgesamt verfügbaren Zeitspanne und dem Zeitbedarf für die Handlungsausführung. Daraus ergibt sich die Zeit, die das Personal maximal für das Problemlösen und die Planung der Ausführung aller Handlungen verbrauchen kann, die der wissensbasierte Eingriff erfordert. Zu planen sind zum Beispiel die erforderlichen Freischaltungen. Eine Überschreitung dieses maximalen Zeitbudgets hätte die Folge, das Ziel des wissensbasierten Handelns zu verfehlen.
- Das maximale Zeitbudget für das Problemlösen ist mit den Daten aus Tab. 6-3 quantitativ zu bewerten. Die erforderliche Einschätzung der Erfolgsaussichten liegt als Ergebnis aus der Analyse des erwarteten Handlungsablaufs und der Handlungsausführungsbedingungen vor.

Scheitert das Problemlösen, dann unterbleiben auch die erforderlichen wissensbasierten Handlungen. In allen anderen Fällen hat der Anwender die Zuverlässigkeit des Problemlösens mit der Zuverlässigkeit der Ausführung erforderlicher Handlungen zur Gesamtzuverlässigkeit zu verknüpfen.

6.4 Diskussion der Methode

Die Diskussion konzentriert sich auf das Verhältnis zu anderen Analyse- und Bewertungsmethoden, auf die Rolle des Expertenurteils sowie auf Aspekte des Problemlösens.

- Die Abgrenzung des wissensbasierten- vom regel- und fertigkeitbasierten Handeln entspricht etablierten Kriterien.
- Zur Analyse des Handelns fordert die Methode zum einen, wie in der Zuverlässigkeitsbewertung üblich, den erwarteten Handlungsablauf zu beschreiben, Arten, Ursachen und Folgen denkbarer Fehler zu bestimmen und Möglichkeiten herauszuarbeiten, diese Fehler zu erkennen, zu beheben oder ihre Folgen zumindest abzumildern. Zum anderen umfasst die Methode Schritte, mit denen der Anwender Ablauf und Qualität des Problemlösens beurteilen kann. Sie sind ein wesentliches Ergebnis der Entwicklungsarbeiten des vorliegenden Projektes. Der Methodenanwender untersucht, wie Problemlöser die gegebene Situation, das Ziel und die Möglichkeiten der Zielerreichung analysieren, welche Informationsquellen, Informationen, Kenntnisse und Erfahrungen sie nutzen und wie systematisch sie vorgehen, um in der vorgegebenen Situation einen praktikablen Weg zum Ziel zu finden. Die Methode gibt für diesen Teil der Analyse Aspekte vor, auf die der Anwender zu achten hat. Diese Aspekte sind aus Modellen der menschlichen Kognition und des Problemlösens abgeleitet. Anhand dieser Aspekte kann der Methodenanwender, der sich in diese Modelle eingearbeitet hat, gezielt Informationen sammeln und zu einer Beurteilung der Erfolgsaussichten wissensbasierten Handelns verdichten.
- Das Modell des Problemlösungsprozesses berücksichtigt den Beitrag, den Beanspruchung und Stress zur Zuverlässigkeit einer Problemlösung leisten, nur summarisch. Es bedarf weiterer Methodenentwicklungen, um den Beitrag der Faktoren Stress und Beanspruchung zur Zuverlässigkeit wissensbasierter und sonstiger Handlungen genauer zu erfassen, als es bisher möglich ist.
- Das Modell des Problemlösungsprozesses behandelt das Personal wie einen einzigen Problemlöser. Es vernachlässigt somit Faktoren der Arbeitsteilung, der Kooperation, der Kommunikation und der Führung. Diese Faktoren können sich erheblich auf die Zuverlässigkeit einer Problemlösung während eines Ereignisablaufs auswirken, an dessen Bewältigung zahlreiche Personen und Teams mitwirken. Das vorliegende Projekt hat diese Aspekte zurückgestellt, um zunächst den Pro-

zess des Problemlösens selbst zu klären und in späteren Schritten den Beitrag der Organisation und des Managements auf der Basis eines praktikablen Modells des Problemlösens zu klären.

- Wie Swain trennt die Bewertungsmethode die beiden Phasen der Diagnose bzw. Problemlösens von der Handlungsausführung. Problemlösen kann aber auch systematisches Probieren mit Eingriffen umfassen. Die Bewertungsmethode berücksichtigt keine Fehlermöglichkeiten durch ein probeweises Handeln, das dazu dient, die Art und die Lösung des Problems besser zu erkennen. Erweiterungen der Methodik sollen erfolgen, wenn eine breitere Erprobung der Bewertungsmethode zeigt, dass systematisches Probieren im Zuge der Lösungsfindung eine wichtige Rolle spielt.
- Mit der vorgestellten Methode kann man die Wahrscheinlichkeit abschätzen, dass das Personal die sicherheitstechnisch erforderlichen, wissensbasierten Handlungen unterlässt. Sicherheitstechnisch unzulässige Eingriffe können mit der Methode analysiert und bewertet werden, die im Vorhaben RS1112 entwickelt worden ist. Diese Methode führt unzulässige Eingriffe auf Vereinfachungen des Denkens, Urteilens und Entscheidens zurück, die oft ein schnelles und korrektes Handeln ermöglichen und daher für den Handelnden attraktiv sind. Fehler im Ablauf eines Problemlösungsprozesses könnten das Personal ebenfalls zu der Überzeugung bringen, ein sicherheitstechnisch und damit objektiv unzulässiger Eingriff sei in der gegebenen Situation erforderlich. Diese Fehlermöglichkeit kann durch die Wechselwirkungen zwischen Problemlösen und Vereinfachungen erklärt werden. Erfahrungen aus der Anwendung der Methoden müssen zeigen, ob darüber hinaus weitere Fehler im Problemlösungsprozess mit der Folge sicherheitstechnisch unzulässiger Eingriffe wirksam sein können. Wenn ja, sind die vorliegenden Methoden weiterzuentwickeln.
- Die Bewertungsmethode stützt sich auf Daten, die teils aus Swain entnommen, teils aus Laborexperimenten übertragen worden sind. Swains Ansatz geht von Expertenurteilen aus (/SWA 83/, S. 12-2f.), die Laborexperimente präsentieren technikferne Probleme. Die Datenbasis sollte daher erweitert werden. Eine Möglichkeit dazu bieten die Versuchseinrichtungen in Halden. Es sollten daher Szenarien und Versuchspläne entwickelt werden, um Problemlösungsprozesse durch ein Team von Operateuren systematisch zu untersuchen und für die Schätzung der Zuverlässigkeit erforderlicher, wissensbasierter Handlungen zu nutzen.

- Es ist heute üblich, Bewertungsmethoden der ersten und der zweiten Generation zu unterscheiden (siehe auch Kapitel 4). Swains Ansatz wird der ersten Generation zugeordnet. Verfechter stellen als wesentlichen Fortschritt der Methoden zweiter Generation heraus, dass letztere psychische Abläufe beim Handeln mit ihren Beitrag zur Handlungszuverlässigkeit präziser erfassen als ihre Vorgänger. Man kann daraus die Kritik ableiten, die vorliegende Untersuchung habe einen veralteten Ansatzpunkt gewählt. Darauf ist zu erwidern:
 - Ein wesentliches Arbeitsergebnis besteht in Modellen der Kognition und des Problemlösens, die weit über den Swain'schen Ansatz hinausgehen und psychische Prozesse erfassen, die dem wissensbasierten Handeln zugrunde liegen. Dies entspricht der 'Philosophie', die für Methoden der zweiten Generation bestimmend ist.
 - Misst man den Entwicklungsstand der Methoden zweiter Generation am Inhalt öffentlich zugänglicher Publikationen, muss man feststellen, dass die Modelle der psychischen Prozesse oft nur wenig detailliert ausgearbeitet worden sind. Der Methodenanwender muss das fehlende Detail mit seinem Fachwissen ergänzen. Das Expertenurteil spielt bei diesen Methoden also eine Schlüsselrolle. Es kann zu erheblichen Diskrepanzen zwischen den Bewertungen des gleichen Sachverhalts führen. Dies belegen die Ergebnisse eines Methodenvergleichs, den das Halden Reactor Project organisiert hat. Dabei haben Kenner verschiedener Methoden unabhängig voneinander Bewertungen vorgenommen, wie zuverlässig Operateure bestimmte Störfälle beherrschen /BYE 09/. Insgesamt wurden vierzehn Teams von Operateuren am Simulator beobachtet. Alle Expertenteams hatten alle Szenarien zu beurteilen. Die Ergebnisse belegen auch nach Bereinigung um „Ausreißer“ erhebliche Unterschiede zwischen den Einschätzungen.

Expertenurteile werden immer unterschiedlich ausfallen, weil jeder Experte neben etablierten Fachkenntnissen auch seine persönlichen Sichtweisen einbringt, wie Fachwissen zu interpretieren und auf spezifische Sachverhalte anzuwenden ist. Deshalb umfasst die vorgestellte Methode eine detaillierte Anleitung, auf welche Aspekte der Anwender zu achten und wie er sie zu verarbeiten hat.

- Derzeit ist ein Vergleich quantitativer Bewertungsergebnisse zwischen den Methoden der zweiten Generation und der Methode der vorliegenden Untersu-

chung nicht möglich. Dazu fehlt ein Referenzfall, auf den alle diese Methoden anzuwenden wären.

Als Ergebnis der Entwicklungsarbeiten liegt eine Methode für die Analyse und Bewertung wissensbasierten Handelns in einer PSA vor.

7 Erprobung der Methode

Die umfassende und detaillierte Erprobung der vorgestellten Methode erfordert eine probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA) in Zusammenarbeit mit einer realen Referenzanlage. In einer PSA besteht idealerweise Zugang zu allen Informationen, die der Methodenanwender benötigt. Zudem zeigt die konkrete Anwendung, welche Stärken und Schwächen die Methode in praxi hat. Weiterhin weist die Höhe des Beitrags zum Gesamtergebnis der PSA aus, wie bedeutsam wissensbasiertes Handeln für die Sicherheit ist.

Eine vollständige Erprobung der weiterentwickelten Methodik zur Quantifizierung wissensbasierte Handlungen im Rahmen einer PSA für eine Referenzanlage war im Rahmen des Vorhabens RS1180 nicht möglich. Die Methode wurde deshalb auf drei ausgewählte Fälle aus der Betriebserfahrung deutscher Kernkraftwerke angewendet. Dabei handelt es sich um meldepflichtige Ereignisse, die vertieft analysiert worden sind..

Anzumerken ist dass es mangels ausreichender Informationen in keinem der Fälle möglich war, Erfolg bzw. Misserfolg des Problemlösens quantitativ belastbar zu bewerten. Schwerpunkt der Erprobung ist daher die Anwendung der Teile der Methode, mit denen Ablauf und Qualität des Problemlösens eingeschätzt werden können. Diese Analysen bilden den Schlüssel für die quantitative Bewertung. Sie führen für die drei Fallbeispiele zu gleichartigen Ergebnissen, die zusammenfassend im Anschluss an die Darstellung aller Beispiele dargestellt und diskutiert werden.

Um das Vorgehen bei der quantitativen Bewertung zu demonstrieren, wurden in einem Beispiel mit Annahmen über die maximal verfügbare Zeit für das problemlösen ein Wert für die Zuverlässigkeit des Problemlösens ermittelt. Es muss ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass mit diesem Beispiel nur die Funktionsweise der Methode demonstriert werden kann. Mangels präziser Informationen zu den Rahmenbedingungen des Problemlösens ist es nicht möglich, diesen Wert als eine belastbare Schätzung abzusehen, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Personal den erforderlichen wissensbasierten Eingriff erkannt hätte.

7.1 **Beispiel 1: Überbrückung des Komponentenschutzes und Nutzung der Stellkraftreserve zum Schließen einer Armatur**

Ereignisablauf

Im betroffenen Kernkraftwerk ist in gewissen Zeitabständen der Druckhalter-Abblasetank von Radiolysegasen freizuspülen. Die Notwendigkeit eines Spülvorgangs hängt vom Ergebnis der regelmäßig durchgeführten Gasanalyse ab. Kurz vor Ereigniseintritt war ein Spülvorgang mit Stickstoff durchzuführen. Die Anlage befand sich zu diesem Zeitpunkt im Volllastbetrieb (100 % Leistung, Primärkreisdruck ca. 150 bar, Primärkreistemperatur ca. 295 °C). Im Zusammenhang mit dem Spülvorgang hatte der Reaktoroperator einige Schalthandlungen (Öffnen/Schließen motorantriebener Armaturen) vom Bedienpult in der Kraftwerkswarte aus durchzuführen.

Bei einer dieser Schalthandlungen öffnete er versehentlich die Absperrarmatur einer Anschlussleitung an den Primärkreis (vgl. Abb. 7-1). Über diese Leitung wird bei abgeschalteter Anlage und drucklosem Reaktor das Leitungsstück zwischen Hauptkühlmittelpumpe und Dampferzeuger entleert. Die Bedienfelder der zu betätigenden Armatur und der fälschlich betätigten Armatur liegen auf dem Schaltpult direkt nebeneinander und damit im Greifraum des Operators. Die beiden Bedienfelder sind identisch aufgebaut (Form, Farben, Funktion). Die Beschriftungen unterscheiden sich nur geringfügig.

Nach dem versehentlichen Öffnen der Absperrarmatur in der Entwässerungsleitung strömte Primärkühlmittel unter hohem Druck zum Entwässerungsbehälter, der kurz darauf barst.

Der Operator bemerkte seinen Bedienfehler sofort. Schutzeinrichtungen der Armatur verhinderten jedoch auslegungsgemäß ein Schließen dieser Armatur. Die automatischen Einrichtungen des Reaktorschutzsystems erkannten den Verlust des Primärkreiskühlmittels und reagierten auslegungsgemäß (Schnellabschaltung des Reaktors, Start von Systemen zur Nachspeisung von Kühlmittel in den Primärkreis usw.). Da die Entwässerungsarmatur jedoch nicht schloss, dauerte der Kühlmittelverlust zunächst an.

In dieser Situation entschlossen sich die Operateure einen Schließversuch am Steuerschrank in der Schaltanlage zu versuchen. Etwa 13 min nach dem Fehlöffnen gelang es einem Elektriker, den Schutzbefehl der Steuerung am Steuerschrank zu umgehen und die Armatur durch direktes Ansteuern mittels eines Simulationsadapters zu schlie-

ßen. Die Leitung war wieder abgesperrt. Eine Weiterentwicklung des Ereignisses zu einem Störfall war erfolgreich verhindert.

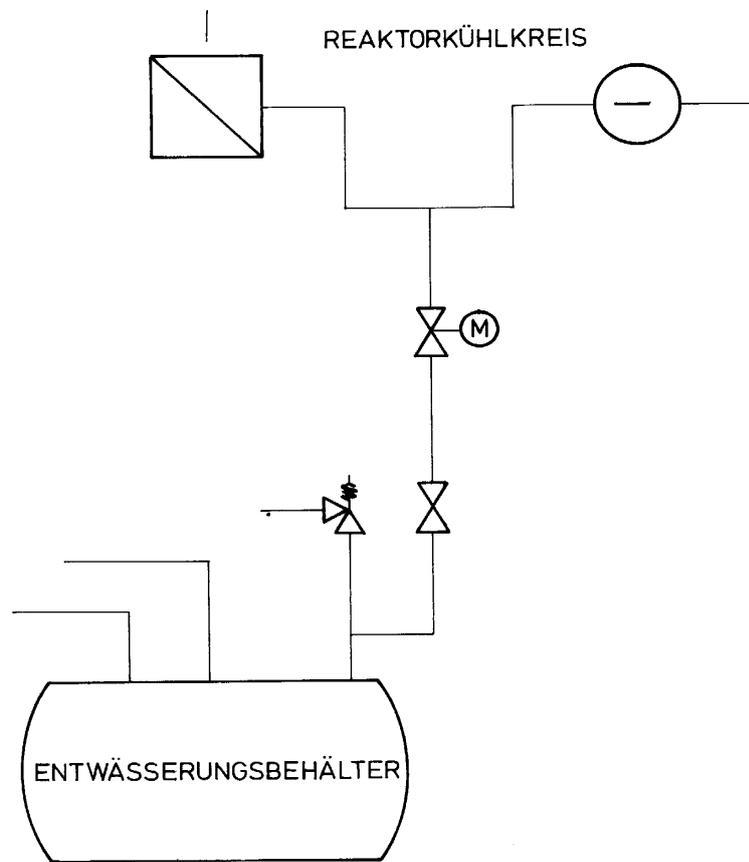


Abb. 7-1 Schematische Darstellung der systemtechnischen Zusammenhänge für Beispiel 1

Wissensbasiertes Handeln

Wissensbasiertes Handeln ist dann gefordert, wenn Prozeduren und Schulungen fehlen, die ein regelbasiertes Vorgehen ermöglichen. Dies war beim beschriebenen Eingriff am Steuerschrank der Fall.

Folgende Wissens Elemente wurden in dieser Situation zu einem neuen, letztlich erfolgreichen Vorgehen verbunden:

- Wissen um den Aufbau der elektronischen Schutzeinrichtungen der Armatur,
- Wissen um den physikalischen Zusammenhang „je höher die Strömungsgeschwindigkeit in der Armatur desto höher die erforderliche Antriebskraft“. Hierdurch wurde die wahrscheinlichste Ursache für das Ansprechen der Schutzeinrichtung identifiziert.
- Wissen um die Auslegungsreserven von Antriebsmotor und Armatur, die deutlich über den Ansprechwerten der Schutzeinrichtung liegen. Hierdurch wurde die Möglichkeit gefunden, die Armatur ggf. noch unter Umgehung des Schutzes zu schließen.
- Wissen um die erforderlichen technischen Eingriffe am Steuerschrank (welcher Schrank, welche Baugruppe, welche Hilfsmittel, welche Stellbefehle sind wo zu simulieren). Ähnliche Eingriffe in die Steuerung einer Armatur werden bei Prüfungen in Revisionsphasen (ca. einmal pro Jahr) durchgeführt.

Trotz hoher Stressbelastung wurde die Maßnahme bereits kurz nach Ereigniseintritt erfolgreich durchgeführt.

Folgende Stressoren lagen vor:

- Eintritt eines Störungsereignisses mit Schäden an der Anlage und der Perspektive, dass sich der Schadensumfang schnell vergrößern kann,
- Verursachung des Störungsereignisses durch Personalfehler.

Wie in der Einleitung zum vorliegenden Kapitel sieben bereits gesagt, werden die Ergebnisse der qualitativen Analyse dieses und der übrigen Beispiele zusammenfassend in Gliederungspunkt 7.4 dargestellt und diskutiert.

7.2 **Beispiel 2: Simulation einer Zuschaltvoraussetzung für die Inbetriebnahme der Entnahmestation des Volumenregelsystems**

Ereignisablauf

Das Ereignis fand in einem Kraftwerksstandort mit zwei benachbarten Kraftwerksblöcken statt. Von diesen befand sich ein Block im Betrieb (100 % Leistung). Der zweite Block war zur Revision abgeschaltet. Die Stromversorgung des zweiten Blocks erfolgte über eine Querverbindung des Eigenbedarfs vom ersten Block aus.

Im Rahmen von Revisionsarbeiten schaltete ein Operateur in der Schaltanlage fälschlicherweise einen Erdungsschalter auf diese Querverbindung (Verwechseln der Schaltergeräte bei durchzuführenden Schalthandlungen). Als Folge dieses Erdschlusses fielen die normalen Stromversorgungsanlagen des ersten Blocks aus (Notstromfall).

Das Reaktorschutzsystem reagierte daraufhin auslegungsgemäß. Die Notstromdieselaggregate starteten und übernahmen die Versorgung des Sicherheitssystems der Anlage, wodurch die Nachwärmeabfuhr aus dem abgeschalteten Reaktor sichergestellt wurde. In dieser Phase des Ereignisses führte das Reaktorschutzsystem alle erforderlichen Schalthandlungen automatisch durch. Die Operateure kontrollierten den Ablauf sowie das Verhalten der Systeme und der sicherheitsrelevanten Prozessgrößen. Hierbei stellte der Reaktoroperateur fest, dass das Volumenregelsystem fehlerhaft arbeitete. Das System kontrolliert die im Primärkreis vorhandene Kühlmittelmenge und soll bei einem derartigen Ereignis Volumenveränderungen ausgleichen, die aufgrund der Veränderungen der Kühlmitteltemperatur auftreten). (vgl. Abb. 7-2).

Über eine der drei Hochdruck(HD-)Förderpumpen wird kontinuierlich Kühlmittel in den Primärkreis eingespeist. Durch die Entnahmeleitung wird über ein Regelventil dem Primärkreis wieder so viel Kühlmittel entzogen, dass der Druckhalterfüllstand dem vorgeschriebenen Sollwert (hier 4,9 m) entspricht.

Der Reaktoroperateur stellte fest, dass der Füllstand im Druckhalter über dem Sollwert lag und weiter anstieg. Es führte die folgenden wissensbasierten Handlungen aus.

Wissensbasiertes Handeln

Fehlersuche und Fehlerbehebung erfolgten daraufhin aufgrund des verfügbaren Fachwissens:

- Eine Kontrolle der Systemkomponenten zeigte, dass eine HD-Förderpumpe in Betrieb war (Anzeige der Fördermenge), die Rückmeldung „Pumpe ist an“ jedoch nicht vorhanden war. Die Entnahmeleitung war abgesperrt, obwohl der Druckhalterfüllstand bereits deutlich über dem Sollwert lag.
- Die Auswertung der Unterlagen zur Arbeitsweise der Steuerungseinrichtungen führte zum Auffinden der Fehlerursache. Bei Eintritt eines Notstromfalls werden die HD-Förderpumpe abgeschaltet und die Entnahmeleitung abgesperrt. Nach Inbetriebnahme der Notstromdiesel läuft die HD-Förderpumpe wieder an. Die Entnahmeleitung kann aber erst wieder geöffnet werden, wenn das Signal „HD-Förderpumpe Ein“ vorliegt. Dieses Signal war ausgefallen.
- Bei einem solchen Ausfall kann das Entnahmeventil auch nicht durch Handbefehl vom Bedienpult in der Warte aus geöffnet werden.
- Um den Anstieg des Druckhalterfüllstandes auf unzulässige Werte zu verhindern, wurde beschlossen, das ausgefallene Signal über einen Simulationsadapter am Leittechnikschrank zu simulieren und die hohe Füllstandsabweichung durch Handbedienung des Entnahmeventils zu korrigieren.

Das in der Ereignissituation entwickelte Vorgehen führte zum Erfolg. Ca. 40 min nach Ereigniseintritt konnte die Entnahmeleitung wieder geöffnet werden, noch ehe der Druckhalterfüllstand auf unzulässige Werte angestiegen war.

Folgende wesentlichen Handlungselemente wurden zu einem neuen Vorgehen zusammengefügt:

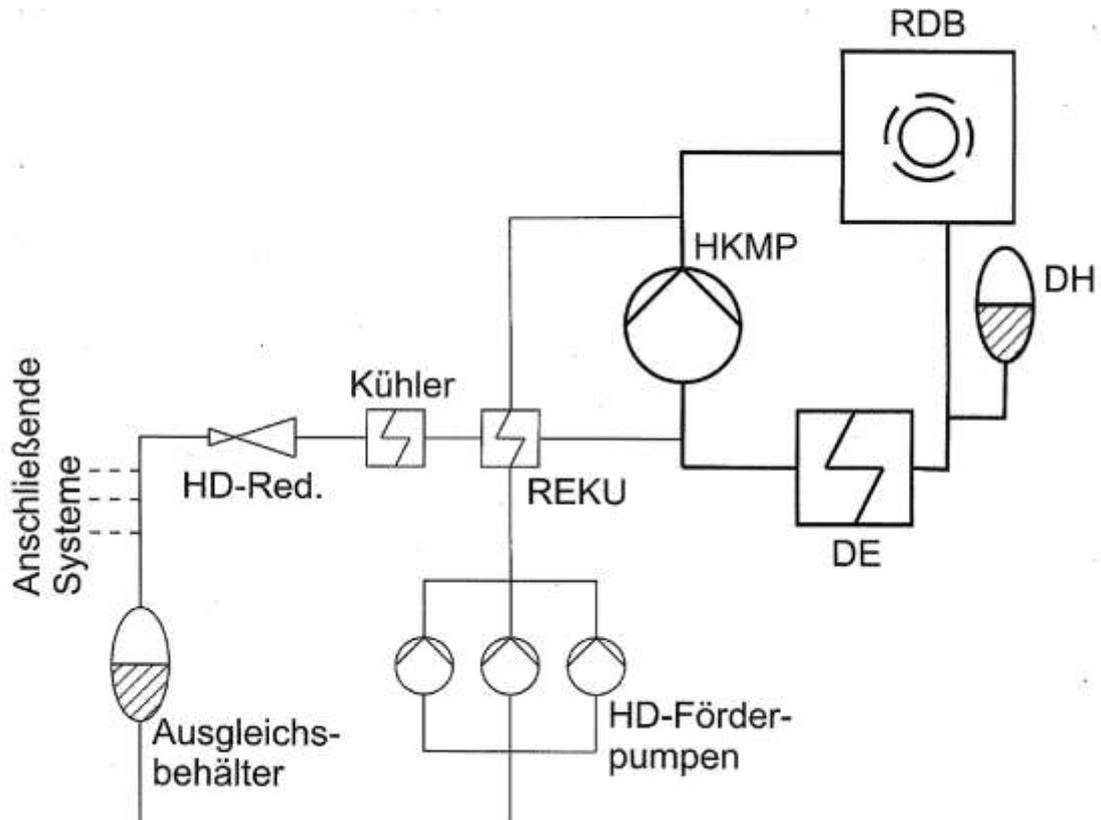
- Trainierte allgemeine Vorgehensweisen zur Fehlersuche, die in diesem Fall dazu geeignet waren, die Fehlerursache und die möglichen Konsequenzen zu erkennen,
- Entscheidung, eine Simulation des ausgefallenen Signals am Steuerschrank zu versuchen. Hierzu ist Fachwissen um Aufbau und zur Funktionsweise der Steuerungseinrichtungen des Volumenregelsystems erforderlich.

- Korrekte Ausführung der Simulationsaufgabe vor Ort. Der ausführende E-Meister nutzt hierbei seine Fachkenntnisse, die er sich im Rahmen anderer Tätigkeiten erworben hat (Prüfungen, Reparaturen, Frei- und Rückschaltungen).
- Handsteuerung der Entnahmeventile vom Bedienpult in der Warte. Die Handsteuerung des Entnahmeregelventils kommt eher selten vor. Erfahrungen zu Füllstandsregelungen von Hand gibt es vor allem aus anderen Systemen.

Das Betriebspersonal löste das Problem trotz einer Reihe von Stressoren. Der Notstromfall führt zur Auslösung einer großen Zahl von Meldungen (Meldeswall). Die emotionale Beanspruchung und die Beanspruchung durch die große Zahl von zu erledigenden Kontrollaufgaben waren in der ersten Phase des Ereignisses noch sehr hoch. Das Ereignis trat während der Nachtschicht ein (04:00 Uhr morgens).

An diesem Beispiel wird die Anwendung der Quantifizierungsmethode demonstriert. Der Sollwert des Druckhalterfüllstands ermöglicht es, die Zeitspanne zu definieren, die für das wissensbasierte Handeln zur Verfügung steht. Der exakte Wert dieser Zeitspanne muss nicht bekannt sein. Man nehme an, der Grenzwert werde zu einem Zeitpunkt $T = (90 + X)$ Minuten erreicht. Es ist plausibel anzunehmen, die Ausführung des Eingriffs dauere einschließlich Zeitbedarf für die Einweisung des Elektrikers in die Aufgabe, den Weg des Elektrikers zum Schaltschrank und Öffnen des Schaltschranks eine halbe Stunde. Somit stünden dem Personal für die Problemlösung unter guten Erfolgsaussichten mindestens sechzig Minuten Zeit zur Verfügung. Mit Tab. 6-3 ergäbe sich als Schätzwert für ein erfolgreiches Problemlösen 0,99 oder höher.

Das Beispiel dient dazu, das prinzipielle Vorgehen zu illustrieren. Es basiert auf Annahmen, die abzusichern wären. Der ermittelte Schätzwert ist daher nicht belastbar.



Legende:

HKMP	Hauptkühlmittelpumpe
RDB	Reaktordruckbehälter
DH	Druckhalter
DE	Dampferzeuger
REKU	Wärmetauscher
HD-Red.	Ventil zur Druckreduzierung

Abb. 7-2 Schematische Darstellung der systemtechnischen Zusammenhänge für Beispiel 2

7.3 Beispiel 3: Fehlfunktion der Zuluft-Anlage des Schaltanlagengebäudes

Ereignishergang

Infolge eines Brandes auf dem Außengelände des betroffenen Kernkraftwerkes kam es zu erheblicher Rauchentwicklung. Die Windverhältnisse zum Ereigniszeitpunkt trieben Rauchschwaden Richtung Schaltanlagengebäude, die von der Zuluft-Anlage des Gebäudes angesaugt wurden. Die Rußpartikel wurden in der Filteranlage des Zuluft-Strangs abgefangen, so dass nur Brandgase (CO, CO₂ usw.) in das Schaltanlagengebäude und damit auch in die Warte gelangen konnten. Sie wurden dort über Geruch wahrgenommen.

Über die Lüftungsanlage wird das Schaltanlagengebäude mit Frischluft versorgt, das Raumklima geregelt und Abwärme elektrischer Einrichtungen abgeführt (vgl. Abb. 7-3). Das System wird üblicherweise im Umluft-Betrieb über die Filteranlage unter Beimischung eines Anteils Frischluft gefahren. Mit der Heizungsanlage und den Kühlern wird das Raumklima innerhalb der Schaltanlagengebäudes geregelt. In der Regel sind zwei der vier Ventilatoren in Betrieb und die Abschlussklappen in der Umluft-Leitung geöffnet. Für den Fall von Einwirkungen von außen (Gasfreisetzung o. ä.) ist vorgesehen, das Gebäude durch Schließen der Lüftungsklappe in Zu- und Abluft-Leitung zu isolieren und das Lüftungssystem im Umluft-Betrieb laufen zu lassen.

Im Zuluft-System sind Brandmelder vor und hinter den Filtern installiert, um Brände innerhalb des Schaltanlagengebäudes (z. B. Brand der Ventilator-Antriebe) zu detektieren. Die Brandmelder vor den Filtern sprachen im betrachteten Ereignis auf die von außen eingetragenen Rauch- und Brandgase an. In der Auslegung des Systems waren Brände außerhalb des Gebäudes und daraus resultierende Brandgaseinträge nicht ausreichend berücksichtigt worden. Das Ansprechen der Brandmelder in der Zuluft-Leitung galt als Kriterium für einen Brand im Gebäude. Das System wurde in der Folge automatisch auf 'Entqualmungs-Betrieb' umgeschaltet. Diese Betriebsart ist für Brände innerhalb des Schaltanlagengebäudes vorgesehen, um Brandgase und Rauch aus dem Gebäude zu entfernen. Sie dient einerseits dem Personenschutz (Erstickungsgefahr) und erleichtert andererseits den Zugang zur Brandstelle zur Brandbekämpfung. Bei einem Brand außerhalb des Gebäudes ist die Betriebsart ungeeignet. In der Folge wurden dadurch noch mehr Rauchgase von außen eingetragen.

Wissensbasiertes Handeln

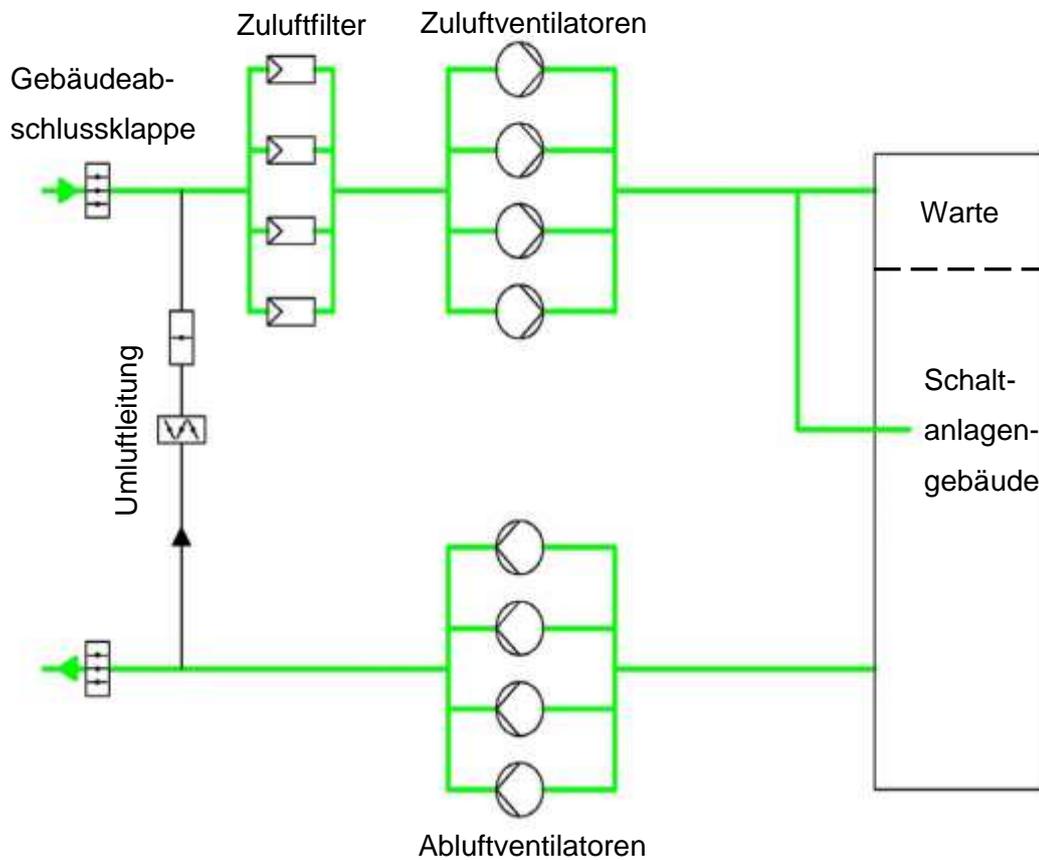
In der Warte sind Detektoren zur Überwachung der CO- und CO₂-Konzentrationen installiert. Diese lösen bei Erreichen von Konzentrationsgrenzwerten zuerst Warnsignale und bei höheren Konzentrationen Alarmsignale auf der Warte aus. Obwohl die CO- und CO₂-Konzentrationen keine Grenzwerte überschritten, beschloss das Personal in der Warte, die Lüftungsanlage auf Umluft-Betrieb zurückzuschalten und damit den Eintrag von Brandgasen zu unterbrechen. Dies war aufgrund des Vorranges der Automatanregung manuell von der Warte aus nicht möglich. Aus diesem Grund waren Eingriffe in die Steuerung der Lüftungsanlage vor Ort im Schaltanlagegebäude erforderlich. Demzufolge wurden die Brandmelder in der Zuluft-Anlage abgeschaltet (Signale blockiert) und die vorrangige Anregung damit zurückgesetzt, um auf Umluft-Betrieb umschalten zu können. Das Vorgehen dazu ist in keiner Anweisung beschrieben und daher als wissensbasiert einzustufen.

Der Elektrotechniker greift hierzu auf folgendes Erfahrungswissen zurück:

- Fachwissen zum leittechnischen Aufbau der automatischen Steuerung der Lüftungsanlage,
- Kenntnisse aus anderen vergleichbaren Steuerungen zu den erforderlichen Eingriffen vor Ort, um Signale zu blockieren.

Auf der Grundlage dieses Wissens wurden situativ folgende Aufgaben erfolgreich bewältigt:

- Diagnose der Ursachen für die nicht gegebene Umschaltmöglichkeit von der Warte,
- Identifikation von Eingriffsarten und Eingriffsorten,
- Durchführung der Maßnahme.



7.4 Diskussion der Ergebnisse

Es ist möglich, die Problemlösungsprozesse mit der Analyse­methode aus Kapitel sechs qualitativ zu beurteilen. Die Diskussion geht nur auf das Problemlösen ein, andere Aspekte wie etwa die Abweichung von Vorschriften bleiben außer Acht.

- Für alle Beispiele gilt, dass das Personal einen systematischen Problemlösungsprozess mit Zielsetzung, Klärung der Problemursache, Lösungssuche und Lösungsimplementierung unternommen hat.
- Die Erfolge gehen darauf zurück, dass die Problemlöser die Problemursache und die Möglichkeit erkannt haben, vorrangige Automaten durch Eingriffe in die Leittechnik zurückzusetzen oder zu umgehen.
- Man kann am Beispiel der 'Simulation einer Zuschaltvoraussetzung für die Inbetriebnahme der Entnahme-Station des Volumenregelsystems, klar die schrittweise

Eingrenzung der Problemursache und die Präzisierung der Ziels der Problemlösung erkennen:

- Die Problemlöser haben zunächst die abgesperrte Entnahme-Leitung als Ursache für den unzulässigen Anstieg des Druckhalter-Füllstands erkannt.
 - Sie haben aus den leittechnischen Unterlagen ersehen, welche Bedingungen vorliegen müssen, damit die Entnahme-Leitung nach Zuschaltung der HD-Förderpumpe wieder geöffnet werden kann.
 - Der Ausfall des Signals 'HD-Förderpumpe ein' wurde richtig als Ursache dafür festgestellt, dass die Entnahme-Leitung automatisch nicht geöffnet hatte und von Hand am Bedienpult in der Warte nicht geöffnet werden konnte.
 - Dieses Problem wurde schließlich durch Eingriff in die Leittechnik gelöst.
- Es fehlen die erforderlichen Informationen zu Zeitbudget und Zeitbedarf der Problemlösung. Eine belastbare quantitative Bewertung war deshalb nicht möglich. Die Bewertungsmethode erfordert, dass der Anwender den Zeitpunkt kennt, bis zu dem das Ereignis beherrscht sein muss, damit eine irreversible Verschlechterung des Anlagenzustandes verhindert wird (Zeitbudget). Es muss ferner bekannt sein, wie viel Zeit die Handlungsausführung in der Warte und/oder vor Ort in Anspruch nimmt (Zeitbedarf). Mit der Differenz aus Zeitbudget und Zeitbedarf kann die Länge des Zeitintervalls bestimmt werden, welches maximal für die Problemlösung vorhanden ist. Mit der Länge dieses Zeitintervalls kann die Zuverlässigkeit des Problemlösens geschätzt werden. Diese Zeitinformationen waren in den Informationen, die den Fallbeschreibungen zugrunde liegen, nicht enthalten. Eine belastbare quantitative Bewertung war daher nicht möglich. An einem Beispiel wurde aber demonstriert, wie man bei der Quantifizierung vorgeht. Der resultierende Schätzwert ist aufgrund der Annahmen, auf denen die Schätzung beruht, nicht belastbar.

Die Untersuchung der Fälle zeigt, dass es die Analysemethode erlaubt, die Systematik und damit die Erfolgsaussichten einer Problemlösung qualitativ zu beurteilen. Grundlage dieser Einschätzung sind die Vorgaben der Analysemethode zur Einschätzung der Erfolgsaussichten wissensbasierten Handelns. Diese konnte zwar nicht auf Beobachtungen des Personals im Zuge einer Anlagenbegehung oder einer Übung angewendet werden. Aus den Fallbeschreibungen ist jedoch zu ersehen, dass das Personal in allen Fällen ein klares Ziel verfolgt und eine systematische Ursachensuche betreibt. Erfolg bzw. Misserfolg des Problemlösens waren davon abhängig, ob das erforderliche Wis-

sen vollständig verfügbar war oder nicht. Da die Erprobung nicht mit einer Anlagenbegehung einer Referenzanlage oder der Teilnahme an einer real durchgeführten Übung verbunden war, konnte die Qualität der Informationen auf Benutzungsoberflächen und in den Unterlagen nicht abschließend beurteilt werden.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der Arbeiten war es, eine Methode zu entwickeln, mit der man wissenschaftliche Eingriffe, die eine probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA) zu berücksichtigen hat, bestimmen, analysieren und bewerten kann. Zuverlässiges wissenschaftliches Handeln hängt wesentlich von kognitiven Prozessen ab. Deshalb war ein Modell der menschlichen Kognition zu entwickeln, das die Prozesse und Faktoren berücksichtigt, die für die Einschätzung der Zuverlässigkeit wissenschaftlichen Handelns wesentlich sind. Auf der Grundlage dieses Modells war die Analysemethode zu entwickeln, die den Anwender durch alle für die Zuverlässigkeitseinschätzung relevanten Aspekte führt und ihn dabei unterstützt, günstige und ungünstige Einflüsse im Detail herauszuarbeiten, Weiterhin waren Daten für die quantitative Bewertung der Zuverlässigkeit wissenschaftlichen Handelns bereitzustellen.

Als Ergebnis der Entwicklungsarbeiten liegt nun eine Methode vor, um die bislang nicht bewertbaren, sicherheitstechnisch erforderlichen, wissenschaftlichen Handlungen in einer PSA zu berücksichtigen. Diese Methode erweitert den Bewertungsansatz von Swain, indem sie Swain'sche Daten nutzt, um die Zuverlässigkeit wissenschaftlichen Handelns bei guten Erfolgsaussichten zu quantifizieren. Die neu entwickelte Methode kann direkt in den PSA-Leitfaden einbezogen werden, der die Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit mit den Untersuchungsverfahren und den Daten des Handbuchs von Swain vorsieht.

Die Methode umfasst drei Teile. Diese dienen dazu, wissenschaftliche Handlungen zu bestimmen, zu analysieren und zu bewerten:

- Zur Bestimmung wissenschaftlicher Handlungen stützt sich die Methode vor allem auf das Kriterium, dass diese Handlungen zwei Bedingungen erfüllen:
 - Sie gehören zu keiner Prozedur und keiner Routineaufgabe, die im betrachteten Ereignisablauf vorgesehen und für die Ausführung in diesem Ereignisablauf auch trainiert sind.
 - Sie sind aber Bestandteil des Fachwissens, das bei anderen Aufgaben auf der Anlage einzusetzen ist und dafür auch trainiert wird.

Dieses Kriterium wird auf die Handlungen angewandt, die nach den Ergebnissen einer Systemanalyse näher zu untersuchen sind.

- Die Analysemethode leitet den Anwender systematisch dabei an, die wesentlichen, ergonomischen und psychologischen Rahmenbedingungen zu ermitteln und zu beurteilen, von denen es abhängt, ob das Personal erkennt, welche die sicherheitstechnischen, wissensbasierten Handlungen der betrachtete Ereignisablauf erfordert. Das Analyseergebnis wird zu einer qualitativen Beurteilung der Erfolgsaussichten verdichtet. Die Beurteilung umfasst die drei Stufen, dass 'gute', 'mäßige' oder 'keine' Erfolgsaussichten bestehen. Als Grundlage dieser Einschätzung dient ein Modell menschlicher Kognition und des Problemlösens, also der Leistungen des Erkennens und der Wissensnutzung, die den Menschen in die Lage versetzen, neuartige und unvertraute Situationen zu meistern.
- Die Bewertung nutzt Daten, die teils aus Swains Handbuch /SWA 83/, teils aus Laborexperimenten der Grundlagenforschung stammen. Bei den Daten aus Swains Handbuch konnte begründet werden, warum sie auch auf wissensbasiertes Handeln anwendbar sind, obwohl Swain dies nicht vorgesehen hat. Dieser Begründung zufolge darf der Datensatz, für die Zuverlässigkeit einer Diagnose auch zur Bewertung wissensbasierten Handelns herangezogen werden, wenn die Erfolgsaussichte gut sind, die erforderlichen, wissensbasierten Handlungen zu finden. Bei mäßigen Erfolgsaussichten darf in der Hälfte aller Fälle damit gerechnet werden, dass das Personal herausfindet, welche sicherheitstechnischen Handlungen der betrachtete Ereignisablauf erfordert. Quelle dieses Schätzwertes waren Ergebnisse aus Laborexperimenten der Grundlagenforschung. In allen anderen Fällen findet das Personal das sicherheitstechnisch notwendige Vorgehen nicht heraus.

Eine erste Erprobung dieser Methode war erfolgreich. Sie unterliegt jedoch der Einschränkung, dass sie auf Fälle aus der Betriebserfahrung beschränkt ist, für die nur ein Teil der Informationen vorliegt, die der Methodenanwender benötigt. Es war aber möglich, mit Hilfe der Analysemethode qualitative Merkmale des Problemlöseprozesses als mögliche Ursache für den Ablauf bzw. die Beendigung der betrachteten meldepflichtigen Ereignisse herauszuarbeiten. Die Erprobung der Methode in einer PSA steht noch aus. Sie ist unabdingbar, weil erst der praktische Einsatz in der Zuverlässigkeitsbewertung Stärken und Schwächen der Methode aufzeigen kann.

Zukünftige Arbeiten zur Weiterentwicklung der Methode sollten sich folgenden Aspekten widmen:

- Das Modell des Problemlösungsprozesses berücksichtigt den Beitrag, welchen Beanspruchung und Stress zur Zuverlässigkeit einer Problemlösung leisten, nur

summarisch. Die Wirkung der Beanspruchung und des Stresses lässt sich mit den derzeit empfohlenen Methoden nur für die Ausführung gut bekannter und eingeübter Handlungen bewerten. Dieser Bewertungsansatz beruht auf einem Modell, das mit den aktuellen fachwissenschaftlichen Erkenntnissen nicht mehr in Einklang steht. Dieser Sachstand erfordert methodische Entwicklungen, um den Beitrag der Faktoren Stress und Beanspruchung zur Zuverlässigkeit wissenschaftlicher und sonstiger Handlungen genauer zu erfassen, als es bisher möglich ist.

- Das Modell des Problemlösungsprozesses behandelt das Personal wie einen einzigen Problemlöser. Es vernachlässigt somit Faktoren der Arbeitsteilung, der Kooperation, der Kommunikation und der Führung. Diese Faktoren können sich erheblich auf die Zuverlässigkeit einer Problemlösung während eines Ereignisablaufs auswirken, an dessen Bewältigung zahlreiche Personen und Teams mitwirken. Das vorliegende Projekt hat diese Aspekte zurückgestellt, um zunächst den Prozess des Problemlösens selbst zu klären und in späteren Schritten den Beitrag der Organisation und des Managements auf der Basis eines praktikablen Modells problemlösender Aktivitäten zu klären.
- Wie Swain trennt die Bewertungsmethode die beiden Phasen der Diagnose bzw. problemlösender Aktivitäten von der Handlungsausführung. Problemlösen kann aber auch systematisches Probieren mit Eingriffen umfassen. Die Bewertungsmethode berücksichtigt keine Fehlermöglichkeiten durch probeweises Handeln, das dazu dient, die Art und die Lösung des Problems besser zu erkennen. Erweiterungen der Methodik sollen erfolgen, wenn eine breitere Erprobung der Bewertungsmethode zeigt, dass systematisches Probieren im Zuge der Lösungsfindung eine wichtige Rolle spielt.
- Die Bewertungsmethode stützt sich auf Daten, die teils aus /SWA 83/ entnommen, teils aus Laborexperimenten übertragen worden sind. Die Datenbasis sollte verbessert werden. Eine Möglichkeit dazu bieten z. B. die Versuchseinrichtungen der OECD in Halden. Es sollten daher Szenarien und Versuchspläne entwickelt werden, um Problemlösungsprozesse durch ein Team von Operateuren systematisch zu untersuchen und für die Schätzung der Zuverlässigkeit erforderlicher, wissenschaftlicher Handlungen zu nutzen.

Erkenntnisse aus diesen Weiterentwicklungen und Untersuchungen können dazu beitragen, die Genauigkeit und Aussagekraft der PSA über den erreichten Stand hinaus zu erhöhen.

9 **Literatur**

- /BER 64/ Bergius, R.
Produktives Denken (Problemlösen) in; Bergius, R. (Hrsg.): Handbuch der Psychologie, Band I, 2. Halbband, Lernen und Denken, Hogrefe, Göttingen, 1964, S. 519-563
- /BRE 98/ Bredenkamp, J.
Lernen, Erinnern, Vergessen, C. H. Beck-Verlag, München, 1998
- /BYE 09/ Bye, A., Massaiu, S., Dang, V.N., Forester J.
The International HRA Empirical Study – Utilizing HAMMLAB Simulator Data to Evaluate HRA Methods, OECD/NEA WGRisk Workshop on Simulator Data for HRA Purposes, Budapest, Hungary, November 4 - 6, 2009
- /CAC 04/ Cacciabue, C. P.
Guide to Applying Human Factors Methods. Human Error and Accident Management in Safety Critical Systems, Springer-Verlag, London, UK, ISBN 1-85233-705-2, 2004
- /COO 96/ Cooper, S. E., et al.
A Technique for Human Error Analysis (ATHEANA), U.S. NRC, Washington, DC, 1996
- /DÖR 87/ Dörner, D.,
Problemlösen als Informationsverarbeitung, 3. Auflage, Stuttgart: Kohlhammer, 1987
- /DUN 26/ Duncker, K.
A Qualitative (Theoretical and Experimental) Study of Productive Thinking (Solving of Comprehensible Problems), Journal of Genetic Psychology, Vol. 33, 1926, S. 642-708
- /DUN 35/ Duncker, K.
Zur Psychologie des Produktiven Denkens, J. Springer, Berlin, 1935

- /EPS 90/ Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IPSN)
EPS 950MWe – Prise en compte du facteur humain, April 1990
- /FAK 05/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für
Kernkraftwerke
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke,
Stand: August 2005, BfS-SCHR-37/05, Wirtschaftsverlag NW / Verlag für
neue Wissenschaft GmbH, Salzgitter ISSN 0937-4469,
ISBN 3-86509-414-7, Oktober 2005
- /FAS 03/ Faßmann, W., W. Preischl
Bewertung von Personalhandlungen unter Unfallbedingungen – Methode
zur Untersuchung und Bewertung schädlicher Eingriffe des Operators,
Technischer Fachbericht, GRS-A-3157, Gesellschaft für Anlagen und Re-
aktorsicherheit (GRS) mbH, Garching, Oktober 2003
- /FOR 07/ Forester, J., et al.
ATHEANA User's Guide, U.S. NRC, Washington (DC), 2007
- /FUN 03/ Funke, J.
Problemlösendes Denken, Kohlhammer, Stuttgart, 2003
- /FUN 06/ Funke, J. (Hrsg.)
Denken und Problemlösen, Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich
C, Serie II, Band 8, Hogrefe, Göttingen, 2006
- /GRS 02/ Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Vorschlag für Anforderungen an probabilistische Sicherheitsanalysen der
Stufe 2, GRS-A-3053, Januar 2002
- /HAC 05/ Hacker, W.:
Allgemeine Arbeitspsychologie, 2. Auflage, Huber, Bern, 2005
- /HOL 98/ Hollnagl, E.
Cognitive Reliability and Error Analysis Method – CREAM, Elsevier Sci-
ence, Oxford, 1998

- /HUS 98/ Hussy, W.
Denken und Problemlösen, Kohlhammer, Stuttgart, 1998
- /KNO 02/ Knoblich, G.
Problemlösen und logisches Schließen, in: Müssler, J, w: Prinz, (Hrsg.):
Allgemeine Psychologie, Spektrum-Akademischer Verlag, München; 2002
- /KNO 06/ Knoblich, G., M. Öllinger
Einsicht und Umstrukturierung beim Problemlösen, in: /FUN 06/, S. 1-85
- /LEB 98/ Le Bot, P. ; et al.
MERMOS: un projet d'EDF pour la mise à jour de la méthodologie EPFH
(Evaluation Probabiliste de la Fiabilité Humaine), Revue Générale
Nucléaire 1998 (1), 1998, S. 87-93,
- /MEI 85/ Meister, D.
Behavioral Analysis and Reasurement Methods, Wiley & Sons, New York,
1985
- /MOS 90/ Mosneron Dupin, F., A. Villemeur, J. M. Moroni
Paluel Nuclear Power Plant PSA: Methodology for Assessing Human
Reliability, 7th International Conference on Reliability and Maintainability,
Brest, Frankreich, 1990
- /NEI 76/ Neisser, U.
Cognition and Reality, Freeman, San Francisco, CA, 1976
- /NEW 83/ Newell, A.
Duncker on Thinking, in: Koch, S., Leary, D. (Hrsg.): A Century of Psychol-
ogy as Science, New York: McGRaw Hill, 1983, 302-419
- /REA 94/ Reason, J.
Managing the Risks of Organizational Accidents, Ashgate, 1994
- /SCH 06/ Schaub, H.
Störungen und Fehler beim Denken und Problemlösen, in: /FUN 06/,
S. 448-482

- /STA 10/ Stanovich, K.E.
Decision, Making and Rationality in the Modern World,
Oxford, Oxford University Press 2010
- /STÄ 03/ Städtler, T.
Lexikon der Psychologie, Kröner, Stuttgart, 2003, Stichwort 'Problemlösen'
- /SWA 83/ Swain, A. D., H. E. Guttman
Handbook on Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power
Plant Applications, Final Report, NUREG/CR-1278, August 1983

10 Verteiler

		Exemplare: gedruckte Form	Exemplare: pdf
BMWi			
Referat III B 4		1 x	
GRS-PT/B			
Internationale Verteilung	(FIZ)	40 x	
Projektbegleiter	(stu)	3 x	1 x
GRS			
Geschäftsführung	(wfp, stj)		je 1 x
Bereichsleiter	(erv, paa, prg, rot, stc, ver, zir)		je 1 x
Abteilungsleiter	(som, gls, vek, poi)		je 1 x
Projektleiter	(row)	1 x	1 x
Projektbetreuung	(wal)		1 x
Informationsverarbeitung	(nit)		1 x
Autoren	(fas, prw)	je 1 x	je 1 x
Bibliothek	(Köln)	1 x	
Gesamtauflage:		Exemplare	48

**Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH**

Schwertnergasse 1
50667 Köln
Telefon +49 221 2068-0
Telefax +49 221 2068-888

Forschungszentrum
85748 Garching b. München
Telefon +49 89 32004-0
Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200
10719 Berlin
Telefon +49 30 88589-0
Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4
38122 Braunschweig
Telefon +49 531 8012-0
Telefax +49 531 8012-200

www.grs.de