

**Probabilistische  
Bewertung organi-  
satorischer Einflüsse  
sowie von Einflüssen  
des Sicherheitsma-  
nagements auf die  
Zuverlässigkeit von  
Personalhandlungen**



## **Technischer Bericht/ Technical Report**

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

Vorhabensitel / Project Title:  
Weiterentwicklung und Erprobung  
von Methoden und Werkzeugen  
für probabilistische Sicherheits-  
analysen

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

Berichtstitel:  
Probabilistische Bewertung  
organisatorischer Einflüsse  
sowie von Einflüssen des  
Sicherheitsmanagements auf  
die Zuverlässigkeit von  
Personalhandlungen

Autor / Authors:  
Dr. Werner Faßmann  
Dr. Jürgen Hartung  
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.

In diesem Vorhaben ist im Rahmen der Entwicklung einer Bewertungsmethode untersucht worden, wie die Wirkung des Sicherheitsmanagements und weiterer organisatorischer Faktoren auf die Sicherheit einer Anlage in die PSA eingebunden werden können. Dies ist insbesondere deshalb von Bedeutung, da die Betriebserfahrung zeigt, dass organisatorische Einflussfaktoren wirksam sind und diese eine hohe Breitenwirkung entfalten können. Diese Breitenwirkung kann die Wirksamkeit der Auslegungsprinzipien von Redundanz und Diversität zur Beherrschung von Störfällen ggf. empfindlich schwächen.

Zunächst erfolgte eine umfangreiche Begriffsdefinition und Begriffserläuterung, die im Forschungsfeld der Organisationswissenschaften zur Vereinheitlichung des Verständnisses dieser Begriffe notwendig war.

Die Literaturrecherche zu Methoden, mit denen organisatorische Einflussfaktoren in der PSA berücksichtigt werden können, führt zu dem Schluss, dass bei den meisten der betrachteten Methoden sowohl die Detaillierung der Modellierung der Organisation wie auch die Herstellung des Bezuges zwischen Organisation und sicherheitsrelevanter Tätigkeit nur unzureichend erfolgt.

Die neue Methodik zur Einbeziehung organisatorischer Einflussfaktoren in die PSA basiert auf den theoretischen Grundlagen der Organisationswissenschaften, arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen, Methoden zur Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit, Beispielen aus der Betriebserfahrung und eigenen Überlegungen.

Die Methodenentwicklung geht von den Prozessen aus, die auf der Anlage zur Erfüllung von Aufgaben vorgesehen sind. Prozesse, einschließlich Managementaufgaben und Maßnahmen des Sicherheitsmanagements bestehen aus einer Abfolge von Handlung verschiedener Personen an verschiedenen Arbeitsorten mit ihren Einrichtungen, Arbeitsmitteln, Arbeitsumgebungen und ergonomischen Gegebenheiten. In einem Prozess hängen zeitlich spätere von vorhergehenden Handlungen ab. Somit wirken sich

im Prozess die Zuverlässigkeit einer Handlung und die Qualität ihrer Ergebnisse auf Durchführung, Resultate und Zuverlässigkeit nachfolgender Arbeiten aus. Die Entwicklungsarbeiten nutzen das Konzept des Arbeitssystems, um Handlungen mit den personellen, organisatorischen und ergonomischen Rahmenbedingungen ihrer Ausführung zu beschreiben und zu analysieren.

Die Konzepte des Prozesses und des Arbeitssystems dienen in der vorliegenden Untersuchung dazu, die Zuverlässigkeit eines sicherheitstechnisch bedeutsamen Eingriffs, seine Wirkung auf den betrachteten Ereignisablauf und seinen Beitrag zum Ergebnis einer PSA auf die Qualität und Zuverlässigkeit der Arbeiten zurückzuführen, in denen die Bedingungen für die zuverlässige Ausführung des Eingriffs geschaffen werden. Die Methode sieht vor, für alle Eingriffe, die nach den System- und Ereignisablaufanalysen zu untersuchen sind, die Prozesse zu ermitteln, die sich auf die Qualität der Bedingungen auswirken können, unter denen diese Eingriffe ausgeführt werden müssen.

Untersuchungen und Modellierung dieser Prozesse führt zu einem Modell der Organisation der Arbeitsabläufe im Kraftwerk, die sich auf den betrachteten Eingriff auswirken können. In diesen Prozessen werden sicherheitsrelevante Fehler identifiziert, ihre Fortpflanzung durch den Prozess bis hin zum sicherheitsrelevanten Eingriff verfolgt, ggf. vorhandene Fehlerentdeckungsbarrieren bestimmt, deren Wirksamkeit beurteilt und die Folgen des Fehlers für die Sicherheit geklärt. Um den Analyseaufwand zu begrenzen, wurden Maßnahmen entwickelt, mit denen sich Prozesse oder Teilprozesse aussortieren lassen, die für das Ergebnis der PSA nicht wichtig sind.

Die quantitative Bewertung der in der Organisation postulierten Fehler und deren Fortpflanzung stützt sich auf etablierte Methoden und Vorgehensweisen aus dem Bereich der Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit und ermöglicht es, konservative Zuverlässigkeitszahlen für den Einfluss der organisatorischer Faktoren auf die Zuverlässigkeit des untersuchten Systems zu ermitteln.

Die Anwendung der entwickelten Methode wurde an einem ausgewählten fiktiven Beispiel, das sich aber an einem realen Ereignis orientiert, mit Erfolg erprobt.

## **Abstract**

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

This included the development of a new methodology to investigate the effect of safety management and other organizational factors on plant safety and to incorporate the results into a PSA. Operating experience shows that organizational factors are safety relevant. They may significantly weaken the effectiveness of design principles like redundancy and diversity.

In a first step, many terms were defined and explained to standardize and clarify their understanding in the context of the new methodology. This was necessary because of their inhomogeneous usage in the field of organizational research.

The literature review concerning methods to investigate and to incorporate organizational factors into a PSA has resulted in the conclusion that most of the reviewed methods show an inadequate level of detail in modeling organizational structures as well as an inadequate level of detail in modelling dependencies between organization and actions important to safety.

Based on theoretical basics of organizational science, basics of human factors, methods for assessing human reliability, examples taken from operating experience and own considerations a methodology to incorporate organizational factors into a PSA has been developed.

The new methodology investigates processes implemented in a plant to accomplish predefined objectives and tasks. Processes are broken down into sequences of actions required by formal regulations, performed by different persons at different locations with different necessary resources.

Each considered action is described by a man/machine (m/m)-system modelling the relevant action elements (e.g. action demands) as well as the performance shaping factors impacting the reliable accomplishment of action elements and the action itself.

The methodology outlines the basic idea that the reliability of tasks considered in a PSA study (front line m/m-systems) depends on results of preceding tasks influencing the quality of relevant performance shaping factors (e.g. quality of procedures, tight or comfortable time budgets). The task performers of such preceding tasks are identified according to available formal rules. Also the quality of their work depends on task specific performance shaping factors impacted by further staff within plant's organization. The analysis and modeling of these dependencies lead to a more and more expanding model (net) of m/m-systems representing that part of the organization of a plant impacting reliable task performance of a front-line m/m-system. Therefore measures have been developed to reduce the complexity of the analysis by screening out paths providing no contribution. Errors, relevant to safety and their path through the organizational structure taking into account barriers for error detection can be identified by investigating the m/m-system net.

The quantitative assessment of the errors identified in the organizational m/m- system net and their propagation is based on established methods and approaches of human reliability assessment. It assures to derive pessimistic estimates for the effect of organizational factors.

Finally the developed method has been successfully applied to an example derived from a real event.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung, Zielsetzung und Vorgehensweise.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Organisationswissenschaftliche Grundlagen.....</b>	<b>8</b>
2.1	Bestimmung verwendeter Begriffe .....	8
2.1.1	Organisation der Unternehmung.....	9
2.1.2	Aufgabe, Organisation und methodisches Vorgehen beim Organisationsprozess .....	13
2.1.3	Aufbauorganisation.....	16
2.1.4	Ablauforganisation, Arbeitssystem und Prozessorganisation .....	19
2.1.5	Führung und Management.....	24
2.1.6	Anreize .....	26
2.1.7	Beanspruchung, Belastung, Unter- und Überforderung, Stress.....	28
2.2	Grundsätzlicher Zusammenhang zwischen Organisation und Sicherheit .....	36
2.3	Folgerungen und Leitideen für die Methodenentwicklung .....	40
2.4	Ergebnisse der Sichtung wissenschaftlicher Fachliteratur zur Organisationsbewertung .....	41
<b>3</b>	<b>Stand von Wissenschaft und Technik zur Modellierung organisatorischer Einflüsse in einer PSA.....</b>	<b>48</b>
3.1	Einflussdiagramme, Bayes'sches Netz .....	48
3.2	Omega-factor-model.....	50
3.2.1	Grundkonzept.....	50
3.2.2	Modell der Organisation.....	51
3.2.3	Quantifizierung .....	51
3.2.4	Einbindung in die PSA .....	51
3.3	SAM.....	52
3.3.1	Grundkonzept.....	52
3.3.2	Modell der Organisation.....	52
3.3.3	Quantifizierung .....	54
3.3.4	Einbindung in die PSA.....	55

3.4	WPAM .....	55
3.4.1	Grundkonzept.....	55
3.4.2	Modell der Organisation.....	55
3.4.3	Quantifizierung .....	56
3.4.4	Einbindung in die PSA .....	57
3.5	Weitere Methoden .....	57
3.6	Diskussion .....	58
<b>4</b>	<b>Organisationsmodell und probabilistische Bewertung .....</b>	<b>60</b>
4.1	Das Arbeitssystemmodell .....	60
4.1.1	Vorgehensweise bei der Beurteilung der menschlichen Zuverlässigkeit bei in Deutschland durchzuführenden PSA.....	63
4.1.2	Leistungsbeeinflussende Faktoren und bestimmende vorgelagerten Arbeitssysteme .....	64
4.1.2.1	Eigenschaften der Person.....	65
4.1.2.2	Eigenschaften des Interaktionsobjektes.....	72
4.1.2.3	Eigenschaften der Situation .....	73
4.1.2.4	Eigenschaften von Regeln.....	76
4.2	Verfahren zum Aufbau des Organisationsmodells .....	77
4.2.1	Grundlagen des Verfahren.....	77
4.2.2	Anwendungsbereich des Verfahrens .....	78
4.2.3	Anforderungen an die Anwender der Methoden.....	79
4.2.4	Beschreibung des Verfahrens.....	80
4.2.5	Darstellung der Analyseschritte des Verfahrens .....	85
4.2.5.1	Übersicht .....	85
4.2.5.2	Analyseschritt 'Vorbereitungen'.....	87
4.2.5.3	Analyseschritt 'Analyse der Arbeitssysteme' .....	87
4.2.5.4	Analyseschritt 'Identifizierung relevanter Fehler' .....	89
4.2.5.5	Analyseschritt 'Bestimmung der PSFs für die relevanten Fehler' .....	91
4.2.5.6	Analyseschritt 'Identifizierung der Arbeitssysteme, die an dem Planungs-, Erstellungs- bzw. Festlegungsprozesses der PSFs beteiligt sind' .....	93

4.2.5.7	Analyseschritt 'Iterative Fortsetzung der Analyse für die identifizierten Arbeitssysteme' .....	93
4.2.5.8	Analyseschritt 'Überprüfung der Übertragbarkeit und Auswirkung auf andere Arbeitssystemen' .....	94
4.2.5.9	Analyseschritt 'Überprüfung, ob gefundene Fehler bereits modelliert wurden' .....	95
4.2.5.10	Analyseschritt 'Modellierung der organisatorischen Einflüsse und Abhängigkeiten für die PSA' .....	96
4.2.5.11	Analyseschritt 'Quantifizierung' .....	98
4.2.5.12	Dokumentation der Analyse .....	98
4.2.6	Quantifizierung von Fehlern .....	99
<b>5</b>	<b>Erprobung des Verfahrens</b> .....	<b>105</b>
5.1	Beschreibung des Beispiels .....	105
5.2	Analyseschritt 'Vorbereitungen' .....	106
5.3	Analyseschritt 'Aufgabenanalyse' .....	106
5.4	Analyseschritt 'Identifizierung relevanter Fehler' .....	107
5.5	Analyseschritt 'Bestimmung der PSFs für die relevanten Fehler' .....	108
5.6	Analyseschritt 'Identifizierung der Arbeitssysteme, die an dem Planungs-, Erstellungs- bzw. Festlegungsprozesses der PSFs beteiligt sind' .....	109
5.7	Analyseschritt 'Aufgabenanalyse', Iteration 1 .....	109
5.8	Analyseschritt 'Identifizierung relevanter Fehler', Iteration 1 .....	110
5.9	Analyseschritt 'Bestimmung der PSFs für die relevanten Fehler', Iteration 1 .....	110
5.10	Analyseschritt 'Identifizierung der Arbeitssysteme, die an dem Planungs-, Erstellungs- bzw. Festlegungsprozesses der PSFs beteiligt sind', Iteration 1 .....	111
5.11	Weitere Iterationen .....	112
5.12	Überprüfung der Übertragbarkeit .....	113
5.13	Analyseschritt 'Überprüfung, ob gefundene Fehler bereits modelliert wurden' .....	114

5.14	Analyseschritt 'Modellierung der organisatorischen Einflüsse und Abhängigkeiten für die PSA' .....	115
5.15	Analyseschritt 'Quantifizierung' .....	115
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>118</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>121</b>
<b>8</b>	<b>Verteiler</b> .....	<b>129</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1	Fiktives Beispiel für den Einfluss unterschiedlicher Vorgehensweisen bei der Festlegung von Arbeitsprozessen.....	3
Abb. 2-1	Systematik von Begriffen und Methoden der Aufbau- und Ablauforganisation .....	15
Abb. 2-2	Begrifflicher Rahmen für die Beurteilung organisatorischer Gegebenheiten .....	33
Abb. 2-3	Zusammenhang zwischen der Organisation und dem angestrebten Ziel unternehmerischer Tätigkeit .....	39
Abb. 2-4	Rahmen und Resultat des Organisationsprozesses.....	44
Abb. 3-1	Beispiel für die Darstellung des Einflusses von organisatorischen Faktoren mit Hilfe eines Einflusdiagrammes .....	48
Abb. 4-1	Arbeitssystemmodell.....	61
Abb. 4-2	Leistungsbeeinflussende Faktoren, die der Person zuzuordnen sind.....	66
Abb. 4-3	Leistungsbeeinflussende Faktoren hinsichtlich der Eigenschaften des Interaktionsobjektes.....	73
Abb. 4-4	Leistungsbeeinflussende Faktoren hinsichtlich der Eigenschaften der Situation .....	75
Abb. 4-5	Prinzip der Modellierung der organisatorischen Beziehungen.....	81
Abb. 4-6	Modellierungsprinzip, Detailbeispiel .....	82
Abb. 4-7	Breitenwirkung, Detailbeispiel.....	82
Abb. 4-8	Analysebeispiel 'Tausch einer Schraube' .....	84
Abb. 4-9	Analyseschritte des Verfahrens .....	85

Abb. 4-10 Einbindung von Basisereignissen, Systemebene..... 97

Abb. 4-11 Basisereignis 'Fehler in Instandhaltungsprozedur' ..... 97

## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 4-1 Fehlerwahrscheinlichkeiten für Barrieren ..... 103

## **1 Einleitung, Zielsetzung und Vorgehensweise**

Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) für Kernkraftwerke werden in Deutschland seit rund dreißig Jahren durchgeführt. Inzwischen wurde für alle Kernkraftwerke in Deutschland im Rahmen der nach Atomgesetz geforderten Sicherheitsüberprüfung (SÜ) mindestens eine PSA der Stufe 1 mit Ermittlung der Kernschadenshäufigkeit durchgeführt. In den nächsten Jahren wird zu jeder Anlage auch eine PSA der Stufe 2, welche als Ergebnis die Häufigkeit der Freisetzung radioaktiver Stoffe ermittelt, vorliegen.

Die PSA ist inzwischen weltweit ein wichtiges und zunehmend intensiver genutztes Instrument für die Sicherheitsbewertung von Kernkraftwerken. Mit der PSA werden Kenntnisse über die Auslegung und Betriebsweise der Anlage, die Betriebserfahrung der untersuchten und ähnlicher Anlagen sowie Erkenntnisse der Sicherheitsforschung, wie auch der generelle wissenschaftlich-technische Sachverstand zu einer Gesamtbewertung des Sicherheitszustandes der zu untersuchenden Anlage zusammengeführt. Wissenslücken werden bei dieser Vorgehensweise evident und ihr Einfluss auf das Ergebnis wird - soweit wie möglich - in Form von Ergebnisunsicherheiten quantifiziert. Wie bei jeder Art der Sicherheitsbeurteilung fließen auch in die PSA subjektive Expertenschätzungen ein. Die Methodik der PSA erlaubt es jedoch, den Einfluss von Schätzungen und deren Unsicherheiten auf das Ergebnis quantitativ zu bewerten. Damit liefert eine PSA belastbare Grundlagen für Entscheidungen über die Notwendigkeit und den Nutzen sicherheitstechnischer Verbesserungen.

Der Einsatz neuer Technologien, veränderter Betriebsweisen und neuer Erkenntnisse aus der Betriebserfahrung führen zu neuen Anforderungen an die PSA-Methodik.

Die deutsche Betriebserfahrung hat insbesondere in den letzten Jahren gezeigt, dass ungünstig gestaltete organisatorische Einflussfaktoren zu Fehlhandlungen und darüber hinaus zum Versagen von Vorkehrungen zur Fehlerentdeckung und zur Fehlerkompensation geführt haben. In Einzelfällen führte dies zu einer Beeinträchtigung redundanter und diversitärer Systemelemente der betroffenen Anlage.

Oft ist dies der Fall, wenn durch Festlegungen von Abläufen in der Anlage Abhängigkeiten zwischen Teilhandlungen entstehen.

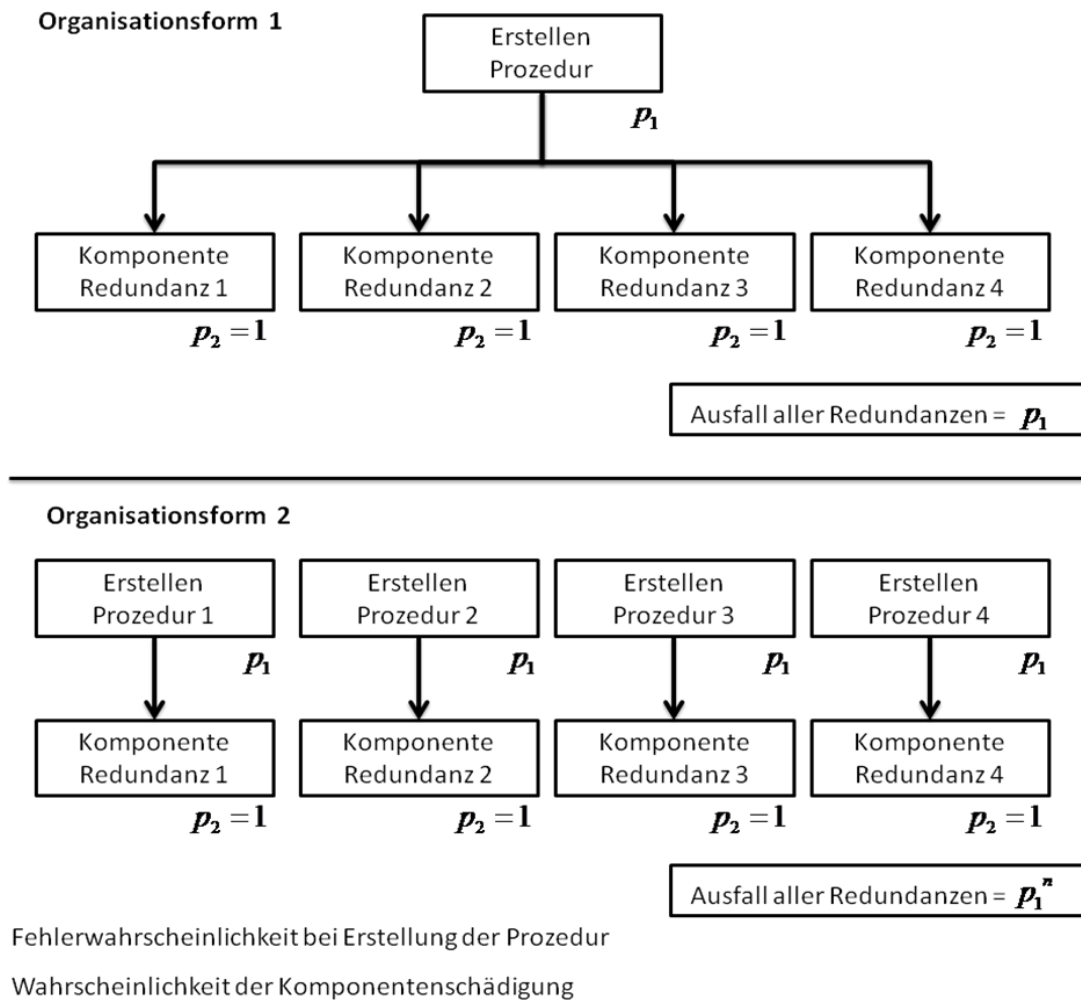
Nachfolgend sind einige Beispiele für mögliche Festlegungen, die Einfluss auf die Systemzuverlässigkeit haben können, aufgeführt:

- Festlegungen zu Personen  
Arbeitet eine Person oder eine Personengruppe an Komponenten bzw. Systemen mehrerer Redundanzen, so besteht beispielsweise die Möglichkeit, dass eine falsche Vorstellung über die Funktionsweise des Systems zu einer Propagation von Fehlern durch alle Redundanzen führt (Wiederholung des Fehlers in allen Redundanzen).
- Festlegung zur Verwendung von Dokumenten  
Wird das gleiche Dokument bei Arbeiten in allen Redundanzen oder sogar in verschiedenen Systemen verwendet, so besteht die Möglichkeit, dass sich ein im Dokument enthaltener Fehler in allen Redundanzen bzw. Systemen auswirkt.
- Festlegungen zu Arbeitsmitteln  
Werden Arbeitsmittel zentral verwaltet oder auch gewartet, so besteht die Möglichkeit, dass ein Fehler in diesen Prozessen sich auf viele technische Systeme, auch redundant vorhandene, auswirkt.
- Festlegungen zu Arbeitsbedingungen  
Zentrale Stellen, die Einfluss auf die Arbeitsbedingungen haben, wie Management oder Arbeitsplanung, können bei schlechter Ausführung eine erhebliche Breitenwirkung entfalten.

Wie diese Beispiele vermitteln, können Fehler bei der Planung von Randbedingungen eines Arbeitssystems ggf. die Sicherheit in Kernkraftwerken beeinträchtigen (zum Begriff „Arbeitssystem“ vgl. Abschnitt 4.1).

Wie sich diese Festlegungen auf die probabilistischen Betrachtungen in der PSA auswirken, soll an einem stark vereinfachten, fiktiven Beispiel verdeutlicht werden:





**Abb. 1-1** Fiktives Beispiel für den Einfluss unterschiedlicher Vorgehensweisen bei der Festlegung von Arbeitsprozessen

Für dieses Beispiel wird die Annahme getroffen, dass ein Fehler bei der Änderung einer Prozedur, der zum Ausfall einer Komponente führt, mit der Wahrscheinlichkeit  $p_1$  eingebracht wird. Weiter wird angenommen, dass an jeder Redundanz ein anderer Mitarbeiter die Prozedur ausführt und der Folgefehler 'Komponentenausfall' mit der Wahrscheinlichkeit  $p_2 = 1$  eintritt.

Bei der ersten Organisationsform erstellt der gleiche Mitarbeiter die Prozedur für die verschiedenen Redundanzen, diese wird von verschiedenen Mitarbeitern auf die jeweilige Redundanz angewendet.

Bei der zweiten Organisationsform wird die Prozedur für die jeweilige Redundanz von einem anderen Mitarbeiter erstellt und auch von verschiedenen Mitarbeitern auf die einzelnen Redundanzen angewendet. Alle Personen arbeiten unabhängig voneinander.

Berechnet man unter diesen Annahmen die Wahrscheinlichkeit für den Ausfall von vier Redundanzen, so ergibt sich  $p_{\text{ges}} = p_1$  für die Organisationsform 1 und  $p_{\text{ges}} = p_1^n$  für die Organisationsform 2 bei der Prozedurerstellung.

Die Ausfallwahrscheinlichkeit der Redundanzen ändert sich somit durch die Änderung der Festlegung hinsichtlich des Erstellungsvorganges von Prozeduren ggf. um viele Größenordnungen.

Die realen Abläufe und Zusammenhänge in der Anlage sind wesentlich komplexer, aber dieses Beispiel verdeutlicht sehr gut die Wirkung der Abhängigkeit zwischen Arbeitssystemen über organisatorische Faktoren und deren Relevanz für die Betrachtungen in einer PSA.

In der PSA werden bisher vor allem Handlungen des Betriebspersonals berücksichtigt, die zur Beherrschung einer Störung bzw. eines Störfalls vorgesehen und erforderlich sind. Die Untersuchungen schließen auch Instandhaltungsvorgänge ein, die bei fehlerhafter Durchführung die Verfügbarkeit des Sicherheitssystems einschränken oder ein auslösendes Ereignis zur Folge haben können. Modelliert werden sowohl die Unterlassungen als auch die fehlerhafte Ausführung vorgesehener Handlungen.

Die in der PSA zu verwendenden Methoden und Daten werden in folgenden Dokumenten beschrieben:

- Vorschlag für Anforderungen an probabilistische Sicherheitsanalysen der Stufe 2 /GRS 02/,
- Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse in Kernkraftwerken /FAK 05/,
- Daten zur Quantifizierung von Ereignisabläufen und Fehlerbäumen /FAK 05a/.

Zur probabilistischen Bewertung von Personalhandlungen sind nach diesen Unterlagen die Methoden ASEP und THERP /SWA 83/, /SWA 87/ zu verwenden. Sowohl diese beiden Methoden, als auch weitere im Ausland eingesetzte Methoden (u. a. [HAN 87/](#),

[/HAN 88/](#), [/MOS 90/](#), [/MOI 94/](#), [/WIL 88/](#), [/GER 92/](#), [/EMB 84/](#)) gehen davon aus, dass die Fehlerwahrscheinlichkeit einer Operateurhandlung in einem funktionalen Zusammenhang mit einer Basiswahrscheinlichkeit (Zuverlässigkeitsgrenze für diesen Handlungstyp unter optimalen Bedingungen  $P_N$ ) und der im Mensch-Maschine-System (MMS) wirkenden, die Leistung beeinflussenden Faktoren (Performance Shaping Factors, PSF) steht.

$$P = f(P_N, PSF_1, \dots, PSF_i)$$

Die Methoden stellen Daten zu den Basiswahrscheinlichkeiten und den Auswirkungen der Einflussfaktoren bereit und legen fest, wie diese zu einem Ergebnis zu verknüpfen sind.

Eine genauere Betrachtung der Methoden THERP und ASEP zeigt allerdings, dass organisatorische Einflüsse sowie Einflüsse des Sicherheitsmanagements nur in geringem Umfang berücksichtigt werden können. Sicherheitsmanagement ist die Gesamtheit der Tätigkeiten zu Planung, Organisation, Leitung und Kontrolle von Personen und Arbeitsaktivitäten im Hinblick auf die effiziente Erreichung einer hohen Sicherheitsleistung, d. h. zur Erreichung einer hohen Qualität aller für die Sicherheit bedeutsamen Tätigkeiten, und zur Förderung einer hohen Sicherheitskultur. Sicherheitsmanagement ist nicht auf spezielle Organisationseinheiten beschränkt, sondern umfasst die gesamte, die Sicherheit betreffende Organisation des Unternehmens [/BMU 04/](#). Ansätze, mit denen die übergreifenden Wirkungen (z. B. auf Handlungsfehler und Fehlerkorrektur- bzw. Fehlerkompensationsmöglichkeiten) von organisatorischen Einflüssen untersucht werden können, fehlen gänzlich.

Auch mit den im Ausland im Rahmen von PSA-Studien verwendeten HRA (*Human Reliability Assessment*) – Methoden ist eine ausreichend differenzierte Bewertung des Einflusses organisatorischer Faktoren auf die Zuverlässigkeit von Personalhandlungen nicht möglich (vgl. u. a. [/NEA 98/](#), [/IAE 06a/](#)).

So kann die in Frankreich entwickelte HRA-Methode MERMOS [/BIE 98/](#) nur in Randbereichen organisatorische Einflüsse berücksichtigen. Die HRA-Methoden HCR [/HAN 88/](#) und SLIM [/EMB 84/](#), die u. a. in PSA für amerikanische und englische Kernkraftwerke angewendet wurden, beziehen organisatorische Einflüsse nicht (HCR) bzw. nur ansatzweise (SLIM) in den Bewertungsprozess ein. Auch die in jüngster Zeit vor-

geschlagenen HRA-Methoden der 'zweiten Generation' (u. a. ATHEANA /[NRC 07](#)/, CREAM /[HOL 98](#)/) können organisatorische Einflüsse nicht berücksichtigen.

Die Notwendigkeit, durch methodische Weiterentwicklungen organisatorische Einflüsse sowie Einflüsse des Sicherheitsmanagements zu bewerten, ist international akzeptiert und hat die Fachgremien der IAEA (International Atomic Energy Agency) und der OECD/NEA (Nuclear Energy Agency) zu einer Anpassung der Arbeitsprogramme veranlasst. Die Arbeiten konzentrieren sich derzeit auf die Identifikation von Anforderungen, die sich aus sicherheitstechnischer Sicht an das Sicherheitsmanagement des Kernkraftwerkes stellen (u. a. /[IAE 99](#)/, /[IAE 01](#)/, /[IAE 06](#)/, /[NEA 03](#)/).

Das Fehlen geeigneter Methoden zur Bewertung organisatorischer Einflüsse schränkt die Aussagekraft der PSA erheblich ein.

Ziel der Arbeiten im Forschungs- und Entwicklungsvorhaben RS1180 ist es, die vorhandenen und bei der probabilistischen Sicherheitsbewertung eingesetzten Methoden (u. a. die Methode THERP) so weiterzuentwickeln, dass der Einfluss organisatorischer Faktoren und des Sicherheitsmanagements berücksichtigt wird. Um das Ziel zu erreichen wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Aufarbeitung der theoretischen Grundlagen hinsichtlich Organisation und organisatorischer Abläufe,
- Bestimmung der Begriffe 'Organisation' und 'organisatorischer Einflussfaktor' für dieses Vorhaben auf Basis der theoretischen Grundlagen,
- Beurteilung des Standes von Wissenschaft und Technik hinsichtlich Verfahren zur Berücksichtigung organisatorischer Faktoren in der PSA auf Basis einer Literaturrecherche,
- Sichtung von Ereignissen aus der Betriebserfahrung in der GRS-Datenbank (vgl. hierzu auch Ausführungen in Abschnitt 4.2.6), mit Bezug zu organisatorischen Einflüssen zur Gewinnung qualitativer und quantitativer Erkenntnisse,
- Entwicklung eines Konzeptes zur Einbeziehung organisatorischer Einflussfaktoren in die PSA mit den Erkenntnissen aus diesen Vorarbeiten,
- Konkrete Ausarbeitung der methodischen Vorgehensweise zur Integration organisatorischer Einflussfaktoren in die PSA,

- Testen anhand von Ereignissen und weitere Optimierung der Methode,
- Erarbeiten einer Vorgehensweise zur Selektion der zu betrachtenden (relevanten) organisatorischen Einflussfaktoren,
- Ausarbeitung einer Vorgehensweise zur Quantifizierung organisatorischer Einflussfaktoren im Rahmen einer PSA,
- Ausarbeitung von Beispielen zur Verdeutlichung der Vorgehensweise der qualitativen und quantitativen Analyse.

Im folgenden Abschnitt 2 werden zunächst die theoretischen Grundlagen, die notwendigen Definitionen und der Zusammenhang zwischen Organisation und sicherheitsrelevanter Tätigkeit vorgestellt. Abschnitt 3 beschreibt den Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich der Modellierung organisatorischer Faktoren in einer PSA. Die neu entwickelte Methode und ein Anwendungsbeispiel werden in den Abschnitten 4 und 5 dargestellt. Abschnitt 6 fasst die wesentlichen, im Rahmen des Vorhabens gewonnenen Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf künftige Arbeiten, die sich auf Basis der hier erzielten Ergebnisse empfehlen.

## **2 Organisationswissenschaftliche Grundlagen**

Im Vorhaben wurde ein Modell entwickelt, mit dem der Zusammenhang zwischen Organisation und Sicherheit so dargestellt wird, dass der Einfluss der Organisation in einer PSA untersucht, analysiert und bewertet werden kann. Sicherheitsmanagement wird als Teil dieser Organisation verstanden und daher nicht immer ausdrücklich erwähnt. Das Modell beruht auf Erkenntnissen aus der einschlägigen Grundlagenforschung. Im Einzelnen wurden diese Erkenntnisse auf folgende Weise erschlossen und genutzt:

- Die relevante Fachliteratur war auszuwerten. Begriffe für organisatorische Sachverhalte waren zu definieren.
- Darauf aufbauend war grundsätzlich zu klären, was Organisation zur Sicherheit beitragen kann.

Die gewonnenen Erkenntnisse waren so zusammenzuführen, dass sie die Grundlage für ein im Rahmen einer PSA anwendbares Organisationsmodell bilden.

### **2.1 Bestimmung verwendeter Begriffe**

#### **Begriffsbestimmung**

Die organisationswissenschaftliche Fachliteratur zeichnet sich durch eine schier unüberschaubare Fülle aus. Das gilt sowohl für deutschsprachige, als auch für ausländische und dabei namentlich englischsprachige Publikationen. Die Veröffentlichungen nutzen eine teilweise heterogene und mehrdeutige Begrifflichkeit. Der vorliegende Gliederungspunkt erläutert daher die Bedeutungen der Termini, die in den weiteren Ausführungen zur Anwendung kommen werden. Dabei handelt es sich im Einzelnen um die Begriffe:

- Organisation der Unternehmung,
- Aufgabe,
- Aufbauorganisation,
- Ablauforganisation, Arbeitssystem und Prozessorientierter Ansatz der Organisation,

- Führung und Management,
- Anreize,
- Beanspruchung, Belastung, Unter- und Überforderung sowie Stress.

Die Begriffsbestimmungen werden um Erläuterungen und um Folgerungen für die anstehende Modell- und Methodenentwicklung ergänzt.

## 2.1.1 Organisation der Unternehmung

### Begriffsbestimmung

‘Organisation‘ steht für den Prozess und das auf bestimmte oder unbestimmte Dauer angelegte Ergebnis einer planmäßigen Auswahl, Zusammenführung und Nutzung von Produktionsfaktoren, um angestrebte Ziele unternehmerischer Tätigkeit unter den gegebenen oder angenommenen Bedingungen zu verwirklichen, die das Umfeld der betrachteten unternehmerischen Tätigkeit bestimmen.

Zeitlich begrenzte Regelungen können zum Beispiel für Projekte mit festgelegter Laufzeit oder Übergangsphasen bei organisatorischen Umstrukturierungen gelten. Die Bedingungen des Umfelds umfassen auch geltende Rechtsvorschriften, Regeln, Richtlinien und sonstige einschlägige Bestimmungen für die Tätigkeit des Unternehmens. Zu den 'Produktionsfaktoren' gehören

- die menschliche Arbeit in Form von Eigen- und Fremdleistungen,
- Arbeits-, Betriebs- und Informationsmittel mit ihrer technischen und ergonomischen Auslegung,
- Objekte der Be- und Verarbeitung wie z. B. Werkstoffe, Verbrauchsmaterial oder Ersatzteile sowie
- sonstige Güter und Leistungen aus dem Umfeld wie z. B. Flusswasser zur Kühlung oder Elektrizität aus dem Fremdnetz.

Sicherheitstechnische Einrichtungen, Vorkehrungen und Handlungen lassen sich den Produktionsfaktoren zuordnen, wenn der Begriff der Produktion so gefasst wird, dass

er als sichere Produktion explizit den Schutz von Mensch, Umwelt und Anlage einschließt.

Prozess und Ergebnis des Organisierens bestehen beim Faktor Arbeit darin, für das Verhalten der Beschäftigten Prinzipien und Regeln aufzustellen, einzuführen und aufrecht zu erhalten, mit denen menschliche Leistung in den Dienst des Unternehmens und seiner Ziele gestellt werden soll. Die Organisation der Arbeit umfasst die Festlegung der

- Strukturen der Aufgaben- und Arbeitsteilung (siehe unten: Aufbauorganisation),
- Strukturierung von Aufgabenerfüllungsprozessen unter Einsatz der übrigen Produktionsfaktoren (siehe unten: Ablauforganisation, Arbeitssysteme und Prozessororganisation) und
- Anreize für die Aufgabenerfüllung (vgl. [/SCH 04/](#), S. 966ff).

Der Organisationsprozess erfasst dabei alle Aufgaben in einem Unternehmen und die gesamte Infrastruktur für die Aufgabenerfüllung. Der Gegenstandsbereich der Organisation schließt somit sowohl Führungsaufgaben als auch weisungsgebundene Aufgaben ein.

Organisationen lassen sich danach bewerten, inwieweit sie dazu beitragen, dass ein Unternehmen gesetzte Ziele erreicht. Man unterscheidet effektive und effiziente Formen der Organisation. Eine Organisation oder eine organisatorische Regelung heißt effektiv, wenn sie ihr(e) Ziel(e) erreicht. Eine effektive Organisation oder Regelung ist effizient, wenn sie ihr(e) Ziel(e) auf einem Weg erreicht, der nach vorab definierten Kriterien als optimal anzusehen ist. Die Effektivität bemisst sich somit daran, dass das betrachtete Ziel überhaupt erreicht wird. Für die Effizienz ist neben der Zielerreichung auch die Erfüllung des gewählten Optimalitätskriteriums ausschlaggebend. Effizienzbewertung setzt voraus, dass sich die unterschiedlichen Arten der Zielerreichung in eine zumindest qualitativ abgestufte Rangfolge bringen lassen.

## **Erläuterungen**

Der alltägliche Sprachgebrauch setzt die Organisation häufig mit dem Betrieb, der Unternehmung und sonstigen zweckgerichteten Einrichtungen arbeitsteiliger Produktion oder Dienstleistung gleich. Die obige Begriffsbestimmung charakterisiert die Organisa-



tion dagegen sowohl als eine planvolle Aktivität (Organisation als Organisieren) als auch als Ergebnis dieser Aktivität. Als Ergebnis organisatorischer Aktivität betrachtet ist die Organisation ein Instrument, das den arbeitsteiligen Einsatz menschlicher Arbeit und technischer Mittel auf zweckrationale Weise lenken soll, um in bestimmten Situationen unter Einhaltung bestehender Auflagen, z. B. juristischer Art, bestimmte Ziele zu erreichen.

Für die Betreiber von Kernkraftwerken gilt die Anforderung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), dass das Ziel der Sicherheit Vorrang vor anderen Zielen genießt (vgl. /BMU 04/, Abschnitt 3.2.3/).

Für viele Autoren stehen bei der Organisation der Faktor Arbeit und damit die Entwicklung von Handlungsregeln im Vordergrund (z. B. /[FRE 97](#)/, S. 2843 ff). Weitere Produktionsfaktoren sind nach diesem Ansatz nur insofern Gegenstand organisatorischer Regelungen, als sie das Handeln unterstützen oder Objekt des Handelns sind. Das vorliegende Vorhaben folgt dieser Sichtweise.

Die Organisation (als Ergebnis organisatorischer Aktivität) erfordert regelkonformes menschliches Handeln und entsprechende Leistungen, um angestrebte Ziele erreichen zu können. Die Idee der Organisation als Ausdruck unternehmerischer Gestaltungsentscheidungen ist strikt von den Leistungen zu unterscheiden, die man nach dem Kenntnisstand von Arbeitspsychologie, Ergonomie und anderer einschlägiger Disziplinen erwarten kann, wenn das Personal mit diesen Regelungen konfrontiert ist. Im Idealfall sind die Regelungen so auszugestalten, dass der Mensch möglichst optimal, zumindest aber nicht unangemessen beansprucht wird (siehe weiter unten dazu auch die Ausführungen zur Beanspruchung).

### **Folgerungen für die Modellierung der Organisation in der PSA und für das Bewertungsverfahren**

Für die Modellentwicklung ist der Gedanke wichtig, dass die Organisation als Instrument des zielgerichteten arbeitsteiligen Einsatzes menschlicher Arbeit und technischer Mittel aus der organisierenden Aktivität resultiert und damit auf Handlungen des Menschen zurückgeht. Organisieren ist ein Handeln, das die Art und Weise der Erfüllung von Aufgaben festlegt, die zur Erreichung bestimmter Ziele ausgeführt werden müssen, und diese Festlegungen implementiert. Die organisierenden Handlungen sind wie jedes menschliche Handeln fehleranfällig. Diese Fehler können sich auf das Ergebnis

organisierender Aktivitäten, also die Organisation oder Teile der Organisation auswirken.

Ein wesentlicher Bereich organisatorischer Regelung sind die Rahmenbedingungen der Handlungsausführung. Dazu gehören die Art und die ergonomische Gestaltung der Arbeitsmittel, Arbeitsplätze bzw. Arbeitsorte und der Umgebungsfaktoren, denen der Handelnde ausgesetzt ist. Beispiele sind unter anderem Prozeduren, Haupt- und Nebenleitstände in der Warte sowie alle Teile der Anlage, an denen das Personal Arbeiten verrichten muss. Zur Arbeit gehören auch Aufsuchen und Verlassen des Arbeitsortes und Transport von Dingen oder auch Personen. Deshalb zählen zu den Arbeitsorten auch die Arbeits- und Transportwege.

Im vorliegenden Projekt sind daher Modelle und Methoden zu entwickeln, mit denen der Anwender beschreiben, analysieren und bewerten kann, durch welche organisatorischen Aktivitäten eine Anlage die Rahmenbedingungen der Handlungen schafft, die an bzw. mit sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen zu vollziehen sind und wie sich Fehler der organisatorischen Aktivität auf die Zuverlässigkeit sicherheitstechnisch bedeutsamer Handlungen in der Warte oder vor Ort auswirken können.

Das Verständnis der Organisation als Aktivität und Ergebnis des Organisierens ist außerhalb der Organisationswissenschaft ungewohnt. Daher gehen die nachfolgenden Ausführungen genauer auf die organisationswissenschaftliche Analyse und Synthese von Aufgaben ein, um zu zeigen, dass die Organisationswissenschaft hierarchische und nicht-hierarchische Strukturen der Arbeitsteilung sowie Prozesse und Mittel der Aufgabenerfüllung als Ergebnis einer planvollen Vorgehens auffasst und die Anwendung einer detaillierten Methode vorsieht, um Organisationen zu entwickeln.

Zuverlässiges Handeln leistet einen wesentlichen Beitrag zur Erfüllung des Ziels der Sicherheit. Für die menschliche Zuverlässigkeit gibt es mit der so genannten Basisfehlerwahrscheinlichkeit einen Wert, der nicht unterschritten werden kann. Sie ist durch die Wahrscheinlichkeit zufälliger Fehler unter optimalen Bedingungen der Handlungsausführung definiert. Im Bereich der Zuverlässigkeit ist eine effiziente Organisation folglich durch das Merkmal bestimmt, bestmögliche Voraussetzungen zuverlässigen Handelns zu bieten.

## **2.1.2 Aufgabe, Organisation und methodisches Vorgehen beim Organisationsprozess**

### **Begriffsbestimmung**

Aufgaben leiten sich aus den Zielen der Unternehmung durch fortschreitende Zergliederung der Ziele in immer spezifischere Teilziele ab. Aufgaben beschreiben, welche Schritte zu vollziehen sind, um diese Ziele bzw. Teilziele zu verwirklichen. Eine Aufgabe zeichnet sich abstrakt betrachtet durch die Merkmale aus,

- Mittel zu sein, um Ziele bzw. Teilziele zu erreichen,
- den Charakter der verbindlichen Anforderung oder Erwartung zu besitzen, bestimmte Leistungen zu erbringen, um das vorgegebene Ziel oder ein Teilziel auf dem Weg zum Ziel zu erreichen.

Die Anforderung oder Erwartung besteht allgemein darin, in bestimmter Weise aktiv Einfluss auf gegebene Ist-Zustände zu nehmen, um den Übergang zu angestrebten Soll-Zuständen zu bewirken, die entweder mit gesetzten Zielen identisch sind oder als Teilziel zu ihrer Verwirklichung beitragen. Dazu rechnet als Spezialfall die Anforderung, einen Ist-Zustand aufrechtzuerhalten, wenn er bereits oder wieder dem Soll-Zustand entspricht.

### **Erläuterungen**

Zielanalyse und Bestimmung der Aufgaben gehen somit der Organisationsgestaltung voraus. Dieser Punkt ist wichtig, weil er das Organisieren von den Ergebnissen einer Ziel- und Aufgabenanalyse abhängig macht. Das lässt sich am besten an Beispielen verdeutlichen.

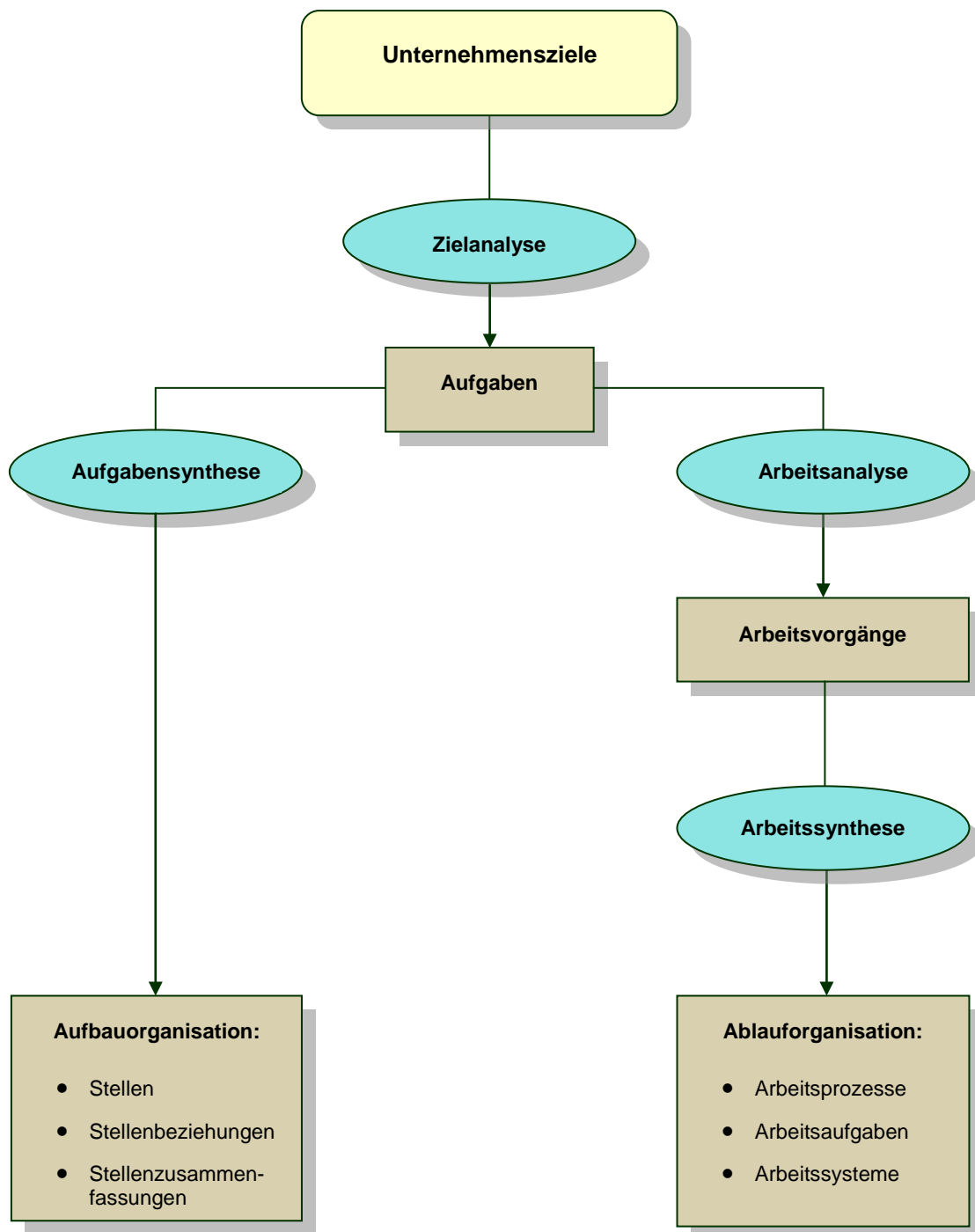
- Eine Analyse des Ziels der Sicherheit könnte zum Beispiel zu folgenden sicherheitsrelevanten Aufgaben führen, die nur zum Zweck der Illustration und ohne Anspruch auf inhaltliche Vollständigkeit oder vorbildhaften Detaillierungsgrad aufgezählt seien. Die Darstellung unterscheidet Aufgaben der Führung und der Ausführung:
  - Unter anderem muss das Ziel der Sicherheit für das Unternehmen verbindlich formuliert, unternehmensweit propagiert, für anstehende Arbeiten konkretisiert, im Arbeitsprozess implementiert und ortlaufend kontrolliert werden. Außerdem

muss das Kontrollergebnis zu Aktionen führen, die das Sicherheitsniveau zumindest auf einem vorgegebenen Sollwert halten oder wieder auf den Sollwert bringen, wenn dieser unterschritten worden sein sollte.

- Zu den sicherheitsrelevanten Aufgaben gehören der Betrieb und die Instandhaltung der Sicherheitssysteme, also Kontrollhandlungen und Eingriffe mit dem Ziel, den Istzustand der Systeme und eventuelle Abweichungen vom Sollzustand festzustellen, den Sollzustand wiederherzustellen bzw. den Istzustand aufrechtzuerhalten, wenn er dem Sollzustand entspricht. Weitere Aufgaben sind die Bereitstellung erforderlicher Werkzeuge, Arbeitsmittel und Prozeduren sowie die Schulung der Ausführenden.

Diese Aufgaben sind frei von jedem Bezug auf die Organisation festgelegt. Ein wesentlicher Schritt des Organisierens besteht dann darin, unter anderem Zuständigkeit und erforderliche Ressourcen für diese Aufgaben den Anforderungen des Regelwerkes an Sicherheitsmanagementsysteme entsprechend zu regeln [/BMU 04/](#).

- Die organisatorischen Regelungen strukturieren
  - die Aufgaben- und Arbeitsteilung zwischen Menschen sowie
  - das Vorgehen zur Erfüllung der Aufgaben durch den Menschen, wozu auch die Festlegung der Aufgaben technischer Einrichtungen und die Bereitstellung, räumliche Anordnung und ergonomische Auslegung der zugehörigen Arbeitsplätze, Arbeitswege, Arbeitsmittel und Arbeitsumgebungen gehören.
- Diese Regelungsbereiche ordnen sich der Aufbau- und der Ablauforganisation einschließlich der Führungsgremien und Führungsprozesse zu. Sie bilden den Gegenstand der folgenden Gliederungspunkte. Zur besseren Orientierung stellt Abb. 2-1 die Systematik verwendeter organisationswissenschaftlicher Begriffe und Methoden in einer Übersicht zusammen. Die Abbildung verdeutlicht auch die grundsätzliche Abhängigkeit des Organisationsprozesses von der vorherigen Festlegung der Unternehmensziele und der Ableitung von Aufgaben aus diesen Zielen.



**Abb. 2-1** Systematik von Begriffen und Methoden der Aufbau- und Ablauforganisation

Diese Abbildung veranschaulicht nicht nur den Zusammenhang zwischen den verschiedenen organisationswissenschaftlichen Begriffen. Sie gibt auch einen Überblick über das methodische Vorgehen der organisationswissenschaftlichen Aufgabenanalyse und Aufgabensynthese. Dieses Vorgehen wurde weiter oben als „Organisieren“ bezeichnet. Sein Gegenstand kann ein gesamtes Unternehmen, aber auch ein mehr oder weniger großer Teil einer Unternehmung sein.

### **Folgerungen für die Modellierung der Organisation in der PSA und für das Bewertungsverfahren**

Für die vorliegende Untersuchung sind folgende Aspekte wichtig:

- Zu den Organisationsprozessen gehört die Herstellung der aufbau- und ablauforganisatorischen sowie der ergonomischen Rahmenbedingungen einer Aufgabe.
- Der Herstellungsprozess kann selbst Gegenstand der Organisation sein, diese ihrerseits ebenfalls und so weiter. Die angestrebte Analyse- und Bewertungsmethode muss zur Begrenzung des Aufwands festlegen, wie umfassend Organisationsprozesse untersucht werden sollen.
- Die Abbildung repräsentiert die Methodik des Organisierens. Für eine PSA muss dieser Ansatz zu einer Methode weiterentwickelt werden, mit der man die einzelnen Schritte des Organisierens, denkbare Fehler, Möglichkeiten der Fehlererkennung und Fehlerbehebung sowie die Zuverlässigkeit organisatorischer Aktivitäten untersuchen kann.

#### **2.1.3 Aufbauorganisation**

##### **Begriffsbestimmung**

Die Aufbauorganisation geht aus der Bestimmung und Zusammenfassung der Aufgaben hervor, mit denen eine Unternehmung die Verwirklichung ihrer Ziele anstrebt. Man spricht auch von der Analyse und Synthese von Aufgaben. In der organisationswissenschaftlichen Aufgabenanalyse zerlegt man die Ziele der Unternehmung unter Anwendung fester Kriterien sukzessive in immer spezifischere Teilziele, um als Endergebnis der Analyse Einzelaufgaben zu bestimmen (zur Art der Kriterien vergleiche man die einschlägige Fachliteratur). Die sukzessive Zerlegung des Zieles in Teilziele stellt si-

cher, dass Teilziele und Einzelaufgaben in einen systematischen Gesamtzusammenhang eingebunden und auf das übergreifende Ziel bezogen sind. Kriterium für den Abbruch der Zerlegung ist der Grad der Aufgabenverteilung, den das Unternehmen anstrebt.

Die Aufgabensynthese fasst die Einzelaufgaben, die sich aus der Aufgabenanalyse ergeben haben, nach verschiedenen Gesichtspunkten zusammen:

- Einzelaufgaben werden einzelnen Stellen zugeordnet und damit auf verschiedene Stellen verteilt, für die jeweils ein Inhaber mit definiertem Eignungsprofil vorgesehen ist. Diese Art der Synthese stiftet den Verteilungszusammenhang zwischen Einzelaufgaben.
  - Die Stelle bildet die kleinste Einheit innerhalb der Organisation. Sie zeichnet sich durch Inhalt und Umfang der zugewiesenen Aufgaben aus, für deren Ausführung der Stelleninhaber zuständig, befugt und verantwortlich ist. Das Aufgabenbündel eines Stelleninhabers heißt auch 'Stellenaufgabe' oder 'Funktion'. Für die Stelle eines Reaktorfahrers könnte diese Funktion zum Beispiel als „Überwachung und Steuerung des Primärkreises bei allen Betriebszuständen und nach den Weisungen geltender Betriebsordnungen und weisungsbefugter Personen“ beschrieben werden.
  - Bezieht man sich auf eine spezifische Aufgabe aus dem Aufgabenbündel einer Stelle, spricht man von der zugehörigen Stelle bzw. dem zuständigen Stelleninhaber auch als 'Aufgabenträger' oder 'Funktionär'. Der Reaktorfahrer ist zum Beispiel Träger der Aufgabe, Füllstand, Druck und Temperatur des Reaktor-druckbehälters zu überwachen.
  - Für automatisierte Aufgaben oder Aufgabenteile kann der Aufgabenträger auch ein technisches System sein.
- Bei der Zusammenführung von Aufgaben nach dem sogenannten Leitungszusammenhang bildet man mit den einzelnen Stellen größere Organisationseinheiten, indem man mehrere Stellen nach bestimmten Gesichtspunkten zusammenfasst und einem Leiter unterordnet. Leitungsstellen heißen auch 'Instanzen'. Diese Zusammenfassung lässt sich für immer umfangreichere Organisationseinheiten bis zur Führungsspitze der Unternehmung wiederholen.

- Die arbeitsteilige Aufgabenerfüllung erfordert es, Beziehungen zwischen Organisationseinheiten (Stellen, Abteilungen, Bereichen, ...) vorzusehen, um die Ausführung der Einzelaufgaben abstimmen und bewältigen zu können. Man unterscheidet physische und informationelle Stellenbeziehungen.
  - Physische Stellenbeziehungen repräsentieren die sachlich bedingten Abhängigkeiten zwischen Arbeiten mit und am technischen System zum Beispiel im Zuge der Fertigung eines Produkts in den verschiedenen Herstellungsstufen.
  - Informationelle Stellenbeziehungen umfassen die Linien für weisungs-, motivations- und interdependenzbezogene Kommunikationen. Weisungs- und motivationsbezogene Kommunikationslinien verlaufen zwischen Instanzen und untergeordneten Stellen. Diese Linien dienen der Übermittlung von Weisungen, der Motivation durch Anreize und dem Berichtswesen von unten nach oben. Interdependenzbezogene Kommunikationslinien sind für die Fälle erforderlich, in denen sich absehen lässt, dass Abstimmungen beim Zugriff auf gemeinsame Ressourcen anstehen.

Im Regelfall abstrahieren Aufbauorganisation und Stellenbildung von konkreten Personen. Gegenstand des Organisationsprozesses sind demnach Einzelaufgaben und deren Zusammenfassungen, aus denen sich auch die Anforderungsprofile der künftigen Stelleninhaber ergeben. Die Stellenbesetzung mit geeigneten konkreten Personen zählt nicht mehr zum Organisationsprozess, wohl aber die Form, in der Personalauswahl und Personalqualifizierung für die betrachtete Stelle im Unternehmen organisiert sind (zur Aufbauorganisation insgesamt siehe auch [/FRO 04/](#), S. 45ff., [/KOS 62/](#), S. 41ff.).

### **Erläuterungen**

Die Aufbauorganisation beschreibt die statischen Strukturen der Aufgabenverteilung innerhalb eines Unternehmens, die entweder auf unbestimmte Dauer oder befristet eingerichtet sind. Beispiele befristeter Geltung sind Projekte begrenzter Dauer oder Übergangsphasen im Zuge organisatorischer Umstrukturierungen. Voraussetzung der aufbauorganisatorischen Aufgabensynthese bildet eine Analyse, die anstehende Aufgaben unabhängig von organisatorischen Sachverhalten allein aus den Zielen ableitet, die das Unternehmen verfolgt.



Die Verwirklichung von Unternehmenszielen hängt auch vom Zuschnitt der Aufgabenbündel, Befugnisse, Stellen und Stellenbeziehungen ab, die aus den aufbauorganisatorischen Synthesen hervorgehen. Diese Abhängigkeit geht darauf zurück, dass diese organisatorischen Gegebenheiten in Bezug auf die Aufgabenerfüllung und die Beanspruchung von Stelleninhabern mehr oder weniger optimal ausgelegt sein können. Bewertungskonzept und Bewertungsmethode werden daher diese Aspekte berücksichtigen. Aus früheren Arbeiten der GRS ist insbesondere die Anforderung zu berücksichtigen, dass Stellen nach dem so genannten Kongruenzprinzip mit allen Befugnissen auszustatten sind, die sie zur Ausführung ihrer Aufgaben benötigen (siehe auch [/WEI 90/](#), S. 63).

### **Folgerungen für die Modellierung der Organisation in der PSA und für das Bewertungsverfahren**

Folgerungen werden im Anschluss an die Begriffsbestimmung der Ablauforganisation gezogen. Ablauf- und Aufbauorganisation hängen eng zusammen, weshalb die Folgerungen für beide Bereiche gemeinsam betrachtet werden.

#### **2.1.4 Ablauforganisation, Arbeitssystem und Prozessorganisation**

##### **Begriffsbestimmung**

Die Ablauforganisation regelt, wie die Erfüllung absehbarer Aufgaben in der Unternehmung zeitlich und räumlich als Arbeitsprozess zu gestalten ist. Dabei handelt es sich um Arbeitsprozesse im Inneren der Organisation einschließlich ihrer Schnittstellen mit der Außenwelt. In einem umfassenden Sinne ([/KOS 62/](#), S. 185ff.) gehört es zur Ablauforganisation, zum einen ein System formaler Regeln zu schaffen, wie Arbeitsprozesse im Unternehmen durchzuführen sind. Zum anderen steht der Begriff der Ablauforganisation auch für das Tagesgeschäft, den Beschäftigten des Unternehmens unter Einhaltung der Regeln konkrete Aufgaben zuzuweisen und ihre Ausführung zu überwachen.

Die Ablauforganisation geht wie die Aufbauorganisation von den Einzelaufgaben aus, die aus der organisationswissenschaftlichen Aufgabenanalyse resultieren. Sie unterwirft diese Aufgaben den weiteren Prozessen der 'Arbeitsanalyse' und der 'Arbeitssynthese'.

Die 'Arbeitsanalyse' umfasst die Zerlegung der Aufgaben in kleinere Arbeitsschritte oder 'Arbeitsteile', die unabhängig von organisatorischen Sachverhalten zu definieren sind. Die Arbeitssynthese verbindet diese Arbeitsteile nach denselben festen Kriterien, die in der Aufbauorganisation zur Anwendung kommen (s. o.). Diese Verbindung umfasst die drei Schritte der personalen, temporalen und lokalen Synthese von Arbeitsteilen. Ergebnis dieser Synthesen sind die

- Verteilung der Arbeitsteile auf die Arbeitsträger. Als Arbeitsgang oder Arbeitsvorgang bezeichnet man die Arbeitsteile, die eine Person oder eine Gruppe von Personen an einem Arbeitsobjekt unter Nutzung bestimmter Sachmittel in einem gegebenen, räumlichen und zeitlichen Rahmen ausführen soll. Arbeitsvorgänge bilden raum-zeitlich abgeschlossene Teilprozesse, wenn der oder die Ausführenden nach der Durchführung wieder in seine bzw. ihre Ausgangslage zurückkehren (vgl. [/KUE 95/](#), S. 11).
- zeitliche Abstimmung der Arbeitsgänge der einzelnen Personen sowie der Leistungen verschiedener Personen;
- Aufteilung von Arbeitsvorgängen auf Arbeitsplätze, die räumliche Anordnung und Gestaltung der Arbeitsplätze, Einrichtung und Gestaltung von Transportwegen und Lagermöglichkeiten, die Ausstattung der Arbeitsplätze mit den erforderlichen Arbeits- und Informationsmitteln sowie deren Gestaltung und räumlich Anordnung am Arbeitsplatz.

Ablauforganisatorische Regelungen legen somit die dauerhafte Prozessstruktur fest, mit der das Unternehmen seine Ziele erreichen will. Der betriebswirtschaftliche Zweck ablauforganisatorischer Regelungen besteht darin, einen Grad der Arbeitsteilung zu realisieren, der die volle Auslastung von Aufgabenträgern und Arbeitsmitteln sowie kürzest mögliche Bearbeitungs- und Durchlaufzeiten anfallender Aufträge unter der Bedingung gewährleistet, den Leistungsvoraussetzungen eines durchschnittlichen Aufgabenträgers gerecht zu werden (siehe [/KOS 62/](#), S. 195 und S. 211-213, zur Ablauforganisation insgesamt siehe auch [/FRO 04/](#), S. 49, [/KOS 62/](#), S. 185 ff.).

Das Endergebnis der ablauforganisatorischen Synthese führt in anderen Fachdisziplinen und in der Zuverlässigkeitsbewertung die Bezeichnung 'Aufgabe'. Diesen Disziplinen zufolge stellt eine 'Aufgabe' die mehr oder minder detaillierte, explizite und verbindliche Anforderung dar, dass

- eine oder mehrere, qualifizierte Personen

- nach vorliegendem Auftrag
- an festgelegten Arbeitsorten
- unter vorgegebenen Arbeitsbedingungen
- zu bestimmten Zeitpunkten und (oder) innerhalb bestimmter Zeiträume
- eine oder mehrere vorgesehene Aktivitäten
- unter Einsatz bestimmter Mittel auszuführen hat bzw. haben, um
- ein bestimmtes Ergebnis
- termingerecht

zu erarbeiten. Der Auftrag kann in mündlichen und schriftlichen Anweisungen sowie in Anzeigen und Meldungen der technischen Einrichtung oder sonstigen Sachverhalten bestehen, die das Eingreifen des Menschen fordern. Zu den Bedingungen der Aufgabendurchführung gehören unter anderem die Art und ergonomische Auslegung von Arbeitsanweisungen, Benutzungsoberflächen, weiteren Arbeitsmitteln, Arbeitsort(en) einschließlich Arbeitswegen und Arbeitsumgebung(en).

Der Begriff der Aufgabe ist organisationswissenschaftlich als „vororganisatorisch definierte Schritte zur Erreichung eines Unternehmensziels“ bereits belegt. Daher ist eine Terminologie erforderlich, die Unklarheiten durch die gleiche Bezeichnung unterschiedlicher Sachverhalte vermeidet. Dazu bietet das kerntechnische Regelwerk einen Ansatzpunkt. Es nutzt den Begriff 'Arbeitssystem' als übergreifende Bezeichnung für die Aufgabe und für die Bedingungen ihrer Ausführung (siehe [/KTA 88/](#), S. 8), wie sie als Ergebnis der organisationswissenschaftlichen Analysen und Synthesen von Aufgaben bzw. Arbeiten vorliegen. Im Folgenden soll daher von der 'Aufgabe im Arbeitssystem' oder 'Arbeitsaufgabe' gesprochen werden, um das Ergebnis ablauforganisatorischer Synthesen zu bezeichnen und Verwechslungen mit der Aufgabe als Ausgangspunkt organisatorischer Gestaltung zu vermeiden.

Prozessorientierte Ansätze der Organisation einer Unternehmung umfassen die Schritte,

- die Gesamtheit aller Arbeitsprozesse auch über die Grenzen der Organisationseinheiten hinweg nach einem umfassenden Konzept zu gestalten und zu optimieren,

- die einzelnen Prozesse mit Prioritäten zu versehen sowie
- für die Prozesse eigene Verantwortliche zu bestellen.

Ein Prozess besteht aus Aufgaben, Aufgabenträgern, Sachmitteln und Informationen, die nach sachlich-logischen Gesichtspunkten zu einem System verbunden und nach festgelegten Regeln eingesetzt werden, um nach einem Startereignis innerhalb eines vorgesehenen Zeitfensters und an bestimmten Arbeitsorten mittels einer definierten Abfolge der vorgesehenen Aufgaben ein gefordertes Ergebnis bereitzustellen (/FIS 06/, S. 38). Diese Definition liegt auch einschlägigen Regelwerken zur Qualitätssicherung zugrunde. Zu den Aufgabenträgern können, je nach Festlegung des Prozesses, Führungskräfte unterschiedlicher Ebenen auch aus unterschiedlichen Teilen des Unternehmens gehören.

Die Gesamtheit aller Prozesse eines Unternehmens heißt auch Prozessorganisation.

### **Erläuterungen**

Ein Arbeitsprozess kann vielfältige Anweisungen, Freigaben und Kontrollen durch Führungskräfte, unter Umständen sogar der Führungsspitze des Unternehmens, einschließen. Ein wesentlicher Teil der Ablauforganisation ist die ergonomische Auslegung der Arbeitssysteme und damit der Rahmenbedingungen, unter denen sicherheitsrelevante Eingriffe zu erfüllen sind. Bei der Prozessorganisation geht die Gestaltung ablauforganisatorischer Sachverhalte derjenigen aufbauorganisatorischen Merkmale eines Unternehmens voraus und nicht umgekehrt, wie es im traditionellen Ansatz der Organisationsgestaltung üblich ist.

### **Folgerungen für die Modellierung der Organisation in der PSA und für das Bewertungsverfahren**

Die Methode konzentriert sich auf die aufbauorganisatorischen Strukturen und die Prozesse für die Aufgabe(n), die Rahmenbedingungen sicherheitstechnisch erforderlicher Eingriffe und die zugehörigen Handlungen wie Kontrollen oder Kommunikationen festzulegen.

Prinzipiell sind alle Teile der Aufbauorganisation zu betrachten, die Rahmenbedingungen der Ausführung sicherheitstechnisch wichtiger Eingriffe setzen. Dazu gehören vor allem

- Anlagenleitung und Führungskräfte insoweit sie durch ihr Verhalten und ihre Verlautbarungen zum Stellenwert der Sicherheit dazu beitragen können, dass das Personal die Priorität des Ziels der Sicherheit versteht und auch klar erkennt, wie es mit seinem Handeln zur Zielerreichung beiträgt.
- „Organisatoren“ worunter die Organisationseinheiten zu verstehen sind, die dafür zuständig sind, die Durchführung sicherheitstechnisch wichtiger Eingriffe vorzubereiten und/oder Rahmenbedingungen zu schaffen, unter denen diese Eingriffe und zugehörige Handlungen wie Kontrollen, Freischaltungen, und Kommunikationsvorgänge durchzuführen sind.
- „Unterstützendes Personal“ wozu Organisationseinheiten gehören, die zum Beispiel für die Aufbewahrung, Ausgabe, Wartung und Kontrolle der Geräte zuständig sind, ohne die der betrachtete sicherheitstechnisch wichtige Eingriff nicht ausgeführt werden kann.

Die Ablauforganisation regelt mehr oder minder detailliert, wie und unter welchen Rahmenbedingungen die eben beschriebenen Aufgaben zu erfüllen sind. Die Organisatoren zum Beispiel, haben für eine Instandsetzung oder Änderung an der Anlage nach den Anforderungen einschlägiger Regeln und Richtlinien unter anderem Freischaltlisten, Prozeduren, Arbeitsaufträge und Arbeitsscheine zu erstellen bzw. bereitzustellen, Personal für die Ausführung der Eingriffe und die Beaufsichtigung der Arbeiten vorzusehen, den Bedarf für eventuelle besondere Schulung für die anstehende Aufgabe bestimmen und den Zeitplan für die Erfüllung der Aufgabe festlegen.

Organisatoren erfüllen ihre Aufgaben mit einer bestimmten Zuverlässigkeit. Letztere hängt davon ab, mit welchen Ressourcen an Personalkapazität, Zeit, Arbeitsmitteln und Fachwissen sie ausgestattet sind, welche Kontrollen bestehen, um die sachliche Richtigkeit ihrer Arbeitsergebnisse zu überprüfen, und wie die Wirksamkeit dieser Kontrollen beurteilt werden muss.

Die angestrebte Methode hat aufbau- und ablauforganisatorische Sachverhalte der beschriebenen Art mit ihrem Beitrag zur Zuverlässigkeit sicherheitstechnisch bedeutsamer Eingriffe zu berücksichtigen. Zudem sind Kriterien zu entwickeln, um den

Untersuchungsaufwand durch Betrachtung nur der wesentlichen aufbau- und ablauforganisatorischen Beiträge zur Zuverlässigkeit sicherheitstechnisch wichtiger Eingriffe zu begrenzen.

## **2.1.5 Führung und Management**

### **Definitionen und Erläuterungen**

Der Begriff 'Management' besitzt mehrere Bedeutungen. Im Einzelnen bezeichnet er ebenso wie die Begriffe der Führung und der Leitung

- die Gesamtheit der Stellen in der Organisation, die mit der Befugnis ausgestattet sind, anderen Personen Weisungen zu erteilen.
- den Kreis der Personen, die entsprechende Positionen in der Organisation des Unternehmens besetzen.
- die Funktionen oder (Arbeits-) Aufgaben dieser Stellen bzw. Stelleninhaber ( vgl. [/WOE 00/](#), S. 104).

Unter einem 'Managementzyklus' versteht man eine Untergliederung der Managementaufgabe in Teilaufgaben, deren Art und Abfolge so definiert sind, dass sie einen Prozess bilden, der fortgesetzt iterativ durchlaufen werden kann, weil das Ergebnis einer Teilaufgabe die Ausgangsbasis für die unmittelbare nachfolgende Teilaufgabe oder, falls die unmittelbar nachfolgende Teilaufgabe nach bestimmten Kriterien übersprungen werden darf, für eine daran anschließende Teilaufgabe darstellt. Ein 'Deming-Zyklus' oder 'PDCA-Zyklus' ist nach seinem Entwickler Deming ein Managementzyklus mit den vier Teilaufgaben der

- Planung (plan),
- begrenzten Umsetzung zu Testzwecken (do),
- Prüfung (check) und
- breiten Umsetzung mit fortlaufender Kontrolle und Verbesserung (act)

Genauer Inhalt und Abgrenzung der Stufen erfolgen in der Literatur allerdings nicht einheitlich.

Die Teilaufgaben eines Managementzyklus schließen objektbezogene Zuarbeiten nicht aus. Ein Beispiel objektbezogener Zuarbeiten bildet die Erstellung von Entwürfen für Arbeitsaufträge durch einen Sachbearbeiter, der nach Anweisung vorgeht, einen Plan für die anstehenden Arbeiten erstellt und sein Arbeitsergebnis dem Vorgesetzten zur Kontrolle, eventuelle Korrektur und Freigabe des korrekten Entwurfs vorlegt. Planung als Führungs- bzw. Management(teil)aufgabe unterscheidet sich davon durch das Merkmal, dass eine Führungsposition mit der Befugnis ausgestattet ist, verbindliche Entscheidungen über Ziel, Vorgehen, Zeitplan und Ausführende anstehender Arbeiten zu treffen.

Es ist notwendig, zwischen 'Managementfunktion' (oder 'Managementaufgabe') und 'Managementposition' zu unterscheiden: Managementaufgaben müssen nicht zu den alleinigen oder überwiegenden Aufgaben einer Stelle bzw. eines Stelleninhabers gehören. So können, wie zum Beispiel die Aufsichtführenden vor Ort, Personen nach Anweisung durch befugte Führungskräfte zeitweilig Managementaufgaben übernehmen, ohne Inhaber einer dauerhaften Managementposition zu sein.

### **Erläuterungen**

Management, Leitung oder Führung haben für die Sicherheit von Kernkraftwerken eine große Bedeutung, da sie die Aufgabe haben,

- das Ziel der Sicherheit zu formulieren und zu propagieren,
- die Erstellung und Implementierung aufbau- und ablauforganisatorischer Regelungen für sicherheitsrelevante (und sonstige) Aufgaben zu veranlassen,
- die Einhaltung sicherheitsrelevanter Regelungen zu überwachen,
- den Bedarf an Weiterentwicklungen zu erkennen und für dessen Deckung zu sorgen.

Prinzipiell gehören zum Betrachtungsumfang alle Führungs- und Managementpositionen von der Führungsspitze des Betreiberunternehmens bis zu den direkten Vorgesetzten der Ausführenden auf der untersten Hierarchieebene des Unternehmens einzubeziehen. Auch sind Führungsaufgaben einzubeziehen, für die, wie im Fall des Aufsichtführenden vor Ort, nur im Anforderungsfall ein Ausführender bestimmt wird. Leitfrage wird sein, ob die einschlägigen Regelungen des Unternehmens so ausgelegt sind, dass sie die Ausführenden von Führungs- und Managementaufgaben möglichst

optimal unterstützen und möglichst mit keinen unangemessenen Beanspruchungen einhergehen, die sich nachteilig auf die Erfüllung sicherheitsrelevanter Aufgaben auswirken könnten.

### **Folgerungen für die Modellierung der Organisation in der PSA und für das Bewertungsverfahren**

Die Methode wird Management, Führung und Leitung als Teil der aufbau- und ablauforganisatorischen Sachverhalte berücksichtigen, die mit ihren Beiträgen zur Zuverlässigkeit zu untersuchen, zu analysieren und zu bewerten sind.

#### **2.1.6 Anreize**

##### **Begriffsbestimmung**

Anreize sind Ereignisse bzw. Aussichten auf solche Ereignisse, die für den Handelnden einen positiven oder negativen Wert haben und die ihn dazu motivieren, in der gegebenen Handlungssituation erforderliche, positiv bewertete Handlungen auszuführen und negativ bewertete zu unterlassen. Idealtypisch lassen sich auf Seiten des Unternehmens zwei grundlegende Formen von Anreizen gegenüberstellen:

- Extrinsische Anreize beziehen ihre Wirkung aus materiellen Vor- und Nachteilen.
- Intrinsische Anreize motivieren hingegen, weil sie Bedürfnisse des Handelnden, z. B. intellektueller oder sozialer Art durch die Aufgabenerfüllung selbst befriedigen. Ein Beispiel für intrinsische Anreize bildet das Ausmaß an selbstbestimmter Aufgabenerfüllung, das eine Prozessorganisation vorsieht, sofern die Grenzen der Anwendung dieses Ansatzes gewahrt bleiben.

Regelungen zu Art und Einsatz der Anreize bilden zusammen das Anreizsystem, das die Organisation der Unternehmung vorsieht.

##### **Erläuterungen**

Anreize und Anreizsysteme sind ein wichtiger Bestandteil der Organisation im Allgemeinen und der Führung im Besonderen, weil sie dazu dienen, Eigeninteressen der Mitarbeiter und Ziele der Unternehmung zu verknüpfen, um auf diese Weise das Personal zu motivieren, die zunächst nur abstrakten, papierenen Regelungen der Unter-



nehmensorganisation in konkretes Verhalten umzusetzen und dadurch zur Verwirklichung der Unternehmensziele beizutragen. Damit erschöpft sich ihre Rolle aber nicht, denn Anreize ergänzen und entlasten Aufbau-, Ablauf- und Prozessorganisation:

- Anreizsysteme begrenzen den unter Umständen sehr kostspieligen Kontrollaufwand unter der Bedingung, dass Beschäftigte kraft der Anreize aus eigenem Antrieb erforderliche Leistungen erbringen, soweit die Leistungsanforderungen mit den Leistungsvoraussetzungen des Menschen in Einklang stehen. Der Einsatz der 'richtigen' Anreize kann auch dazu beitragen, ein Klima des Vertrauens zu schaffen, das Arbeitszufriedenheit, Arbeitsmotivation und individuellen Einsatz besser fördert als dichte, äußere Kontrollen durch detaillierte Regelung und durch Aufpasser.
- Anreizsysteme können den Regelungsbedarf selbst beschränken, wenn nicht jede Aktivität so detailliert festgelegt werden muss, dass sie einer minutiösen, Schritt für Schritt nachvollziehbaren Kontrolle durch Aufpasser unterworfen werden kann.

Der Gestalter eines Anreizsystems muss somit abwägen, in welchem Umfang die Leistungserfüllung auf Fremdkontrolle durch detaillierte Regelung und Aufsicht bzw. auf Selbstkontrolle durch Eigeninteresse beruhen soll und welche Konsequenzen sich aus der relativen Gewichtung beider Kontrollformen für Zielerreichung, Regelkonformität und Motivation ergeben können (zu Anreizsystemen im Allgemeinen siehe [/FRE 04/](#)).

Kostenvorteile durch geringeren Kontroll- und Regelungsaufwand dürfen aber nicht blind genutzt werden, weil auch die Art der Aufgaben und ihrer Ausführungsbedingungen zu beachten ist, wenn über Umfang und Detail von Regelungen zu entscheiden ist. Ein hoher Detaillierungsgrad von Regelungen kann auch und gerade im Interesse des ausführenden Personals notwendig sein, wenn die Ausführenden Situationen wie z. B. Notfälle mit unvermeidlich hohen oder erhöhten Beanspruchungen bewältigen müssen, in denen eine klare Orientierung durch detaillierte Anleitungen einen Beitrag zur Entlastung zu leisten vermag.

Anreizsysteme sind kritisch auf mögliche Einseitigkeiten zu prüfen, die sich daraus ergeben können, dass 'gute' Anreizsysteme vor allem auf den betriebswirtschaftlichen Zweck der Kostensenkung und Beschränkung des Regelungsaufwandes zugeschnitten sein können. Zu einem 'guten' Anreizsystem gehört es, dass die Anwendung der Anreize die 'richtigen Signale' setzt: Es muss klar sein, welches Verhalten erwünscht und unerwünscht ist und warum. Auch muss die Anwendung der Anreize gerecht sein, darf

also niemanden aussparen oder begünstigen, darf weder über- noch untertrieben sein und darf nicht inkonsistent in dem Sinne erfolgen, dass es für die gleiche Handlung mehr oder weniger zufällig einmal die vorgesehene Anerkennung (bzw. Sanktion) gibt und einmal nicht.

## **Folgerungen für die Modellierung der Organisation in der PSA und für das Bewertungsverfahren**

Anreizsysteme sind in die Modellbildung als ein wichtiger Faktor auf Seiten des Unternehmens und seiner Führung einzubeziehen, der je nach Ausgestaltung mehr oder weniger stark dazu motivieren und beitragen kann, organisatorische Regelungen insbesondere auf dem Gebiet der Sicherheit betriebener Anlagen einzuhalten. Faktoren mit Einfluss auf die Motivation sind im Arbeitssystemmodell berücksichtigt (vgl. Abschnitt 4.1.3.1). Die Quantifizierung des Beitrags solcher Faktoren ist noch weitgehend offen. Beiträge der Anreize zur Handlungszuverlässigkeit erfordern Entwicklungsarbeiten, die den Rahmen des vorliegenden Projekts sprengen.

### **2.1.7 Beanspruchung, Belastung, Unter- und Überforderung, Stress**

#### **Begriffsbestimmung**

Der Begriff der Beanspruchung bezeichnet eine Mehrzahl, miteinander zusammenhängender Sachverhalte (z. B. [/HOY 74/](#), S.155ff, [/UDR 99/](#) S. 429 ff):

- Man versteht unter der Beanspruchung Prozess und Ergebnis der Inanspruchnahme physischer und psychischer Leistungsmöglichkeiten des Menschen bei der Auseinandersetzung mit den Anforderungen, die eine Arbeitsaufgabe stellt und deren Bewältigung dem Handelnden bestimmte Leistungen abverlangt. Inanspruchnahme und damit Einsatz bestimmter Kenntnisse, Fertigkeiten oder auch Körperkräfte sind notwendig, um geforderte Leistungen überhaupt erbringen zu können. Inanspruchnahme lässt sich als Aktivierung benötigter Leistungsmöglichkeiten interpretieren, die als begrenzte Ressourcen verstanden und durch die Inanspruchnahme mehr oder weniger stark gebunden werden.

Das Ausmaß der Inanspruchnahme kann variieren und folglich mehr oder weniger viel Raum für weitere, parallel ausgeführte Leistungen lassen, wie man sich am Beispiel des Autofahrens veranschaulichen kann, das vom Mithören der Ver-

kehrsmeldungen im Radio begleitet wird. Dieses Ausmaß der Inanspruchnahme hängt von den Anforderungen und den beanspruchten Leistungsmöglichkeiten ab. Je anspruchsvoller zum Beispiel eine Fahrsituation für den Fahrer ist, desto stärker tritt das Radiohören in den Hintergrund. Und je ungeübter der Fahrer, desto weniger wird er darüber hinaus von den Radiosendungen mitbekommen. Diese Zusammenhänge gelten auch in andere Anforderungssituationen.

Die Annahme relativ fester Ressourcen und Kapazitäten stellt ein Kernmerkmal des traditionellen Belastungs-Beanspruchungs-Ansatzes dar, das zunehmend in die Kritik geraten ist. Dieser Ansatz charakterisiert Beanspruchungen durch den Anteil an den prinzipiell verfügbaren Kapazitäten, den die Bewältigung der Anforderungen einer Handlungssituation mit Beschlag belegt. Die verfügbare Kapazität betrachtet der traditionelle Ansatz in den Grenzen enger statistischer Margen als starr. Diese Vorstellung vernachlässigt, dass der Handelnde Kapazitäten dynamisch an die Erfordernisse der Handlungssituation anpassen kann, nachdem er auf Grund seiner bisherigen Erfahrungen und seiner aktuellen Ziele eine mehr oder weniger bewusste Entscheidung getroffen hat, wie wichtig es für ihn ist, diesen Erfordernissen zu entsprechen und dafür seine psychischen wie auch physischen Leistungsmöglichkeiten einzusetzen.

- Ressourceneinsatz und damit Beanspruchung sind somit auch als Ergebnis einer Bewertung zu sehen, die wesentlich von Zielen, Prioritäten und Leistungsbereitschaft des Handelnden sowie von seinem Wissen über die Art der Anforderungen und über die Möglichkeiten ihrer Bewältigung abhängt.
- Lernen und Erfahrung helfen, Kapazitätsgrenzen auszudehnen oder zu umgehen. Ein Beispiel bildet das Kurzzeitgedächtnis, dem die ältere Literatur ein recht geringes Speichervolumen mit entsprechenden Einschränkungen der Gedächtnisleistung zugeschrieben hat. Neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass Bereitstellung und Zwischenspeicherung fachspezifischen Wissens sowie die Gestaltung des Zugriffs auf dieses Wissen bei Experten die Gedächtnisleistung deutlich erhöhen können. Diese Prozesse sind erfahrungsbhängig und unterliegen durch bewusste Organisation des Wissens sowie der Wissensverarbeitung teilweise der willkürlichen Kontrolle durch den Handelnden.

Aus dieser Sicht gibt es nicht die eine und feste Beanspruchung durch eine Arbeitsaufgabe. Die Erkenntnisse des traditionellen Ansatzes verlieren deshalb je-

doch nicht grundsätzlich jede Gültigkeit, sie sind vielmehr als Ergebnisse zu betrachten, die unter vereinfachenden Annahmen weiterhin aufrechterhalten werden können. Es ist daher sorgfältig abzuwägen, welche Erkenntnisse des traditionellen Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts weiterhin als gültig und nutzbar anzusehen sind.

- „Beanspruchung“ bezeichnet nicht nur die Inanspruchnahme menschlicher Leistungsmöglichkeiten, sondern auch eine Schwächung des Ausführenden, die von der Art, Dauer und Höhe der Inanspruchnahme abhängt, zu Ermüdung führt, die Leistung beeinträchtigt und die Anfälligkeit für Fehler erhöht. Die Schwächung wird als zunehmende Anstrengung erlebt, die Aufgabe zu bearbeiten. Im Normalfall ist die Schwächung reversibel und durch Erholung zu überwinden. Jedoch können bestimmte unangemessene Beanspruchungen auch zu dauerhaften Schädigungen und Leistungsminderungen führen. Quantitative Abschätzungen der Ermüdungseffekte auf die Leistung liegen für bestimmte, einfache Aufgaben wie das Kopfrechnen mit kleinen Zahlen oder die Entdeckung von Radarsignalen vor ([/SCH 65/](#)). Komplexere Aufgaben lassen sich darauf nicht reduzieren, weil letztere vielfältige, aufeinander abgestimmte Leistungen erfordern, zu denen das Kopfrechnen allenfalls als ein Bestandteil gehört. Für komplexere Aufgaben bildet die Messung von Beanspruchung und Ermüdung ein noch vielfältig kontrovers diskutiertes Arbeitsfeld.

Der Begriff der Beanspruchung ist auch im Plural gebräuchlich, um verschiedene Arten der Beanspruchung unterscheiden zu können. Man spricht z. B. von körperlichen, mentalen oder emotionalen Beanspruchungen, die sich weiter aufschlüsseln lassen. Klassifikation und quantitative Bestimmung der Beanspruchungen gehören ebenfalls zu den strittigen Themen der Arbeitswissenschaften.

Unter den Belastungen bzw. Anforderungen versteht man die Gesamtheit der äußeren Faktoren und Umstände, denen sich der Ausführende bei und durch die Bearbeitung von Arbeitsaufgaben unter den gegebenen Arbeitsbedingungen aussetzt und denen er durch Beanspruchung seiner Leistungsmöglichkeiten zu begegnen versucht. Diese Belastungen oder Anforderungen an die Leistung ergeben sich direkt aus der Art organisatorischer Regelungen, die Arbeitsaufgaben und Arbeitssysteme im Detail festlegen. Anforderung und Belastung dienen im Folgenden als austauschbare Begriffe.

Gleiche Belastungen können je nach den Leistungsmöglichkeiten der Person mit unterschiedlichen Beanspruchungen einhergehen. Bei konstanten Leistungsvoraussetzungen besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Belastung und Beanspruchung, der sich allerdings nicht linear gestaltet:

- Die Beanspruchung erreicht ein Optimum, wenn Anforderungen und Leistungsmöglichkeiten in Einklang stehen. Dieses Gleichgewicht ändert sich zeitlich insbesondere in Abhängigkeit von der Ermüdung und, nach dem oben Gesagten, von den Anpassungsleistungen, mit denen der Mensch die Beanspruchung aktiv beeinflussen kann.
- Unterforderung bzw. Überforderung liegen vor, wenn Anforderungen (Belastungen) und Leistungsmöglichkeiten in einem deutlichen Missverhältnis stehen, wodurch die Beanspruchung des Ausführenden relativ zum optimalen Bereich zu gering oder zu hoch ausfällt. Über- und Unterforderung gehen mit unangemessener Beanspruchung einher. Man spricht nicht von einer Unterbeanspruchung, weil auch zu geringe Anforderungen zu unangemessen hoher Beanspruchung führen. Sie besteht in diesem Fall in der Anstrengung, sich auf eine anspruchslose Aufgabe zu konzentrieren und sie den Anforderungen entsprechend zu erfüllen.

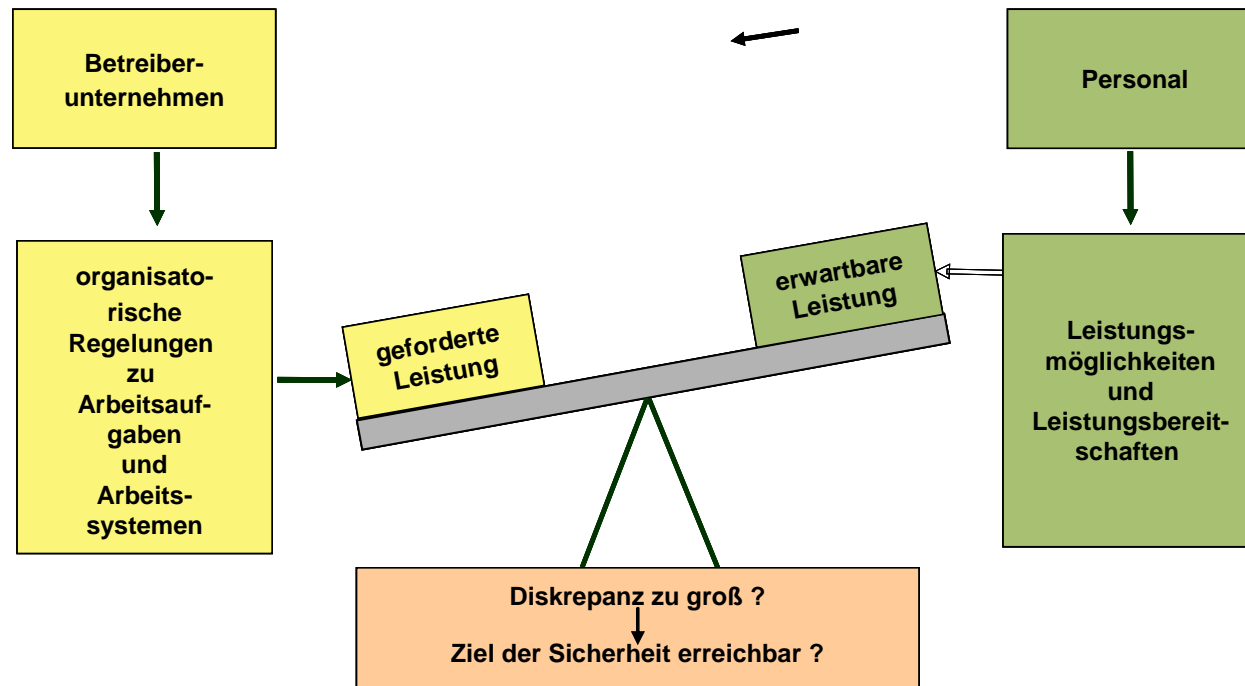
Stress ist gegeben, wenn der Mensch seine Leistungsmöglichkeiten mobilisiert, um sich einer bedrohlichen oder als gefährlich empfundenen Situation durch Flucht zu entziehen oder sich ihr zu stellen, wenn er ihr nicht ausweichen kann. Dieses biologisch sinnvolle Verhalten geht mit Vergrößerungen des Denkens einher, die in einem komplexen sozio-technischen System kontraproduktives Handeln hervorrufen können. Man spricht genauer von der 'Stressreaktion' auf Merkmale der Handlungssituation, die diese Reaktion zur Vorbereitung auf Flucht oder Verteidigung auslösen können und daher 'Stressoren' heißen. Die Stressreaktion verläuft unspezifisch. Das bedeutet, dass sie von der genauen Art des Stressors unabhängig ist, sofern von ihm nur eine reale oder vorgestellte Bedrohung ausgeht.

Bedrohlich wirken insbesondere auch Situationen, in denen der Handelnde absieht oder befürchten muss, die Kontrolle zu verlieren und zu versagen, weil die Leistungsanforderungen seine Leistungsmöglichkeiten überfordern. Somit gehen Bedrohungen über objektive Gefährdungen von Leben, Gesundheit oder materiellen Werten hinaus. Zur Bedrohung können auch organisatorische Regelungen werden, wenn sie dem Menschen Leistungen abverlangen, die seine Leistungsmöglichkeiten oder seine Bereitschaft zur Verantwortungsübernahme übersteigen, oder wenn die Regelungen

durch Lücken, Widersprüche und Ungenauigkeiten keine klare Orientierung bieten, was zu tun ist, um den Anforderungen gerecht zu werden und anstehende Aufgaben zu meistern.

Man darf Stressoren ebenso wenig wie Belastungen als Gegebenheiten betrachten, denen der Mensch nur passiv ausgesetzt ist. Menschen wenden vielmehr unterschiedliche Strategien an, um Stress zu bewältigen. Art und Ausmaß des Stress lassen sich somit als Ergebnis einer aktiven Auseinandersetzung mit der Handlungssituation verstehen, die der Handelnde mit Blick auf erwartete Beanspruchungen, vorhersehbarer Stress, angestrebte Eigenziele, seine Handlungsoptionen und deren Folgen mehr oder weniger bewusst abwägt, um dann über sein konkretes Verhalten zu entscheiden. Er kann z. B. versuchen, sich vermeintlichen oder tatsächlichen Beanspruchungen unangemessener Art oder Stress ganz oder teilweise zu entziehen, indem er organisatorische Regelungen nach Möglichkeit umgeht und bestimmte Risiken auf sich nimmt, die er subjektiv als geringer bewertet als die Nachteile durch Stress bzw. Beanspruchung. Solche Risiken können objektiv von Sanktionen des Unternehmens über materielle Schäden bis zur Gefährdung anderer Menschen oder der eigenen Person reichen, um nur einige Beispiele zu nennen. Situationen und Reaktionen dieser Art dürfen aber nicht einseitig in dem Sinne interpretiert werden, dass der Handelnde böswillig seine Pflicht verletzt. Vielmehr ist genau zu untersuchen, ob und inwieweit die zugrunde liegenden organisatorischen Regelungen nicht so beschaffen sind, dass sie den Grundsatz verletzen, Anforderungen auf das Können und Wollen der Stelleninhaber abzustimmen.

Abb. 2-2 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Anforderungen der Organisation, Leistungsvoraussetzungen auf Seiten des Personals, Leistungserfüllung und Zielerreichung für den Fall, dass die Organisation mit ihren Forderungen das Personal in eine Überforderungs- oder Stresssituation bringt. Fällt die Diskrepanz zwischen geforderter und erwarteter Leistung zu groß aus, steht die Verwirklichung des Ziels der Sicherheit in Frage. In diesen begrifflichen Rahmen ordnet sich der Bewertungsansatz des Vorhabens ein. Dabei ist unter der Leistung ganz allgemein die Arbeitsleistung mit ihren Merkmalen der Qualität, Quantität, Termintreue und (oder) Einhaltung bestimmter Vorgehensweisen wie z. B. Prozeduren zu verstehen.



**Abb. 2-2** Begrifflicher Rahmen für die Beurteilung organisatorischer Gegebenheiten

Zu große Diskrepanzen ergeben sich, wenn, wie abgebildet, die geforderte Leistung die zu erwartende übertrifft (Überforderung), oder, umgekehrt, der zu erwartenden Leistung ein Zuwenig an geforderter Leistung gegenübersteht (Unterforderung mit spiegelbildlicher Schräglage des Balkens). Im Idealfall wäre das Verhältnis ausgeglichen (horizontale Balkenlage).

Subjektive Kosten-Nutzen-Analysen und persönliche Entscheidungen stehen in engem Zusammenhang mit Handlungszielen, Arbeitsmotivation und damit Leistungsbereitschaft. Folglich lassen sich die Konzepte von Beanspruchung und Stress dadurch präzisieren, dass die Leistungsmöglichkeiten als Faktoren verstanden werden, deren Inanspruchnahme wesentlich auch von Leistungsbereitschaft, Handlungszielen und der subjektiven Bewertung von Gegebenheiten der Handlungssituation abhängt. Mit dieser Erweiterung gehen in das Zusammenspiel von Leistungsanforderungen, Leistungsvoraussetzungen, Beanspruchung und Stress nicht nur die Leistungsmöglichkeiten, sondern auch die Leistungsbereitschaft ein, deren Bedeutung z. B. die oben zitierten Untersuchungen des Gallup Instituts zur Beteiligung von Beschäftigten am betrieblichen Leistungsprozess eindringlich illustrieren.

### **Erläuterungen**

In der Zuverlässigkeitsbewertung spricht man von leistungsbestimmenden oder leistungsbeeinflussenden Faktoren („performance shaping factors“ – PSF), deren Ausprägung sich in systematischer Weise auf die Fehlerwahrscheinlichkeit auswirkt. Nach Swain handelt das Personal mit einer Basisfehlerwahrscheinlichkeit, wenn optimal ausgeprägte Faktoren vorliegen. Diese Basisfehlerwahrscheinlichkeit kann nicht unterschritten werden. Bei suboptimalen Faktoren erhöht sich die Basisfehlerwahrscheinlichkeit. Für die anstehenden Entwicklungsarbeiten ist zu klären, wie leistungsbestimmende Faktoren, Beanspruchungen und Stress zusammenhängen:

- Stress ist ein leistungsbestimmender Faktor. Swain erfasst mit dem Stress die Aktivierung, die zur Erfüllung einer anstehenden Aufgabe zu gering, optimal, mäßig erhöht oder extrem erhöht sein kann. Mit Ausnahme der optimalen Ausprägung wirkt die Aktivierung leistungsmindernd und trägt zur Verringerung der Handlungszuverlässigkeit bei. Swain berücksichtigt die Wechselwirkung zwischen Stress und Wissen, das er ebenfalls zu den leistungsbestimmenden Faktoren zählt.
- Weitere Faktoren ordnen sich dem Bereich der ergonomischen Gestaltung zu. Dazu gehören Gestaltungsaspekte der Prozeduren und der Benutzungsoberflächen. Diese Faktoren wirken unabhängig von Stress und Wissen. Durch ihre Ausprägung fordern sie den Nutzern bestimmte Leistungen ab. Je nach Ausprägung führen sie dazu, dass das Personal mit der Basisfehlerwahrscheinlichkeit oder einer geringeren Zuverlässigkeit handelt. Die PSF stellen somit Belastungen dar, aus denen sich spezifische Beanspruchungen ergeben.



## **Folgerungen für die Modellierung der Organisation in der PSA und für das Bewertungsverfahren**

Das Konzept der Beanspruchung ermöglicht es, den Zusammenhang zwischen organisatorischer Regelung und Leistung auf das Verhältnis bzw. Missverhältnis zurückzuführen, das zwischen

- den Leistungsvoraussetzungen des Stelleninhabers und
- den Leistungsanforderungen der Organisation an den Stelleninhaber

bestehen kann. Die klassische Organisationswissenschaft trägt diesem Verhältnis prinzipiell Rechnung, indem sie fordert, bei der Festlegung organisatorischer Regelungen die Leistung eines durchschnittlichen Stelleninhabers als Maß zu nehmen. Das Bewertungskonzept wird sich wesentlich auf diese Relation als Ausgangspunkt stützen. Dabei wird aber eine wesentliche Weiterentwicklung vorzunehmen sein, um neben der durchschnittlichen oder normalen Leistung auch Leistungsschwankungen zu berücksichtigen.

Die Festlegung leistungsbestimmender Faktoren gehört zur Organisation, wenn letztere als Prozess der Planung, Vorbereitung und Gestaltung der Arbeiten an bzw. mit der technischen Einrichtung betrachtet wird. Auch kann die Organisation als Ergebnis des Organisationsprozesses danach bewertet werden, ob sie bestmögliche Rahmenbedingungen zuverlässigen Handelns bietet. Darüber hinaus unterliegen auch die Handlungen der Personen, die zum Beispiel Prozeduren schreiben oder andere Rahmenbedingungen sicherheitstechnisch wichtiger Eingriffe festlegen, leistungsbestimmenden Faktoren und damit Beanspruchungen, die sich auf die Zuverlässigkeit dieser organisierenden zu Planung und Arbeitsvorbereitung gehörenden Tätigkeiten auswirken. Diese Sichtweise ist für die anstehende Methodenentwicklung grundlegend.

Der organisatorische Faktor besteht somit aus dem Prozess oder den Prozessen, die Rahmenbedingungen für die Ausführung sicherheitstechnisch wichtiger Eingriffe und damit Stress und Beanspruchungen der Personen festzulegen, denen diese Eingriffe obliegen. Diese organisierenden Prozesse bestehen ihrerseits aus Handlungen, die unter bestimmten Rahmenbedingungen und daraus resultierenden Beanspruchungen ausgeführt werden müssen.

Stress, Beanspruchung und Belastung stellen Konzepte mit qualitativen und quantitativen Merkmalen dar, deren genaue Erfassung bzw. Messung noch viele Probleme aufwirft. Daher wird sich hier die Einschätzung von Beanspruchung und Stress pragmatisch auf Expertenbeurteilungen stützen und diese durch möglichst präzise Formulierungen des Beurteilungsgegenstandes soweit es geht objektiv zu gestalten versuchen.

## **2.2 Grundsätzlicher Zusammenhang zwischen Organisation und Sicherheit**

Konkrete Einzelschritte und Ergebnisse der anstehenden Entwicklungsarbeiten hängen entscheidend davon ab, wie man den Zusammenhang von Organisation und Sicherheit versteht. Erläuterungen und Folgerungen im Anschluss an die Begriffsbestimmungen haben an verschiedenen Stellen bereits die Aspekte vorgestellt, wie man den Beitrag der Organisation zur Sicherheit zu verstehen hat. Die folgenden Ausführungen enthalten in kompakter Form die Überlegungen zum Zusammenhang zwischen Organisation und Sicherheit. Daraus ergeben sich die Leitideen, von denen die Entwicklung der angestrebten Bewertungsmethode für sicherheitsrelevante organisatorische Faktoren eines Betreiberunternehmens ausgehen und die Gliederungspunkt 2.3 darstellen wird.

- Organisation lässt sich als ein System möglichst allgemeingültiger und überdauernder Regelungen verstehen, die das Handeln der Beschäftigten und den Einsatz von Mitteln so lenken sollen, dass das Unternehmen seine Ziele verwirklichen kann (u. a. [/FRE 97/](#), S. 2843 ff, [/SCH 04/](#), S. 967 und S. 969). Es sei angemerkt, dass für viele Autoren bei der Organisation Handlungsregeln im Vordergrund stehen und technische Einrichtungen nur insofern einbezogen werden, als das Handeln unterstützen. Das Projekt folgt dieser Gepflogenheit.
- Es gibt organisatorische Regelungen, deren Umsetzung sich direkt, quasi kausal oder automatisch, auf die Ausprägung einer Zielgröße unternehmerischer Tätigkeit auswirkt. Man kann die Wirkung geplanter (Neu-) Regelungen dieser Art somit genau vorhersehen.

Dieser unmittelbare Zusammenhang lässt sich am Beispiel der Personalkosten erläutern, deren Höhe bei gegebenen Tarif- und Arbeitsverträgen von der Zahl und der Qualifikation der Beschäftigten abhängt. Ein Unternehmen kann bestimmte Tätigkeiten so regeln, dass es für die Ausführung den Einsatz mehr oder weniger vie-

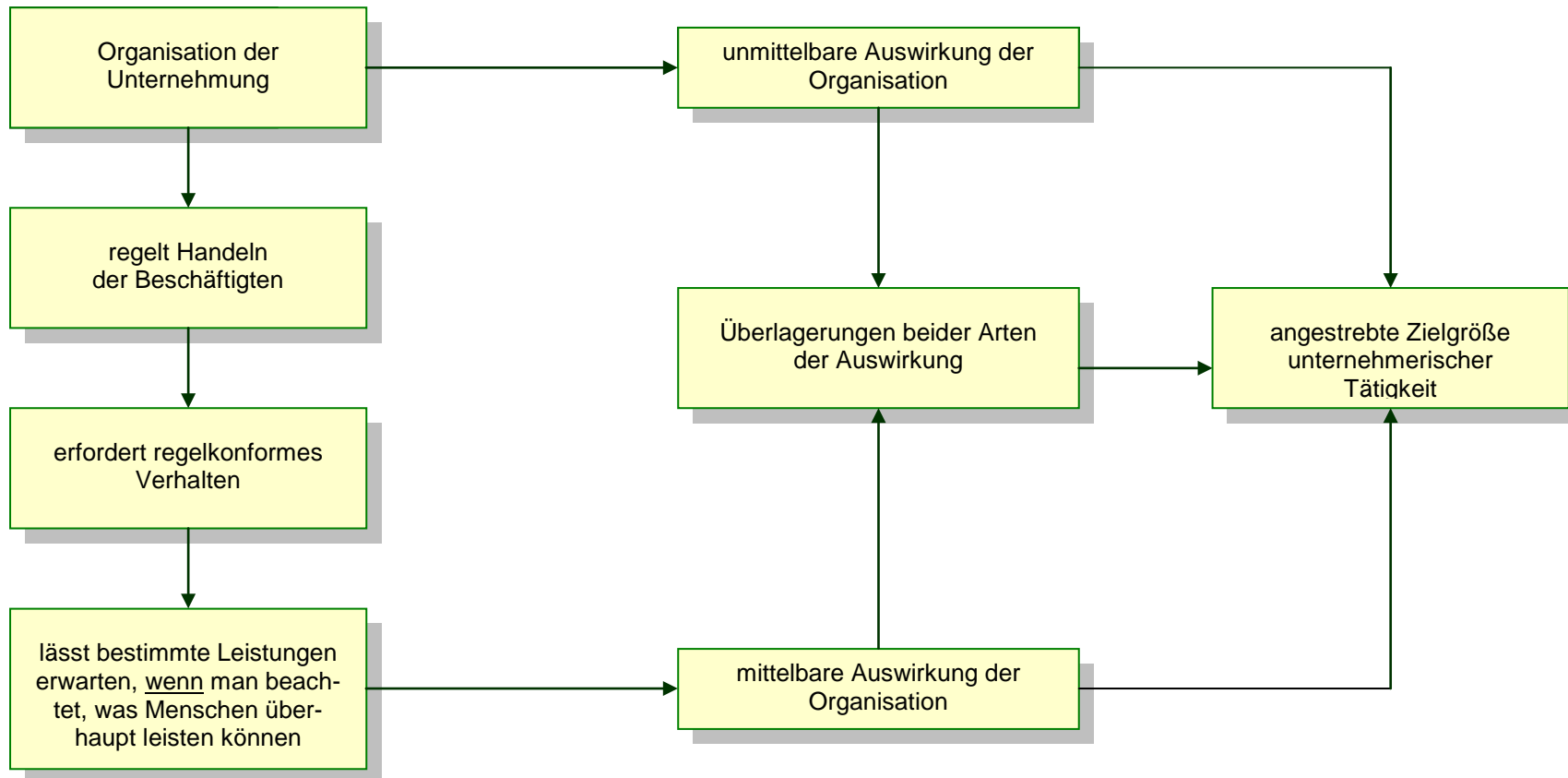
ler Personen mit bestimmten Qualifikationen vorsieht. Die Auswirkung dieser organisatorischen Regelungen auf die Höhe der Personalkosten lässt sich errechnen und für mögliche Neuregelungen präzise vorhersagen.

- Eine zweite Gruppe von Regelungen erfordert die aktive Leistung der Beschäftigten, damit diese Regelungen ihre beabsichtigte Wirkung entfalten und zur Erreichung des Ziels beitragen können. Bei diesen Regelungen besteht somit ein mittelbarer Zusammenhang zwischen Organisation und Zielgröße unternehmerischer Tätigkeit. Er heißt 'mittelbar', weil die Zielerreichung vom Inhalt der Regelungen und von den Leistungen abhängt, die sich bei einem regelkonformen Vorgehen erwarten lassen. Die 'und'-Verknüpfung von Regelinhalt und Leistung ist aus folgenden Gründen wichtig:
  - Regelungen könnten prinzipiell so ausgestaltet sein, dass sie mit ihren Leistungsanforderungen bis an die Grenzen menschlicher Leistungsbereitschaft und menschlicher Leistungsfähigkeit gehen oder diese sogar überschreiten. Im ungünstigsten Fall könnte das Personal die geforderte Leistung also gar nicht erbringen, auch wenn es sein Bestes zu tun beabsichtigt, um die vorgesehenen Regelungen umzusetzen. Eine naheliegende Reaktion besteht darin, Regelungen zu umgehen, wenn diese tatsächlich oder vermeintlich unangemessen beanspruchen, und die geforderte Leistung auf Wegen zu erreichen, die das Reglement nicht vorsieht. Andere Reaktionen bestehen zum Beispiel in Kündigung, Krankfeiern oder Arbeitsverweigerung.
  - Neben den geschilderten Überforderungen können auch Unterforderungen die Leistungserfüllung beeinträchtigen, wenn die organisatorischen Regelungen in größerem Umfang monotone, langweilige und/oder anspruchslose Aufgaben vorsehen, die sich nachteilig auf Wachheit, Aufmerksamkeit und Reaktionsbereitschaft auswirken und dauerhaft sogar zu Qualifikationsverlusten führen können.
  - Leistungsdefizite lassen sich aber auch dann erwarten, wenn Unternehmen das Handeln zu sehr oder zu wenig reglementieren. Geht die Reglementierung über das sachlich Erforderliche hinaus, kann sich das Personal gegängelt fühlen, was die Leistungsbereitschaft lähmen und (oder) als Korsett wirken kann, das sachlich erforderliche Handlungsspielräume über Gebühr einschränkt. Beides kann die Folge haben, dass erforderliche Handlungen nicht so schnell oder zuverlässig wie erforderlich erfolgen. Unterreglementierung kann dage-

gen die Folge haben, dass die Beschäftigten im Anforderungsfall über keine klare Orientierung verfügen, was sie tun dürfen, sollen oder müssen, um anstehende Situationen zu meistern. Aus Unsicherheiten dieser Art können sich ebenfalls Handlungsfehler ergeben.

Die Organisation hätte in solchen Fällen den Zweck verfehlt, Regelungen zu schaffen, deren Anwendung die Verwirklichung von Zielen ermöglicht. Eine Grundforderung klassischer Organisationswissenschaft lautet daher, bei der Festlegung organisatorischer Regelungen auf das 'normale' Leistungsvermögen bzw. die 'normale' Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft des Menschen mit der erforderlichen Berufsausbildung im Allgemeinen (vgl. [/WEI 90/](#), S. 43, [/KOS 62/](#), S. 80, 195, 211, 212, 213) und der Führungskräfte im Besonderen (siehe [/WEI 90/](#), S. 69) Bezug und Rücksicht zu nehmen.

Die Einteilung stellt 'unmittelbare' und 'mittelbare' Zusammenhänge zwischen Organisation und Zielerreichung einander wie unabhängige Wirkungslinien gegenüber. In Wahrheit bestehen Überschneidungen und Übergänge, wenn z. B. Personalkapazitäten schrittweise immer weiter abgebaut und die verbleibenden Personen folglich immer stärker bis zu dem Punkt beansprucht werden, dass die Erfüllung angestrebter Ziele unrealistisch wird. Abb. 2-3 veranschaulicht die vorgestellten Zusammenhänge zwischen Organisation und Zielgrößen unternehmerischer Tätigkeit.



**Abb. 2-3** Zusammenhang zwischen der Organisation und dem angestrebten Ziel unternehmerischer Tätigkeit

### 2.3 Folgerungen und Leitideen für die Methodenentwicklung

Die Leitideen der anstehenden Methodenentwicklung lassen sich wie folgt formulieren:

- Organisation wird in Übereinstimmung mit der Fachliteratur als Aktivität und als Produkt dieser Aktivität verstanden.
- Zur Organisation als Aktivität gehört die Planung und Herstellung der Rahmenbedingungen (PSF), unter denen das zuständige Personal sicherheitstechnisch erforderliche Eingriffe auszuführen hat.
- Zu jedem PSF eines betrachteten sicherheitstechnisch erforderlichen Eingriffs kann ein Prozess existieren, den die Anlage dafür vorsieht, diesen PSF herzustellen. Fehlt ein solcher Prozess, bleibt es dem Personal überlassen, die betreffende Rahmenbedingung der Ausführung des Eingriffs selbst herzustellen. Letzteres zählt nicht zur Organisation.
- Planung und Herstellung eines PSF können fehlerhaft sein und sich dadurch auf die Ausprägung dieses PSF sowie auf die Zuverlässigkeit des Eingriffs auswirken, dessen Ausführung der Wirkung dieses PSF unterliegt.
- Fehler auf der Ebene des Planungs- und Herstellungsprozesses können ihrerseits auf PSF zurückgeführt werden, deren Ausprägung dazu führt, dass die Handlungen des Planens und Herstellens mit einer Basisfehlerwahrscheinlichkeit oder einer im Vergleich dazu Fehlerwahrscheinlichkeit ausgeführt werden.
- Man bestimmt die PSF der sicherheitstechnischen Eingriffe und der Handlungen des Planens bzw. Herstellens, indem man die Arbeitssysteme untersucht, in denen die Eingriffe bzw. Handlungen stattfinden und beurteilt, welche Faktoren in diesen Arbeitssystemen für die Zuverlässigkeit wichtig sind.
- PSF des Planens und Herstellens können ihrerseits Gegenstand organisatorischer Festlegungen und deren Implementierung sein. Aus Gründen der Überschaubarkeit sind Grenzen zu definieren, über die hinaus die Analyse organisatorischer Beiträge zu Zuverlässigkeit eines sicherheitstechnisch erforderlichen Eingriffs nicht hinausgehen soll.

- Es ist jedoch zu untersuchen, inwieweit die die Prozesse der Planung und Herstellung eines PSF für einen sicherheitstechnisch wichtigen Eingriff auch die Zuverlässigkeit weiterer Eingriffe mitbestimmen können.

Die angestrebte Methode zielt also nicht darauf ab, die Organisation einer Anlage oder eines Betreibers als Ganzes zu untersuchen, zu analysieren und zu bewerten. Der Anwender hat nur die Ausschnitte zu untersuchen, die für sicherheitstechnisch bedeutsame Eingriffe wichtig sind, weil sie für die Ausprägung leistungsbestimmende Faktoren zuständig sind.

Mit der Arbeitssystemanalyse steht ein Verfahren für die Untersuchung und die qualitative Beurteilung der PSF und ihres Beitrags zur Handlungszuverlässigkeit bereit, das die angestrebte Methode nutzen wird. Offen ist dagegen das Vorgehen zur umfassenden, quantitativen Bewertung der organisatorischen Aktivitäten, aus denen die Planung und Herstellung der PSF beruht. Daher wurde die Literatur zur Organisationsbewertung auf Ansätze untersucht, die sich für diese quantitative Bewertung nutzen lassen.

## **2.4 Ergebnisse der Sichtung wissenschaftlicher Fachliteratur zur Organisationsbewertung**

In den betriebswirtschaftlich orientierten Teilen der Organisationswissenschaft sind die Gegenstände der Bewertung die Konzepte, Modelle, Arten und Weisen wie eine Organisation als Mittel zur Erreichung unternehmerischer Ziele gestaltet ist oder gestaltete werden soll. Zusammenhänge zwischen Organisation, Handeln und Leistung werden besonders in der Organisationspsychologie, Arbeitspsychologie und Organisationssoziologie diskutiert. Beiträge der letztgenannten Fachgebiete waren zu berücksichtigen, weil die Zuverlässigkeit der Aufgabenerfüllung ein Aspekt menschlicher Leistung ist.

Die folgenden Ausführungen fassen den Stand der Fachliteratur zum Thema der Modellierung und Bewertung von Organisationen zusammen.

- Klassische Indikatoren der Unternehmensleistung leiten sich oft aus der Verrechnung ausgewählter Posten der Unternehmensbilanz ab, ohne dabei einen Bezug zur Unternehmensorganisation herzustellen. Neuere Ansätze berücksichtigen Indikatoren für nicht-monetäre Unternehmensziele, wobei sich die Aufgabe stellt, ein Kausalmodell zwischen Organisationsmerkmalen und Indikatoreausprägungen her-

zustellen, ohne dass sich der Zusammenhang beider weder verstehen noch messen lässt.

- Organisationswissenschaftliche Ansätze der Organisationsbewertung konzentrieren sich auf ökonomische Aspekte der Organisation. Bewertet man die recherchierte Literatur zusammenfassend, zeigt sich, dass ökonomische Kosten-Nutzen-Analysen im Vordergrund stehen. Man stellt Modelle bereit, um zu entscheiden, ob z. B. Mehrkosten durch Zerlegung einer großen in mehrere kleinere Abteilungen mit entsprechend vielen, zusätzlichen Abteilungsleiterstellen und Koordinationsaufwand auf Abteilungsleitersebene durch Kostenvorteile aufgewogen werden, die mit dichter Kontrolle oder stärkerer Arbeitsteilung zwischen kleineren, stärker spezialisierten Abteilungen einhergehen ([/REE 94/](#)). Das Vorhaben RS1180 betrachtet diesen Zweig der Organisationswissenschaft wegen dieser ökonomischen Ausrichtung nicht weiter.
- Eine eigenständige Organisationsbewertung kann leicht als entbehrlich oder nachrangig angesehen werden, weil die Umsetzung geeigneter Anforderungen an die Form der Organisation per se bereits zu gewährleisten scheint, mit der resultierenden Organisationsform die angestrebten Unternehmensziele verwirklichen zu können.
- In der Organisationswissenschaft hat sich der Ansatz von Kosiol durchgesetzt, weshalb die Arbeiten im Vorhaben RS1180 vor allem auf dessen Begriffe und Methoden zurückgreifen: Der Arbeit von Kosiol lässt sich mit dem Werk von Weidner (vgl. [/WEI 90/](#) und spätere Auflagen) eine neuere detaillierte Monographie zur Seite stellen, welche sich als praktische Unterstützung der Organisationsarbeit durch Methoden und Techniken versteht, grundsätzlich aber dem Kosiol'schen Ansatz treu bleibt. Neben Weidner wurde auch die knappere, aber ebenfalls neuere Buchpublikation von Küpper [/KUE 95/](#) herangezogen, die sich speziell der Ablauforganisation widmet. Als weitere Quelle für Bewertungsansätze dient ferner ein neuer Ansatz, der den Anspruch vertritt, die Organisation menschlicher Arbeitsleistungen als Schlüsselfaktor erfolgreicher Unternehmen in umfassender Weise zu beschreiben und zu optimieren [/HAR 05/](#):
  - Aufbau- und Ablauforganisation gehen aus einem Prozess hervor, der (1) aus den Unternehmenszielen Aufgaben ableitet, die zur Zielerfüllung erforderlich sind, und der (2) für diese Aufgaben Strukturen der Aufgabenverteilung und der Aufgabenerfüllung entwickelt.

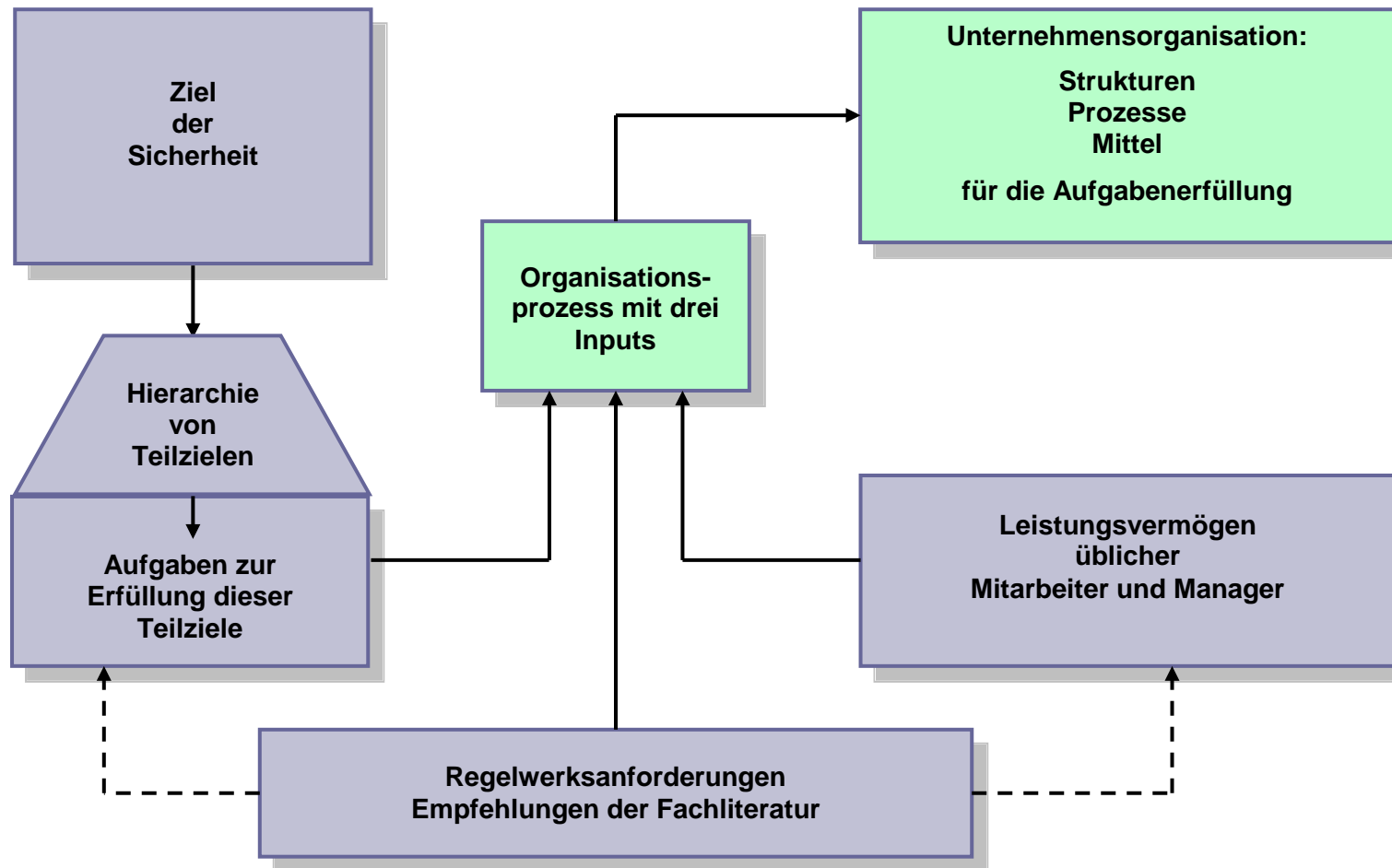


- Kosiol fordert, die organisatorischen Strukturen und Prozesse so festzulegen, dass die geforderten Handlungen im Rahmen der vorgesehenen arbeitsteiligen Erfüllung von Aufgaben dem Leistungsvermögen durchschnittlicher, vorgesehener Stelleninhaber entsprechen. Diese Forderung bezieht sich auf alle Tätigkeiten im Unternehmen, auch auf Führungsaufgaben. Die Kosiol'sche Forderung verbindet also die Definition der Organisation mit einer wesentlichen Randbedingung:
- Die vorgesehene Arbeitsteilung und die vorgesehenen Aufgabenerfüllungsprozesse sollen dem Personal nicht mehr (oder weniger) Aufgaben, Zuständigkeiten und Verantwortung zuzuweisen, als es aufgrund seiner Leistungsmöglichkeiten prinzipiell auch bewältigen kann. Das bedeutet, dass die Unternehmung den Stelleninhabern auf allen Hierarchieebenen, in allen Abläufen und bei allen Aufgaben, die sich absehen und regeln lassen, im Idealfall keine Leistung abverlangt, die über das durchschnittliche Leistungsvermögen des Personenkreises hinausgeht aus dem die Unternehmung Stelleninhaber rekrutiert. Sonst besteht die Gefahr, dass über- oder unterfordertes Personal die zugewiesenen Aufgaben nicht mit ausreichender Präzision erfüllen kann, wodurch wiederum die Verwirklichung des Unternehmensziels in Frage steht.

Kosiol stellt aber keine Methode bereit, um die Beanspruchung qualitativ oder quantitativ zu erfassen.

Abb. 2-4 veranschaulicht, in Anlehnung an Kosiol

- Ziel- und Aufgabenanalyse,
- Berücksichtigung des allgemein menschlichen und berufsspezifischen Leistungsvermögens sowie
- Regelwerksanforderungen und gesicherte fachwissenschaftliche Erkenntnisse zur Form der Organisation.



**Abb. 2-4** Rahmen und Resultat des Organisationsprozesses  
*Anmerkung:* gestrichelte Pfeile repräsentieren Forderungen der Fachliteratur nach Zielanalyse und Beachtung menschlicher Leistung

Da die Unternehmung die Arbeitsergebnisse aller Mitarbeiter von der Führungsspitze bis zu den nur nach Weisung und ohne Führungsverantwortung Handelnden braucht, um ihre Ziele zu erfüllen, erfasst die Kosiol'sche Forderung nach Abstimmung der Organisation auf das Leistungsvermögen den Schlüsselfaktor für den Unternehmenserfolg, soweit letzterer von der Arbeitsleistung des Menschen abhängt. Das gilt auch für das Ziel der Sicherheit, dessen Verwirklichung wesentlich von der korrekten Erfüllung sicherheitsrelevanter Aufgaben abhängt. Die Forderung lässt sich auch als Beurteilungskriterium nutzen: Eine Organisation ist dann positiv zu beurteilen, wenn sie ihren Mitgliedern so weit als möglich nur Arbeitsleistungen abverlangt, die mit dem Leistungsvermögen des Personals in Einklang stehen. Das Konzept der Beanspruchung erfasst den Zusammenhang zwischen Anforderung, Leistungsvoraussetzungen und Leistung. Beurteilungskriterien sind daher in Bezug auf die Beanspruchung zu formulieren.

Auf dem ersten Blick scheint es nicht plausibel zu sein, die Beurteilung organisatorischer Sachverhalte auf psychologische Faktoren zurückzuführen. Dazu ist zu sagen:

- Organisationen dienen dazu, menschliches Handeln zu regeln, um Arbeitsleistungen zu erzielen, mit denen das Unternehmen seine Ziele erreicht. Verlangt die Organisation von ihren Mitgliedern zu viel oder zu wenig, steht dieser Wirkungszusammenhang in Frage, denn es besteht die Gefahr, dass der Mensch nicht das tun kann, was er tun soll, um seinen Beitrag zur Zielerreichung zu leisten. Der Effekt der Überforderung leuchtet unmittelbar ein, aber auch Unterforderung ist problematisch, nicht nur, weil sie demotiviert, sondern weil es auch u. U. große Anstrengung kostet, anspruchslose oder langweilige Aufgaben korrekt zu bearbeiten. Demotivierung und unangemessene Anstrengung können in Unterforderungssituationen einer zuverlässigen Aufgabenerfüllung entgegenwirken.
- Geforderte Handlungen müssen also innerhalb des Bereichs menschlicher Leistungsmöglichkeiten und diesseits der Grenzen zu Unter- bzw. Überforderung liegen, um zuverlässig ausgeführt werden zu können. Folglich muss das, was die Organisation durch ihre Festlegung zu Aufgabeninhalten, Arbeitsteilung, Aufgabenerfüllung, Mitteln und Infrastrukturen dem Menschen an Leistung abverlangt, auf das abgestimmt sein, was die vorgesehenen Organisationsmitglieder mit ihren allgemein menschlichen und fachlichen Fähigkeiten an Leistung erwarten lassen.

- Die Relevanz des Kriteriums ‘menschengerechter Organisation’ zeigt auch folgende Überlegung: Eine Organisationsform kann aus der Verknüpfung von Regelwerksanforderungen, Empfehlungen der Fachliteratur und (oder) bewährten Praktiken hervorgehen, die jede für sich mit dem menschlichen Leistungsvermögen in Einklang stehen. Die Verknüpfung verschiedener Anforderungen, Empfehlungen und Praktiken kann aber zu einem System führen, das dem Menschen zu viel abverlangt. Diese Gefahr besteht z. B. dann, wenn Mitglieder einer bestehenden Organisation durch Organisationsänderungen zusätzliche Aufgaben erhalten, die Abgabe oder Erleichterung bisheriger Aufgaben aber nicht vorgesehen ist.

Die Fachliteratur umfasst auch Beiträge zur arbeitspsychologischen Bewertung von Unternehmen /[STR 97](#)/. Dabei handelt es sich sowohl um Methodenentwicklungen als auch um deren Anwendung auf Arbeitsabläufe, Arbeitssysteme, Arbeitsgruppen, Führung und Unternehmensstruktur in realen Betrieben. Die Autoren propagieren einen ganzheitlichen Ansatz, dessen Untersuchungseinheit das System von Mensch, Technik und Organisation inklusive der wechselseitigen Beziehungen zwischen diesen Komponenten bildet.

Beanspruchung und Stress tragen wesentlich zur Zuverlässigkeit menschlichen Handelns bei. Dies gilt auch für die Bewertungsmethoden von A. D. Swain, die der Methodenband zum Leitfaden für die PSA deutscher Kernkraftwerke empfiehlt (/FAK 05/). Nach Swain gilt, dass man bei jeder Arbeitshandlung mit einer Basisfehlerwahrscheinlichkeit rechnen muss, die größer als Null ist. Sie gilt für den Fall optimaler Rahmenbedingungen des Handelns. Letztere umfassen Aspekte der ergonomischen Gestaltung von Benutzungsoberflächen und Prozeduren und das Niveau an Stress, dem der Handelnde unterliegt. Bei Swain heißen diese Rahmenbedingungen leistungsbestimmende Faktoren („performance shaping factors“ – PSF). Weichen die tatsächlichen von den optimalen Ausprägungen ab, muss man mit der Erhöhung der Basisfehlerwahrscheinlichkeit rechnen. Während Stress bei Swain in globaler Weise für die Anspannung, Inanspruchnahme oder Aktivierung beim Handeln steht, stellen suboptimal ausgeprägte Rahmenbedingungen des Handelns spezifische Beanspruchungen dar, die sich auf spezifische Leistungen des Menschen beschränken. Ein Beispiel bilden klein gedruckte oder unübersichtlich gestaltete Prozeduren, die zu erhöhter Beanspruchung beim Lesen führen.

Rahmenbedingungen des Handelns sind ein Ergebnis organisatorischer Gestaltung. Die organisatorische Gestaltung trägt also über die Gestaltung dieser Rahmenbedingungen zur Zuverlässigkeit des Handelns bei. Ferner kann die Organisation danach bewertet werden, wie zuverlässig die Prozesse, die der Herstellung der leistungsbestimmenden Faktoren für die Handlungen an sicherheitstechnischen Einrichtungen dienen, selbst zuverlässig ablaufen. Der folgende Gliederungspunkt führt diese Grundgedanken im Detail aus.

### 3 Stand von Wissenschaft und Technik zur Modellierung organisatorischer Einflüsse in einer PSA

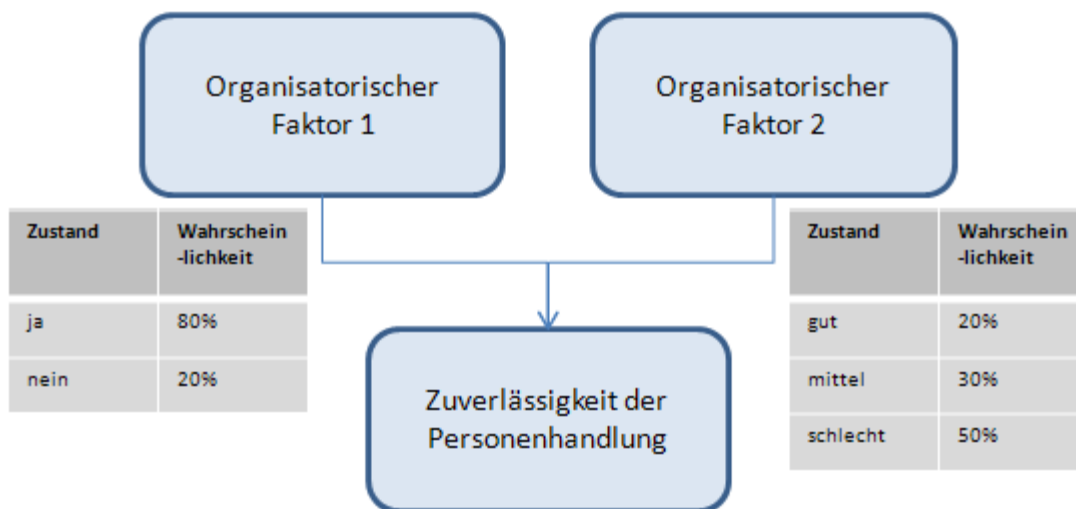
Mit der Einbindung von organisatorischen Faktoren in die PSA hat sich bereits eine Vielzahl von Autoren beschäftigt. Nachfolgend werden die (nach Einschätzung der Autoren dieses Abschnittes) wichtigsten Verfahren zur Berücksichtigung organisatorischer Faktoren in der PSA zusammenfassend dargestellt und im Anschluss diskutiert.

#### 3.1 Einflussdiagramme, Bayes'sches Netz

Die Erstellung von Einflussdiagrammen ist eine gängige Methode bei der Modellierung und Quantifizierung von organisatorischen Einflüssen auf Personenhandlungen und soll deshalb hier im Vorfeld methodenunabhängig beschrieben werden.

Mit Einflussdiagrammen können zunächst qualitativ die Wirkzusammenhänge grafisch dargestellt werden, wie sich organisatorische Faktoren auf die Zuverlässigkeit von Personal auswirken können.

Ein einfaches Beispiel ist in Abb. 3-1 dargestellt.



**Abb. 3-1** Beispiel für die Darstellung des Einflusses von organisatorischen Faktoren mit Hilfe eines Einflussdiagrammes

Anhand dieser Struktur kann dann die Quantifizierung vorgenommen werden. Notwendige Voraussetzung ist, dass sich keine zyklischen Beziehungen (kein Pfad durch die Wirklinien darf das selbe Elemente zwei oder mehrmals enthalten) in dem Einflussdiagramm

gramm ergeben. Weiterhin sollten im Sinne einer praktikablen Anwendung in diesem Zusammenhang den Einflussfaktoren konkrete Zustände zugeordnet werden können (z. B. ja - nein, gut – mittel - schlecht).

Die Schritte zur Quantifizierung gestalten sich wie folgt:

- Ermittlung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Zustände der Einflussfaktoren (Beobachtung oder Schätzung)  
*Beispiel:* Faktor 1: ja = 80 %., nein = 20 %; Faktor 2: gut = 20 %, mittel = 30 %, schlecht = 50 %
- Auflistung aller möglichen Zustandskombinationen der Einflussfaktoren  
*Beispiel:* ja - gut, ja - mittel, ja - schlecht, nein - gut, nein - mittel, nein - schlecht
- Berechnung oder Auftretenswahrscheinlichkeit der Zustandskombinationen der Einflussfaktoren aus den Auftretenswahrscheinlichkeiten der Zustände  
*Beispiel:* ja – gut = 80 % \* 20 % = 16 %, usw.
- Ermittlung der bedingten Zuverlässigkeit der Personalhandlung unter einer gegebenen Faktorenkombination (Beobachtung oder Schätzen)  
*Beispiel:* Fehlerwahrscheinlichkeit bei der Faktorenkombination 'ja – gut' wird auf  $10^{-3}$  geschätzt.
- Berechnung der absoluten Zuverlässigkeit der Personenhandlung unter einer gegebenen Faktorenkombination aus den bedingten Zuverlässigkeiten und der Auftretenswahrscheinlichkeit der Faktorenkombination  
*Beispiel:* Zuverlässigkeit der Personenhandlung für die Faktorenkombination 'ja – gut' ist gleich  $10^{-3} \times 16 \% = 1,6 \times 10^{-4}$ , usw.
- Die Summation der Zuverlässigkeiten der Handlung für alle Faktorenkombinationen ergibt die Gesamtzuverlässigkeit der Personenhandlung.

Weiter ist es möglich, über mathematische Algorithmen auf Basis von Messungen fehlende Werte (im Sinne einer Messung) im Einflussdiagramm zu berechnen.

Die Methode wird auch in Abwandlungen verwendet. So benutzen z. B. einige Autoren die Vorgehensweise, um nicht die Zuverlässigkeit direkt, sondern einen Parameter, der die Höhe des Einflusses organisatorischer Faktoren repräsentiert, zu ermitteln.

Dieser Parameter muss dann im Weiteren hinsichtlich seiner Auswirkung auf die Zuverlässigkeit interpretiert werden.

## 3.2 Omega-factor-model

Die nachfolgenden Ausführungen wurden aus [/GOL 96/](#) abgeleitet.

### 3.2.1 Grundkonzept

Grundannahme der Methode ist, dass die organisatorische Ausgestaltung in der Anlage einen Beitrag zur Gesamtausfallwahrscheinlichkeit (z. B. eines Systems) liefert. Die Gesamtausfallwahrscheinlichkeit ergibt sich somit aus der Summation eines inhärenten Anteils, der sich aus dem Betrieb (z. B. des Systems) ergibt, und eines organisatorischen Anteils. Mathematisch lässt sich dies wie folgt umformulieren

$$\lambda_{Gesamt} = \lambda_{Inhärent} + \lambda_{Organisation}$$

Dies lässt sich wie folgt umformulieren in:

$$\lambda_{Gesamt} = \lambda_{Inhärent} (1 + \omega)$$

mit

$$\omega = \frac{\lambda_{Organisation}}{\lambda_{Inhärent}}$$

Daraus ergibt sich der namensgebende  $\omega$ -Faktor.

Dieses Grundkonzept berücksichtigt eine erhöhte Ausfallwahrscheinlichkeit aller Komponenten im Kraftwerk aufgrund organisatorischer Faktoren und erhält durch die damit verbundene Breitenwirkung eine Bedeutung hinsichtlich der Risikoanalyse. Ein gleichzeitiger Ausfall aufgrund gemeinsamer Ursache wird dabei nicht berücksichtigt. D. h. die Komponenten werden als unabhängig voneinander angesehen. Nach Meinung der Autoren der Methode bildet diese Art der Modellierung die resultierende Wirkung von



Organisation besser ab, als die Modellierung von (gleichzeitigen) Ausfällen aufgrund einer gemeinsamen Ursache.

### **3.2.2 Modell der Organisation**

Das Modell geht davon aus, dass die organisatorischen Faktoren durch Menschen, die an den Komponenten bzw. Systemen arbeiten, wirksam werden. Für diese Arbeiten wird ein 'durchschnittlicher Arbeiter' definiert, der durch eine Hierarchie von Organisationseinheiten beeinflusst wird. Jede dieser Organisationseinheiten hat seine eigene Struktur, Funktionen, Produkte und Mitarbeiter, die als Einflüsse innerhalb der Organisationseinheit und auf Elemente anderer Organisationseinheiten wirken.

### **3.2.3 Quantifizierung**

Für die Quantifizierung werden sogenannte 'Einflussdiagramme' vorgeschlagen, die von der Vorgehensweise mit Bayes'schen Netzen gleichzusetzen sind (vgl. Erläuterungen in Abschnitt 3.1). Bei der Analyse sollen nur kleinere Einheiten der Organisation zur Bewertung herausgegriffen werden, um Komplexität und Aufwand der Analyse zu begrenzen. Die Gesamtwertung der Organisation ergibt sich als Funktion der Bewertung dieser Einheiten. Am Ende des Prozesses der Bewertung mit Hilfe von Einflussdiagrammen ergibt sich ein Zahlenwert, der die Stärke des Einflusses der Organisation auf die Leistung des Arbeiters ausdrückt.

Für diesen Zahlenwert muss dann ein Zusammenhang mit dem  $\omega$ -Faktor hergestellt werden. Hier gibt die Methode ein einfaches Beispiel, verweist aber darauf, dass es viele andere Möglichkeiten gibt, um diesen Zusammenhang zu modellieren.

Abweichend von der beschriebenen Vorgehensweise kann der  $\omega$ -Faktor auch direkt aus erhobenen Daten (Messung, Beobachtung) ermittelt werden.

### **3.2.4 Einbindung in die PSA**

Die mit dem ermittelten  $\omega$ -Faktor berechneten Zuverlässigkeitswerte können direkt in die PSA eingebunden werden, indem die bisherigen Zuverlässigkeitsdaten (ohne Einfluss der Organisation) ersetzt werden.

### **3.3 SAM**

Die nachfolgenden Ausführungen wurden aus [/MUR 96/](#) abgeleitet.

#### **3.3.1 Grundkonzept**

Die Methode geht davon aus, dass für den Einfluss von organisatorischen Faktoren eine gewisse Breitenwirkung unterstellt werden muss, die in bisherigen Betrachtungen in der PSA nicht enthalten sind. Die Berücksichtigung von organisatorischen Faktoren erfolgt über die Modellierung der Abhängigkeiten zwischen den Ebenen der Organisation, der Handlung und des physikalischen Systems. Die Quantifizierung wird durch vier Verhaltensmodelle für das Personal unterstützt, die die Zusammenhänge zwischen dem organisatorischen Faktoren und den Personenhandlungen probabilistisch abbilden sollen.

#### **3.3.2 Modell der Organisation**

Ein allgemeines Modell der Organisation wird nicht explizit ausgearbeitet, sondern ist Teil des Quantifizierungsprozesses. Es wird allerdings der Wirkmechanismus, wie durch organisatorische Faktoren Veränderungen in der Zuverlässigkeit entstehen können aufgezeigt.

Hierzu werden drei Ebenen eingeführt:

- Ebene der Organisation,
- Ebene der Handlung,
- Ebene des physikalischen Systems.

Jeder dieser Ebenen sind Unterelemente zugeordnet:

- Ebene der Organisation: Organisationsstruktur, Unternehmenspolitik, Prozeduren, Anreizsystem, Information, Auswahl und Screening, Training, Unternehmenskultur, Ressourcenbeschränkungen, usw.,
- Ebene der Handlung: Betrieb, Wartung, Errichtung, Verhalten in Krisen, usw.,

- Ebene des physikalischen Systems: Ausfallwahrscheinlichkeiten der Komponenten, Systemkonfiguration, Abhängigkeiten, Belastung des Systems, usw.

Dabei wirkt die Ebene der Organisation auf die Ebene der Handlung. Diese wiederum auf die Ebene des physikalischen Systems und diese wiederum wirkt sich direkt auf die Zuverlässigkeit aus. Die Modellierung startet beim physikalischen System, geht über die Ebene der Handlungen und endet bei den organisatorischen Faktoren.

Weiter werden folgende vier Verhaltensmodelle beschrieben, mit denen über Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen numerisch der Zusammenhang zwischen organisatorischen Einflussfaktoren und den Handlungen von Personen hergestellt werden kann:

- Rationales Verhalten und erwarteter Nutzen
  - Handelnde Person wählt den maximalen Nutzen.
  - Nutzen der handelnden Person muss durch Anreize so gesteuert werden, dass es den Zielen des Unternehmens entspricht.
- Beschränkt rationales Handeln
  - Intention der handelnden Person ist rational zu handeln.
  - Rationalität des Handels ist durch die Fähigkeiten der Einzelperson beschränkt.
  - Eine Verbesserung der Zuverlässigkeit kann durch eine Erhöhung der Vertrautheit mit einer bestimmten Denkweise erreicht werden (z. B. Anreize zu sicherem Verhalten), vertraute und häufig erfahrene Konzepte treten dann bei der Entscheidungsfindung in den Vordergrund.
- Regelbasiertes Handeln
  - Handelnde Person handelt nach vorgegeben Regeln.
  - Einflussparameter: Wahrscheinlichkeit der korrekten Identifikation der Situation, Regelkenntnisse des Handelnden.
  - Durch eine Verbesserung der Diagnosefähigkeiten des Einzelnen und Verbesserung des Wissens über Regeln kann die Zuverlässigkeit erhöht werden.
- Ausführungsmodell

- Die Zuverlässigkeit der Handlungsausführung ist ein Ergebnis aus den Anforderungen der Aufgabe und den Fähigkeiten der handelnden Person.
- Maßnahmen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit sind die Anforderungen der Aufgabe zu vermindern (z. B. durch Automation) oder die Fähigkeiten des Handelnden zu erhöhen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Methode modular aufgebaut ist und deshalb, wenn notwendig, auch andere Modelle zur Erklärung des Verhaltens verwendet werden können.

Für die Verbindung zwischen den Handlungen und Entscheidungen des Personals und den daraus resultierenden Konsequenzen für das physikalische System wird nicht weiter eingegangen und auf systemspezifische Werkzeuge verwiesen.

### **3.3.3 Quantifizierung**

Basis der Quantifizierung ist Erstellung von Einflussdiagrammen (vgl. auch Abschnitt 3.1), die die oben beschriebenen Ebenen (Organisation, Handlung, physikalisches System) miteinander in verbinden. Dadurch wird die Wirkkette von organisatorischen Faktoren über die Handlung und Entscheidungen des Personals bis zur Auswirkung auf das physikalische System aufgestellt.

Anhand der Einflussdiagramme, der Verhaltensmodelle zur Beschreibung von Entscheidungsfindung und Handlungsdurchführung und systemspezifischer Werkzeuge zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen der Ebene der Handlung und des physikalischen Systems wird die Quantifizierung vorgenommen (für die mathematische Beschreibung sei auf [/MUR 96/](#) verwiesen). Der Nutzer hat dabei zu entscheiden, über welche der Verhaltensmodelle der Zusammenhang zwischen organisatorischen Faktoren und den einzelnen Handlungen und Entscheidungen herzustellen ist (vgl. hierzu das Beispiel in [/MUR 96/](#)).

### **3.3.4 Einbindung in die PSA**

Ergebnis des Analyseprozesses ist eine Auftretenswahrscheinlichkeit für den betrachteten Aspekt (z. B. Ausfall einer Komponente). Diese kann direkt in eine PSA eingebunden werden.

## **3.4 WPAM**

Die nachfolgenden Ausführungen wurden aus [/DAV 94a /](#), [/DAV 94b/](#) und [/GHO 05/](#) abgeleitet.

### **3.4.1 Grundkonzept**

Die Betrachtungen bei WPAM beschränken sich auf den Ausfall von Komponenten bzw. Systemen. Grundüberlegung ist, dass organisatorische Faktoren eine Breitenwirkung entfalten können, vergleichbar mit einem 'common cause' bei der Modellierung in einer PSA. Es wird betont, dass dieser Effekt bei organisatorischen Einflussfaktoren nicht nur auf ähnliche Komponenten oder Systeme beschränkt ist, sondern auch bei unterschiedlichen Komponenten oder Systemen auftreten kann.

### **3.4.2 Modell der Organisation**

Die Organisation ist in diesem Ansatz in Form von zwei Ebenen modelliert:

- Ebene 1: Kultur der Anlage
- Ebene 2: Faktoren, die unter den Begriffen Entscheidungsfindung, Kommunikation, administratives Wissen und Personalplanung zusammengefasst werden

Dabei beeinflusst Ebene 1 alle Elemente der Ebene 2. Die Elemente der Ebene 2 wirken sich dann auf die Zuverlässigkeit der Anlage aus. Hierbei wird von grundsätzlich einer 'n zu n'-Beziehung ausgegangen. D. h. eine Kombination von organisatorischen Faktoren können eine oder mehrere Auswirkungen (z. B. auf Mensch oder Komponente) haben bzw. ein organisatorischer Faktor kann eine oder mehrere Auswirkungen haben.

### 3.4.3 Quantifizierung

Die Methode setzt sich aus einem qualitativen (WPAM I) und einen quantitativen Analyseteil (WPAM II) zusammen. Der qualitative Analyseteil dient dazu die quantitative Analyse vorzubereiten und deren Umfang zu beschränken.

Für die Quantifizierung werden die Wahrscheinlichkeiten der Minimalschnitte der PSA basierend auf Abhängigkeiten zwischen Basisereignissen modifiziert.

Um die Anzahl der zu betrachtenden Minimalschnitte einzugrenzen, wird zunächst eine Vorauswahl durchgeführt. Bei dieser Vorauswahl wird für jedes Basisereignis der Minimalschnitte ein sogenannter 'basic event vector' erzeugt. Dieser enthält vier Kenngrößen:

- den Arbeitsprozess (z. B. Wartung),
- die Eigenschaften der Komponente, die durch organisatorische Effekte beeinflusst werden können (z. B. Fehlkalibrierung, fehlerhaftes Rücksetzen),
- die Einheit/Abteilung, die die Arbeiten durchführt,
- die Kennzeichnung der betroffenen Komponente.

Im folgenden Bewertungsprozess wird für jede dieser Kenngrößen überprüft, in wieweit sie für die Basisereignisse eines Minimalschnittes übereinstimmen und ein entsprechender Zahlenwert (0: keine Abhängigkeit, 1: 100 %ige Abhängigkeit) für die Abhängigkeit zweier Basisereignisse voneinander geschätzt.

Minimalschnitte, bei denen mindestens ein Zahlenwert für die Abhängigkeit zweier Basisereignisse einen gewissen Grenzwert überschreitet, werden für die Quantifizierung weiter betrachtet. Der Grenzwert ist durch den Nutzer der Methode festzulegen.

Ergänzt wird die Vorauswahl durch eine nachträgliche Überprüfung der so gewonnenen Minimalschnitte hinsichtlich einer bereits bestehenden Berücksichtigung von Abhängigkeiten in der PSA durch einen gemeinsam verursachten Ausfall. Findet diese Berücksichtigung bereits ausreichend statt, so ist der betroffene Minimalschnitt im Quantifizierungsprozess nicht mehr zu berücksichtigen.

Im weiteren Bewertungsprozess werden den Eigenschaften der Komponenten organisatorische Faktoren zugeordnet, die Einfluss ausüben können. Zur Vereinfachung des Bewertungsprozesses wird angenommen, dass einer Komponenteneigenschaft (vgl. 'Basic Event Vector'), unabhängig von der Komponente, organisatorische Faktoren fest zugewiesen werden können.

Unter Anwendung von SLIM (*success likelihood index methodology*) werden abschließend neue Wahrscheinlichkeiten für die Minimalschnitte bestimmt. Dabei werden weitere Verfahren zur Bestimmung der Gewichtung der Faktoren, zur Bestimmung der menschlichen Zuverlässigkeit unter gegebenen Randbedingungen und zur Bestimmung von Kalibrierkonstanten für ähnliche und unähnliche Ereignisse eingesetzt. Für eine detaillierte Beschreibung dieser Verfahren wird auf [/DAV 94a/](#) [/DAV 94b/](#) verwiesen.

#### **3.4.4 Einbindung in die PSA**

Die Einbindung in die PSA erfolgt durch direkte Veränderung der Wahrscheinlichkeiten der Minimalschnitte.

### **3.5 Weitere Methoden**

Zusätzlich zu den beschriebenen Methoden wurden weitere Methoden betrachtet, deren Ansätze ähnlich sind oder für Nischenbereiche entwickelt wurden.

In [/EMB 92/](#) wird das Verfahren MACHINE (*Model of Accident Causation using Hierarchical Influence Network*) beschrieben. Als Modell der Organisation wird von drei Ebenen ausgegangen: Ebene 1: der menschliche Fehler als Ursache für ein Ereignis, Ebene 2: fehlerfördernde Faktoren, Ebene 3: Schwächen im Management. Jedes Element in diesen Ebenen kann über eine 'n zu n'-Beziehung mit der darüber liegenden verbunden sein. Für die quantitative Bewertung werden auf Basis der Beziehungen zwischen den Ebenen Einflussdiagramme (vgl. Abschnitt 3.1) erzeugt und bewertet.

ORIM (*organizational risk influence model*) [/ØIE 01/](#) ist ein Modell, welches speziell für die Bestimmung des Einflusses organisatorischer Faktoren auf die Leckfrequenz auf Ölplattformen entwickelt wurde. Der Autor stützt sich dabei zum größten Teil auf die

hier bereits beschriebenen Methoden. Zur quantitativen Bewertung werden ebenfalls Einflussdiagramme (vgl. Abschnitt 3.1) eingesetzt.

I-RISK war ein europäisches Projekt, welches durch die Europäische Union (EU) finanziert wurde. Ziel des Projektes war zu untersuchen, ob es möglich ist das Technische Modell einer Anlage und das Modell des Sicherheitsmanagements in einem Modell zu integrieren und zu untersuchen, welche qualitativen und quantitativen Eigenschaften ein solches Modell aufweist. Zwischenergebnis war ein Modell, welches auf der einen Seite das technische System mit Hilfe eines Fehlerbaumes darstellt. An die Basisereignisse ist dann ein Netzwerk von Modifikatoren angekoppelt, welche aus den organisatorischen Einheiten resultieren. Diese Vorgehensweise der Modellierung wurde an einem Beispiel erfolgreich erprobt. Weitergehende Informationen zu diesem Projekt konnten nicht eruiert werden, prinzipiell scheint die Vorgehensweise denen anderer hier beschriebener Methoden zu ähneln [/OH 98/](#).

Die Methode ARAMIS, ebenfalls ein EU-finanziertes Projekt, fokussiert im Rahmen seiner vorgeschlagenen Vorgehensweise bei der Sicherheitsbewertung auf den Einfluss des Managements hinsichtlich der Wirksamkeit von Sicherheitsbarrieren. [/HOU 04/](#)

Weiterhin werden in der Literatur die Verfahren 'Integrated Safety Model' (ISM), die für die Prozessindustrie spezifische Methode 'Barrier and Operational Risk Analysis' (BORA) und das Verfahren MANAGER genannt [/ØIE 01/](#), [/SKL 05/](#), aber nicht weiter ausgeführt.

### **3.6 Diskussion**

Die betrachteten Verfahren stellen auf Basis von Einschätzungen einen mehr oder weniger konkreten Zusammenhang zwischen generischen organisatorischen Einflüssen und der Wirkung auf Personen und Komponenten her.

Die Verfahren orientieren sich dabei weitestgehend an klassischen generischen Elementen der Organisation (z. B. Schulung, Qualitätssicherung, Instandhaltung), und es sind hinsichtlich Ihrer Ausgestaltung qualitative Urteile abzugeben. Eine konkrete Ermittlung der Wirkkette von einem oder mehreren Arbeitssystemen in der Organisation



auf die Zuverlässigkeit einer Handlung und damit auf die Sicherheit der Anlage erfolgt nicht.

Ansatzweise erfolgt dies nur, im Hinblick auf die Breitenwirkung, indem bei der Methode WPAM ermittelt wird, welche Arbeitsprozesse, Eigenschaften der Komponente, Einheit/Abteilung und Komponente beteiligt sind und bei welchen anderen Arbeitssystemen eines oder mehrere dieser Elemente gleich sind.

Auch hinsichtlich der quantitativen Bewertung wird ein eher diffuses Vorgehen verwendet, bei dem der Beitrag der definierten, größeren Organisationseinheiten zur Zuverlässigkeit geschätzt wird. Auch hier wird keine eindeutige Beziehung zwischen konkreten Arbeitssystemen in der Organisation und den Arbeitssystemen direkt an der Komponente hergestellt.

Die Breitenwirkung organisatorischer Faktoren wird über das Aufstellen der Einflussdiagramme bei den meisten der betrachteten Verfahren in ähnlicher Form berücksichtigt. Auch hier erfolgt keine Aufstellung einer konkreten Wirkkette von Arbeitssystemen in der vorgeschalteten Organisation bis zur Beeinflussung Zuverlässigkeit von Handlungen und Auswirkungen auf Komponenten. Das einzige Verfahren, das dies ansatzweise realisiert ist, wie schon oben beschrieben, die Methode WPAM.

Aufgrund ihrer Gestaltung erscheinen die dargestellten Methoden nicht geeignet um in transparenter Weise eine Beziehung zwischen in der Organisation entstehenden Einflussfaktoren und Zuverlässigkeit von Personenhandlung bzw. Zuverlässigkeit von Komponenten herzustellen.

Von einem Aufbau des hier zu entwickelnden Verfahrens auf die bereits veröffentlichten Methoden wird deshalb abgesehen. Es wird dagegen bei der Entwicklung des Verfahrens versucht, die Wirkkette von Fehlern bei der Festlegung, Erstellung oder Planung in organisatorisch vorlagerten Arbeitssystemen bis zu den Arbeitssystemen direkt an der Komponente aufzustellen und die Wirkung sowie den Beitrag zur PSA konkret zu ermitteln und zu modellieren. Dieser Grad der Detaillierung soll helfen, die Beurteilung des Einflusses von organisatorischen Faktoren zu konkretisieren und damit auch deren Bewertung und Quantifizierung objektiver zu gestalten.

## 4 Organisationsmodell und probabilistische Bewertung

Aufbauend auf den in Abschnitt 2 dargestellten Grundlagen wird hier die Vorgehensweise beschrieben, mit der der Teil einer Organisation zu modellieren und zu bewerten ist, der die Zuverlässigkeit PSA relevanter Personalhandlungen beeinflusst. Zunächst wird das zur Beschreibung und Bewertung der Handlungen von Aufgabenträgern verwendete Arbeitssystemmodell vorgestellt. Das Arbeitssystemmodell nimmt eine Schlüsselfunktion bei der Abbildung organisatorischer Einflüsse sowie der Wirkungszusammenhänge zwischen Organisation und PSA relevanten Handlungen ein. Danach werden die Einzelschritte des Modellierungs- und Bewertungsverfahrens erläutert.

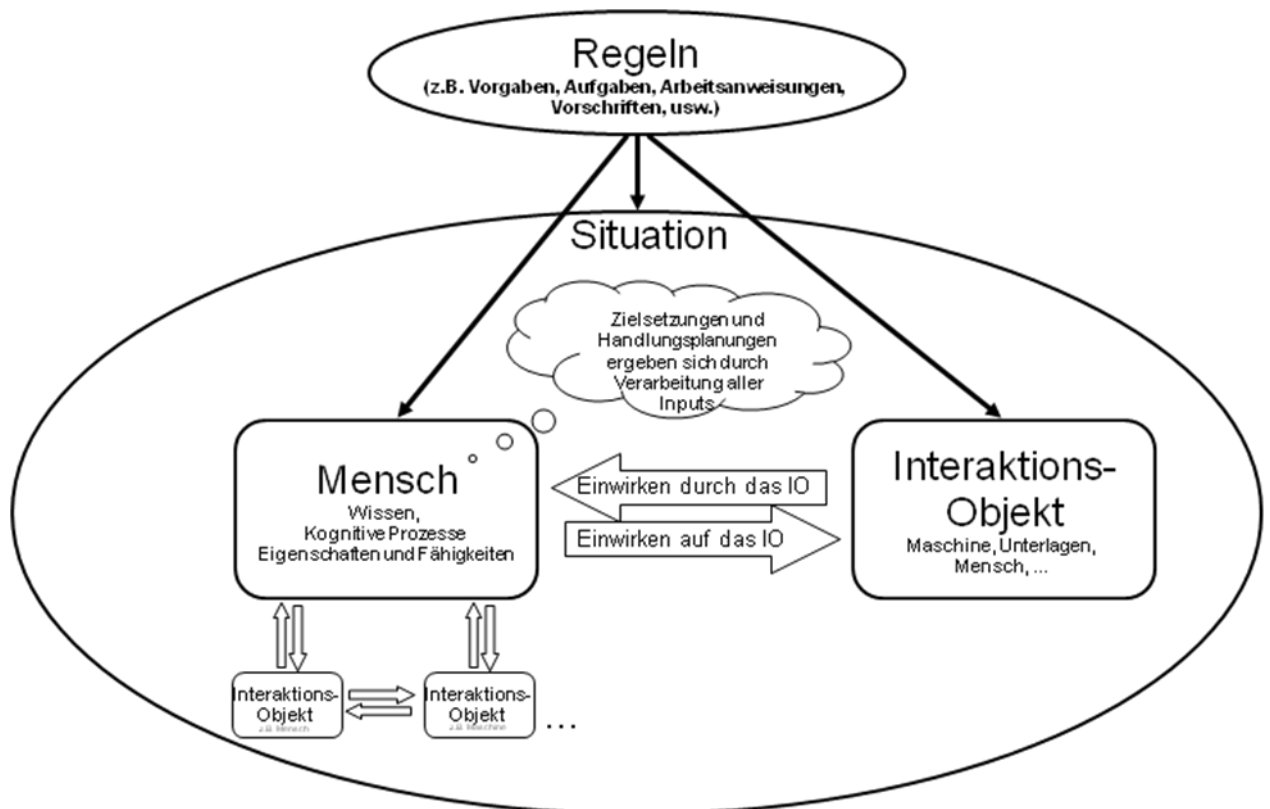
### 4.1 Das Arbeitssystemmodell

Die Handlungen von Aufgabenträgern werden in sogenannte 'Arbeitssysteme' eingebettet. Dieser Ansatz ist aus arbeitswissenschaftlichen Grundlagen (vgl. [/HOY 74/](#), [/SCH 76/](#)) entlehnt. Im Folgenden wird der Begriff 'Aufgabe' im Sinne von Handlung oder Aktivität verwendet (vgl. auch Begriff 'Aufgabe' im Rahmen des Organisationsprozesses, Abschnitt 2.1.4).

Ein Arbeitssystem wird immer aus einem Menschen und einem Interaktionsobjekt gebildet. Das Interaktionsobjekt kann dabei ein Mensch, eine Maschine, ein Werkzeug oder jedes andere Objekt sein, mit dem oder an dem Handlungen ausgeführt werden. Der Mensch leitet aus den anwendbaren Regelungen, der Situation und dem Zustand des Interaktionsobjektes auf Basis seines Wissens Aufgaben ab, die er mit oder an dem Interaktionsobjekt über die Schnittstelle zwischen Mensch und Interaktionsobjekt ausführen soll. Diese Schnittstelle kann z. B. ein Bedienelement, eine Anzeige oder ein Mensch als Adressat einer Kommunikation sein. Das gesamte Arbeitssystem ist in die jeweilige Situation eingebettet, die Einflüsse auf die einzelnen Elemente des Systems haben kann. Der Mensch und das Interaktionsobjekt können ihrerseits wieder mit anderen Interaktionsobjekten interagieren. Das Modell des Arbeitssystems beschreibt somit die wesentlichen Merkmale und Wirkungszusammenhänge, die zum Verständnis der Vorgänge bei der Ausführung einer Handlung, der Wirkung leistungsbeeinflussender Faktoren und des Auftretens von Fehlern erforderlich sind. In [/HOY 74/](#) wird ein Arbeitssystem durch die Aufgabe, die handelnde Person, die Arbeitsmittel, den Arbeitsort und die leistungsbeeinflussenden Faktoren definiert. Abb. 4-1 stellt einen demgegenüber weiterentwickelten, insbesondere im Bereich der Aufgabenstellungen (externe

Vorgaben, Anforderungen des Interaktionsobjektes, interne Aufgabenstellung des Menschen) differenzierteren Modellansatz dar, den die GRS bereits bei der Auswertung von Betriebserfahrungen erfolgreich einsetzt [/GRS 02/](#).

Im Arbeitssystem wirken auf den Ausführenden Faktoren ein, die seine Leistung bei der Erledigung seiner Aufgaben beeinflussen können (z. B. verfügbare Zeit, Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle, Zustand und Eignung von Arbeitsmitteln). Der Planungsaspekt eines solchen leistungsbeeinflussenden Faktors (kurz PSF für 'performance shaping factor') des Arbeitssystems wird als 'organisatorischer Einflussfaktor' definiert. Das in diesem Vorhaben verwendete Modell eines Arbeitssystems (Abb. 4-1) wurde bereits in anderen Vorhaben verwendet [/GRS 09/](#).



**Abb. 4-1** Arbeitssystemmodell

Aufbau-, Ablauf- und Prozessorganisation gehen von den Aufgaben aus, die zur Erfüllung eines Unternehmensziels ausgeführt werden müssen. Aufgaben sind durch die erforderlichen Handlungen bestimmt. Somit lässt sich die Organisation als System erforderlicher Handlungen auffassen. Durch Einbettung der Handlungen in Arbeitssysteme ergibt sich der Ansatz, Organisation als Netz von Arbeitssystemen zu verstehen und zu modellieren.

Bei der Aufgliederung der Organisation in ein Netzwerk aus Arbeitssystemen muss der Umfang des Netzwerks, das zu analysieren ist, festgelegt werden. Die Festlegung betrifft die Aspekte, welche und damit wie viele Arbeitssysteme zu untersuchen sind. Hierbei ist eine Abwägung zwischen Analyseaufwand und Erkenntnisgewinn zu treffen. Werden Organisation und Arbeitssystem zu detailliert modelliert, so ist der Analyseaufwand beträchtlich, der Erkenntnisgewinn gegenüber einer gröberen Modellierung ggf. nur gering oder gar nicht vorhanden. Bei zu grober Modellierung steigt die Gefahr, dass wichtige Aspekte der Handlung übersehen werden.

So kann der Vorgang der Wartung einer Komponente als einzelnes Arbeitssystem modelliert werden. Sind für die Wartung viele Arbeitsschritte notwendig, die unterschiedlichste Arbeitsmittel und Kenntnisse erfordern, so ist diese Modellierung als zu grob anzusehen. Wird die Modellierung allerdings so weit getrieben, dass jede zu lösende Schraube einzeln modelliert wird, so steht in den meisten Fällen der Modellierungsaufwand in keinem Verhältnis zu dem zu erwartenden Erkenntnisgewinn.

Es lassen sich folgende Grundprinzipien für die Abgrenzung von Arbeitssystemen formulieren, die sich in der Praxis bewährt haben, allerdings keinen Anspruch auf vollständige Abdeckung für alle Analysegegebenheiten erheben:

- Jedes Arbeitssystem enthält nur einen einzigen Menschen (ausgenommen der Fall, dass das Interaktionsobjekt ein anderer Mensch ist).
- Jedes Arbeitssystem enthält nur ein einziges Interaktionsobjekt. Die übrigen Objekte sind in Bezug auf Handlungen und Interaktionsobjekt Hilfsmittel, Werkzeuge, Material, benachbarte Dinge, Umgebung.
- Ggf. können mehrere Teilhandlungen eines Menschen an einem Interaktionsobjekt in einem einzigen Arbeitssystem zusammengefasst werden (Kriterium: Erkenntnisgewinn durch feinere Modellierung).

Die Analyse der Faktoren, welche die menschliche Zuverlässigkeit beeinflussen können, erfolgt auf Basis der Arbeitssysteme, indem den Einzelkomponenten des Systems das Handeln beeinflussende Faktoren zugeordnet werden (siehe Abb. 4-2 bis Abb. 4-4).

Die analytische Betrachtung des Arbeitssystems (in der Literatur auch oft als Mensch-Maschine-System bezeichnet) ist eine gängige Methode im Bereich der Ergonomie, um

potentielle leistungsrelevante Einflüsse zu erkennen. Die bei dieser Analyse erhobenen Daten bilden die Grundlage für die spätere quantitative Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit. Die Vorgehensweise zur Analyse eines Arbeitssystems wird in Abschnitt 4.2.5 ausführlich beschrieben.

Der erste Schritt der Analyse bringt zunächst die unmittelbaren beitragenden Faktoren für die menschliche Zuverlässigkeit ans Licht. Die Analyse könnte hier abgebrochen werden. Dies hätte allerdings zur Folge, dass tiefer liegende Faktoren, die Einfluss auf die unmittelbaren Faktoren ausüben, nicht erfasst werden. Damit wäre das Aufspüren von strukturellen Problemen in der Anlage nicht möglich. Hier setzt das in diesem Vorhaben entwickelte Verfahren an.

#### **4.1.1 Vorgehensweise bei der Beurteilung der menschlichen Zuverlässigkeit bei in Deutschland durchzuführenden PSA**

Die Grundlagen für die Bewertung von PSAs in Deutschland werden im Fachband zu PSA-Methoden des PSA-Leitfadens /FAK 05/ beschrieben. Danach sind in einer PSA folgende Handlungskategorien zu bewerten:

- (A) Personalhandlungen während des bestimmungsgemäßen Betriebs der Anlage vor Eintritt eines auslösenden Ereignisses,
- (B) Personalhandlungen, die ein auslösendes Ereignis zur Folge haben; insbesondere jene, die zusätzlich den Ausfall sicherheitsrelevanter Systeme verursachen,
- (C) Personalhandlungen nach Eintritt eines auslösenden Ereignisses.

Für die Klassifizierung von Handlungen wird auf die Definitionen der Verhaltensebenen von Rasmussen zurückgegriffen, der menschliche Handlungen in Fertigungs-, Regel- und wissensbasierte Handlungen untergliederte (vgl. hierzu auch /SWA 83/, [/RAS 79/](#), /RAS 86/, /FAK 05/). Der Methodenband geht mangels adäquater Methoden zur Bewertung von wissensbasierten Handlungen nur auf die fertigungs- und regelbasierte Handlungen ein. Zur Bewertung dieser Verhaltensklassen werden die Methoden ASEP /SWA 87/ und THERP /SWA 83/ empfohlen.

ASEP ist eine an THERP angelehnte Screening-Methode zur abschätzenden Analyse. THERP wird für die detaillierte Analyse zur Quantifizierung empfohlen.

Die Analyse mit THERP /SWA 83/ wird in folgenden Schritten durchgeführt:

- Detaillierte Beschreibung der Tätigkeit und Untergliederung in bewertbare Teilhandlungen,
- Ermittlung möglicher Fehlhandlungen und deren Auswirkung auf das System,
- Ermittlung von Faktoren, welche die menschliche Leistung bei der jeweiligen Tätigkeit bzw. Teilhandlung beeinflussen,
- Ermittlung von Abhängigkeiten zwischen Teilhandlungen,
- Ermittlung der Zuverlässigkeit der Handlung anhand von Tabellenwerten und unter Berücksichtigung der Abhängigkeiten der Teilhandlungen untereinander.

Bei der Analyse mit THERP werden üblicherweise nur die unmittelbar an dem potentiellen Ereignis beteiligten Arbeitssysteme analysiert. So erfolgt eine Analyse der fertigungs- und regelbasierten Handlungen vor dem Ereignis (z. B. Wartungsarbeiten, Freischaltungen, andere Schalthandlungen), ereignisauslösende Handlungen (z. B. Schalthandlungen auf der Warte) und Handlungen nach Eintritt des Ereignisses (z. B. Abarbeiten von Prozeduren nach Betriebshandbuch (BHB), Schalthandlungen in der Warte und vor Ort). Handlungen, die keinen unmittelbaren Bezug zum Ereignis haben, werden nicht betrachtet. So werden Handlungen, die als unterstützende Handlungen für den Prozess ausgeführt werden, wie z. B. die Wartung von Werkzeugen, nicht betrachtet. Damit werden unter Umständen aber auch probabilistisch relevante Abhängigkeiten zwischen Teilhandlungen, die am Ereignisablauf beteiligt sind, nicht berücksichtigt. Bezieht man sich auf das genannte Beispiel, so könnte sich ein Fehler bei der Wartung eines Werkzeuges auf alle Teilhandlungen im Ereignisablauf auswirken, in denen es benutzt wird. Konkret könnte z. B. ein falsch kalibriertes Messgerät zur Einbringung eines Fehlers in mehrere Redundanzen oder Systeme führen.

#### **4.1.2 Leistungsbeeinflussende Faktoren und bestimmende vorgelagerten Arbeitssysteme**

Alle Faktoren, die einen Einfluss auf das Ergebnis einer Handlung haben, werden als 'Leistungsbeeinflussende Faktoren' bezeichnet. Im Englischen wird hierfür der Begriff 'Performance Shaping Factors' oder kurz 'PSFs' verwendet. Zur Vereinfachung soll im Weiteren die englische Abkürzung 'PSFs' verwendet werden.

Ein Arbeitssystem heißt 'bestimmend', wenn es eine Aufgabe umfasst, deren Ausführung sich auf die Ausprägung eines PSF in einem anderen Arbeitssystem auswirkt. Bestimmende Arbeitssysteme sind 'vorgelagert', weil nur das Ergebnis der Ausführung oder Unterlassung der Aufgabe des bestimmenden Arbeitssystems auf andere Arbeitssysteme wirken kann. Man betrachte z. B. ein Werkzeug für eine sicherheitstechnisch wichtige Handlung. Die Eigenschaften eines Werkzeuges können PSFs der sicherheitstechnisch bedeutsamen Handlung sein. Diese Eigenschaften (PSFs) können z. B. durch die Arbeitssysteme 'Einkauf des Werkzeuges', 'Konstruktion des Werkzeuges' und 'Wartung des Werkzeuges' bestimmt worden sein.

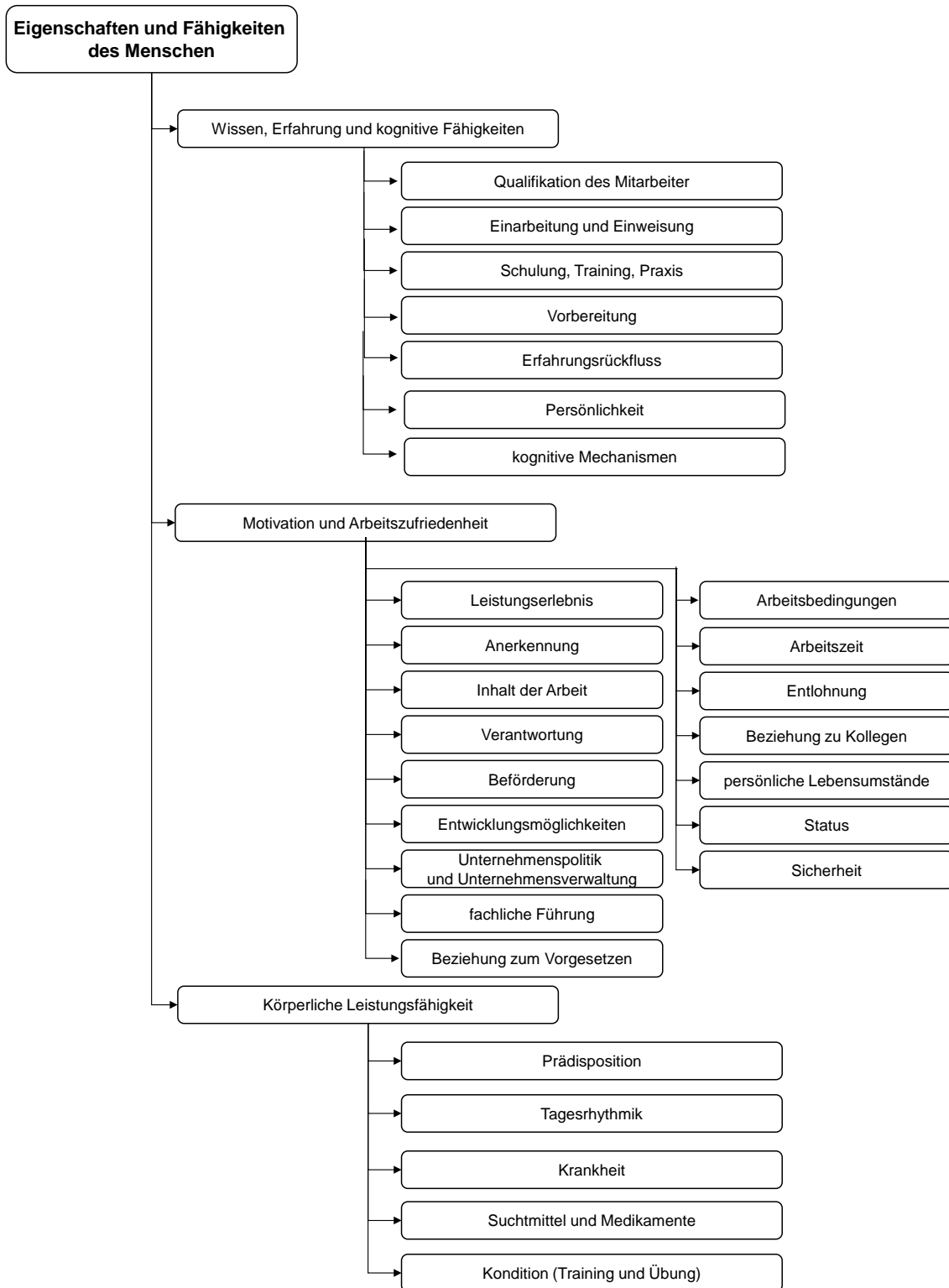
Nachfolgend findet man eine Auflistung leistungsbeeinflussender Faktoren mit kurzer Beschreibung. Die Faktoren orientieren sich am Modell des Arbeitssystems (vgl. Abb. 4-1).

Es wurde versucht die Auflistung der leistungsbeeinflussenden Faktoren möglichst umfassend zu gestalten, sie erhebt aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Der Analyst ist angehalten, sich für die jeweilige Arbeitssituation eigene Überlegungen hinsichtlich der wesentlichen beeinflussenden Faktoren anzustellen. Vertiefte Ausführungen zu leistungsbeeinflussenden Faktoren sind im [/GRS 09/](#) zu finden.

Für die im nachfolgenden aufgelisteten PSFs werden jeweils Hinweise darauf gegeben, welche bestimmenden, vorgelagerten Arbeitssysteme Einfluss auf deren Eigenschaften haben könnten.

#### **4.1.2.1 Eigenschaften der Person**

Im Nachfolgenden werden einige Aspekte der Eigenschaften der Person mit möglichem Einfluss auf die Zuverlässigkeit einer Handlung diskutiert. Einen Überblick hierzu gibt Abb. 4-2. Weitergehende Erläuterungen hierzu sind in [/GRS 09/](#) zu finden.



**Abb. 4-2** Leistungsbeeinflussende Faktoren, die der Person zuzuordnen sind



## **Wissen, Erfahrung und kognitive Fähigkeiten**

Der Mensch verfügt über die Fähigkeit, Informationen aufzunehmen, zu verarbeiten und zu speichern. Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung erfolgen selektiv, sie unterliegen Fehlern und hängen von Lernprozessen, Lernstrategien, schon erworbenem Wissen, Motivation, Befindlichkeiten, Wertungen und vielen anderen Faktoren ab. Somit können die im Informationsgedächtnis Verzerrungen gegenüber der objektiven Wirklichkeit aufweisen. Der positive Einfluss eines hohen Grades an Wissen, Erfahrung und kognitiven Fähigkeiten auf die Zuverlässigkeit von Personenhandlungen ist trivial. Es sollte aber nicht unerwähnt bleiben, dass diese Faktoren auch negativen Einfluss auf die Zuverlässigkeit haben können. Gerade bei Handlungsabläufen oder Situationen, die einer der Person präsenten (zeitlich nahen oder hoch geübten) Handlung oder Situation ähneln, kann es zu Fehlhandlungen oder Fehlschlüssen kommen. Auch bei Ereignissen, die sehr selten auftreten oder für unmöglich gehalten werden, kann die Erfahrung und das Wissen des Mitarbeiters dazu führen, dass das Ereignis nicht erkannt wird und der Fehler zunächst anders erklärt wird /SWA 83/.

Denkprozesse werden durch sogenannten kognitive Faktoren, die ihrerseits durch situative Faktoren beeinflusst werden, reguliert /[FAS 03](#)/. Im Allgemeinen spiegeln kognitive Faktoren Planungs- und Kontrollprozesse wider, die dem Operateur ein effizientes Arbeiten erlauben und die kognitive Beanspruchung gering halten. Hierzu gehören automatische reflexartige Reaktionen, unbewusste Suche nach erlernten Mustern sowie die bewusste Mustersuche einschließlich Analyse und Bewertung. Steigt die kognitive Beanspruchung, so werden weitere kognitive Faktoren wirksam, die es dem Menschen ermöglichen sollen, auch in sehr stressvollen Situationen zu sinnvollen Entscheidungen und Aktionen zu kommen. Bei steigender Beanspruchung können z. B. folgende Effekte auftreten:

- einfach zu erwerbende, die Erwartung bestätigende Informationen werden bevorzugt (Filtereffekt).
- Repräsentanten aus einer Gruppe zusammengehöriger Informationen werden ausgewählt (Sampling).
- Die subjektive Wahrnehmung der Zeit verändert sich mit Auswirkungen auf wahrzunehmende dynamische Information.

- Automatische, reflexartige Verhaltensweisen werden bevorzugt. Es erfolgt eine Fixierung auf ein aktuelles, begrenztes Problem. Die Mustersuche wird eingeschränkt. Bevorzugt werden vertraute, erfolgreiche, den Weg zum Ziel verkürzende Muster. Zum notwendigen Vergleich von Mustern werden nicht mehr alle Informationen überprüft. An einmal ausgewählten Mustern wird festgehalten (Regressions-effekte).
- Bekannte Muster werden verallgemeinert und auf ein aktuelles Problem übertragen oder das Problem wird verallgemeinert oder vereinfacht und auf ein scheinbar passendes Muster übertragen (Modellbildung).
- Nicht lineare Abläufe werden linear extrapoliert. Die Fähigkeit, Wahrscheinlichkeiten einzuschätzen, ändert sich.
- Die Kosten-/Nutzenbewertung wird verändert. Sichere unmittelbare Nachteile werden vermieden, auch wenn sie gering sind. Entscheidungen mit gravierenden Nachteilen werden verzögert bzw. delegiert.

Kognitive Faktoren können zu Veränderungen des Denkprozesses führen, die in Bezug auf die objektiven Erfordernisse der Situation nicht akzeptabel sind und als kognitiver Fehler bezeichnet werden.

Holy /HOL 06/ berichtet über in der Betriebserfahrung beobachtete Effekte:

- Unzureichende Bereitschaft umzudenken („es hat immer so funktioniert“),
- direkte Verfügbarkeit einer ‘Lösung’ (die ähnlichste Variante nehmen, das einfachste machen),
- ungeprüfte Schlussfolgerungen auf Basis von oberflächlichen Informationen,
- übermäßiges Selbstvertrauen („ich bin mir absolut sicher“),
- Überlastung des Gedächtnisses,
- ‘aus den Augen aus dem Sinn’-Effekt,
- Benutzen der falschen Analogie.

Eine Persönlichkeitseigenschaft ist eine relativ zeitstabile Variable, welche Aspekte des Verhaltens einer Person in bestimmten Situationen beschreiben und vorhersagen soll.

Persönlichkeitseigenschaften, die im Arbeitsumfeld hinsichtlich der Zuverlässigkeit von Personenhandlungen eine Rolle spielen können, sind z. B.:

- Neigung zur kritischen Überprüfung der eigenen Tätigkeiten,
- hinterfragende Grundeinstellung,
- Angst vor Versagen in bestimmten Situationen,
- Tendenz zu unsicheren Arbeitspraktiken,
- Leistungsentwicklung unter Stress /SWA 83/,
- Bestechlichkeit /SWA 83/,
- Verhalten in der Gruppe /SWA 83/,
- Verhalten in kritischen Situationen.

Swain /SWA 83/ geht davon aus, dass die von ihm genannten Persönlichkeitseigenschaften in ihrer negativen Ausprägung bereits durch den Personalauswahlprozess herausgefiltert werden und erachtet sie deshalb nicht als wichtige beeinflussende Faktoren im Kernkraftwerk.

Beispiele für Arbeitssysteme, die einen Einfluss auf diese Faktoren haben können, sind:

- Schulung,
- Training,
- Einweisung,
- Personalauswahl,
- Erfahrungsrückfluss,
- Arbeitsplanung,
- alle Arbeitssysteme in der die Person arbeitet (Erfahrung, Praxis, mentale Modelle).

## **Motivation und Arbeitszufriedenheit**

Als Motivation wird im vorliegenden Bericht ganz allgemein der innere Antrieb des Menschen zum Handeln bezeichnet.

In der Literatur ist vielfach dokumentiert (z. B. [/BUB 92/](#), [/BAI 05/](#), [/SWA 83/](#)), dass der Motivation eine Bedeutung als Einflussgröße der menschlichen Zuverlässigkeit zugemessen wird. Bisher fehlen jedoch Modelle, um Motivation als Faktor in die Untersuchung und Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit einbeziehen zu können.

Beispiele für Arbeitssysteme, die einen Einfluss auf diese Faktoren haben können, sind:

- Planung und Umsetzung der Aufgabenverteilung,
- Entwicklung und Umsetzung der Firmenpolitik,
- Planung und Umsetzung des Vergütungssystems,
- Planung und Umsetzung der Personalpolitik, Personalentwicklung,
- Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Unternehmenskultur,
- Arbeits-, Gesundheits- und Strahlenschutz,
- alle Arbeitssysteme, die Anweisungen an die Person geben,
- alle Arbeitssysteme, die die Arbeitsbedingungen festlegen und dabei Leistungsmöglichkeiten, Leistungsgrenzen und Leistungsbereitschaft der betroffenen Personen mehr oder weniger angemessen berücksichtigen.

### **Körperliche Leistungsfähigkeit**

Zu beachten sind Unterschiede zwischen Personen und Leistungsunterschiede derselben Person zu verschiedenen Zeitpunkten. Bei den Unterschieden sind systematische und zufällige Veränderungen zu berücksichtigen. Systematische Veränderungen können die Form zeitlich mehr oder minder regelmäßiger Schwankungen oder sonstiger zeitabhängiger Entwicklungen haben. Man denke zum Beispiel an die tageszeitlichen Schwankungen der Leistung oder an Leistungsänderungen in Abhängigkeit von Lebensalter, beruflichem Werdegang und Lernen.

Die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit sind die Grundlage für die Leistungserbringung. Das biologische System Mensch kann einerseits aus seiner Prädisposition

Eigenschaften aufweisen, die eine über- oder unterdurchschnittliche Leistungsfähigkeit zur Folge haben. Andererseits gibt es auch Einflussfaktoren, die während der Lebenszeit Einfluss auf das biologische System Mensch haben können und damit dessen Leistung bestimmen.

Prädispositionelle Faktoren, die Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des biologischen Systems Mensch ausüben sind z. B.:

- Intelligenz,
- Behinderung,
- Geschlecht.

Hinsichtlich eines Großteils der Faktoren, die aus der Prädisposition resultieren, kann angenommen werden, dass schon im Prinzip alleine durch die Personalauswahl und die anschließende Schulung eine gewisse Filterfunktion hinsichtlich der körperlichen und geistigen Eignung für die Arbeit im Kernkraftwerk ausgeübt wird.

Faktoren, die Leistungsfähigkeit beeinflussen können sind z. B.:

- Circadianer Rhythmus (Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit des Menschen von der Tageszeit),
- Krankheit,
- Suchtmittel und Medikamente,
- Schlaf,
- Kondition (Übung und Training).

Beispiele für Arbeitssysteme, die einen Einfluss auf diese Faktoren haben können, sind:

- Personalauswahl,
- Training,
- Planung des Ausführungszeitpunktes von Tätigkeiten,
- Arbeitssysteme, die die gesundheitliche Verfassung des Personals überwachen.

#### 4.1.2.2 Eigenschaften des Interaktionsobjektes

Die Eigenschaften des Interaktionsobjektes können die Zuverlässigkeit der Interaktion zwischen Mensch und Maschine beeinflussen.

Versuche haben gezeigt, dass der Mensch beim Umgang mit Systemen, die bestimmte Eigenschaften aufweisen, eine geringere Leistung bis hin zum Versagen zeigt. Diese Eigenschaften sind z. B.:

- Nichtlinearität des Systemverhaltens,
- hohe Trägheit des Systems,
- sehr langsame oder sehr schnelle Systemabläufe,
- komplexe Abhängigkeiten zwischen Systemparametern.

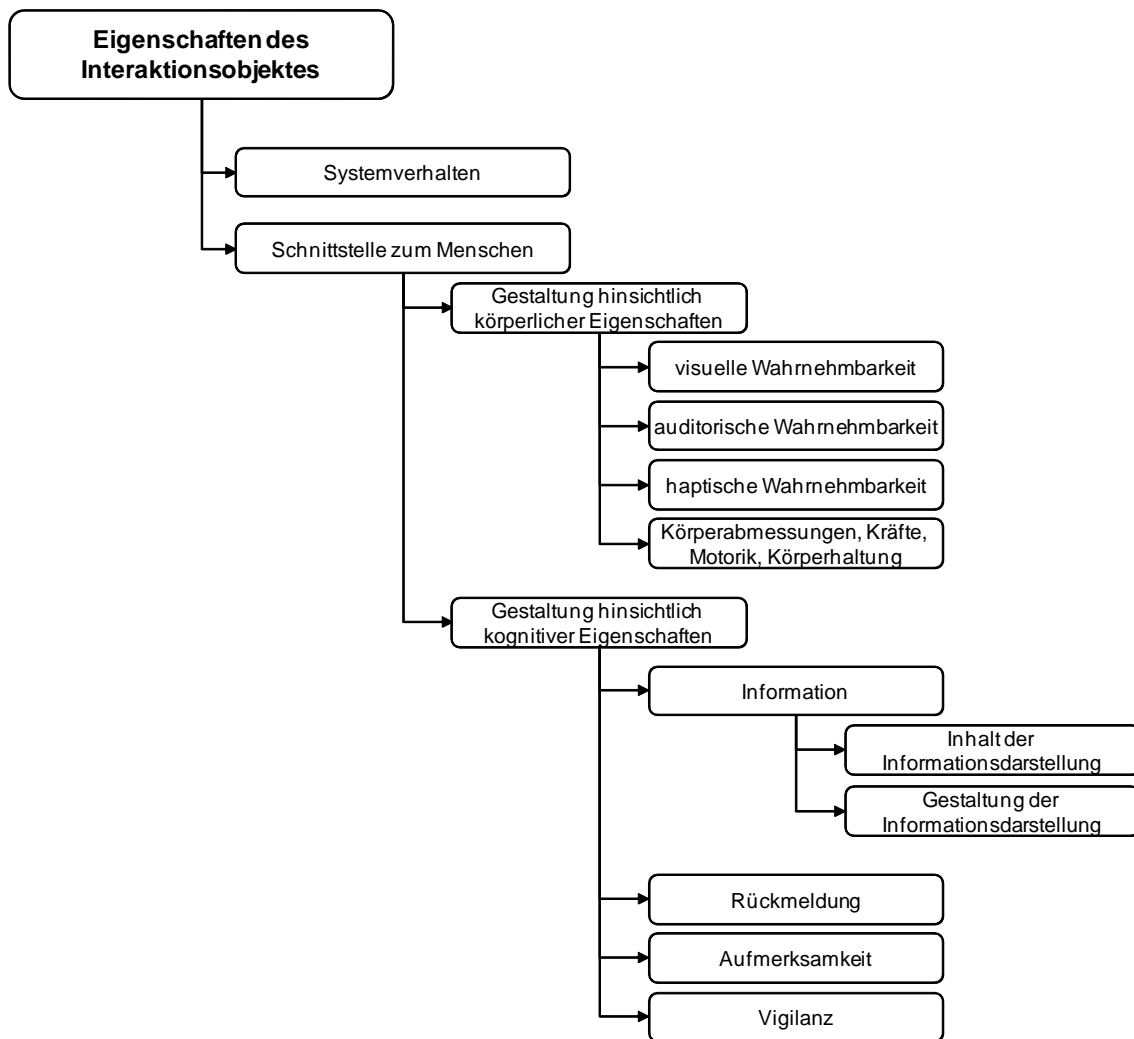
Ergonomisch ungünstige gestaltete Interaktionsobjekte können zu einer Fehlbeanspruchung des Handelnden führen und sich somit direkt auf die Zuverlässigkeit des Handelns und damit der Aufgabenerfüllung durch das Arbeitssystem auswirken. Dies kann sowohl aufgrund der Gestaltung hinsichtlich körperlicher Eigenschaften und Fähigkeiten wie auch aufgrund der Gestaltung hinsichtlich kognitiver und sonstiger psychischer Eigenschaften und Fähigkeiten auftreten.

Andere Personen können Interaktionsobjekte des Handelnden sein. Für diese Interaktionsobjekte gelten die Ausführungen oben zu 'Person'.

Beispiele für Arbeitssysteme, die einen Einfluss auf diese Faktoren haben können, sind:

- alle Arbeitssysteme, die eine Änderung an der Anlage bewirken,
- Auslegung und Konstruktion der Anlage oder eines beliebigen Teils der technischen oder baulichen Einrichtung einschließlich aller Arbeitsmittel.

Eine Übersicht dieser und weiterer Eigenschaften des Interaktionsobjektes, die Einfluss auf die Zuverlässigkeit des Arbeitssystems haben können, ist in Abb. 4-3 dargestellt. Weitergehende Erläuterungen hierzu sind in /GRS 09/ zu finden.



**Abb. 4-3** Leistungsbeeinflussende Faktoren hinsichtlich der Eigenschaften des Interaktionsobjektes

#### 4.1.2.3 Eigenschaften der Situation

Die Zuverlässigkeit der Interaktion zwischen Mensch und Interaktionsobjekt kann nur im Zusammenhang mit der Situation beurteilt werden, in der die Interaktion stattfindet, da diese auf den Menschen, das Interaktionsobjekt und auf die Interaktion zwischen beiden Einfluss nehmen kann. Man denke z. B. an Lärm, der die mündliche Kommunikation zwischen dem Handelnden mit seinem Interaktionspartner stört oder übertönt. Die Situation erfasst alle Aspekte eines Arbeitssystems, die nicht Person, Interaktionsobjekt oder Regeln sind.

Die Eigenschaften der Situation lassen sich weiter unterteilen in:

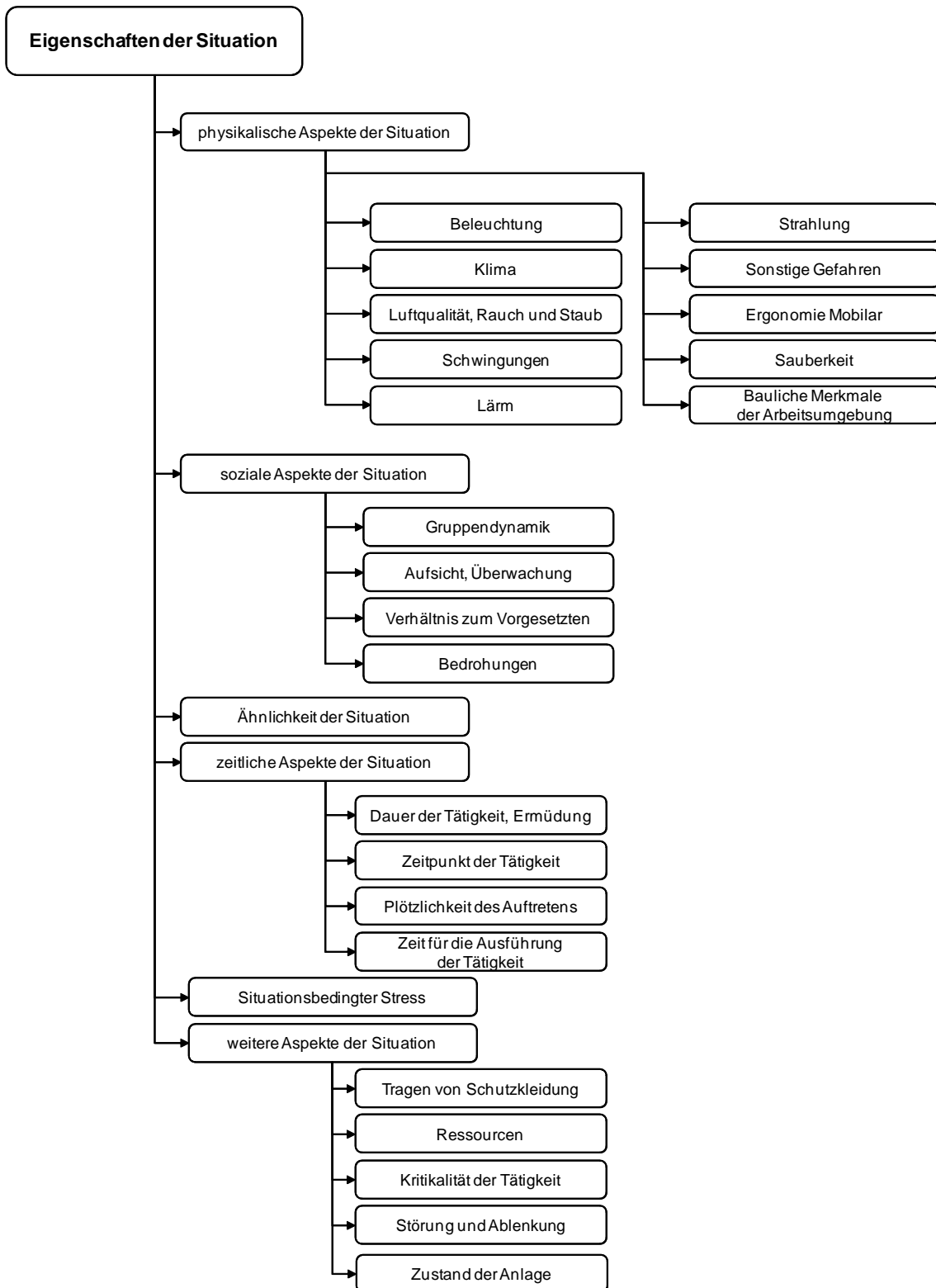
- physikalische Aspekte (z. B. Lärm, bauliche Merkmale, Sauberkeit),
- soziale Aspekte mit Wirkung auf die handelnde Person (z. B. Gruppendynamik, Überwachung, soziale Beziehungen, Bedrohungen),
- inhaltliche Aspekte (z. B. Ähnlichkeit zu anderen Handlungssituationen),
- zeitliche Aspekte der Situation (z. B. Dauer und Zeitpunkt der Tätigkeit, Ermüdung, Zeitlimits für Ausführung),
- Stress durch Gefahren, Bedrohungen realer oder erwarteter Art einschließlich Furcht vor Verantwortung, Versagen und Gesichtsverlust,
- materielle Ressourcen (z. B. Werkzeuge, Arbeitsmittel, Betriebsmittel),
- weitere Aspekte (z. B. Schutzkleidung, sicherheitstechnische Bedeutung der Aufgabe, Störung und Ablenkung).

Beispiele für Arbeitssysteme, die einen Einfluss auf diese Faktoren haben können:

- Arbeitsplanung einschließlich der Planung von Vorkehrungen gegen Faktoren, die zuverlässige Aufgabenerfüllung beeinträchtigen,
- Qualität, Verfügbarkeit von Ressourcen,
- Auslegung der Arbeitsplätze, Arbeitswege, Arbeitsumgebungen,
- Sauberkeit,
- Strahlenschutz,
- Arbeitsschutz.

Eine Übersicht dieser und weiterer Eigenschaften der Situation, die Einfluss auf die Zuverlässigkeit des Arbeitssystems haben können, ist in Abb. 4-4 dargestellt. Weitergehende Erläuterungen hierzu sind in [/GRS 09/](#) zu finden.





**Abb. 4-4** Leistungsbeeinflussende Faktoren hinsichtlich der Eigenschaften der Situation

#### 4.1.2.4 Eigenschaften von Regeln

Die Gestaltung von Regeln kann einen erheblichen Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Aufgabenerfüllung des Arbeitssystems haben, weil sie festlegen wie Arbeitsteilung, Aufgabenerfüllungsprozesse und Auslegung des Arbeitssystems beschaffen sein sollen. Sie gehen aus dem Organisationsprozess selbst hervor (vgl. Abschnitt 2) und werden als 'organisatorische Einflussfaktoren' in den Arbeitssystemmodellansatz eingeführt. Organisatorische Regeln legen auch Übergänge zu weiteren Aufgabenträgern innerhalb der Organisation fest.

Ergonomisch ungünstig gestaltete Regeln können zu einer Über- oder Unterbeanspruchung des Mitarbeiters führen und sich somit direkt auf die Leistung des Arbeitssystems auswirken.

Beispiele für ungünstige Gestaltung bzgl. Regeln sind:

- Regeln sind nicht eindeutig bzw. lassen zu großen Interpretationsspielraum oder weisen unzulässige Lücken auf.
- Regeln sind unverständlich oder zu komplex.
- Es bestehen Widersprüche zwischen Regeln.
- Regeln sind in der Praxis nicht umsetzbar bzw. nur mit Änderungen umsetzbar.
- Regeln sind nicht bekannt gemacht, werden nicht vermittelt oder nicht durchgesetzt.
- Persönliche Vorteile bei Nichtbeachtung bzw. aus Sicht des Handelnden persönliche Nachteile bei Beachtung (z. B. Entlastung durch Zeitgewinn bei Nichtbeachtung einer Regel).

Beispiele für Arbeitssysteme, die einen Einfluss auf diese Faktoren haben können, sind:

- Arbeitsplanung,
- Kontrolle der Aufgabendurchführung und Regeleinhaltung,
- Prozedurerstellung und Spezifikation des Designs für Arbeitsmittel, Arbeitsplätze, Arbeitsumgebung,

- Ressourcenplanung,
- Festlegungen für Training und Schulung,
- Festlegung Unternehmenspolitik,
- Festlegung Aufgabenverteilung,
- Festlegung Vergütungssystem,
- Festlegung Personalpolitik,
- Festlegung von Maßnahmen zur Unternehmenskultur,
- Festlegung von Maßnahmen zur Personalentwicklung.

Weitergehende Erläuterungen hierzu sind in /GRS 09/ zu finden.

## **4.2 Verfahren zum Aufbau des Organisationsmodells**

### **4.2.1 Grundlagen des Verfahren**

Auf der Grundlage der Ausführungen zu Prozess und Ergebnis des Organisierens und der Vorgehensweise, erforderliche Handlungen in Arbeitssystemmodelle einzubetten, lässt sich ein Organisationsmodell und darauf aufbauend ein Bewertungsverfahren erstellen, mit dem der Bezug zwischen Organisation und Zuverlässigkeit von in einer PSA zu untersuchenden Handlungen hergestellt werden kann. Das Organisationsmodell beruht auf folgenden Grundsätzen:

- Organisation lässt sich als Kollektiv von Stelleninhabern darstellen, das entsprechend den Regeln der Aufbau- und Ablaugorganisation vorgegebene Aufgaben ausführt, um die Unternehmensziele zu erreichen. Bezieht man sich auf eine Einzelaufgabe, wird, wie in der organisationswissenschaftlichen Fachliteratur üblich, die ausführende Stelle als „Aufgabeträger“ bezeichnet. Das Unternehmen setzt zudem Anreize für regelkonformes Handeln im Dienst der Zielerreichung.
- Im Fokus der PSA steht das Ziel „Sicherheit“.
- Das Handeln der Aufgabenträger wirkt sich auf den erforderlichen Zustand sicherheitsrelevanter Komponenten aus. Man denke zum Beispiel an Schalthandlungen, Wartungsarbeiten oder Reparaturen.

- Zuverlässiges Handeln hängt von der Beanspruchung des Handelnden ab.

Jeder betrachteten Aufgabe kann ein Netz von Aufgabenträgern zugeordnet werden, das die vorhandenen Beziehungen beschreibt. Das Netz modelliert den an der Aufgabenerfüllung beteiligten Teil der Organisation. Es entwickelt sich aus organisatorischen Regelungen und den beteiligten Aufgabenträgern. Das Handeln der Aufgabenträger sowie die Randbedingungen, unter denen sie ihre Aufgaben erfüllen, wird durch einen Arbeitssystemmodellansatz abgebildet. Zu den die Aufgabenerfüllung beeinflussenden Randbedingungen gehören auch organisatorische Regelungen, die als 'organisatorische Einflussfaktoren' in den Arbeitssystemmodellansatz integriert werden.

Über die im Arbeitssystem wirkenden leistungsbeeinflussenden Faktoren und die ihnen zugeordneten Regeln ergeben sich Übergänge zu weiteren Aufgabenträgern innerhalb der Organisation. Der Arbeitssystemmodellansatz kann prinzipiell so erweitert werden, dass er die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen sicherheitsrelevanten Aspekte des Organisierens berücksichtigt.

Das Grundkonzept für die probabilistische Bewertung organisatorischer Einflüsse ergibt sich aus der Überlegung, dass sich Personenhandlungen in organisatorisch verlagerten Arbeitssystemen durch die Qualität ihrer Arbeitsergebnisse auf organisatorisch nachgeordnete Arbeitssysteme auswirken. Die Wirkungskette kann zu einer oder mehreren in einer PSA modellierten Tätigkeiten führen und damit einen relevanten Beitrag zu Ergebnis einer probabilistischen Sicherheitsanalyse liefern.

#### **4.2.2 Anwendungsbereich des Verfahrens**

Das Verfahren soll im Rahmen einer PSA für die identifizierten Ereignisabläufe die Durchführung einer vertieften Analyse von Einflussfaktoren, die aus der Organisation resultieren, ermöglichen und diesen Einfluss für die Berücksichtigung in der PSA quantifizieren.

Prinzipiell kann ein solches Verfahren unabhängig von einer PSA für die Untersuchung organisatorischer Einflussfaktoren, auch im nicht-nuklearen Bereich, eingesetzt werden.

Das Verfahren bezieht sich nur auf Fehler, die bei der Durchführung von zugewiesenen sicherheitstechnisch wichtigen Tätigkeiten auftreten. Absichtliches Fehlverhalten (z. B. Sabotage) ist nicht Inhalt der Betrachtungen. Es wird angenommen, dass die handelnden Personen stets glauben, im Sinne der Interessen der Anlage zu handeln. Das bedeutet z. B., dass jede beabsichtigte Abweichung von Prozeduren erfolgt, weil der Handelnde glaubt, dass diese sicherer, ökonomischer oder effizienter ist bzw. er glaubt, dass die Befolgung der Prozedur unnötig oder unpassend ist.

#### **4.2.3 Anforderungen an die Anwender der Methoden**

Hinsichtlich der fachlichen Qualifikation sind folgende Mindestanforderungen durch das Team der Anwender der Methode zu erfüllen:

- Beherrschung des hier beschriebenen Verfahrens,
- Ausbildung im Bereich der menschlichen Zuverlässigkeitsbewertung,
- gute Kenntnisse über den PSA-Prozess,
- tiefgehende Erfahrung und Praxis in der Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit,
- Beherrschung der Verfahren THERP und ASEP /[SWA 83](#)/, /[SWA 87](#)/,
- Kenntnisse über weitere Verfahren zur Quantifizierung der menschlichen Zuverlässigkeit,
- sehr gute Kenntnisse über Technik und Betrieb eines Kernkraftwerks.

In einem mehrköpfigen Anwenderteam müssen nicht alle Mitglieder alle Qualifikationsanforderungen im gleichen Ausmaß erfüllen. Darüber hinaus ist eine enge Zusammenarbeit mit dem restlichen PSA-Team notwendig, die durch fortlaufende Kommunikation geprägt ist.

Somit sind neben der fachlichen Qualifikation, entsprechende soziale Fähigkeiten notwendig.

#### 4.2.4 Beschreibung des Verfahrens

Das in diesem Vorhaben entwickelte Grundkonzept für die probabilistische Bewertung organisatorischer Einflüsse basiert auf der Überlegung, dass sich Personenhandlungen in organisatorisch vorgelagerten Arbeitssystemen durch die Qualität ihrer Arbeitsergebnisse auf organisatorisch nachgeordnete von diesen Arbeitsergebnissen abhängige Arbeitssysteme konkret auswirken und dies einen relevanten Beitrag zum Ergebnis einer probabilistischen Sicherheitsanalyse liefern könnte. Fehlerhafte oder fehlende Planung kann alle Bestandteile eines Arbeitssystems betreffen. So können für eine Aufgabe z. B. zu knappe Zeitbudgets eingeplant oder keine schriftliche Unterlage vorgesehen sein, in der die ausführende Person bei Bedarf Schritt für Schritt nachschlagen kann, was im Einzelnen zu tun ist. Ein Beitrag wird insbesondere bei Arbeitssystemen erwartet, deren Arbeitsergebnisse auf mehrere organisatorisch nachgeordnete Arbeitssysteme wirken können. „Vorgelagert“ bzw. „nachgelagert“ beziehen sich auf Arbeitssysteme, wobei erstere Ergebnisse erzeugen, von denen die Ausgestaltung oder die Funktion der letzteren abhängt.

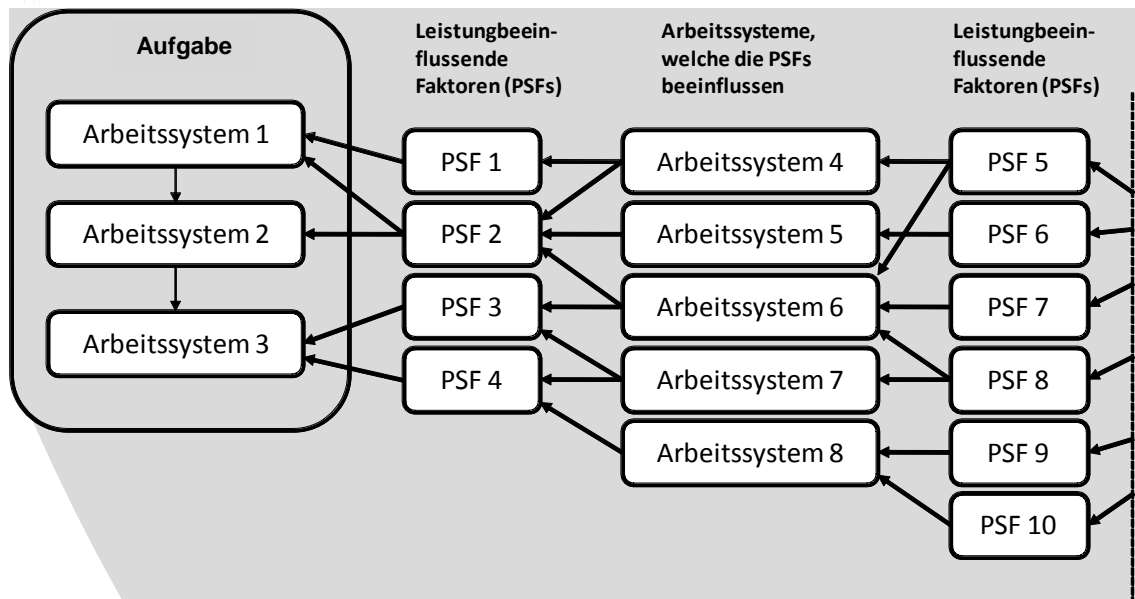
Ziel dieses Verfahrens ist es deshalb, die relevanten Beziehungen zwischen den direkt am Ereignisablauf beteiligten Arbeitssystemen und den organisatorisch vorgelagerten Arbeitssystemen zu identifizieren, zu modellieren und an das PSA-Modell anzukoppeln.

Hierfür wird ein Modell des Einflusses der Organisation auf eine in der PSA zu bewertende Aufgabe erstellt. Dabei wird folgende grundlegende Vorgehensweise verfolgt:

- Aufgliederung der Aufgabe in eine zeitliche Abfolge von Handlungen, die jeweils durch ein Arbeitssystem repräsentiert werden.
- Identifizierung möglicher sicherheitsrelevanter Fehlhandlungen.
- Identifizierung der leistungsbeeinflussenden Faktoren für die möglichen sicherheitsrelevanten Fehler.
- Identifizierung der Arbeitssysteme, die entsprechend vorgegebener organisatorischer Regeln einen Beitrag zur Ausprägung der leistungsbeeinflussenden Faktoren liefern.
- Beschreibung des Beitrags, den das betrachtete Arbeitssystem zur Ausprägung leistungsbeeinflussender Faktoren hat.

- Wertung der Ausprägung als optimal oder suboptimal.
- iterative Fortsetzung dieser Vorgehensweise für die neu identifizierten Arbeitssysteme.

Dies führt zu einem sich immer weiter verzweigenden Modell des Einflusses der Organisation auf PSA relevante Handlungen (vgl. Abb. 4-5).



**Abb. 4-5** Prinzip der Modellierung der organisatorischen Beziehungen

In Abb. 4-5 ist die Analyse nur einer organisatorisch vorgelagerten Ebene von Arbeitssystemen dargestellt, die durch Handlungsfehler ungünstig wirkende PSFs verursachen kann. Der Prozess ist iterativ auch für die weiteren vorgelagerten Ebenen fortzuführen. Abb. 4-6 und Abb. 4-7 verdeutlichen das Modellierungsprinzip an einem detaillierteren Beispiel.

Die Darstellung in Abb. 4-5 verdeutlicht, dass durch die iterative Einbeziehung immer weiterer Arbeitssysteme ein stark anwachsender Analyseaufwand zu erwarten ist. Deshalb wurden Maßnahmen entwickelt durch Aussortieren von irrelevanten Pfaden den Analyseaufwand zu begrenzen. Einzelheiten zur Reduktion des Analyseaufwands werden in Abschnitt 4.2.5.4 beschrieben. Die Vernachlässigung einzelner Pfade soll stets aufgrund probabilistischer Betrachtungen begründet werden.

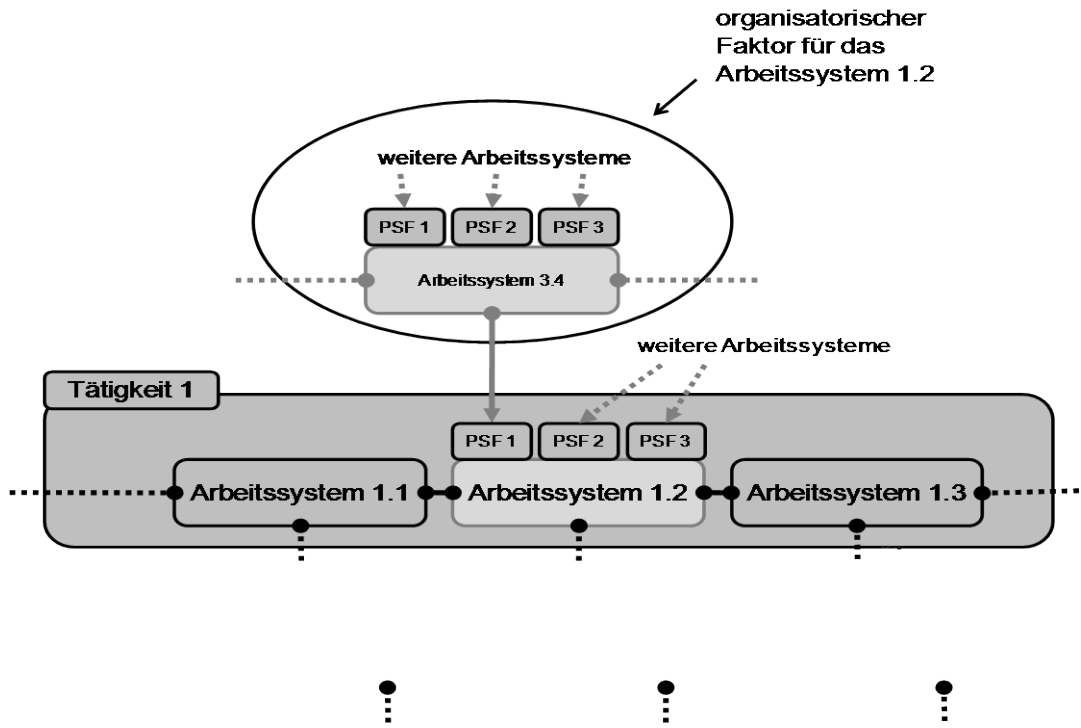


Abb. 4-6 Modellierungsprinzip, Detailbeispiel

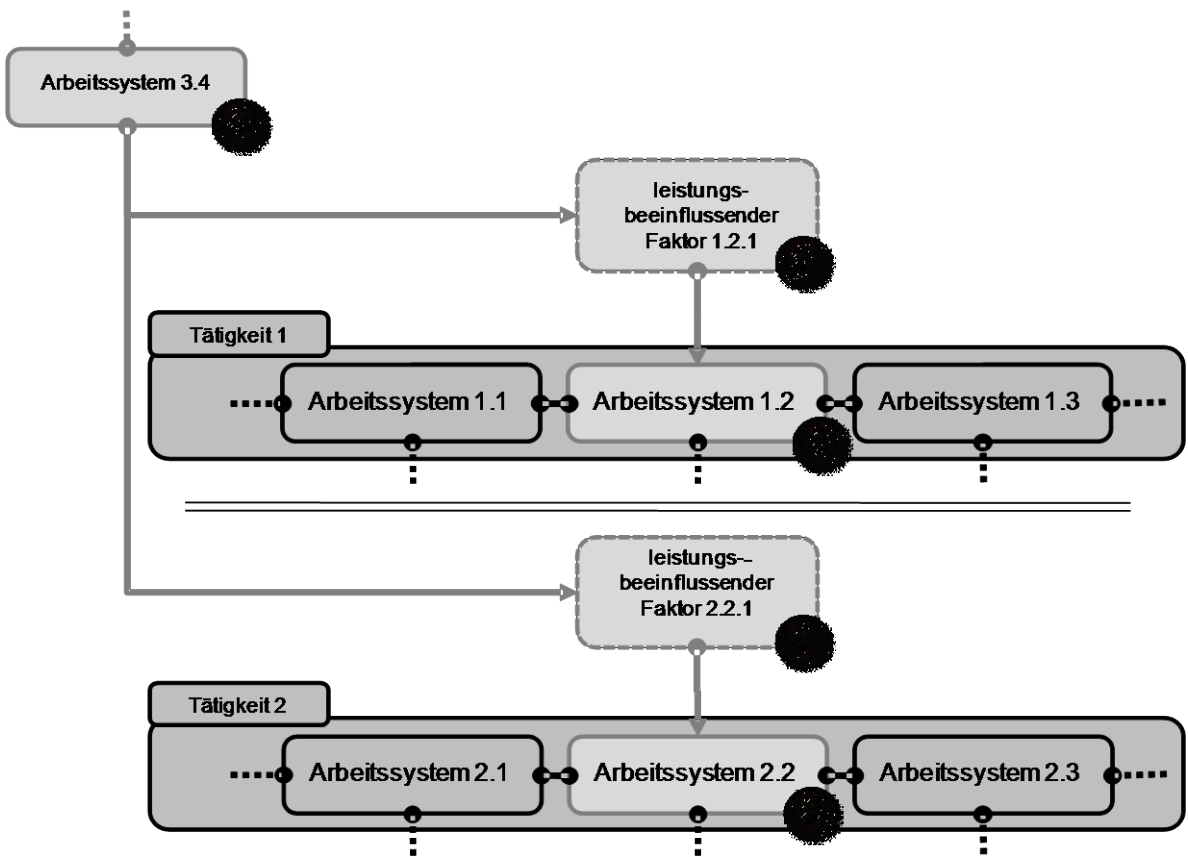


Abb. 4-7 Breitenwirkung, Detailbeispiel



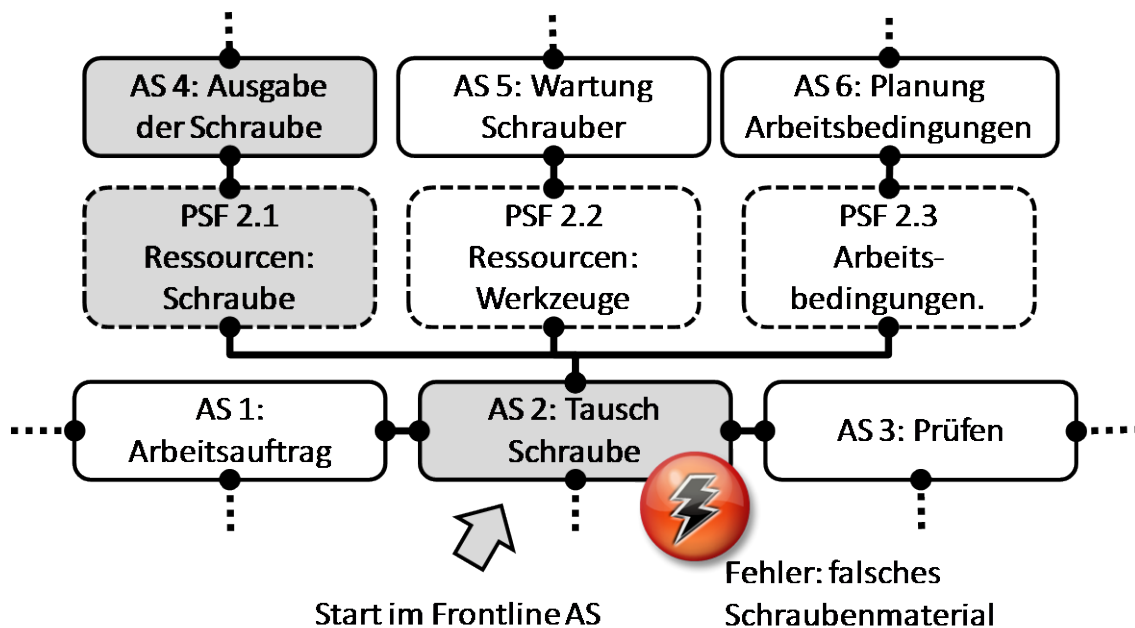
Durch die in der PSA verwendeten Komponentendaten sowie Betrachtungen zu gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) werden unter Umständen bereits dieselben Zusammenhänge erfasst, wie bei der Modellierung der organisatorischen Einflüsse durch das vorliegende Verfahren. Es ist deshalb ein Abgleich zwischen den verschiedenen Quellen für die PSA-Eingangsdaten durchzuführen, um eine Doppelbewertung zu vermeiden.

Nach dem Abschluss der iterativen Betrachtung der Arbeitssysteme und ihres jeweiligen Beitrags zur Ausprägung der PSF eines sicherheitstechnisch bedeutsamen Eingriffs ist im nächsten Schritt zu überprüfen, ob die gefundenen Fehlermechanismen in weiteren Arbeitssystemen wirksam sind, um insbesondere den Aspekt der Breitenwirkung organisatorischer Faktoren zu berücksichtigen. Hierfür wird untersucht, ob Elemente der Arbeitssysteme gleich sind (z. B. gleiche Person, gleiche bzw. ähnliche Prozedur, gleiches oder ähnliches technisches System). Oft ist dies z. B. der Fall bei den verschiedenen Redundanzen technischer Systeme. Zudem ist zu untersuchen, welche Bedeutung die Fehlerentdeckungsmöglichkeiten in einem Arbeitssystem für die Entdeckung des gleichen Fehlermechanismus in anderen Arbeitssystemen hat.

Zur quantitativen Bewertung der modellierten Zusammenhänge werden die Vorgehensweisen der anerkannten Methoden ASEP und THERP so erweitert, dass damit auch die Analyse der Arbeitssysteme in der Organisation, welchen einen relevanten Einfluss auf die am Ereignis direkt oder indirekt beteiligten Arbeitssysteme haben, bewertet werden können (vgl. Abschnitt 4.2.6).

Die Vorgehensweise soll kurz an dem einfachen, generischen Beispiel 'Tausch einer Schraube' verdeutlicht werden (siehe auch Abb. 4-8). Es sei angenommen, durch die technischen Analysen sei die Verwendung einer Schraube aus dem falschen Material als ein relevanter Fehler im Arbeitssystem mit der sicherheitsrelevanten Aufgabe identifiziert worden. Die Relevanz ergibt sich daraus, dass für diesen Fehler keine geeigneten Barrieren zu seiner Entdeckung gefunden wurden und die Schwächung der Komponente sicherheitsrelevant ist. Über die Schraube als Objekt des Handelns bei einer Instandhaltungs- oder Änderungsmaßnahme und den damit verbundenen Anforderungen kann durch Untersuchung der Zuständigkeiten und der Arbeitsabläufe das Arbeitssystem 'Ausgabe der Schraube' als direkt vorgelagertes Arbeitssystem, das Einfluss auf die Art der einzubauenden Schraube hat, identifiziert werden. Für dieses Arbeitssystem ist nun zu untersuchen, ob und wie der Fehler 'falsches Schraubenmaterial' zustande kommen kann und welche Randbedingungen (PSFs) in

diesem Arbeitssystem zu dem Fehler beitragen können (z. B. Lesbarkeit der Beschriftung der Schubladen). Auf die Randbedingungen dieses Arbeitssystems können wiederum weitere vorgelagerte Arbeitssysteme bzgl. des postulierten Fehlers Einfluss nehmen (z. B. die Beschaffung der Schraube). Wie in Abb. 4-8 dargestellt, können sich noch weitere relevante Pfade für den gleichen oder andere Fehler, z. B. über die verwendeten Werkzeuge oder weitere Arbeitsbedingungen, ergeben.



**Abb. 4-8** Analysebeispiel 'Tausch einer Schraube'

Abschließend ist die Breitenwirkung der unterstellten Fehler zu untersuchen. In diesem Beispiel wird auf Basis weiterer Untersuchungen festgestellt, dass noch andere Arbeitssysteme von AS 4 abhängen und auch dort keine Barrieren existieren, um den beschriebenen Fehler in AS 4 zu entdecken. In all diesen Systemen ist somit mit einer zu ermittelnden Wahrscheinlichkeit eine Schwächung zu unterstellen. Aufgrund der Ähnlichkeit von redundanten Systemen ist der gefundene Fehlermechanismus redundanzübergreifend anzunehmen. Ggf. kann sich der Fehler auch auf weitere, ggf. diversitäre Systeme ausbreiten. Ähnliche Fälle wurden in der Betriebserfahrung bereits beobachtet.

## 4.2.5 Darstellung der Analyseschritte des Verfahrens

### 4.2.5.1 Übersicht

Die Analyseschritte werden in den nachfolgenden Abschnitten detailliert beschrieben. Eine Übersicht der Analyseschritte des Verfahrens ist Abb. 4-9 zu entnehmen.

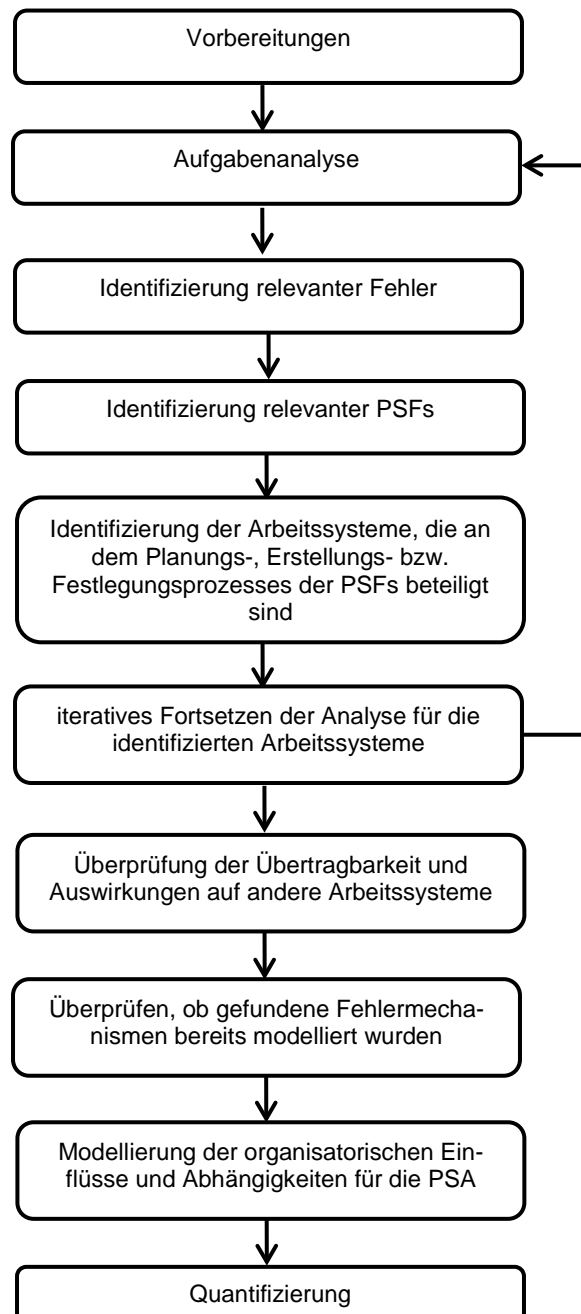


Abb. 4-9 Analyseschritte des Verfahrens

Im ersten Analyseschritt sind die Vorbereitungen zur Analyse wie das Vertrautmachen mit der Anlage und die Einarbeitung in die Informationen des Systemanalysten durchzuführen.

Im nächsten Schritt werden für die in der PSA zu untersuchenden Handlungen Aufgabenanalysen durchgeführt.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Aufgabenanalysen und der Einschätzung möglicher Schäden sowie der Wirksamkeit von Barrieren werden die für die weitere Betrachtung relevanten Fehler identifiziert. Für diese Fehler werden im nächsten Schritt die als relevant erachteten leistungsbeeinflussenden Faktoren (PSFs) bestimmt und anschließend diejenigen Arbeitssysteme ermittelt, die maßgeblich zu deren Ausprägung beitragen.

Diese Arbeitssysteme werden dann im nächsten Iterationsschritt wiederum der Analyse unterworfen (Aufgabenanalyse, Identifizierung relevanter Fehler, Identifizierung relevanter PSFs, Identifizierung von Arbeitssystemen mit maßgeblichen Beitrag zum PSF). Die Iteration wird so lange fortgeführt bis keine relevanten Beiträge mehr ermittelt werden können (Abbruchkriterien vgl. Abschnitt 4.2.5.4).

Ist der Vorgang der Iteration abgeschlossen so wird überprüft, in wieweit die gefundenen Fehlermechanismen und leistungsbeeinflussenden Faktoren (PSFs) auf andere Arbeitssysteme (andere Redundanzen oder Systeme) übertragen werden können. Damit wird der wichtige Schritt zur Ermittlung der Breitenwirkung von organisatorischen Einflussfaktoren vollzogen.

Um Doppelbetrachtungen zu vermeiden muss im nächsten Analyseschritt überprüft werden, ob die Fehlermechanismen und PSFs in dem bisherigen PSA-Modell bereits enthalten sind.

Ist dieser Schritt abgeschlossen, so können die ermittelten organisatorischen Einflussfaktoren in Form von Basisereignissen in die PSA implementiert werden. Im abschließenden Quantifizierungsschritt müssen die Basisereignisse mit Auftretenswahrscheinlichkeiten belegt werden.

## **4.2.5.2 Analyseschritt 'Vorbereitungen'**

### **4.2.5.2.1 Vertrautmachen mit der Anlage**

Für den Durchführenden einer Analyse ist es notwendig, dass er einen grundlegenden Kenntnisstand über die Anlage hat. Dies sind z. B. Grundkenntnisse über Werte, Eigenheiten der Prüf- und Instandhaltungstätigkeiten, Umgebungsbedingung der Arbeitssorte in der Anlage, allgemeine Betriebsanforderungen und organisatorische Maßnahmen. Der Durchführende einer Analyse sollte deshalb vor Aufnahme seiner Tätigkeiten Anlagenbesuche absolvieren, deren Zahl und Dauer ausreichen, um die entsprechenden Kenntnisse zu erwerben und sich als Referenz grundlegende Unterlagen (z. B. Konstruktionszeichnungen, Systembeschreibungen, Fotografien, Prozessbeschreibungen) über die Anlage zu beschaffen.

### **4.2.5.2.2 Einarbeitung in die Informationen des Systemanalysten**

Der Durchführende muss sich zunächst mit dem zu analysierenden Ereignisablauf vertraut machen. Dazu sichtet er die Beschreibungen des Systemanalysten und diskutiert diese mit ihm.

Aus den zu betrachtenden Systemen wird in Absprache mit dem Systemanalysten ein Startpunkt für die Analyse festgelegt. In der Regel sind die im PSA Modell berücksichtigten Personalhandlungen Analysestartpunkte. Ggf. können Zwischenergebnisse der Analyse zu neuen (d.h. von der Systemanalyse bis dahin nicht erkannten) Startpunkten führen.

### **4.2.5.3 Analyseschritt 'Analyse der Arbeitssysteme'**

Für die Durchführung der Analyse sind die Abfolge und das Zusammenspiel von Handlungen, die am Ereignis beteiligt sind, durch Arbeitssystem darzustellen. Hierbei ist ein geeigneter Detaillierungsgrad zu wählen (vgl. auch Abschnitt 4.1).

Die anschließende Analyse der Arbeitssysteme wird prinzipiell nach der Vorgehensweise bei einer Aufgabenanalyse ([/SWA 83/](#), [/MEI 85/](#)) durchgeführt. Die üblicherweise

bei einer Aufgabenanalyse durchgeführten Schritte 'Identifizierung der Fehlermöglichkeiten' und 'Identifizierung der leistungsbeeinflussenden Faktoren' werden aufgrund ihrer Bedeutung für das Verfahren in den nachfolgenden zwei Analyseschritten getrennt behandelt. Die ansonsten üblichen Schritte einer Aufgabenanalyse 'Ausarbeitung von Abhilfemaßnahmen' und 'Überprüfung der Wirksamkeit der Abhilfemaßnahmen' werden in diesem Zusammenhang nicht durchgeführt. Diese sind ggf. nach erfolgter Analyse mit diesem Verfahren durch den Betreiber auszuführen.

Zur Orientierung und der Gewährleistung der Vollständigkeit der Betrachtung wird für die Analyse das in Abschnitt 4.1 beschriebene Modell eines Arbeitssystems herangezogen.

Ein Teil der in diesem Analyseschritt durchzuführenden Arbeiten wird bereits im Rahmen der Quantifizierung von menschlichen Handlungen mit der Methode THERP bei der Erstellung der PSA geleistet. Ergebnisse hieraus können, insbesondere für die direkt am Ereignisablauf beteiligten Arbeitssysteme, für die Analyse der organisatorischen Einflussfaktoren übernommen werden.

Für das Verfahren wird der Analyseschritt 'Analyse der Arbeitssysteme' gegenüber einer Aufgabenanalyse auf folgende Punkte reduziert:

- Inhalt der Aufgabe (Handlung),
- beteiligte Personen,
- Ort der Handlung,
- Art und Weise der Durchführung der Handlung,
- Randbedingungen bei der Durchführung der Handlung.

Die Erhebung der Daten für die Analyse erfolgt aus verschiedenen Quellen. Ausgangspunkt für die Analyse sind die Beschreibungen in der Anlagendokumentation. Es lassen sich dadurch die geplanten Aufgaben und Handlungen ermitteln. Auf dieser Basis müssen in Zusammenarbeit mit dem Personal der Anlage detailliert die einzelnen Arbeitsvorgänge analysiert und beschrieben werden. Der Schwerpunkt liegt hierbei nicht auf der Ermittlung der intendierten Vorgehensweise (Vorschrift, Prozedur, Sollvorgaben) für eine Tätigkeit, sondern auf der praktischen Umsetzung der Tätigkeiten in der Anlage. Anhand von Rundgängen in der Anlage werden dabei die Handlungen in

den zu betrachtenden Arbeitssystemen beobachtet und diskutiert. Dies erfolgt bis zu einem solchen Detaillierungsgrad, dass der Analyst die Durchführung der Handlungen versteht. Hierbei sind auch Informationen hinsichtlich möglicher Fehlhandlungen und leistungsbeeinflussender Faktoren für die zwei nachfolgenden Analyseschritte zu sammeln.

Dabei ist das Ziel die Erfassung des Ist-Zustandes. Es sollen in diesem Schritt keine Empfehlungen für Verbesserungen oder Hinweise über Unzulänglichkeiten an die Anlage übermittelt werden.

Nach der Bestandsaufnahme werden die Aufgaben im Rahmen der Analyse in bewertbare Einzelhandlungen zerlegt. Der Detaillierungsgrad dieser Zerlegung richtet sich dabei nach der Methode, die für die spätere Quantifizierung als geeignet erscheint (z. B. THERP oder Expertenschätzung).

Die erhobenen Informationen sind in geeigneter Form zu strukturieren und nachvollziehbar zu dokumentieren.

#### **4.2.5.4 Analyseschritt 'Identifizierung relevanter Fehler'**

Im Folgenden ist für die in dem Analyseschritt 'Analyse der Arbeitssysteme' identifizierten Handlungen zu untersuchen, welche Fehler bei der Handlungsdurchführung auftreten können und welche Konsequenzen die Fehler für die Systemzuverlässigkeit haben können. Diesem Analyseschritt kommt zusammen mit dem nächsten besondere Bedeutung zu, da festgelegt wird was im Weiteren untersucht werden soll und was nicht. Dadurch werden gleichzeitig der Umfang und damit der Zeitbedarf festgelegt.

Es sind zunächst auf Basis der Aufgaben für einzelne Handlungen die möglichen Fehler unabhängig von deren Auswirkungen zu identifizieren.

Als generisches Schema für die Identifikation von möglichen Fehlern lässt sich die Kategorisierung von Fehlhandlungen nach [/SWA 83/](#) verwenden:

- Auslassungsfehler:
  - Eine Aufgabe wird nicht durchgeführt.
  - Ein Arbeitsschritt einer Aufgabe wird nicht ausgeführt.

- Ausführungsfehler:
  - Auswahlfehler:
    - Das falsche Element (Interaktionsobjekt) wird ausgewählt.
    - Das Element wird falsch positioniert (z. B. Bedienelement in die falsche Richtung, Vertauschen von Kabeln).
    - Eine falsche Anweisung oder eine falsche Information wird gegeben.
  - Fehler in der Reihenfolge;
  - zeitlicher Fehler (zu früh, zu spät);
  - qualitativer Fehler (zu viel, zu wenig).

Der Analyst hat zu überprüfen, ob es neben diesem Schema noch andere potentielle Fehlhandlungen gibt.

Im Fortgang der Analyse ist die Relevanz (Folgen für die Sicherheit) der identifizierten Fehlhandlungen einzuschätzen. Hierfür sind die Ursachen zu untersuchen und die Auswirkungen auf weitere Handlungen und davon betroffene Komponenten zu verfolgen. Ggf. sind erneut Besuche in der Anlage notwendig, um detailliertere Erhebungen hinsichtlich der Randbedingungen der Handlungen durchzuführen.

Besonderes Augenmerk ist bei der Einschätzung der Relevanz der Fehler auf Barrieren mit der Möglichkeit der Fehlerentdeckung zu richten. Als Barrieren werden diejenigen technischen Einrichtungen, Handlungen bzw. Arbeitssysteme bezeichnet, die zur Aufdeckung von bestimmten Fehlern im Rahmen einer Planung implementiert wurden (z. B. Funktionsprüfung, Qualitätssicherung).

Im Rahmen der Analyse sind grobe Abschätzungen hinsichtlich der Wirksamkeit dieser Barrieren für die Verhinderung der Fortpflanzung der identifizierten Fehler durchzuführen. Hierbei ist der Systemanalyst hinzuzuziehen. Er ist dafür verantwortlich die Auswirkung des menschlichen Fehlers auf die Zuverlässigkeit der Komponente, des Systems und der Anlage zu beurteilen.



Fehler, die nach Einschätzung der Untersuchenden keinen oder nur einen geringen Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Komponente, des Systems und der Anlage ausüben, sind für die weitere Analyse zu vernachlässigen.

Hierbei können verschiedene Ausschlusskriterien Anwendung finden:

- Technische Argumentation, dass der Fehler keinen oder nur sehr geringen Beitrag zur Unverfügbarkeit einer Komponente oder eines Systems liefert
- ausreichend Betriebserfahrung (aus probabilistischer Sicht) und der Fehler wurde dabei nicht beobachtet (probabilistische Relevanz),
- kurze Zeit bis zur sicheren Entdeckung (Beschränkung der Zeit des Systems im fehlerhaften Zustand),
- unabhängige Mehrfachfehler sind notwendig, um Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit des Systems zu haben (z. B. Versagen von unabhängigen Sicherheitsbarrieren),
- bereits entdeckte Fehler liefern einen wesentlich größeren Beitrag (Anmerkung: dieses Kriterium ist bei seinem Einsatz kritisch im Zuge der Analyse zu hinterfragen, da ggf. durch Abhängigkeiten zwischen Arbeitssystemen ein Fehler mit zunächst niedrigem Beitrag für ein einzelnes Arbeitssystem durch seine Breitenwirkung eine Bedeutung für die Gesamtzuverlässigkeit des Systems erlangen kann.),
- Argumentation aus probabilistischer Sicht (insbesondere von Bedeutung, wenn das Ereignis, bei dem der Fehler wirksam wird, sehr selten eintritt).

Die Betrachtungen sind in geeigneter Form und nachvollziehbar zu dokumentieren. Insbesondere sind die entdeckten Zusammenhänge, auch wenn sie sich bei der Untersuchung der Fehlerfortpflanzung als nicht relevant erweisen, für die spätere Überprüfung der Übertragbarkeit festzuhalten.

#### **4.2.5.5      Analyseschritt 'Bestimmung der PSFs für die relevanten Fehler'**

Für jeden der postulierten Fehler sind relevante leistungsbeeinflussende Faktoren zu bestimmen (PSFs).

Nachfolgend findet sich eine beispielhafte Auflistung leistungsbeeinflussender Faktoren und in welcher Ausprägung sie in der deutschen Betriebserfahrung beobachtet wurden:

- Eigenschaften der Person:
  - unzureichendes Wissen,
  - falsche Vorstellungen / Annahmen,
- Eigenschaften des Interaktionsobjektes:
  - komplexes Systemverhalten,
- Eigenschaften der Situation:
  - Messwerkzeug ungeeignet,
  - falsche Betriebsmittel (z. B. Ölart, Schraubenmaterial),
  - Stress verursacht durch eine vorangegangene Fehlhandlung,
  - Überlastung durch zu viele Aufgaben,
- Eigenschaften von Regeln:
  - falsche und unvollständige Vorgaben zur Nutzung von Anweisungen,
  - Zuständigkeiten bei Freischaltungen bzw. Rücknahme von Freischaltungen bei parallel laufenden Arbeiten.

Für eine beispielhafte Auflistung möglicher PSFs sei auf Abschnitt 4.1.3, für eine detailliertere Auflistung auf [/GRS 09/](#) verwiesen.

Die Einschätzung der Relevanz des jeweiligen leistungsbeeinflussenden Faktors ist Aufgabe des Analysten. Dies erfordert entsprechende Erfahrung und Kompetenz bei der Aufgabenanalyse und der Beurteilung der Wirkung leistungsbeeinflussender Faktoren. Hilfestellung hierbei können ggf. bewährte Verfahren zur Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit leisten, welche das Konzept der leistungsbeeinflussenden Faktoren verwenden [/SWA 83/](#).

Die als relevant beurteilten leistungsbeeinflussenden Faktoren sind für die weitere Analyse zu berücksichtigen.

Liegt eine ungünstige Ausprägung eines relevanten leistungsbeeinflussenden Faktors vor, so ist dies direkt für die Bewertung der Handlung zu berücksichtigen. In der Regel ist dann eine weitere Verfolgung der Fehlerkette in die organisatorisch vorgelagerten Arbeitssysteme nicht mehr notwendig, da der relevante, ungünstige Einflussfaktor gegenüber einer potentiellen, aus einem zusätzlichen Fehler resultierenden Verschlechterung des Einflussfaktors dominiert. Die Erfahrungen aus der Durchführung einer PSA der Stufe 1 zeigen jedoch, dass identifizierte Schwachstellen vom Betreiber meist während dem laufenden Verfahren der PSA-Erstellung behoben werden, was eine weitere Verfolgung der Fehlerkette in die organisatorisch vorgelagerten Arbeitssysteme wieder erforderlich machen würde.

#### **4.2.5.6      Analyseschritt 'Identifizierung der Arbeitssysteme, die an dem Planungs-, Erstellungs- bzw. Festlegungsprozesses der PSFs beteiligt sind'**

Für jeden der identifizierten relevanten leistungsbeeinflussenden Faktoren sind die Arbeitssysteme zu bestimmen, die maßgeblich an deren Ausprägung beteiligt sind.

In Abschnitt 4.1.3 sind beispielhaft leistungsbeeinflussende Faktoren aufgeführt, sowie Beispiele dafür durch welche Arbeitssysteme diese bestimmt sein können.

Können keine organisatorisch vorgelagerten Arbeitssysteme bestimmt werden, welche den leistungsbeeinflussenden Faktor maßgeblich bestimmen, so kann dieser Zweig der iterativen Analyse abgebrochen werden. In diesem Fall ist zu ermitteln ob und mit welcher Häufigkeit der Einflussfaktor aus anderen Gründen eine fehlerfördernde Ausprägung annehmen kann (vgl. auch Quantifizierungsmethode, Abschnitt 4.2.6).

#### **4.2.5.7      Analyseschritt 'Iterative Fortsetzung der Analyse für die identifizierten Arbeitssysteme'**

Für die im vorherigen Analyseschritt identifizierten Arbeitssysteme, welche die Ausprägung der leistungsbeeinflussenden Faktoren bestimmen, sind die bisher beschriebenen Analyseschritte beginnend mit der Aufgabenanalyse iterativ auszuführen. Abgebrochen werden kann, wenn die in dem Iterationsschritt postulierten Fehler in den Arbeitssystemen keine relevanten Auswirkungen auf die Systemzuverlässigkeit mehr haben.

#### **4.2.5.8 Analyseschritt 'Überprüfung der Übertragbarkeit und Auswirkung auf andere Arbeitssystemen'**

Sind alle Handlungen nach dem obigen Schema analysiert, so muss überprüft werden, inwieweit die gefundenen Fehler oder die als unzureichend bewerteten PSFs auf andere Arbeitssysteme übertragbar sind, d.h. in anderen Arbeitssystemen ebenfalls implementiert werden können.

Von besonderem Interesse sind hierbei Arbeitssysteme durch deren Einbeziehung der postulierte Fehler oder PSF eine Breitenwirkung entfaltet, d. h. die Zuverlässigkeit von vielen anderen am Ereignisablauf beteiligten Arbeitssystemen beeinflusst.

Um relevante Arbeitssysteme zu identifizieren, ist zu überprüfen, ob einzelne Elemente in Arbeitssystemen gleich sind.

Diese gleichen Elemente, welche ggf. eine Übertragbarkeit eines gefundenen Fehlermechanismus erlauben, sind z. B.:

- gleiche handelnde Person,
- gleiches oder ähnliches Interaktionsobjekt,
- gleiche oder ähnliche Regeln,
- gleiches oder ähnliches Arbeitsmittel,
- gleiches oder ähnliches Werkzeug,
- gleiche oder ähnliche Prozedur,
- gleicher oder ähnlicher Anlagenzustand,
- vergleichbare Einstellungen zu Sachverhalten in der Belegschaft ('Sicherheitskultur').

Die identifizierten Arbeitssysteme sind auf Relevanz hinsichtlich der Ausbreitung (vgl. auch Schritt 2) des postulierten Fehlers oder der Breitenwirkung der PSFs zu überprüfen und bei festgestellter Relevanz weiter zu untersuchen.

Gleiche Elemente liegen meist bei den verschiedenen Redundanzen eines Systems vor. Somit ist bei redundanten Strängen innerhalb eines Systems vor einer weiteren Klärung zunächst von einer Wirksamkeit des entdeckten Fehlers auszugehen.

Besonderes Augenmerk ist darauf zu richten, ob der entdeckte Fehlermechanismus oder die als ungünstig bewerteten PSFs eine Wirkung in (zu dem betrachtenden System) diversitären Systemen auslösen kann (z. B. wird ein falscher Einstellwert in der Prozedur für das digitale Steuerungssystem und das analoge Reservesystem angewendet).

Weiter ist darauf zu achten, ob der Fehler oder der als ungünstig bewertete PSF in den zusätzlich identifizierten Arbeitssystemen eine höhere Entdeckungswahrscheinlichkeit aufweist als im Arbeitssystem, mit dem die Analyse begonnen wurde. Ist dies der Fall, so muss die Rückwirkung dieser erhöhten Entdeckungswahrscheinlichkeit auf alle Arbeitssysteme, die dem gleichen Fehler oder PSF unterliegen, entsprechend berücksichtigt werden.

Es ist zu überprüfen, ob Fehler und als ungünstig bewertete PSFs, die im Arbeitssystem, mit dem die Analyse begonnen wurde, zu einer sicheren Entdeckung führen und deshalb für eine weitere Betrachtung verworfen wurden, in anderen Arbeitssystemen ebenfalls sicher entdeckt werden.

Durch die bis hier beschriebene Analyse kann für den zu betrachtenden Ereignisablauf ein Modell der gemeinsam wirksamen Fehler und der Breitenwirkung der als ungünstig bewerteten PSFs in den Arbeitssystemen erstellt werden.

Die nächsten Schritte befassen sich mit der Übertragung dieses Modells in die PSA.

#### **4.2.5.9 Analyseschritt 'Überprüfung, ob gefundene Fehler bereits modelliert wurden'**

Um eine mehrfache Modellierung von Fehlern und PSFs im probabilistischen Modell zu vermeiden, sind diese mit den bereits in der PSA modelliert abzugleichen.

Dies betrifft einerseits die Fehler, die bei der Betrachtung hinsichtlich gemeinsam verursachter Ausfälle (GVA) unterstellt wurden. Aufgabe hierbei ist, zu beurteilen, in wie-

weit die aus der Betriebserfahrung abgeleiteten Zahlenwerte hinsichtlich GVAs die organisatorischen Abhängigkeiten mit abdecken. Dies muss im Einzelfall durch den Analysten in enger Zusammenarbeit mit den Experten für die GVA-Modellierung beurteilt werden.

Andererseits werden bereits bei der Durchführung der Analyse zur Beurteilung der menschlichen Zuverlässigkeit mit THERP PSFs und Abhängigkeiten zwischen Teilhandlungen untersucht und modelliert. Ob sich Überschneidungen ergeben, ist mit dem Experten für die Modellierung der Personenhandlungen in der PSA abzuklären.

#### **4.2.5.10 Analyseschritt 'Modellierung der organisatorischen Einflüsse und Abhängigkeiten für die PSA'**

Die identifizierten Fehlermechanismen durch organisatorische Einflüsse können in das PSA-Modell in Form von zusätzlichen Basisereignissen integriert werden. Hierbei ist sicherzustellen, dass die Basisereignisse von den bereits in die PSA integrierten Basisereignissen unabhängig sind. Ist dies nicht der Fall so ist die Modellierung soweit zu verfeinern, dass die Abhängigkeit der Basisereignisse abgebildet wird. In Abb. 4-10 und Abb. 4-11 ist beispielhaft dargestellt, wie die Einbindung in das PSA Modell erfolgen kann.

Im Rahmen der Quantifizierung muss entschieden werden, wie die gefundenen Erkenntnisse sinnvoll in Basisereignisse aufzugliedern sind. Die ermittelten Basisereignisse sind dann in geeigneter Weise in die PSA zu implementieren. Die als ungünstig bewerteten PSFs werden nicht explizit im PSA-Modell berücksichtigt, sondern im Rahmen der Ermittlung der Fehlerwahrscheinlichkeiten relevanter Fehler.

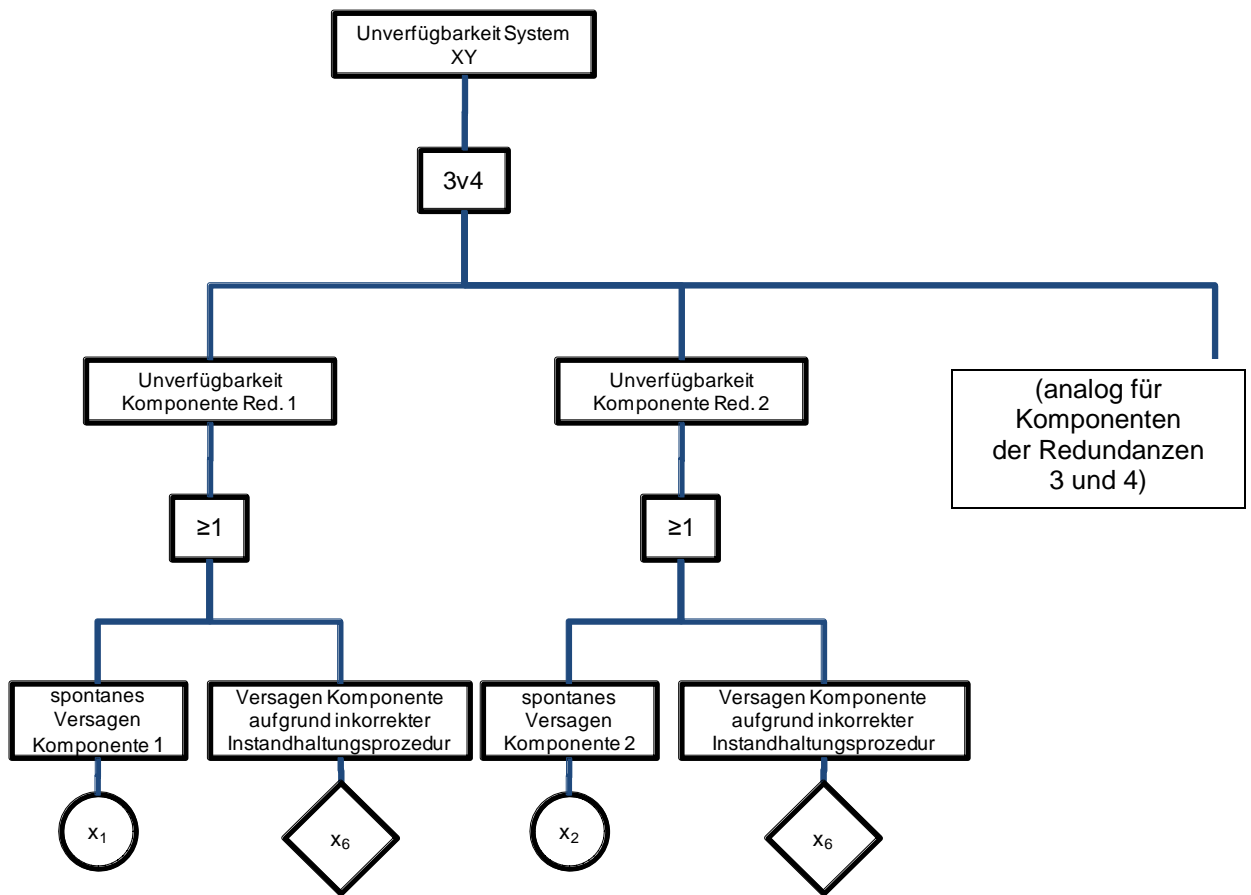


Abb. 4-10 Einbindung von Basisereignissen, Systemebene

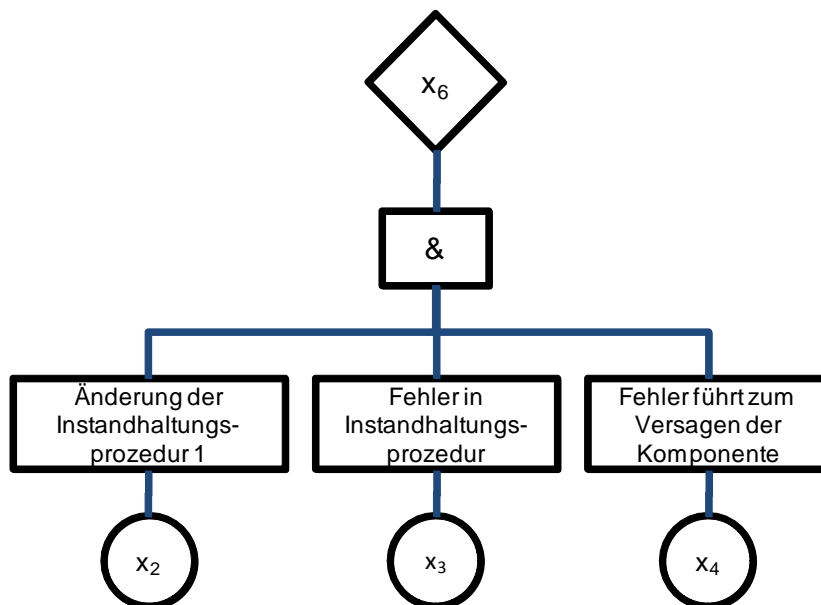


Abb. 4-11 Basisereignis 'Fehler in Instandhaltungsprozedur'

#### **4.2.5.11 Analyseschritt 'Quantifizierung'**

Die Quantifizierung ist für die entdeckten Fehlermechanismen und für die als ungünstig bewerteten PSFs und ggf. deren Breitenwirkung entsprechend den in Abschnitt 4.2.6 beschriebenen Vorgehensweisen durchzuführen.

#### **4.2.5.12 Dokumentation der Analyse**

Bei einigen der Analyseschritte wurden bereits Hinweise auf die zu dokumentierenden Inhalte geben. Nachfolgend findet sich nochmals eine Übersicht über die zu jedem Analyseschritt zu dokumentierenden Inhalte.

##### **Vertrautmachen mit der Anlage**

- Auflistung der verwendeten Dokumente,
- Niederschrift der Erkenntnisse aus den Anlagenbesuchen.

##### **Aufgabenanalyse**

- detaillierte Beschreibung der Aufgabe,
- Auflisten, der an der Aufgabe beteiligten Personen und deren Eigenschaften (Qualifikation, Position, usw.),
- Beschreibung der Gegebenheiten des Handlungsortes,
- Beschreibung der Art und Weise der Durchführung der Aufgabe.

Dabei sind die Quellen, die daraus abgeleiteten Informationen und ggf. eine Einschätzung der Relevanz für die realen Abläufe zu dokumentieren.

Mögliche Quellen sind z. B.:

- Dokumente (z. B. Arbeitsaufträge, Prozeduren, Anleitungen),
- Interviews mit Mitarbeitern der Anlage,
- Beobachtungen in der Anlage,



- Ggf. eigene Durchführung der Aufgabe.

#### **Identifizierung relevanter Fehler**

- alle sich aus der Aufgabenanalyse ergebenden Fehler,
- Auflistung der als relevant erachteten Fehler,
- ausführliche Begründung, warum nach der Aufgabenanalyse mögliche Fehler von einer weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

#### **Bestimmung der PSFs für die relevanten Fehler**

- alle sich aus der Aufgabenanalyse ergebenden PSFs,
- Auflistung der als relevant erachteten PSFs,
- ausführliche Begründung, warum nach der Aufgabenanalyse mögliche PSFs von einer weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

#### **Identifizierung der Arbeitssysteme, die an dem Planungs-, Erstellungs- bzw. Festlegungsprozesses der PSFs beteiligt sind**

- Auflistung der identifizierten Arbeitssysteme mit Erläuterung der Bezüge.

#### **Iterative Fortsetzung der Analyse für die identifizierten Arbeitssysteme**

Die Dokumentation ist für die weiteren Iterationen im Verfahren analog fortzusetzen.

#### **Überprüfung der Übertragbarkeit und Auswirkung auf andere Arbeitssysteme**

- Auflistung der Arbeitssysteme, für die eine Übertragbarkeit des Fehlers hergeleitet wurde.
- Beschreibung der Wirkkette des Fehlers für jedes identifizierte Arbeitssystem bzw. Gruppe von Arbeitssystemen.

### **4.2.6 Quantifizierung von Fehlern**

Die probabilistische Bewertung geht von der in Abb. 4-5 dargestellten Modellierung organisatorischer Beziehungen aus. Die Fehlerwahrscheinlichkeit einer durch ein Ar-

beitssystem beschriebenen Handlung ergibt sich aus einer Basiswahrscheinlichkeit (Zuverlässigkeitsgrenze für den betrachteten Handlungstyp unter optimalen Bedingungen  $P_N$ ) und der Wirkung der im Arbeitssystem vorhandenen leistungsbeeinflussenden Faktoren (PSF).

$$P = f(P_N, PSF_1 \dots PSF_i)$$

Organisatorische Regeln sind in diesem Modell als Einflussfaktoren aufzufassen, die die Zuverlässigkeit einer Handlung mitbestimmen (z. B. Regeln zur Aufgabenstellung eines Handlungsausführenden). Ausgehend von diesen Überlegungen kann die probabilistische Bewertung in die nachfolgend aufgeführten sechs Schritte gegliedert werden:

1. Basisanalyse

Die in der PSA modellierten Handlungen werden zunächst mit den empfohlenen Methoden ausgehend vom aktuellen Zustand der leistungsbeeinflussenden Faktoren (PSF) bewertet.

2. Einschätzung der Variabilität leistungsbeeinflussender Faktoren

Kann sich die Qualität eines PSF ändern (z. B. Arbeitsunterlagen sind neu zu erstellen oder müssen gelegentlich modifiziert werden) so ist die Häufigkeit dieser Änderung zu schätzen. Kann diese nicht ermittelt werden, so ist pessimistisch davon auszugehen, dass eine Änderung in dem der PSA zugrunde gelegten Beobachtungszeitraum mit der Wahrscheinlichkeit  $P = 1$  eintritt.

3. Bewertung von Arbeitssystemen innerhalb der Organisation

Über das Organisationsmodell sind die für die Qualität eines PSF zuständigen Arbeitssysteme zu bestimmen. Fehlhandlungen der zuständigen Aufgabenträger, die zu ungünstigsten PSFs in den nachgeordneten Arbeitssystemen führen, sind zu identifizieren und zu quantifizieren.

4. Die Zuverlässigkeit von Vorkehrungen (Barrieren) zur Fehlererkennung und Behebung ist zu ermitteln.

5. Abhängigkeiten zwischen zueinander redundanten Handlungen (d. h. mehr als ein Handlungsfehler muss auftreten, damit das postulierte unerwünschte Ergebnis eintritt) und ihre ungünstigen Wirkungen auf die Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit sind einzuschätzen.

6. Fehler von Arbeitssystemen innerhalb der Organisation sind in der PSA durch Basisereignisse darzustellen und in die Ergebnisse der Basisanalyse (vgl. Schritt 1) zu integrieren.

Eine Überprüfung, ob die Datenquelle 'Betriebserfahrung zu meldepflichtigen Ereignissen in deutschen Kernkraftwerken' für die Quantifizierungsschritte 3, 4 und 5 herangezogen werden kann, führte zu keinem tragfähigen Ergebnis.

Die Analyse zeigte, dass in vielen Fällen bei der Ereignisauswertung keine explizite Identifikation von organisatorischen Einflussfaktoren erfolgte. Diese lassen sich aber in vielen Fällen aufgrund der Darstellung des Ereignisses und insbesondere bei genauere Betrachtung der Abhilfemaßnahmen vermuten.

In den etwa 80 exemplarisch identifizierten Ereignissen mit organisatorischen Einflussfaktoren traten folgende, hier generisch beschriebene Einflussfaktoren auf:

- unvollständige oder falsche Unterlagen durch Fehler bei der Dokumentenerstellung,
- Bereitstellung ungeeigneter Betriebsmittel durch Fehler in der Beschaffung/Ausgabe,
- für die Tätigkeit ungeeigneter Anlagenzustand aufgrund von Fehlern in der Arbeitsplanung,
- fehlende Prüfung, nicht abdeckende Prüfung oder nicht geeignete Prüfung durch Fehler bei der Planung der Prüfung,
- fehlendes Wissen durch unzureichende Ausbildung, Training, Qualifikation.

Fehlhandlungen von Aufgabenträgern in der Organisation stehen in der Regel nicht im Fokus der Ereignisberichte, so dass die Zahl der bewertbaren Stichproben zu gering ist, um daraus Daten für das Forschungsvorhaben zu gewinnen (vgl. auch [/PRE 10/](#)). Um eine Bewertung mit statistisch anerkannten Methoden durchzuführen, müssen für eine Handlungssituation die Zahl der Gelegenheiten für einen Fehler, die Zahl der aufgetretenen Fehler und die relevanten fehlerfördernden Einflüsse hinreichend genau ermittelt werden. Auch der zunächst angedachte in [/FAS 03/](#) entwickelte Bewertungsansatz hat sich als zu grob erwiesen, um die hier modellierten Zusammenhänge adäquat bewerten zu können.

Hier wird daher ein Quantifizierungsansatz vorgeschlagen, der sich auf Bewertungselemente der anerkannten Bewertungsmethoden ASEP [/SWA 87/](#) und THERP [/SWA 83/](#) stützt und besser abgesichert ist als der in [/FAS 03/](#) dargestellte Weg zur Schätzung von Zuverlässigkeitsdaten. Ziel des gewählten Ansatzes ist es,

- den Analyseaufwand durch Vereinfachungen zu reduzieren,
- den durch Vereinfachungen bedingten Verlust an Genauigkeit durch pessimistische Basisdaten zu kompensieren,
- obere Abschätzungen für den Beitrag organisatorischer Einflüsse zu erhalten sowie
- sicherheitsrelevante Zusammenhänge mit probabilistischen Methoden herauszuarbeiten.

In den Bewertungsschritten 3,4 und 5 sind quantitative Einschätzungen vorzunehmen. Im Folgenden werden die Kernpunkte des dafür erforderlichen Quantifizierungsansatzes vorgestellt.

- Bewertungsschritt 3, Arbeitssysteme innerhalb der Organisation  
Als Basiswahrscheinlichkeit für einen Handlungsfehler eines Aufgabenträgers im Organisationsmodell ist ein Wert von  $P_{50} = 3 \cdot 10^{-2} / K = 5$  anzusetzen. Dieser Wert wird in [/SWA 87/](#), (Screening Ansatz, Abschnitt 5) als pessimistische Abschätzung für Wahrscheinlichkeit, dass ein Handlungsfehler (Auslassungs- oder Ausführungsfehler) auftritt, vorgeschlagen. Er ist abhängig von der Qualität der Randbedingungen, unter denen die Tätigkeit auszuführen ist (inklusive organisatorischer Regeln), entsprechend drei einzuschätzender Stufen zu modifizieren:
  - bewertungsrelevante PSF teilweise ungünstig gestaltet, Modifikationsfaktor 2,
  - bewertungsrelevante PSF überwiegend ungünstig, Modifikationsfaktor 10,
  - mindestens ein bewertungsrelevanter PSF sehr fehlerfördernd gestaltet, Übergang zu Fehlerwahrscheinlichkeit  $P = 1$ .

Die hier vorgeschlagenen Modifikationsfaktoren orientieren sich an in [/SWA 83/](#), [/SWA 87/](#) genannten Daten zum Einfluss ungünstiger Randbedingungen auf die Zuverlässigkeit von Personalhandlungen. Die für den Quantifizierungsansatz getroffenen Einschätzungen passen auch gut zu den in [/IRS 07/](#) vorgeschlagenen Zuverlässig-

keitskenngrößen, die auf Erkenntnissen aus Simulatorversuchen in Frankreich beruhen.

- **Bewertungsschritt 4, Barrieren:**  
 Jede Fehlerbarriere ist mit Aufgabenträgern innerhalb der Organisation verknüpft, die Fehler erkennen und korrigieren sollen. Damit ist Bewertungsschritt 3 zur Bewertung einer Barriere anwendbar. Zur Reduktion des Analyseaufwandes, kann alternativ auch das in Tab. 4-1 dargestellte Bewertungskonzept eingesetzt werden, das in [/SWA 87/](#) vorgeschlagen wird. Vorausgesetzt wird, dass eine Barriere prinzipiell in der Lage ist den unterstellten Fehler aufzufangen. In Tab. 4-1 sind beispielhaft Fehlerwahrscheinlichkeiten für Barrieren im Rahmen dieses vereinfachten Bewertungskonzeptes dargestellt.
- **Bewertungsschritt 5, Abhängigkeiten:**  
 Abhängigkeiten sind einzuschätzen, wenn die Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit zueinander redundanter Handlungen zu ermitteln ist. Abhängigkeiten können vorliegen, wenn Elemente der zugehörigen Arbeitssysteme gleich oder ähnlich sind (z. B. Aufgabenstellung, Person oder PSFs, auch organisatorische PSFs). Zur Einschätzung und Quantifizierung von Abhängigkeiten kann das in [/SWA 83/](#), Kapitel 10 vorgeschlagene Modell verwendet werden.

Tab. 4-1 gibt beispielhaft die Fehlerwahrscheinlichkeiten verschiedener Barrieren an.

**Tab. 4-1** Fehlerwahrscheinlichkeiten für Barrieren

<b>Barriere</b>	<b>Fehlerwahrscheinlichkeit/ Unsicherheitsfaktor</b>
Funktionsprüfung nach Instandhaltungsvorgang	$P_{50} = 1 \cdot 10^{-2} / K = 3$
Schichtübergabe (mit Checkliste, keine besondere Aufmerksamkeitslenkung auf Fehler)	$P_{50} = 0,1 / K = 5$
Überprüfung durch Ausführenden (mit Unterlage, zeitlich, räumliche Distanz vorausgesetzt)	$P_{50} = 0,1 / K = 5$
Überprüfung durch 2. Person (mit Unterlage)	$P_{50} = 0,1 / K = 5$
Erkennung über Alarm	vgl. <a href="#">/SWA 83 /</a> , Tab. 20-23

In Abschnitt 5 ist die Anwendung des gesamte Modellierungs- und Bewertungsansatzes auf ein Beispiel aus der Betriebserfahrung dargestellt. Dort wurden durch ungünstige organisatorische Einflüsse und dadurch verursachte Fehlhandlungen

Komponenten des Sicherheitssystems geschädigt. Die Komponenten sind auch in einer der GRS vorliegenden PSA-Studie modelliert, sodass das Fallbeispiel sowohl einen Bezug zur Betriebserfahrung als auch einen Bezug zur PSA hat. Das Beispiel zeigt, dass die im Forschungsvorhaben entwickelte Methode es ermöglicht, die relevanten Zusammenhänge zu modellieren und die probabilistische Relevanz abschätzen. Der dem Fallbeispiel zugrundeliegende Fehler 'Falsche Vorgabe von Schraubenanzugsmomenten' kann potentiell auch zur Schädigung von Komponenten führen, die andere sicherheitsrelevante Aufgaben erfüllen. Solche Zusammenhänge werden in dieser PSA noch nicht systematisch untersucht.

## **5 Erprobung des Verfahrens**

Um die Anwendbarkeit des Verfahrens zu überprüfen, erfolgt eine Erprobung an einem ausgewählten Beispiel.

### **5.1 Beschreibung des Beispiels**

Das für die Erprobung des entwickelten Verfahrens gewählte Beispiel basiert auf einem meldepflichtigen Ereignis in einem deutschen Kernkraftwerk. Da für diese Anlage keine PSA zur Verfügung steht, wird angenommen, dass der gefundene Fehlereffekt auf eine andere Anlage, für die eine PSA verfügbar ist, übertragbar ist. Beide Anlagen gehören der gleichen Baulinie an und das vom aufgetretenen Fehler betroffene System ist auch in beiden Anlagen vorhanden. Da die Ereignismeldung nicht die Identifizierung organisatorischer Einflussfaktoren zum Ziel hat, mussten fiktive, aber plausible Ergänzungen und Änderungen durchgeführt werden, um den Umgang mit der Methode besser zu verdeutlichen.

Beim Ereignis fiel eine Pumpe bei der Durchführung einer Wiederkehrenden Prüfung aus. Die dazu redundante Pumpe fiel bereits etwa ein Jahr zuvor wenige Minuten nach ihrer Inbetriebnahme aus. Die vom Ereignis betroffenen Pumpen haben betriebliche Aufgaben und werden beim Störfall 'Notstromfall' zur Rückkühlung der Notstromdiesel eingesetzt. Von den insgesamt vorhandenen zwei Pumpen befindet sich während des Leistungsbetriebes jeweils eine zur betrieblichen Kühlung im Dauerbetrieb und eine kann bei Bedarf zugeschaltet werden. Bei dem meldepflichtigen Ereignis löste sich an den Sternpunktflaschen der beiden Pumpen die Befestigungsschraube. Durch erhöhte Stromaufnahme aufgrund von Kontaktproblemen am Verschraubungspunkt kam es zur Schutzabschaltung der sicherheitstechnisch bedeutsamen Pumpen.

Als Ursache für den Ausfall der Pumpe konnte identifiziert werden, dass die in den Arbeitsaufträgen vorgeschriebene Anzugsmomente bei dem Abnutzungsgrad, den die Schrauben aufwiesen, unzureichend war. Das Auftreten des Ereignisses steht dabei in direkten Zusammenhang mit der Änderung der Aufgabe von 'Anziehen nach Fachkunde' auf 'Anziehen nach DIN' einige Zeit, bevor das Ereignis eintrat. Wäre im Zuge der Untersuchungen zu einer PSA festgestellt worden, dass das Anziehen der Schrauben nach Fachkunde durchgeführt wird, so wäre dies als sehr ungünstiger Einflussfaktor für die Handlungen(en) angesehen worden und hätte die Fehlerbetrachtungen

dominiert. In diesem Beispiel wird im Unterschied zum Ereignis aus der Betriebserfahrung angenommen, dass bereits Regelungen hinsichtlich der Anzugsmomente existierten und diese unregelmäßigen Änderungen und Überarbeitungen unterworfen sind.

Die Durchführung der Analyse wird hier nicht komplett dargestellt, um den Rahmen dieses Berichtes nicht zu sprengen. Es werden jeweils nur einzelne relevante Zweige der Analyse betrachtet mit dem Ziel die Durchführung des Verfahrens möglichst transparent darzustellen.

## **5.2            Analyseschritt 'Vorbereitungen'**

Für das vorliegende Beispiel wird angenommen, dass vom Systemanalysten eine Untersuchung zum Ausfall der Pumpen durch 'Personalhandlungen vor Eintritt eines auslösenden Ereignisses während des bestimmungsgemäßen Betriebs der Anlage' (Handlungskategorie A nach /FAK 05/) angefordert wird. Es sind im Rahmen der Vorbereitung somit Informationen zu allen Arbeiten an den zu betrachtenden Pumpen zu sammeln.

## **5.3            Analyseschritt 'Aufgabenanalyse'**

Bei der Anwendung der Methode im Rahmen einer PSA-Studie ist in diesem Punkt eine Aufgabenanalyse aller Personalhandlungen an den Pumpen durchzuführen. Als Vereinfachung wird hier nur der Schritt 'Befestigung der Sternpunktflasche' bei der Aufgabe 'Wartung der Pumpen' dargestellt.

Handlungen, die beim Befestigen der Sternpunktflasche durchgeführt werden müssen:

- Handlung 1: Wert für den Drehmomentschlüssel wird vom Monteur aus den Wartungsunterlagen entnommen.
- Handlung 2: Der aus den Unterlagen abgelesene Wert wird am Drehmomentschlüssel eingestellt.
- Handlung 3: Das Loch der Sternpunktflasche wird über dem Verschraubungspunkt positioniert.
- Handlung 4: Die Schraube wird von Hand durch das Loch der Sternpunktflasche gesteckt und mit der Hand soweit wie möglich eingedreht.



- Handlung 5: Die Schraube wird bis zum Ansprechen des Drehmomentschlüssels mit diesem festgezogen.

#### **5.4 Analyseschritt 'Identifizierung relevanter Fehler'**

Für den Arbeitsschritt 'Befestigung der Sternpunktflasche' werden die relevanten Fehler für die weitere Betrachtung herausgearbeitet.

Mögliche Fehler für den Arbeitsschritt 'Befestigung der Sternpunktflasche':

- Fehler: Sternpunktflasche wird nicht befestigt:  
Der Fehler würde bei Durchführung Funktionsprüfung und bei der Inbetriebnahme mit hoher Wahrscheinlichkeit gefunden werden und wird deshalb von weiteren Betrachtungen ausgeschlossen.

- Fehler: Schraube an der Sternpunktflasche wird mit falschem Anzugsmoment festgezogen:

Durch zu hohes Anzugsmoment kann es zu einer Überdehnung der Schraube kommen. Dies kann dazu führen, dass die Schraube sich im Betrieb lockert oder bricht und sich somit die Ausfallrate der Komponente erhöht. Dieser Fehler wird wahrscheinlich in den meisten Fällen bei der Funktionsprüfung nicht entdeckt. Eine Entdeckung wäre nur bei einem Versagen (bzw. Ansprechen des Komponentenschutzes) oder offensichtlichen Deformationen der Schraube oder der Sternpunktflasche während der Funktionsprüfung möglich.

Ist das Anzugsmoment zu gering, reicht beim Betrieb unter Umständen die Reibung zwischen Schraubenkopf und Komponente nicht aus und es kommt zu einer Lockerung der Verbindung, was sich wiederum in einer erhöhten Ausfallrate der Komponente niederschlägt. Eine Entdeckung während der Funktionsprüfung wird außer in Extremfällen (komplettes Lösen der Schraube, Verrutschen oder Schwingungen der Sternpunktflasche als unwahrscheinlich eingestuft).

- Fehler: es wird eine Schraube aus ungeeignetem Material eingesetzt  
Bei zu geringer Festigkeit kann es durch betriebsbedingte Beanspruchungen zu Überdehnen, Lockern oder Bruch der Schraube und damit zu einer erhöhten Ausfallrate kommen. Bei zu hoher Festigkeit kann es aufgrund der ungeeigneten Materialpaarung bzw. aufgrund der zu geringen Zähigkeit des Materials ebenfalls zu

einer Erhöhung der Ausfallrate kommen. Zudem kann es bei ungeeigneter Materialpaarung zu verstärkter lokaler Korrosion kommen, was sich ebenfalls in einer Erhöhung der Ausfallrate niederschlagen kann. Für alle diese Fehler gilt, dass sie nur in extremer Ausprägung bei der Funktionsprüfung entdeckt werden.

Die oben aufgeführten Fehler 'Schraube an der Sternpunktflasche wird mit falschem Anzugsmoment festgezogen' und 'es wird eine Schraube aus ungeeignetem Material eingesetzt' sind somit als relevant einzustufen und sind deshalb weiter zu betrachten.

## **5.5 Analyseschritt 'Bestimmung der PSFs für die relevanten Fehler'**

Für die als relevant eingestuften Fehler werden nun die wesentlichen leistungsbeeinflussenden Faktoren (PSFs) ermittelt.

- PSFs für den Fehler 'Schraube an der Sternpunktflasche wird mit falschem Anzugsmoment festgezogen':
  - Drehmomentschlüssel:  
Beim Einsatz des Drehmomentschlüssels kann es zu einer Fehlbedienung kommen. Dies kann z. B. eintreten, wenn der Drehmomentschlüssel ein anderes Bedienkonzept als üblich hat. Dies ist allerdings nur relevant, wenn die Tätigkeit sehr selten ausgeführt wird. Da dies in diesem Beispiel nicht der Fall ist, wird dieser Fehler von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Ein weiterer Grund für den Fehler könnte sein, dass der Drehmomentschlüssel defekt oder falsch kalibriert ist.
  - Instandhaltungsprozedur: In die Instandhaltungsprozedur wurde ein ungeeigneter Zahlenwert für das Anzugsmoment eingetragen.
  - Sorgfalt des Monteurs beim Anziehen der Schrauben (z. B. Selbstkontrolle).
  - Wissen des Monteurs zum Anziehen von Schrauben.
- PSFs für den Fehler 'es wird eine Schraube aus ungeeignetem Material eingesetzt':
  - Schraube: Die verwendete Schraube besteht aus ungeeignetem Material. Unterschiede im Material sind schwierig zu erkennen.

- Instandhaltungsprozedur: In der Instandhaltungsprozedur ist ein ungeeignetes Schraubenmaterial eingetragen.

## **5.6 Analyseschritt 'Identifizierung der Arbeitssysteme, die an dem Planungs-, Erstellungs- bzw. Festlegungsprozesses der PSFs beteiligt sind'**

Für die identifizierten PSFs werden nun die Arbeitssysteme (AS) bestimmt, die für deren Festlegung, Erstellung oder Planung verantwortlich sind.

- PSF 'Drehmomentschlüssel':
  - AS: 'Wartung des Drehmomentschlüssels'.
- PSF 'Instandhaltungsprozedur':
  - AS: 'Erstellen der Instandhaltungsprozedur für die Pumpen',
- PSF 'Sorgfalt des Monteurs beim Anziehen der Schrauben':
  - AS: 'Ausbildung, Training (speziell: Vermittlung der Sicherheitskultur)'.
- PSF 'Wissen des Monteurs hinsichtlich Anziehen von Schrauben':
  - AS 'Schulung, Training'.
- PSF 'Schraube'
  - AS: 'Materialausgabe'.

Aufgrund des Beispielcharakters sind die Arbeitssysteme hier nur sehr generisch formuliert. In einem konkreten Fall können die Arbeitssysteme wesentlich genauer identifiziert werden.

## **5.7 Analyseschritt 'Aufgabenanalyse', Iteration 1**

In diesem Analyseschritt sind die Arbeitssysteme

- AS: 'Erstellen der Instandhaltungsprozedur für die Pumpen',
- AS: 'Ausbildung, Schulung, Training',

- AS: 'Wartung des Drehmomentschlüssels',
- AS: 'Materialausgabe'

einer Aufgabenanalyse zu unterziehen. Dies wird hier nicht ausführlich dargestellt.

### **5.8 Analyseschritt 'Identifizierung relevanter Fehler', Iteration 1**

Aus der Aufgabenanalyse und unter Berücksichtigung der relevanten Fehler für die Aufgabe 'Befestigung der Sternpunktflasche' sowie der Fehlerentdeckungsmöglichkeiten werden folgende relevante Fehler in den vorgelagerten Arbeitssystemen postuliert:

- Ein ungeeigneter Zahlenwert wird bei der Prozedurerstellung eingetragen (Wirksamkeit der Fehlerentdeckungsbarriere 'Qualitätssicherung der Prozedur' ist hierbei noch unklar),
- Es erfolgt eine falsche Kalibrierung des Drehmomentschlüssels bei Wartung,
- Ein Defekt des Drehmomentschlüssels wird bei Wartung nicht entdeckt,
- es erfolgt die Ausgabe einer ungeeigneten Schraube bei der Materialausgabe.

Für Fehler in Ausbildung, Schulung und Training lässt sich bei diesem Beispiel die Wirkkette bis zum Ausfall der Komponente nicht eindeutig aufbauen. Die Aufgabe ist so einfach, dass ein fehlerhaftes Unterrichten für sehr unwahrscheinlich gehalten wird. Für ein Hinwirken in Richtung Sicherheitskultur durch die Ausbildung ist die Wirkkette von einer konkreten Fehlhandlung in Ausbildung, Schulung und Training bis hin zur Fehlhandlung an der Komponente ebenfalls nicht eindeutig aufzustellen. Hier könnte ggf. ein Einfluss konstruiert werden, wenn unqualifiziertes Fremdpersonal zum Einsatz kommt, welches keine Unterweisung in die Aufgabe erhält. Dies wird aber für dieses Beispiel ausgeschlossen.

### **5.9 Analyseschritt 'Bestimmung der PSFs für die relevanten Fehler', Iteration 1**

Für die als relevant eingestuftten Fehler werden nun die wesentlichen leistungsbeeinflussenden Faktoren (PSFs) ermittelt.

- PSFs für den Fehler 'ungeeigneter Zahlenwert wird bei der Prozedurerstellung eingetragen':
  - Vorgaben für Anzugsmomente (Inhalt, Gestaltung der Tabellen).
  - Vorgehensweise bei Änderungen.
- PSFs für den Fehler 'falsche Kalibrierung des Drehmomentschlüssels bei Wartung':
  - Anleitung zur Kalibrierung.
  - Werkzeug zur Kalibrierung.
  - Wissen des Wartungspersonals.
  - Sorgfalt des Wartungspersonals.
- PSFs für den Fehler 'Defekt des Drehmomentschlüssels wird bei Wartung nicht entdeckt':
  - Anleitung zur Wartung.
  - Werkzeug zur Wartung.
  - Wissen des Wartungspersonals.
  - Sorgfalt des Wartungspersonals.
- PSFs für den Fehler 'Ausgabe einer ungeeigneten Schraube bei der Materialausgabe':
  - falsche Schraube im Vorratsbehälter.
  - Beschriftung der Vorratsbehälter (wurde überprüft, ist in der Anlage in Ordnung und wird deshalb nicht weiter betrachtet).

**5.10      Analyseschritt 'Identifizierung der Arbeitssysteme, die an dem Planungs-, Erstellungs- bzw. Festlegungsprozesses der PSFs beteiligt sind', Iteration 1**

Für die identifizierten PSFs werden nun die Arbeitssysteme bestimmt, die für deren Festlegung, Erstellung oder Planung verantwortlich sind.

- PSF: 'Vorgaben zu Anzugsmomenten'
  - AS: 'Vorgabe von Anzugsmomenten'.
- PSF: 'Anleitung zur Kalibrierung'
  - AS: 'Erstellen der Anleitung zur Kalibrierung'.
- PSF: 'falsche Schraube im Vorratsbehälter'
  - AS: 'Einsortieren von angelieferten Produkten'.

Für den PSF 'Vorgehensweise bei der Änderung' wurden in diesem Fall keine Regelung und somit auch kein verantwortliches Arbeitssystem gefunden. Diese Randbedingung wird für das Arbeitssystem 'Erstellen der Instandhaltungsprozedur für die Pumpen' als ungünstig eingestuft.

#### **5.11 Weitere Iterationen**

Bei der Fortführung der Analyse zeigt sich, dass im Arbeitssystem 'Vorgabe zu Anzugsmomenten' der Fehler 'Vorgabe der falschen Anzugsmomente' auftreten kann.

Dies entspricht dem Fehler, der als Ursache für das Ereignis auch tatsächlich aufgetreten ist. In der Anlage wurden die Anzugsmomente von 'Anziehen nach Fachkunde' auf 'Anziehen nach DIN' umgestellt, wobei die nach DIN vorgeschriebenen Anzugsmomente bei dem vorliegenden Abnutzungsgrad der Schraubverbindungen unzureichend waren.

Die Analyse der weiteren, in Iteration 1 identifizierten AS wird hier nicht dargestellt, da die bisherigen Ausführungen für das Verständnis der Vorgehensweise ausreichend sein sollten.

Die Iterationen sind weiter fortzuführen, bis keine Fehler mehr entdeckt werden können, die für die Handlung an der Komponente relevant sind.

## 5.12 Überprüfung der Übertragbarkeit

Ein zentraler Punkt des Verfahrens ist die Überprüfung der Übertragbarkeit, da sich durch eine evtl. bestehende Breitenwirkung die Relevanz des organisatorischen Einflussfaktors für die PSA außerordentlich erhöhen kann. Dies wird nun für das dargestellte Beispiel diskutiert.

Zur Untersuchung der Breitenwirkung und der Übertragbarkeit von Wirkmechanismen sind in unserem Beispiel folgende Fragen zu stellen:

- In welchen Systemen werden Sternpunktflaschen, die über Schrauben befestigt sind, verwendet?

Sternpunktflaschen können an unterschiedlichsten Komponenten mit Drehstrombetrieb zum Einsatz kommen. Die identifizierten Fehler sind somit prinzipiell auf alle diese Komponenten übertragbar.

- Wo werden Schrauben verwendet, die mit definiertem Drehmoment angezogen werden müssen?

Schrauben werden praktisch an jeder Komponente verwendet. Aus ingenieurstechnischer Sicht sind Schrauben stets auf Basis der Art der Schraube und ihrer zu erwartenden Belastungen mit einem definierten Drehmoment anzuziehen. Prinzipiell sind daher alle der genannten Fehler auf alle Komponenten mit Schrauben übertragbar. Neben falschen Anzugsmomenten wurde auch falsches Schraubematerial bereits in der Betriebserfahrung beobachtet.

- Bei welchen weiteren Wartungsvorgängen gibt es Dokumente, die bei Änderung Auswirkungen auf mehrere System zeigen?

Zur Untersuchung dieser Fragestellung sind die Vorgehensweisen bei der Erstellung und Änderung von Dokumenten für verschiedene Redundanzen und Systeme zu überprüfen. Insbesondere ist darauf zu achten, ob Dokumente für verschiedene Redundanzen wiederverwendet werden bzw. Bezug auf immer die gleichen Basisdokumente genommen wird. So kann z. B. eine falsche Vorgabe zu Grenzwerten selbst diversitäre Einrichtungen schädigen. Für das diskutierte Beispiel ergibt sich dabei, dass die falschen Anzugsmomente in allen Redundanzen verwendet wurden.

- Wird der Drehmomentschlüssel bei anderen Arbeiten eingesetzt?

Wie bereits erwähnt, sollten Drehmomentschlüssel stets zum Anziehen von Schrauben verwendet werden. Somit können die Fehler, die auf dem Einsatz eines

Drehmomentschlüssels beruhen, prinzipiell auf alle Komponenten mit Schrauben übertragen werden.

Weitere Fragestellungen könnten sein:

- Arbeiten die Mitarbeiter noch in anderen Systemen, an denen ähnliche Fehler auftreten können?
- Ist der Materialausgabe-/Materialhandling-Prozess der Schrauben für andere Arbeitssysteme ähnlich?
- Welche anderen Monteure werden auf die gleiche Weise geschult?
- Können die identifizierten Drehmoment-Vorgaben zu ähnlichen Effekten in anderen Arbeitssystemen führen?

Von Hauptinteresse ist, ob eine Breitenwirkung und Übertragbarkeit in dem zu betrachtenden Ereignis zu unterstellen ist. Zudem können Hinweise hinsichtlich der Übertragbarkeit auf andere Systeme bzw. Ereignisse gewonnen werden.

Außerdem liefert die Analyse der Übertragbarkeit ggf. weitere Möglichkeiten für die Fehlerentdeckung. Unter Umständen müssen basierend darauf die Betrachtungen im Zuge der Analyse relativiert werden. So könnte z. B. die Einschätzung gemacht worden sein, dass bei dem zu betrachtenden Arbeitssystem die Wahrscheinlichkeit einer Fehlerentdeckung niedrig ist. Wenn derselbe Fehler aber in einem anderen Arbeitssystem leicht zu entdecken ist (z. B. Fehlkalibrierung des Drehmomentschlüssels) dann muss diese Einschätzung ggf. revidiert werden und der Fehler 'Fehlkalibrierung des Drehmomentschlüssels' kann im zu betrachtenden Arbeitssystem ggf. vernachlässigt werden.

### **5.13      Analyseschritt 'Überprüfung, ob gefundene Fehler bereits modelliert wurden'**

Für dieses Beispiel wäre zu prüfen, ab die Ausfallrate bzw. die GVA-Modellierung der Pumpen die identifizierten Fehler bereits enthält.



#### **5.14        Analyseschritt 'Modellierung der organisatorischen Einflüsse und Abhängigkeiten für die PSA'**

Unter der Annahme, dass der Fehler 'ungeeignete Vorgaben für Anzugsmomente' nicht in der bisherigen Modellierung der PSA enthalten ist, hat man ein Basisereignis 'Ausfall der Pumpe aufgrund ungeeigneter Vorgaben von Anzugsmomenten' in die PSA einzuführen.

#### **5.15        Analyseschritt 'Quantifizierung'**

Für die Quantifizierung sind folgende Werte zu ermitteln:

- Wahrscheinlichkeit für die Änderung der Vorgaben für Anzugsmomente,
- Wahrscheinlichkeit, dass die Änderung fehlerhaft ist und nicht entdeckt wird,
- Änderung der Ausfallrate der Pumpen durch die Änderung der Anzugsmomente.

Für die Quantifizierung ist zunächst einzuschätzen, wie oft sich die Vorgaben zu Anzugsmomenten im Betrachtungszeitraum ändern. Da hierzu in der Anlage keinen Daten zur Verfügung stehen und davon auszugehen ist, dass Änderungen vorkommen, wird nach der Methode pessimistisch angenommen, dass sich die Angaben zu den Anzugsmomenten in dem der PSA zugrunde gelegten Betrachtungszeitraum mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 ändern.

Für einen Fehler bei der Änderung der Vorgaben ist nach der Methode eine Wahrscheinlichkeit von 0,03 anzusetzen. Die Vorgehensweise bei einer Änderung von Vorgabenwerten ist nicht geregelt. Ansonsten konnten keine weiteren inadäquaten Randbedingungen festgestellt werden. Daraus ergibt sich die Einschätzung, dass im Arbeitssystem teilweise ungünstigen Randbedingungen vorliegen. Somit ist nach der Methode die Fehlerwahrscheinlichkeit im Arbeitssystem 'Vorgabe von Anzugsmomenten' auf eine Fehlerwahrscheinlichkeit von 0,06 zu verdoppeln. Bei dem postulierten Fehler des falschen Anzugsmomentes wird die Funktionsprüfung als unwirksam eingeschätzt, da die Laufzeit der Pumpe bei der Funktionsprüfung nicht lange genug ist.

Die Barrieren, dass der Ersteller der Prozedur die falsche Vorgabe erkennt sowie dass der Monteur das vorgegebene Anzugsmoment als falsch erkennt, werden als unwirksam eingeschätzt. Diese beiden Fehlerbarrieren werden somit nicht berücksichtigt. Die

Qualitätssicherung der Prozedur als weitere Barriere hat extrem ungünstige Randbedingungen, da für die Überprüfung der Instandhaltungsprozedur die gleichen Vorgaben wie für ihre Erstellung verwendet werden. Somit wird auch diese Barriere nicht wirksam eingeschätzt. Einzige Fehlerentdeckungsbarriere, die wirksam wird, ist der Ausfall einer der Pumpen im Betrieb. Durch die nach dem Ausfall durchzuführende Ursachenanalyse könnte der Fehlermechanismus des falschen Anzugsmomentes und in der Folge der falschen Vorgaben zu Anzugsmomenten aufgedeckt werden. Dieser Barriere wird die Basiswahrscheinlichkeit von 0,03 zugewiesen. Da die Randbedingungen für die Entdeckung dieses Fehlers als ungünstig eingestuft werden, ist nach Vorgabe der Methode die Basisfehlerwahrscheinlichkeit mit dem Wert 10 zu multiplizieren. Somit ergibt sich eine Versagenswahrscheinlichkeit dieser Barriere von 0,3. Beim realen Ereignis bedurfte es zweier Ausfälle der Pumpen, bis der Fehlermechanismus bis zu den fehlerhaften Vorgaben der Anzugsmomente identifiziert werden konnte. Mit diesen Abschätzungen ergibt sich eine Wahrscheinlichkeit dafür, dass der Fehler latent im System vorhanden ist von ca. 0,02.

Abschließend ist zu bestimmen, wie sich die ungeeigneten Anzugsmomente auf die Ausfallrate der Pumpen auswirken. Auf Basis der in den Betriebserfahrungen beobachteten Ereignisse (zwei Ausfälle innerhalb von etwa einem Jahr) wird für dieses Beispiel angenommen, dass der Systemanalyst eine Erhöhung der Ausfallrate für die Ausfallart 'Betriebsversagen' um den Faktor 100 abschätzt. Somit ergibt sich für diesen Fehler eine Erhöhung der Ausfallrate von  $7,88 \cdot 10^{-6} / \text{h}$  (Wert aus der PSA) auf  $7,88 \cdot 10^{-4} / \text{h}$ .

Bezieht man die Modellierung der Pumpen (Betriebsversagen  $7,88 \cdot 10^{-6} / \text{h}$ , Wahrscheinlichkeit Startversagen  $1,28 \cdot 10^{-2}$ , Testintervall 3 Monate, erforderliche Pumpenlaufzeit im Notstromfall 10 h, Reparaturzeit 40 h) aus der betrachteten PSA mit ein so erhöht sich die Wahrscheinlichkeit für den Ausfall beider Pumpen im Notstromfall von  $5,62 \cdot 10^{-6}$  auf  $2,24 \cdot 10^{-5}$  um etwa den Faktor 4.

Die Analyse lässt grundsätzlich eine Signifikanz des identifizierten Fehlers erkennen. Ggf. sind einige der angenommenen Werte als zu pessimistisch zu hinterfragen. Insbesondere hinsichtlich der Änderungshäufigkeit von Vorgaben könnten ggf. Konservativitäten abgebaut werden. Generell spiegelt der berechnete Wert aber die inhaltliche Relevanz des Beispiels wieder:

- Barriere 'Vier-Augen-Prinzip' ist unwirksam,

- Barriere 'Funktionsprüfung' ist unwirksam,
- Barriere 'selbstmeldender Fehler' ist nur bedingt wirksam,
- keine weiteren Barrieren gegen den Ausfall sind vorhanden.

Sind die oben postulierten Ausfälle der Pumpen eingetreten und fallen als Folge die von ihnen versorgten Notstromdiesel aus, so wird in der Anlage ein diversitäres System wirksam und übernimmt die Funktion der Notstromversorgung. Hierbei ist allerdings auf Basis der Übertragbarkeitsprüfung nicht prinzipiell auszuschließen, dass der hier ausgeführte Fehlerkette, der zum Ausfall der Pumpen führt, auch auf das diversitäre System übertragbar ist. Zudem gibt das Ereignis, das als Grundlage für dieses Beispiel diente, Hinweise darauf, dass der beobachtete Fehler ggf. auch zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit des Startversagens der Pumpen führen könnte.

Weiter ist anzumerken, dass in den Ausführungen zu diesem Beispiel nur ein Fehler bis zum Ende behandelt wurde. Die weiteren als relevant identifizierten Fehler könnten ähnlich hohe Beiträge zur Erhöhung der Ausfallrate beinhalten und wären dann zu dem hier angeführten Ergebnis zu addieren.

## 6 Zusammenfassung

Im Vorhaben RS1180 wurde eine Methode zur Berücksichtigung organisatorischer Einflussfaktoren in der PSA entwickelt. Mit Hilfe der Forschungsergebnisse ist es möglich, die sicherheitstechnische Relevanz organisatorischer Einflussfaktoren und des Sicherheitsmanagements herauszuarbeiten, zu quantifizieren und in das PSA-Modell zu integrieren.

Unter dem Begriff 'Sicherheitsmanagement' wird entsprechend [/BMU 04/](#) die Gesamtheit der Tätigkeiten zur Planung, Organisation, Leitung und Kontrolle von Personen und Arbeitsaktivitäten im Hinblick auf die effiziente Erreichung einer hohen Sicherheitsleistung, d.h. zur Erreichung einer hohen Qualität aller für die Sicherheit bedeutsamen Tätigkeiten, und zur Förderung einer hohen Sicherheitskultur verstanden. Sicherheitsmanagement ist somit als Teil der hier untersuchten organisatorischen Einflüsse aufzufassen.

Die Arbeitsergebnisse tragen dazu bei, vorhandene Beschränkungen bei der Zuverlässigkeitsbewertung von Personenhandlungen zu reduzieren und die Aussagekraft von Ergebnissen probabilistischer Sicherheitsanalysen zu erhöhen.

Ausgangspunkt für das Vorhaben war der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet der probabilistischen Bewertung organisatorischer Einflüsse. Bestehende Methoden zeigen Defizite in verschiedenen Bereichen, insbesondere bei der Herstellung der direkten Beziehung der organisatorischen Einflussfaktoren und der Sicherheit der Anlage.

Die hier dargestellte Methode führt arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zur Bewertung der Zuverlässigkeit von Personalhandlungen mit Erkenntnissen aus der Organisationswissenschaft zusammen und stellt so den Bezug zwischen Organisation und Sicherheit her.

Organisation lässt sich als Kollektiv von Stelleninhabern darstellen, das entsprechend den Regeln der Aufbau und Ablauforganisation vorgegebene Aufgaben ausführt, um die Unternehmensziele zu erreichen. Bezieht man sich auf eine Einzelaufgabe, wird, wie in der organisationswissenschaftlichen Fachliteratur üblich, die ausführende Stelle als „Aufgabenträger“ bezeichnet. Das Unternehmen setzt zudem Anreize für regelkonformes Handeln im Dienst der Zielerreichung. Im Fokus der PSA steht das Ziel ‚Sicher-

heit'. Das Handeln der Aufgabenträger wirkt sich auf den erforderlichen Zustand sicherheitsrelevanter Komponenten aus. Zuverlässiges Handeln hängt von der Beanspruchung des Handelnden ab.

Grundprinzip der Betrachtung ist, dass sich organisatorische Einflussfaktoren aus der Festlegung von leistungsbeeinflussenden Faktoren für das Arbeitssystem, das direkt am Ereignis beteiligt ist, ergeben. Diese Festlegung der leistungsbeeinflussenden Faktoren erfolgt durch organisatorisch vorgelagerte Arbeitssysteme. Jeder betrachteten Aufgabe kann ein Netz von Aufgabenträgern zugeordnet werden, das die vorhandenen Beziehungen beschreibt. Das Netz modelliert den an der Aufgabenerfüllung beteiligten Teil der Organisation. Es entwickelt sich aus organisatorischen Regelungen und den beteiligten Aufgabenträgern. Das Handeln der Aufgabenträger sowie die Randbedingungen unter denen sie ihre Aufgaben erfüllen, kann durch einen Arbeitssystemmodellansatz abgebildet werden. Zu den die Aufgabenerfüllung beeinflussenden Randbedingungen gehören auch organisatorische Regelungen, die als organisatorische ‚Einflussfaktoren‘ in den Arbeitssystemmodellansatz integriert werden.

Wirken die Arbeitsergebnisse eines organisatorisch vorgelagerten Arbeitssystems auf die leistungsbeeinflussenden Faktoren mehrerer nachgelagerten Arbeitssysteme, so entfalten die organisatorischen Faktoren zudem eine Breitenwirkung, der in einer PSA (vergleichbar den gemeinsam verursachten Ausfällen, GVA) eine besondere Relevanz zukommt.

Die Methode baut in ihrem Grundprinzip auf der Vorgehensweise bei der Bewertung von Personenhandlungen in der PSA auf und setzt diese durch Ermittlung der organisatorisch vorgelagerten Arbeitssysteme, welche für die Ausprägung der leistungsbeeinflussenden Faktoren des direkt am Ereignis beteiligten Arbeitssystems verantwortlich sind, konsequent fort. Durch die detaillierte Betrachtung der Ausbreitungspfade von Fehlern aus organisatorisch vorgelagerten Arbeitssystemen wird ein Zusammenhang zwischen den organisatorischen Faktoren und der Sicherheit der Anlage hergestellt.

Die identifizierten organisatorischen Einflussfaktoren können nach einem Abgleich mit den bereits vorhandenen Basisereignissen als neue Basisereignisse in die PSA eingebunden werden. Damit wird die Anbindung der Analyse der organisatorischen Faktoren an die bisherigen PSA-Analysen gewährleistet.

Die benötigten Zuverlässigkeitskenngrößen stützen sich auf Expertenschätzungen. Die Schätzungen orientieren sich an anerkannten Datenquellen, die pessimistische Werte für Handlungsfehler und die Wirkung von leistungsbeeinflussenden Faktoren vorschlagen.

Die Methode wurde zwar an Ereignissen aus der Betriebserfahrung erfolgreich getestet, diese liefern allerdings nicht alle Informationen, die für eine realitätsnahe Anwendung der Methode notwendig wären.

Ein nächster Schritt sollte somit eine Anwendung der Methode an 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 einfließen.

## 7 Literatur

- /BAI 05/ Baines, T. S., et al.  
Towards a theoretical framework for human performance modelling within manufacturing systems design, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Volume 13, Issue 6, September 2005, pp. 486-504,  
<http://hdl.handle.net/1826/931>
- /BIE 98/ Bieder, C., et al.  
What does a MERMOS Analysis consist in?, PSA'99, American Nuclear Society, 1999
- /BMU 04/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)  
Grundlagen für Sicherheitsmanagementsysteme in Kernkraftwerken, BAnz, Nr. 138, 2004
- /BUB 92/ Bubb, H. (Hrsg.)  
Menschliche Zuverlässigkeit. Definitionen. Zusammenhänge. Bewertung, Hüthig Jehle Rehm, 1992, ISBN-10: 3609690003
- /DAV 94a/ Davoudian, K., J.-S. Wu, G. Apostolakis  
The work process analysis model (WPAM), *Reliability Engineering & System Safety*, 1994, Vol. 45, pp. 107—25]
- /DAV 94b/ Davoudian, K., J.-S. Wu, G. Apostolakis  
Incorporating organizational factors into risk assessment through the analysis of work processes, *Reliability Engineering & System Safety*, 1994, Vol. 45, pp. 85-105
- /EMB 84/ Embrey D. E., P. Humphreys, E. A Rosa, B. Kirwan, K. Rea  
SLIM-MAUD: An approach to assessing human error probabilities using structured expert judgement, Vol. 1: Overview of SLIM-MAUD, NUREG/CR-3518. U.S. NRC, März 1984

- /EMB 92/ Embrey, D. E  
 Incorporating management and organisational factors into probabilistic safety assessment, Reliability Engineering & System Safety, 1992, Vol. 38, No. 1-2, pp.199-208
- /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
- /FAK 05a/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:  
 Daten zur Quantifizierung von Ereignisablaufdiagrammen und Fehlerbäumen, Stand: August 2005, BfS-SCHR-38/05, Wirtschaftsverlag NW / Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Salzgitter; 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 Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Garching, Oktober 2003
- /FIS 06/ Fischermanns, G.:  
 Handwörterbuch Prozessmanagement, 6. Auflage, Schmidt, Wettenberg, 2006
- /FRE 04/ Frey, B., M. Benz  
 Anreizsysteme: Ökonomische und verhaltenswissenschaftliche Dimension, in: Schreyögg, G., Wender, A. von: Handwörterbuch Unternehmensführung und Organisation, 4. Auflage, Poeschel, Stuttgart, 2004, S. 21-27
- /FRE 97/ Frese, E.  
 Organisation, in: Gabler Wirtschaftslexikon, Gabler, Wiesbaden, 1997



- /FRO 04/ Frost, J.  
 Aufbau- und Ablauforganisation, in: Schreyögg, G., von Wender, A.,  
 Handwörterbuch Unternehmensführung und Organisation, 4. Auflage, Po-  
 eschel, Stuttgart, 2004, S. 45-53
- /GER 92/ Gertman, D. L, et al.  
 INTENT: A Method for Estimating Human Error Probabilities for Decision  
 Based Errors, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 35, 1992, pp.  
 127-136
- /GHO 05/ Ghosh, S. T, G. E. Apostolakis  
 Organizational contributions to nuclear power plant safety, Nuclear  
 Engineering and Technology, Vol.37 No.3, Juni 2005
- /GOL 96/ Goldfeiz, A. E., A. Mosleh,  
 A Methodology for Explicit Inclusion of Organisational Factors in Probabilis-  
 tic Safety Assessment, PSAM-III Conference, June 24 -28, Crete, Greece,  
 1996
- /GRS 02/ Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
 Vorschlag für Anforderungen an probabilistische Sicherheitsanalysen der  
 Stufe 2, GRS-A-3053, Januar 2002
- /GRS 09/ Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
 Verbesserung der Bewertungsbasis für Aspekte des  
 Sicherheitsmanagements und der Schnittstellen zur Sicherheitstechnik  
 sowie für Personalhandlungen, AP3: Anforderungen an die Durchführung  
 von Audits zu Faktoren mit Einfluss auf die Zuverlässigkeit von  
 Personalhandlungen, GRS-A-3500, Oktober 2009
- /HAN 87/ Hannaman, G. W.  
 Use of Human Reliability Analysis for PSAs and Plant Applications (Draft  
 contribution to a manual for Probabilistic Safety Analysis and its Application  
 in Safety Decisions), International Atomic Energy Agency, Division of Nu-  
 clear Safety, Vienna, Austria, Revised Draft September 1987

- /HAN 88/ Hannaman, G. W., et al.  
Some Developments in Human Reliability Analysis, Reliability Engineering and Systems Safety, Vol. 22, 1988, pp. 235-256
- /HAR 05/ Harrison-Broninski, K.  
Human Interactions – The Heart and Soul of Business Process Management, Meghan Kiffer Press, Tampa, FL, USA, 2005
- /HOL 98/ Hollnagl, E.  
Cognitive Reliability and Error Analysis Method CREAM, Elsevier, Kidlington, 1998
- /HOL 06/ Holy, J., J. Kubicek  
A Couple of Points To The Discussion About Factors Influencing Human Reliability. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, May 14-18, 2006, New Orleans, LA, USA, 2006
- /HOU 04/ Hourtolou, D. and O. Salvi  
ARAMIS Project: development of an integrated accidental risk assessment methodology for industries in the framework of SEVESO II directive, In: Bedford, T. and J. M. van Gelder, (eds.), Safety & Reliability - ESREL 2003, pp. 829-836, 2003
- /HOY 74/ Hoyos, C.  
Arbeitspsychologie, Kohlhammer, Stuttgart, 1974
- /IAE 99/ International Atomic Energy Agency (IAEA)  
Management of Operational Safety in Nuclear Power Plants: INSAG-13, IAEA, Wien, 1999
- /IAE 01/ International Atomic Energy Agency (IAEA)  
The Operating Organization for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series NS-G-2.4, Wien, Dezember 2001

- /IAE 06/ International Atomic Energy Agency (IAEA)  
Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA  
Safety Standards Series GS-G-3.1, Wien, Juli 2006
- /IAE 06a/ International Atomic Energy Agency (IAEA)  
Determining the Quality of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for  
Applications in Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1511, Wien, Juli  
2006
- /IRS 07/ Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)  
Principles of PANAME HRA Method, IRSN Report IST3c/BACR, Paris, Mai  
2007
- /KOS 62/ Kosiol, E.  
Organisation der Unternehmung, Gabler, Wiesbaden, 1962
- /KTA 88/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA):  
Sicherheitstechnische Regel des KTA: KTA 3904, Warte, Notsteuerstelle  
und örtliche Leitstände in Kernkraftwerken, Fassung 09/88, September  
1988
- /KUE 95/ Küpper, H.-U., S. Helber  
Ablauforganisation in Produktion und Logistik, Poeschel, Stuttgart, 1995
- /MEI 85/ Meister, D.  
Behavioral Analysis and Reassessment Methods, Wiley & Sons, New York,  
1985
- /MOI 94/ Moieni, P., J. Spurgin, A. Singh  
Advances in Human Reliability Analysis Methodology, Part 1: Frameworks,  
Models and Data, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 44, 1994,  
pp. 27-55
- /MOS 90/ Mosneron Dupin, F., A. Villemeur, J. M. Moroni  
Paluel Nuclear Power Plant PSA: Methodology for Assessing Human  
Reliability, 7<sup>th</sup> International Conference on Reliability and Maintainability,  
Brest, Frankreich, 1990

- /MUR 96/ Murphy, D. M., M. E. Pate-Cornell  
The SAM framework: modeling the effects of management factors on human behavior in risk analysis, Risk Analysis, Vol. 16, 1996, pp. 501-515
- /NEA 98/ OECD Nuclear Energy Agency (NEA)  
Critical Operator Actions-Human Reliability Modeling and Data Issues, NEA/CSNI/ R(98)1, Paris, February 1998
- /NEA 03/ OECD Nuclear Energy Agency (NEA)  
Scientific Approaches to Safety Management, NEAJCSNI/ R(2003) 14, Paris, August 2003
- /NRC 07/ United States Nuclear Regulatory Commission (NRC)  
ATHEANA User's Guide, NUREG-1880, Washington, DC, USA, Juni 2007
- /OH 98/ Oh, J. T. H. et al.  
The I-RISK project: development of an integrated technical and management risk control and monitoring methodology for managing and quantifying on-site and off-site risks, In: Mosleh A, R: A. Ban (Editors): Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM 4), Springer, New York, 1998, pp. 2485-2491
- /ØIE 01/ Øien, K.  
A framework for the establishment of organizational risk indicators, Reliability Engineering and System Safety 74, 2001 pp. 147-167
- /PRE 10/ Preischl, W.  
Verifikation von Zuverlässigkeitsdaten für Personenhandlungen und Datenverbreiterung im Rahmen der PSA, GRS-A-3515, Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Garching, Januar 2010
- /RAS 79/ Rasmussen, J.  
On the Structure of Knowledge - A Morphology of Mental Models in A Man Machine Context, RISØ/M-2192, Roskilde, Denmark, 1979

- /RAS 86/ Rasmussen, J.  
Information Processing and Human-Machine Interaction, North-Holland Publishing, New York, 1986
- /REE 94/ Reese, J.  
Theorie der Organisationsbewertung, 2. Auflage, Oldenbourg, München, 1994
- /SCH 65/ Schmidtke, H.  
Die Ermüdung, Huber, Bern, 1965
- /SCH 76/ Schmidke, H.  
Ergonomische Bewertung von Arbeitssystemen, Hanser, München, 1976
- /SCH 04/ Schreyögg, G., A. von Wender  
Organisation, in: Schreyögg, G., A. von Wender: Handwörterbuch Unternehmensführung und Organisation, 4. Auflage, Poeschel, Stuttgart, 2004, S. 966-977
- /SKL 05/ Sklet, S., T. Aven, S. Hauge, J. E. Vinnem.  
Incorporating human and organizational factors in risk analyses for offshore installations, 16<sup>th</sup> European Safety and Reliability Conference (ESREL 2005), 2005
- /STR 97/ Strohm, O., E. Ulich (Hrsg.)  
Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich, 1997
- /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
- /SWA 87/ Swain, A. D.  
Accident Sequence Evaluation Program-Human Reliability Analysis Procedure; U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), NUREG/CR-4772, Washington, DC, 1987

- /UDR 99/ Udris, I., M. Frese  
Belastung und Beanspruchung, in: Hoyos, C., D. Frey (Hrsg.): Arbeits- und Organisationspsychologie – Ein Lehrbuch, Beltz, Weinheim, 1999, S. 429-455
- /WEI 90/ Weidner, W., et al.  
Organisation in der Unternehmung, 3. Auflage, Hanser, München, 1990
- /WIL 88/ Williams, J. C.  
A Data-Based Method for Assessing and Reducing Human Error to Improve Operational Performance, Proceedings of the IEEE, 4<sup>th</sup> Conference on Human Factors in Power Plants, Monterey, California, June 6-9, 1988, Institute of Electronic and Electrical Engineers, New York, USA, 1988
- /WOE 00/ Wöhe, G.  
Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Vahlen, München, 2000

## 8 Verteiler

		Exemplare: gedruckte Form	Exemplare: pdf
<b>BMWi</b>			
Referat III B 4		1 x	
<b>GRS-PT/B</b>			
Internationale Verteilung	(FIZ)	40 x	
Projektbegleiter	(stu)	3 x	1 x
<b>GRS</b>			
Geschäftsführung	(stj, wfp)		je 1 x
Bereichsleiter	(erv, prg, paa, rot, stc, ver, zir)		je 1 x
Abteilungsleiter	(som, gls, vek, poi)		je 1 x
Projektleitung	(row)	1 x	1x
Projektbetreuung	(wal, bna)		je 1 x
Informationsverarbeitung	(nit)		1 x
Autoren	(fas, har, prw)	je 1 x	je 1 x
Bibliothek	(Köln)	1 x	
<b>Gesamtauflage</b>		<b>Exemplare</b>	<b>49</b>

**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](http://www.grs.de)**