

**Quantifizierung der
Zuverlässigkeit von
Personalhandlungen
durch Auswertung der
aktuellen deutschen
Betriebserfahrung**

Abschlussbericht

Quantifizierung der
Zuverlässigkeit von
Personalhandlungen durch
Auswertung der aktuellen
deutschen Betriebserfahrung

Abschlussbericht

W. Preischl
W. Fassmann

Juli 2013

Auftrags-Nr.: 865013

Anmerkung:

Das diesem Bericht zu Grunde liegende FE-Vorhaben 3610R01355 wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Auftragnehmer.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Kurzfassung

Ergebnisse und Aussagesicherheit von PSA Studien werden durch die probabilistische Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit erheblich beeinflusst. Der Bestand an verfügbaren, generischen Daten reicht jedoch nicht aus, um alle heute in einer PSA zu untersuchenden Handlungssituation adäquat zu bewerten. Der Datenbestand ist nicht ausreichend verifiziert und beruht ebenso wie die ausgewiesenen Unsicherheitsbänder auf Expertenschätzungen.

Im Rahmen dieses und des vorangegangenen Forschungsvorhabens /GRS 10/ wurden Zuverlässigkeitskenngrößen für Personenhandlungen, deren Verwendung im Methodenband zum PSA-Leitfaden empfohlen wird, verifiziert und der verfügbare Datenbestand insgesamt erweitert. Die Arbeitsergebnisse führen zu neuen Erkenntnissen und zu Vorschlägen für eine Fortschreibung der empfohlenen Methoden zur probabilistischen Bewertung von Personalhandlungen.

Als Informationsquelle standen zunächst die in deutschen Kernkraftwerken aufgetretenen meldepflichtigen Ereignisse zur Verfügung. Systematisch ausgewertet wurden die Meldeberichte, Stellungnahmen von Sachverständigen, technische Unterlagen und Erkenntnisse aus Gesprächen mit sachkundigem Personal der Anlagenbetreiber. Die Auswertung führte zu insgesamt 67 Stichproben zu Personalhandlungen mit aufgetretenen Fehlern.

Darüber hinaus wurde eine neue Methode zur Erhebung von Daten entwickelt und exemplarisch angewendet. Im Fokus stand die Frage, ob und unter welchen Randbedingungen sich aus der fehlerfreien Ausführung sicherheitsrelevanter Personalhandlungen probabilistische Kenngrößen gewinnen lassen. Dieser Teil der Arbeiten führte zu 18 Stichproben.

Alle Stichproben wurden mit der Bayes'schen Methode, einem allgemein anerkannten mathematischen Verfahren zur Schätzung von probabilistischen Kenngrößen auf der Grundlage der Kenntnis von Stichproben zum zu bewertenden Sachverhalt, ausgewertet. Eine eingehende Prüfung ergab, dass beide Informationsquellen Daten mit vergleichbarer Qualität und Belastbarkeit liefern. Damit liegen zum Ende des Vorhabens nun folgenden Forschungsergebnisse vor:

- Methoden zur Selektion bewertbarer Stichproben aus der Datenquelle „meldepflichtige Ereignisse“,
- Methoden zur Selektion bewertbarer Stichproben aus der Datenquelle „Sicherheitsrelevante, bisher fehlerfrei ausgeführte Personalhandlungen“,
- Anerkannte mathematisch begründete Vorgehensweisen zur Ableitung von Zuverlässigkeitskenngrößen für Personalhandlungen,
- 85 neue, aus der Betriebserfahrung deutscher Kernkraftwerke abgeleitete Kenngrößen zur Zuverlässigkeit von Personalhandlungen,
- Ein arbeitswissenschaftlich anerkannter Ansatz zur Strukturierung und Abstrahierung der vorliegenden Daten.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die 85 Stichproben und die daraus abgeleiteten Kenngrößen die erste auf der Betriebserfahrung in deutschen Kernkraftwerken beruhende probabilistische Datenbasis auf diesem Arbeitsfeld bildet. Eine ganze Reihe sachkundiger Personen der angesprochenen Anlagenbetreiber haben das Forschungsprojekt unterstützt und damit erheblich zum Gelingen des Vorhabens beigetragen.

Abstract

The results and their uncertainty bounds of PSA studies are considerably impacted by the assessment of human reliability. But the amount of available, generic data is not sufficient to evaluate all human actions considered in a modern PSA study adequately. Further the data are not sufficiently validated and rely as well as the proposed uncertainty bounds on expert judgement.

This research project as well as the preceding project /GRS 10/ validated data recommended by the German PSA Guidelines and enlarged the amount of available data. The findings may contribute to an update of the German PSA Guidelines.

In a first step of the project information about reportable events in German nuclear power plants with observed human errors (event reports, expert statements, technical documents, interviews and plant walk downs with subject matter experts from the plants) were analysed. The investigation resulted in 67 samples describing personal activities, performance conditions, the number of observed errors and the number of action performance.

In a second step a new methodology was developed and applied in a pilot plant. The objective was to identify undoubtedly error free safety relevant actions, their performance conditions, and frequency as well as to prove and demonstrate that probabilistic data can be derived from that operational experience (OE). The application in the pilot plant resulted in 18 “error free” samples characterizing human reliability.

All available samples were evaluated by use of the method of Bayes. That commonly accepted methodology was applied in order to derive probabilistic data based on samples taken from operational experience. A thorough analysis of the obtained results shows that both data sources (OE reportable events, OE with undoubtedly error free action performance) provide data with comparable quality and validity. At the end of the research project the following products are available.

- Methods to select samples characterizing human reliability from data source “reportable events”,

- Methods to select samples characterizing human reliability from data source “safety relevant, undoubtedly error free performed personnel actions”,
- Mathematical proven methodology to derive probabilistic human performance data based on samples taken from OE,
- 85 new probabilistic human performance data based on operational experience in German nuclear power plants,
- Approach based on accepted behavioural knowledge to structure the obtained results and to link them to the new “second generation” human reliability assessment methodologies.

The obtained data are forming the first data base on human reliability completely derived from operational experience of German nuclear power plants. Many subject matter experts from the plants supported the research project and contributed considerably to the research results.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung, Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	1
2	Darstellung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik.....	5
3	Wissenschaftliche und technische Einzelziele, Arbeits-programm	7
3.1	Wissenschaftliche und technische Einzelziele	7
3.2	Arbeitsprogramm	8
3.2.1	Arbeitspaket 1: Abschließende Auswertung der Datenquelle „Meldepflichtige Ereignisse“.....	8
3.2.2	Arbeitspaket 2: Auswertung eines Teils der Betriebserfahrung unterhalb der Meldeschwelle	12
3.3	Arbeitspaket 3: Zusammenführung der Erkenntnisse aus den ausgewerteten Datenquellen, Datenvalidierung und Erweiterung	13
4	Erhebung von Stichproben aus der deutschen Betriebserfahrung zu meldepflichtigen Ereignissen	14
4.1	Überblick	14
4.2	Ergebnisse der Stichproben.....	18
4.2.1	Ausführungsfehler aufgrund von Fehlern bei der Kontrolle der Handlungsausführung.....	18
4.2.1.1	Stichprobe S38 „Füllstandsabfall im Turbinenölbehälter“	18
4.2.1.2	Stichprobe S39 „Startversagen eines Notstromdiesels aufgrund Blockierung des Regelgestänges der Kraftstoffeinspritzpumpen“	19
4.2.1.3	Stichprobe S40 „Ausfall einer Notstromschiene durch Öffnen des Kuppelschalters zur Blockschiene“	20
4.2.1.4	Stichprobe S41 „Fehlöffnen der Turbinenstellventile“.....	21
4.2.1.5	Stichprobe S42 „Kurzzeitige Nichtverfügbarkeit eines Notstromaggregats“	22
4.2.1.6	Stichprobe S43 „Ausfall der 380 V-Umformerschaltanlagen bei wiederkehrender Prüfung“	23

4.2.2	Ausführungsfehler aufgrund kognitiver Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung	24
4.2.2.1	Stichprobe S44 „Ausfall eines Schnellabschalttanks“	24
4.2.2.2	Stichprobe S45 „Durchdringungsabschluss Reaktorwasserreinigungssystem“	25
4.2.2.3	Stichprobe S46 „Reaktorschnellabschaltung nach Absinken des Wasserdrucks im Schnellabschaltsystem“	26
4.2.2.4	Stichprobe S47 „Fehlerhaftes Abschalten eines 380V/220V Wechselrichters“	27
4.2.2.5	Stichprobe S48 „Unterbrechung der automatischen Dieselanregung im Rahmen einer wiederkehrenden Prüfung bei Anlagenstillstand“	28
4.2.2.6	Stichprobe S49 „Reaktorschnellabschaltung über zu hohen Frischdampfdruck beim Abfahren der Anlage aus dem Streckbetrieb“	29
4.2.2.7	Stichprobe S50 „Fehlverhalten von zwei Steuerstäben aufgrund vertauschter Leistungs- und Rückmeldekabel der Antriebe“	30
4.2.2.8	Stichprobe S51 „RESA-Auslösung über Dampferzeugerniveau < MIN“ ...	31
4.2.2.9	Stichprobe S52 „Vertauschen von Wirkdruckleitungen“	32
4.2.2.10	Stichprobe S53 „Ausfall der Spannungsversorgung einer Notstromschiene“	33
4.2.2.11	Stichprobe S54 „Durchdringungsabschluss der Frischdampfleitungen durch schnelle Druckabsenkung RDB“	34
4.2.2.12	Stichprobe S55 „Öffnen der Längskupplung zwischen 10 kV Normalnetz und 10 kV Notstromnetz in der Redundanz 3“	35
4.2.2.13	Stichprobe S56 „Falsche Einstellungen an Gehäusebruchsicherungen“	36
4.2.2.14	Stichprobe S57 „Ausfall eines rotierenden Umformers“	37
4.2.2.15	Stichprobe S63 „Fehleinstellung des Überlastschutzes von Motoren mit mehr als 300 KW Leistung“	37
4.2.3	Auslassungsfehler	38
4.2.3.1	Stichprobe S58 „RESA durch Anforderung des TJ-Systems bei einer WKP im Reaktorschutz“	39
4.2.3.2	Stichprobe S59 „Nichtstarten einer Nebenkühlwasserpumpe bei WKP“ ...	40
4.2.3.3	Stichprobe S60 „RESA bei der Generatorprüfung während des Anfahrens der Anlage“	41

4.2.3.4	Stichprobe S61 „Kurzzeitige Nichtverfügbarkeit eines Notstromdiesels bei WKP“	42
4.2.3.5	Stichprobe S62 „RESA-Auslösung wegen fehlender Anfahrüberbrückung“	43
4.2.3.6	Stichprobe S64 „Nichtverfügbarkeit einer Gebäudeabschlussarmatur infolge Spannungsausfall“	44
4.2.3.7	Stichprobe S65 „Anregung der Notbespeisung für einen Dampferzeuger“	45
4.2.3.8	Stichprobe S66 „Anregung des Notstromsignals in der Redundanz 4 bei 10 kV Verriegelungsprüfung“	46
4.2.3.9	Stichprobe S67 „Schäden an zwei Gelenkstreben für die Halterung einer Rohrleitung“	47
4.3	Datentabelle zu Stichproben aus Handlungsfehlern.....	48
4.3.1	Ausführungsfehler, Fehler bei der Handlungsregulation.....	49
4.3.2	Ausführungsfehler, fehlerhafte Aufgabenstellung.....	52
4.3.3	Auslassungsfehler	56
4.3.4	Stichproben mit zu niedrigem Stichprobenumfang	60
4.4	Bewertung der Daten aus der Datenquelle „meldepflichtige Ereignisse“ ..	62
4.4.1	Ausführungsfehler aufgrund von Fehlern bei der Regulation der Handlungsausführung.....	63
4.4.2	Ausführungsfehler aufgrund von Fehlern bei der Generierung der Aufgabenstellung	65
4.4.3	Auslassungsfehler, Aufgabenstellung nicht erinnert.....	69
4.4.4	Auslassungsfehler, schriftliche Anweisung nicht gelesen.....	71
5	Daten aus Betriebserfahrung „unterhalb der Melde-schwelle“	73
5.1	Methode zur Identifikation von sicherheitsrelevanten, bisher fehlerfrei ausgeführten Personalhandlungen	73
5.2	Erhebung von Stichproben aus Betriebserfahrungen „unterhalb der Meldeschwelle“	82
5.2.1	Stichproben SN1 bis SN4 „Anfahrüberbrückung beim Übergang in den Leistungsbetrieb nicht eingelegt“	83
5.2.2	Stichproben SN5 bis SN11 „Handlungsfehler bei der Vollastprobe der Notstromdieselaggregate“	85

5.2.3	Stichproben SN12 bis SN17 „Prüfung der Generatorschutzkriterien“	88
5.2.4	Stichprobe SN18 „Netzausfallsimulation“	90
5.2.5	Prüfung des Systems zur Unterdruckhaltung im Ringspalt zwischen Sicherheitsbehälter und Reaktorgebäude	91
5.3	Datentabelle zu fehlerfreien Stichproben	91
5.3.1	Ausführungsfehler, Fehler bei der Handlungsregulation.....	92
5.3.2	Ausführungsfehler, fehlerhafte Aufgabenstellung.....	94
5.3.3	Auslassungsfehler	95
5.4	Bewertung der Daten aus der Datenquelle „Betriebserfahrung unterhalb der Meldeschwelle“	96
6	Zusammenführung der Erkenntnisse, Vorschläge zur Fortschreibung des Methodenbandes der PSA-Leitfadens.....	100
7	Literatur	104
8	Abbildungsverzeichnis.....	108
9	Tabellenverzeichnis.....	108

1 Einleitung, Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Methodik der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) erfordert Weiterentwicklungen, zu denen auch die Bereitstellung und die Validierung vorhandener Schätzwerte zur Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit zählen. Die Dringlichkeit dieser Weiterentwicklungsaufgaben ergibt sich daraus, dass probabilistische Sicherheitsanalysen einerseits zentrale Bedeutung für die Sicherheitsbewertung durch Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden haben, die Genauigkeit dieser Analysen andererseits aber Einschränkungen unterliegt, zu denen auch die Grenzen vorhandener Methoden für die Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit beitragen. Dieser Sachstand lässt sich im Detail wie folgt beschreiben:

Die probabilistische Sicherheitsanalyse hat sich weltweit zu einem zentralen Instrument entwickelt, mit dem Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden, wie auch Gutachter und Betreiber, die Sicherheit von Kernkraftwerken und eventuell erforderliche, weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit beurteilen können. Dabei bildet die Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit einen unverzichtbaren Teil, weil die zuverlässige Ausführung von Personalhandlungen erheblich zum Gesamtergebnis einer PSA beiträgt. Folglich hängt die Aussagekraft der Ergebnisse einer PSA auch davon ab, dass die Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit

- möglichst alle sicherheitsrelevanten Handlungen einbezieht,
- die Faktoren mit Einfluss auf die Handlungsausführung möglichst umfassend berücksichtigt und
- für die quantitative Bewertung zutreffende Schätzwerte nutzt.

Diese Punkte sind als die wesentlichen Qualitätsmerkmale von Bewertungsmethoden zu betrachten.

Entsprechend den Empfehlungen des Methodenbandes des PSA-Leitfadens /MET 05/ stützt sich die Bewertung von Personalhandlungen fast ausschließlich auf die Bewertungsmethoden THERP /SWA 83/ oder ASEP /SWA 87/, ein Verfahren, das durch Vereinfachung aus THERP hervorgegangen ist.

Sowohl diese beiden Methoden als auch weitere, im Ausland eingesetzten Methoden (u. a. /HAN 87/, /HAN 88/, /MOS 90/, /MOI 94/, /WIL 88/, /GER 92/, EMB 84/, /HOL 98/,

/NRC 07/ gehen davon aus, dass die Fehlerwahrscheinlichkeit einer Operateurhandlung in einem funktionalen Zusammenhang steht mit einer Basiswahrscheinlichkeit (Zuverlässigkeitsgrenze für diesen Handlungstyp unter optimalen Bedingungen, P_N) und der im Mensch-Maschine-System wirkenden, die Leistung beeinflussenden Faktoren (Performance Shaping Factors, PSF).

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

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

Die Methode THERP gehört nach wie vor zu den umfangreichen Wissenssammlungen über menschliches Handeln mit Schwerpunkt auf sicherheitsrelevante Situationen im Kernkraftwerk. Sie unterliegt allerdings Beschränkungen, die sich unmittelbar auf die Genauigkeit probabilistischer Sicherheitsanalysen auswirken, in denen diese Methode zum Einsatz kommt. Diese Einschränkungen ergeben sich u. a. aus der Art der Handlungen die THERP berücksichtigt. Weitere Grenzen der Methode lassen sich auf die Art und die Quellen der Schätzwerte zurückführen, auf denen die quantitative Bewertung der Zuverlässigkeit beruht:

- THERP erfasst nicht alle Aktionen, die entsprechend den Empfehlungen des Methodenbandes zu berücksichtigen sind.
Zum Anwendungsbereich der Methode gehören Handlungen der Operateure in der Warte sowie wenige Tätigkeiten vor Ort, wie z. B. Kalibrierungen und Ventilbedienungen. Eine detaillierte Untersuchung meldepflichtiger Ereignisse zeigt jedoch, dass Fehlhandlungen vor Ort bei vielen Vorkommnissen eine gewichtige Rolle spielen. Durch das Einbeziehen von Notfallmaßnahmen, Reparaturen und von Untersuchungen zur stillstehenden Anlage in den Untersuchungsumfang der PSA sind heute in erheblichem Umfang Handlungen vor Ort zu bewerten. Mangels geeigneter Schätzwerte ist dies nur sehr eingeschränkt möglich.
- Die Zuverlässigkeitskenngrößen in THERP sind nicht ausreichend verifiziert. Die Eingabedaten für die THERP-Methode werden dem Handbuch von Swain und Guttmann /SWA 83/ entnommen. Diese Daten sind relativ alt und stammen überwiegend nicht aus der Kerntechnik. Eine Validierung der Daten für die Bedingungen der Kerntechnik oder spezifische Daten für die Kerntechnik gibt es nur

punktuell. Die Nutzung der Schätzwerte erfordert mithin auch eine Überprüfung, inwieweit sie für die deutschen Anlagen Gültigkeit besitzen.

Die beschriebenen Einschränkungen von THERP gelten prinzipiell auch für andere Bewertungsverfahren. Dazu zählen Methoden der sogenannten zweiten Generation (u. a. /HOL 98/, /NRC 07/), die die kognitiven Aspekte menschlicher Handlungen modellieren und Fehlhandlungen auf fehlerhaft ablaufende kognitive Prozesse zurückführen. Als Kognition werden die psychischen Aktivitäten des Menschen bezeichnet, auf denen Erwerb, Organisation und Nutzung von Wissen beruhen /NEI 76/ (z. B. Wahrnehmen, Interpretieren, Merken, Erinnern). Die Methoden der zweiten Generation stellen qualitativ einen Fortschritt bei der Modellierung von Personalhandlungen und der Erklärung von Handlungsfehlern dar. Hinsichtlich der probabilistischen Bewertung dieser Fehlermechanismen wird jedoch auf Expertenschätzverfahren vertraut. Die Validität der damit bestimmten Fehlerwahrscheinlichkeiten ist nicht ausreichend geklärt.

Aus dem beschriebenen Sachverhalt folgt, dass die Bereitstellung von wissenschaftlich belastbaren Daten große Bedeutung für die fachliche Einschätzung vorgeschlagener Bewertungsmethoden hat. Zu den Aufgaben der GRS gehört es, die Validität von Methoden zur probabilistischen Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit zu prüfen, selbst Methoden zu entwickeln und in einschlägigen Gremien an einer Fortschreibung der Qualität der Bewertungsmethoden mitzuwirken.

Zur Bereitstellung wissenschaftlich belastbarer Daten sind in den letzten Jahren Vorarbeiten geleistet worden. Die GRS hat in den Vorhaben SR2288 /GRS 01/, SR2414 /GRS 06/ und im Vorhaben SR2568 /GRS 10/ Methoden entwickelt und systematisch angewendet, um aus der verfügbaren Betriebserfahrung zu meldepflichtigen Ereignissen deutscher Kernkraftwerke Schätzwerte für die Zuverlässigkeit von Personalhandlungen zu gewinnen und sie mit den Schätzwerten aus THERP zu vergleichen. Diese Arbeiten zeigten, dass sich aus der deutschen Betriebserfahrung zu meldepflichtigen Ereignissen Zuverlässigkeitskenngrößen zu Handlungstypen und zu kognitiven Fehlern sowie Daten zur Wirkung leistungsbeeinflussender Faktoren gewinnen lassen.

Die hier durchgeführten Arbeiten bauen auf den Erkenntnissen dieser Vorhaben auf. Insbesondere das Vorhaben SR2568 führte zur Erkenntnis, dass die für die Ableitung von Zuverlässigkeitskenngrößen nutzbare Betriebserfahrung erheblich umfangreicher ist, als ursprünglich angenommen. Ein Teil der Betriebserfahrung zu den meldepflichtigen Ereignissen konnte im Vorhaben SR2568 nicht abschließend bewertet werden. Die

Arbeiten wurden im Rahmen dieses Vorhabens zu Ende geführt. Darüber hinaus sollte auch ein Teil der Betriebserfahrungen „unterhalb der Meldeschwelle“ als Datenquelle erschlossen werden. Die erforderlichen methodischen Weiterentwicklungen wurden in diesem Vorhaben durchgeführt.

Die Arbeitsergebnisse verwerten somit Betriebserfahrungen unterhalb und oberhalb der Meldeschwelle. Sie tragen zu einer erheblichen Erweiterung des Bestandes an validierten Zuverlässigkeitskenngrößen zu Personalhandlungen bei und verbessern die Kompetenz der GRS auf diesem Fachgebiet.

2 Darstellung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik

Der Methodenband des PSA-Leitfadens /MET 05/ empfiehlt, Fehlerwahrscheinlichkeiten für die in einer PSA zu berücksichtigenden Handlungen mit der Methode THERP und ASEP zu ermitteln. In begründeten Ausnahmefällen kann für bestimmte Teilhandlungen eine von den THERP-Daten-Tabellen abweichende Quantifizierung vorgenommen werden. Dies gilt insbesondere, wenn

- eine aus der Betriebserfahrung abgeleitete Fehlerwahrscheinlichkeit vorliegt,
- sich mit einem anderen Verfahren eine Fehlerwahrscheinlichkeit abschätzen lässt, die dem Analysegegenstand besser gerecht wird als die der THERP Datenbasis.

Als Voraussetzung für den Einsatz anderer Methoden werden u. a. deren tragfähige, wissenschaftliche Grundlage, Bewährung in der Praxis und Aussagen zur Gültigkeit der Daten dieser Methoden genannt, ohne dass hierzu detaillierte Ausführungen gemacht werden. Bei der Bewertung von Reparaturhandlungen wird explizit auf die Methode HCR/ORE verwiesen /MOI 94/, wenn der Zeitfaktor (für die Handlungsausführung benötigte Zeit, insgesamt verfügbare Zeit) eine Rolle spielt.

Die Methode THERP nutzt Schätzwerte aus verschiedenen Quellen, um die Zuverlässigkeit menschlichen Handelns zu bewerten. Zu den Quellen gehören unter anderem Untersuchungen aus der Grundlagenforschung mit öffentlich zugänglichen Ergebnissen, vertrauliche Studien aus dem Militärbereich der USA und Experteneinschätzungen. Die Herkunft der einzelnen Schätzwerte lässt sich in der Regel nicht nachvollziehen. Es ist damit zu rechnen, dass die Entwickler von THERP bei der Übertragung von Daten aus anderen Kontexten und bei der quantitativen Abschätzung von Fehlerwahrscheinlichkeiten die Verhältnisse in US-amerikanischen Anlagen der späten siebziger Jahre vor Augen hatten.

Da die Leistung des Menschen von sehr vielen Faktoren abhängen kann, lässt sich nicht ausschließen, dass sich auch das spezifische gesellschaftliche, politische, wirtschaftliche, bildungsmäßige, professionelle und technologische Umfeld, in dem die Anlagen in verschiedenen Ländern betrieben werden, auf die Handlungszuverlässigkeit

auswirken. Schätzwerte US-amerikanischer Experten könnten solche spezifischen Verhältnisse reflektieren. Sie könnten somit nicht unabhängig von dem Kontext sein, aus dem sie stammen und für den sie bestimmt sind.

Die Grundzüge der Methode HCR/ORE wurden 1994 in einer Fachzeitschrift veröffentlicht. Die Daten dieser Methode wurden aus den Ergebnissen von Simulatorversuchen, die an amerikanischen Simulatoren durchgeführt wurden, abgeleitet. Allgemein zugängliche Veröffentlichungen über die Simulatordatenbasis stehen nicht zur Verfügung. Der Mangel an veröffentlichten, überprüfbaren Simulatordaten für Personalfehlhandlungswahrscheinlichkeiten wird auch in der Situationsanalyse der NEA/CSNI Arbeitsgruppe WGRISK festgestellt /CSN 08/. Dieses Gremium empfiehlt ein multinationales Forschungsprojekt durchzuführen mit dem Ziel, Kenngrößen für Personalhandlungen aus Simulatorversuchen zu gewinnen. Ergebnisse aus einem solchen Forschungsprojekt werden, sofern es realisiert wird, erst nach vielen Jahren vorliegen. Offen bleibt die Frage, inwieweit sie für deutsche Verhältnisse repräsentativ sind. Daten zu Handlungen außerhalb der Warte können hierdurch nicht gewonnen werden. Auch die Bewertungsmethoden der sogenannten „Zweiten Generation“ können keine ausreichende Validierung vorweisen. Probabilistische Kenngrößen für mögliche kognitive Fehler werden mittels Expertenschätzung bestimmt.

Hinsichtlich der Validierung der für deutsche PSA Studien empfohlenen Daten für die Bedingungen der Kerntechnik in Deutschland oder spezifische Daten für die Kerntechnik sind in den letzten Jahren Fortschritte erzielt worden. In den Vorhaben SR2288, SR2414 und SR2568 wurden Methoden entwickelt und angewendet, mit denen belastbare Fehlhandlungswahrscheinlichkeiten, auch zu Handlungen außerhalb der Warte und zu kognitiven Fehlern, aus der verfügbaren deutschen Betriebserfahrung zu meldepflichtigen Ereignissen gewonnen wurden. Diese Arbeiten sind zum Abschluss gebracht worden, so dass diese Datenquellen vollständig ausgewertet ist.

3 Wissenschaftliche und technische Einzelziele, Arbeitsprogramm

3.1 Wissenschaftliche und technische Einzelziele

Das Ziel des Vorhabens ist es, die verfügbare Datenbasis zur Zuverlässigkeit von Personalhandlungen über das im Rahmen des abgeschlossenen Vorhabens SR2568 Erreichte hinaus zu validieren und zu verbreitern, um einerseits die Entwicklung neuer Methoden voranzutreiben und andererseits substantielle Beiträge zur Fortschreibung der Anforderungen an Bewertungsmethoden zu leisten.

Zur Validierung und Erweiterung des Datenbestandes werden neue Daten genutzt, die aus der verfügbaren Betriebserfahrung deutscher Kernkraftwerke stammen und mit anerkannten Methoden erhoben wurden. Im Unterschied zu früheren Vorhaben werden hierbei auch Personalhandlungen ausgewertet, die noch nicht zu einem meldepflichtigen Ereignis beigetragen haben (Teil der Betriebserfahrung unterhalb der Meldeschwelle). Das Vorhaben verfolgt die nachstehenden fachlichen Einzelziele:

- Abschließende Auswertung der Datenquelle „Meldepflichtige Ereignisse in deutschen Anlagen“
Ein erheblicher Teil der in SR2568 identifizierten potentiell nutzbaren meldepflichtigen Ereignisse ist noch nicht abschließend bewertet. Diese Arbeiten sollen abgeschlossen werden. Einbezogen werden auch bewertbare Ereignisse, die nach dem Stichtag der Untersuchungen in SR2568, dem 31.12.2006, auftraten, so dass die Datenquelle „Meldepflichtige Ereignisse in deutschen Anlagen“ vollständig ausgewertet ist.
- Auswertung eines Teils der Betriebserfahrung unterhalb der Meldeschwelle
Die Betriebserfahrung unterhalb der Meldeschwelle stellt eine zweite Datenquelle dar. Für das Vorhaben nutzbar sind abzählbare Personalhandlungen, die im Fehlerfall ein meldepflichtiges Ereignis zur Folge haben, bisher aber noch kein Ereignis verursacht haben. Solche Handlungen sind zu identifizieren und mit anerkannten statistischen Methoden zu bewerten. Die erforderlichen methodischen Entwicklungen werden im Rahmen des Vorhabens durchgeführt. Hierdurch erschließt sich ei-

ne weitere, für die probabilistische Bewertung von Personalhandlungen nutzbare Datenquelle.

- Zusammenführung der Erkenntnisse aus den ausgewerteten Datenquellen, Datenvalidierung und Erweiterung

Aus den Ergebnissen der Auswertung beider Datenquellen wird ein generischer Bestand von Zuverlässigkeitskenngrößen für Personalhandlungen aufgebaut. Diese werden den Daten der empfohlenen Methoden (/MET 05/) gegenübergestellt. Ziel ist es, diese Methoden zu validieren bzw. auf Mängel hinzuweisen und Datenlücken insbesondere zu Tätigkeiten vor Ort durch Daten aus der deutschen Betriebserfahrung zu schließen. Aus den Ergebnissen dieser Arbeiten werden Empfehlungen entwickelt, die die GRS u. a. bei ihrer Mitarbeit in den für eine Fortschreibung der PSA-Methoden zuständigen Gremien nutzen kann.

3.2 Arbeitsprogramm

Das Arbeitsprogramm strukturiert sich entsprechend den in Abschnitt 3.1 beschriebenen drei Teilzielen

- Abschließende Auswertung der Datenquelle „Meldepflichtige Ereignisse in deutschen Anlagen“ (AP1),
- Auswertung eines Teils der Betriebserfahrung unterhalb der Meldeschwelle (AP2),
- Zusammenführung der Erkenntnisse aus den ausgewerteten Datenquellen, Datenvalidierung und Erweiterung (AP3).

3.2.1 Arbeitspaket 1: Abschließende Auswertung der Datenquelle „Meldepflichtige Ereignisse“

Im abgeschlossenen Vorhaben SR2568 wurde die Datenquelle „Meldepflichtige Ereignisse in deutschen Anlagen“ systematisch untersucht und daraus 126 für eine probabilistische Bewertung potentiell nutzbare Ereignisse ermittelt. 45 Ereignisse sind abschließend bearbeitet worden. 32 Ereignisse sind weitgehend bearbeitet und 49 Ereignisse noch nicht bearbeitet worden. Diese insgesamt 81 Ereignisse sollen abschließend ausgewertet werden. Zusätzlich sollen noch diejenigen bewertbaren Ereignisse einbezogen werden, die nach dem Stichtag des vorangegangenen Vorhabens, dem 31.12.2006, gemeldet wurden.

- **Qualitative Aufbereitung der nutzbaren meldepflichtigen Ereignisse**

Das Meldeverfahren, das den auszuwertenden Informationen zugrunde liegt, dient in erster Linie der behördlichen Aufsicht über deutsche Kernkraftwerke. Mit ihm sollen die zuständigen Behörden über Ereignisse informiert werden, die entweder aus sicherheitstechnischen oder aus anderen Gründen ein Handeln der Behörde erfordern bzw. erfordern können. Die meldepflichtigen Ereignisse stellen daneben ein wichtiges Hilfsmittel des Erfahrungstransfers dar. Sie sind nicht als Quelle für die Ermittlung quantitativer Zuverlässigkeitsdaten zu Komponenten oder von quantitativen Aussagen zur menschlichen Zuverlässigkeit konzipiert. Daraus ergeben sich für spezifische Fragestellungen, wie quantitative Aussagen zur menschlichen Zuverlässigkeit, erhebliche Einschränkungen sowohl hinsichtlich der Informationstiefe als auch der Vollständigkeit.

Folgende Probleme sind in Betracht zu ziehen:

- Nicht alle Fehler, die im Zusammenhang mit einer Handlung auftraten, sind dokumentiert. Kann z. B. ein Handlungsfehler rechtzeitig korrigiert werden oder weitere Auswirkungen werden durch vorrangig Automaten oder Operateureingriffe verhindert, so bleibt das Ereignis in der Regel unterhalb der Meldeschwelle. Da Informationen zu Ereignissen unterhalb der Meldeschwelle nicht in der Datenbank enthalten sind, ist die Gesamtfehlerzahl zu einer Handlung hieraus nicht ermittelbar.
- Die Datenbank enthält bestimmungsgemäß kaum Informationen zu Ereignissituationen, in denen eine Handlung fehlerfrei durchgeführt wurde. Es sind nur Fehlfunktionen und deren Auswirkungen zu melden. Die Häufigkeit, mit der eine bestimmte Handlung ausgeführt wurde, ist anhand dieser Datenbasis nicht abschätzbar.
- Die Ereignisbeschreibungen enthalten oft nur wenige Informationen zu fehlerfördernden Einflussfaktoren. Die Vergleichbarkeit von Handlungsfehlern, die in unterschiedlichen Ereignissituationen auftraten, wird dadurch erheblich erschwert.

Die klassische Ermittlung der Fehlerwahrscheinlichkeit P über die Häufigkeit n/m (Quotient aus Zahl der Fehler und der Zahl der Gelegenheiten für einen Fehler) führt somit ohne geeignete Korrekturen zu nicht zutreffenden Ergebnissen. Deshalb wurden in SR2568 /GRS 10/ spezielle methodische Entwicklungen durchgeführt, die eine Bewertung dieser Betriebserfahrung ermöglichen. Die dort beschriebene Methode geht von der frequentistischen Interpretation des Wahrscheinlichkeitsbegriffes aus. Die relative

Häufigkeit wird jedoch auf der Grundlage einer Stichprobe aus den in der Datenbank dokumentierten Beobachtungen ermittelt. Diese Stichprobe ist so gewählt, dass die genannten Defizite vermieden werden. Die gesuchte Fehlerwahrscheinlichkeit lässt sich dann mit Hilfe der relativen Häufigkeit innerhalb der Stichprobe über das Bayes'sche Verfahren schätzen.

Zur Generierung von bewertbaren Stichproben wurden in SR2568 folgend Lösungsansätze gefunden und erfolgreich angewendet:

- Problem: Häufigkeit einer Handlung im Allgemeinen nicht abschätzbar
 - Lösungsansatz:

Ausgewählt werden nur Ereignisse zu solchen Fehlhandlungen, für die sich ausreichend gut abschätzen lässt, wie oft die zugehörige Tätigkeit durchgeführt wird. Dies ist vor allem möglich bei periodisch wiederkehrenden Aufgabensituationen oder bei Aufgaben, deren Durchführung stets dokumentiert wird. Beispiele hierfür sind periodisch wiederkehrende Prüfungen, Instandhaltungsaufgaben, An- und Abfahrvorgänge, sich wiederholende betriebliche Maßnahmen etc. In Betracht zu ziehen sind Vorkehrungen des Anlagenbetreibers gegen die Wiederholung eines aufgetretenen Ereignisses. So können z. B. technische Veränderungen eine Wiederholung des beobachteten Ereignisablaufs (d.h. Fehlhandlungen mit unmittelbarer Meldepflicht als Folge) unmöglich machen. Dieser Zusammenhang ist bei der Ermittlung der Gesamtzahl aller Handlungssituationen, in denen eine zu einem meldepflichtigen Ereignis führende Fehlhandlung auftreten kann, zu berücksichtigen.
- Problem: Nicht alle Handlungsfehler führen zu einem meldepflichtigen Ereignis
 - Lösungsansatz:

Ausgewählt werden nur Handlungen, die im Fehlerfall eindeutig entdeckbar sind und die aufgrund der Kriterien der Meldeverordnung unmittelbar ein meldepflichtiges Ereignis zur Folge haben. Gleichbleibende Meldekriterien sind somit eine Voraussetzung, um eine homogene, statistisch auswertbare Stichprobe zu Personalhandlungen aufzubauen. Eine wesentliche Änderung der Meldekriterien erfolgte 1985. Ab diesem Zeitpunkt weisen die meldepflichtigen Ereignisse hinsichtlich der zugrunde liegenden Meldekriterien eine ausreichende Homogenität auf. Der Auswertzeitraum kann im Einzelfall erweitert werden, wenn die Fehlhandlung z. B. unmittelbar eine Reaktorschnellabschal-

tung zur Folge hat. Solche Ereignisse waren auch schon vor 1985 meldepflichtig.

- Problem: Fehlerfördernde Einflussfaktoren nur lückenhaft dokumentiert
- Lösungsansatz:
Einflussfaktoren sind durch nachträgliche Recherchen zu identifizieren. Da sich die Auswertung auf vorgeschriebene Tätigkeiten beschränkt, können wesentliche Einflussfaktoren auch nachträglich noch recherchiert werden. Solche nachträglichen Recherchen sind allerdings mit hohem Aufwand verbunden. Die Unterstützung durch fachkundiges Anlagenpersonal ist erforderlich und setzt die Bereitschaft und die Fähigkeit der Anlagen voraus, die erforderlichen Informationen zu erheben (vgl. auch Kapitel 4.1). Seit einiger Zeit werden von der GRS fehlerfördernde Einflussfaktoren systematisch im Zuge der detaillierten Analyse meldepflichtiger Ereignisse mit erhoben. Sind die fehlerfördernden Einflussfaktoren bekannt, so können durch differenzierte Betrachtungen auch die Gewichte dieser Faktoren ermittelt werden. Solche Gewichte sehen insbesondere THERP und ASEP (/MET 05/) vor, um unterschiedliche Ausprägungen der Qualität leistungsbeeinflussender Faktoren (wie z.B. die ergonomische Qualität der Mensch-Maschine-Schnittstellen) zu erfassen und bei der Zuverlässigkeitsbewertung zu berücksichtigen.

Die probabilistische Bewertung der Stichproben kann mit den bei technischen Komponenten eingesetzten mathematischen Methoden erfolgen. Im Rahmen dieses Unterpunktes werden alle oben genannten meldepflichtigen Ereignisse entsprechend dieser Vorgehensweise aufbereitet und damit einer Quantifizierung nach der Bayes'schen Methode zugänglich gemacht.

- **Quantifizierung der Stichproben**

Die ermittelten Stichproben werden mit der Bayes'schen Methode quantitativ ausgewertet. Diese Vorgehensweise ist bei der Bestimmung von Zuverlässigkeitskenngrößen für technische Komponenten etabliert. Die Anwendung dieser Methode in SR2568 hat sich bewährt. Sie führt zu folgenden Ergebnissen:

- Ermittelt werden Erwartungswert und Unsicherheit der durch eine Beta-Verteilung beschriebenen Fehlhandlungswahrscheinlichkeit.

- Der Stichprobenkenntnisstand (repräsentiert durch die Parameter n, m) wird dabei mit einer „nicht informativen“ A-priori-Verteilung entsprechend der Bayes'schen Methode verknüpft. Als „nicht informative“ A-priori-Verteilung wird eine Beta-Verteilung mit den Parametern $a = \frac{1}{2}$, $B = \frac{1}{2}$ verwendet /BOX 73/.
- Der Erwartungswert P der Fehlhandlungswahrscheinlichkeit folgt aus der Zahl der Fehler n und der Zahl der Gelegenheiten für einen Fehler m nach der Gleichung

$$P = (0,5 + n) / (1 + m)$$
- Die 5 %-, 50 %- und 95 %-Fraktile ergeben sich aus den einschlägigen Tabellen zur F-Verteilung. Hierzu sind die Freiheitsgrade der F-Verteilung zu berechnen, die ihrerseits wieder von n und m der Stichprobe abhängen.

Die quantitativen Ergebnisse werden in die Datentabelle der Datenquelle „Meldepflichtige Ereignisse“ /GRS 10/ eingegliedert, so dass in dieser Datenquelle ein vollständiger Bestand an bewerteten Stichproben vorliegt.

3.2.2 Arbeitspaket 2: Auswertung eines Teils der Betriebserfahrung unterhalb der Meldeschwelle

- **Entwicklung einer Methode zur Identifikation bewertbarer Personalhandlungen (AP2.1)**

Im Blickfeld dieses Arbeitspunktes stehen Handlungen, die im Fehlerfall unmittelbar zu einem meldepflichtigen Ereignis führen, aber bis jetzt noch keines verursacht haben. Von diesen Handlungen kann angenommen werden, dass sie fehlerfrei durchgeführt werden, d.h. Fehlerzahl $n = 0$. Naturgemäß sind in der Datenbank „Meldepflichtige Ereignisse“ zu solchen Handlungen kaum Informationen zu finden, Sie müssen durch Analyse der regelmäßig wiederkehrenden Aufgabensituationen in einer Anlage identifiziert werden. Hierfür ist eine eigenständige Methode erforderlich, die im Rahmen dieses Arbeitspakets entwickelt wurde. Diese Methode muss nachstehende Anforderungen erfüllen:

- Sie soll sich nur mit Handlungen befassen, deren Häufigkeiten abschätzbar sind.
- Sie soll in einem ersten Schritt Handlungen herausfiltern, von denen angenommen werden kann, dass sie im Fehlerfall ein meldepflichtiges Ereignis verursachen (z. B. Handlungen an Komponenten des Sicherheitssystems).

- Sie soll in einem weiteren Untersuchungsschritt den eindeutigen Zusammenhang zwischen postuliertem Fehler und dadurch erfülltem Meldekriterium herstellen. Die in der Arbeitswissenschaft üblichen Vorgehensweisen zur Handlungsmodellierung und Handlungsanalyse sind an die hier vorliegenden Randbedingungen anzupassen.
 - Sie soll Informationen zu ggf. vorliegenden fehlerfördernden Faktoren herausarbeiten.
- **Erweiterung des Datensatzes zu Fehlhandlungswahrscheinlichkeiten (AP2.2)**

Die Methode wird für eine Referenzanlage angewendet. Ziel ist es, Stichproben für eine möglichst große Zahl von Handlungen bzw. Handlungstypen zu erstellen und diese mit der Bayes'schen Methode unter Postulierung der Fehlerfreiheit quantitativ zu bewerten (vgl. auch Ausführungen in Abschnitt 3.1). Die Stichprobenergebnisse der Datenquelle „Betriebserfahrung unterhalb der Meldeschwelle“ werden in einer Datentabelle zusammenfassend dargestellt.

3.3 Arbeitspaket 3: Zusammenführung der Erkenntnisse aus den ausgewerteten Datenquellen, Datenvalidierung und Erweiterung

Die aus den Stichproben beider Datenquellen gewonnenen einzelnen Datenpunkte sind einer übergeordneten Betrachtung zu unterziehen mit dem Ziel, eine generische Datenbasis zu Zuverlässigkeitskenngrößen für Personalhandlungen zu entwickeln. Entsprechend den Vorgehensweisen in SR2568 folgt diese übergeordnete Betrachtung fachspezifischen Grundsätzen zur Klassifizierung von Fehlern entsprechend der Handlungstypen, der beobachtbaren Wirkungen, den leistungsbeeinflussenden Randbedingungen und den wesentlichen kognitiven Ursachen. Stichproben, die entsprechend diesen Grundsätzen vergleichbar sind, lassen sich mit Hilfe des Bayes'schen Verfahrens zusammenfassen, wodurch sich die Betriebserfahrungsgrundlage der Zuverlässigkeitskenngrößen verbreitert. Durch Gegenüberstellung vergleichbarer Handlungsfehler, die unter unterschiedlichen Randbedingungen auftraten, werden auch Daten zu der leistungsbeeinflussenden Wirkung dieser Randbedingungen (z. B. Stress) erhoben.

Der so ermittelte Bestand an generischen Zuverlässigkeitskenngrößen aus der deutschen Betriebserfahrung wird in einem weiteren Arbeitsschritt den Daten der empfohlenen Bewertungsmethoden THERP und ASEP (/MET 05/) gegenübergestellt. Hieraus

können einerseits Erkenntnisse zu Validität dieser Methoden gewonnen werden. Andererseits ist zu erwarten, dass ein Teil der bestehenden Datenlücken durch neue Daten aus der deutschen Betriebserfahrung behoben werden können. Bei Vorliegen von Defiziten (z. B. Methode selbst nicht ausreichend gültig, einzelne Daten einer Methode nicht gültig, Methode stellt keine Daten zur Verfügung) werden Vorschläge zur Behebung dieser Defizite entwickelt, die für eine Fortschreibung der Anforderungen des PSA Methodenbands genutzt werden können.

4 Erhebung von Stichproben aus der deutschen Betriebserfahrung zu meldepflichtigen Ereignissen

4.1 Überblick

In der GRS-Datenbank zu den meldepflichtigen Ereignissen aus deutschen Kernkraftwerken sind bis zum Stichtag 31.12.2012 für die hier durchgeführten Auswertungen Informationen zu weit mehr als 6000 Ereignissen dokumentiert. Erfahrungsgemäß sind in etwa 40 % bis 50 % der Fälle Personalfehlhandlungen an der Entstehung und dem Verlauf der Ereignisse beteiligt. Die Datenbank wurde im Rahmen der vorangegangenen Vorhaben systematisch mit Hilfe der in Kapitel 3 beschriebenen Selektionskriterien nach probabilistisch bewertbaren Fällen abgesucht. Hierbei waren auch Ereignisse vor 1985 in Betracht zu ziehen, wenn sich auch nach den heute gültigen Kriterien meldepflichtig sind.

Aufgrund der großen Anzahl an Ereignissen war es erforderlich, in zwei Arbeitsschritten mit unterschiedlichem Tiefgang vorzugehen. Zunächst wurden diejenigen Ereignisse ermittelt, die auf der Grundlage einer ersten Einschätzung die Selektionskriterien „abzählbare Handlung“ und „Fehler führt unmittelbar zur Meldepflicht“ erfüllen könnten. Dieser Arbeitsschritt führte zu insgesamt 126 potentiell für das Vorhaben nutzbaren Ereignissen.

Der zweite Arbeitsschritt hatte die detaillierte Aufbereitung der potentiell nutzbaren Ereignisse zum Ziel. Neben den Informationen aus der GRS-Datenbank zu den meldepflichtigen Ereignissen mussten hierzu auch in größerem Umfang als bei Vorhabenbeginn erwartet Informationen aus Gesprächen mit fachkundigem Anlagenpersonal erhoben werden. Das nachträgliche Erheben von benötigten Informationen ist sehr res-

sourcenaufwändig, insbesondere auch für das fachkundige Anlagenpersonal. Ein erheblicher Teil dieser Fälle ereignete sich vor vielen Jahren. Die Behandlung im Rahmen des Aufsichtsverfahrens ist seit langem abgeschlossen. Die Erfahrungen aus diesem Vorhaben zeigen, dass eine auf das Ziel „probabilistische Bewertung“ ausgerichtete Rekonstruktion auch noch nach vielen Jahren möglich ist, da die Anlagen auf eine sorgfältig archivierte interne Falldokumentation zurückgreifen können. Sie nimmt allerdings so viel Zeit in Anspruch, dass es im Rahmen der vorangegangenen Vorhaben nicht möglich war, alle der 126 vorausgewählten Ereignisse aufzubereiten. 45 Ereignisse konnten damals abschließend bearbeitet werden. Darunter waren 8 Ereignisse, die sich nachträglich als nicht nutzbar erwiesen haben.

Die zu Beginn des Vorhabens bereits vorliegenden 37 quantitativ bewerteten Stichproben sind Bestandteil der Datentabelle „Stichproben aus meldepflichtigen Ereignissen“ (vgl. Kapitel 4.3, Stichproben S1 bis S37), da diese in die zusammenfassende Bewertung der Forschungsergebnisse einbezogen werden müssen.

Die Auswertung der Datenquelle „meldepflichtige Ereignisse“ führte insgesamt zu 68 bewerteten Stichproben. Etwa 25 % der ursprünglich als potentiell nutzbar eingeschätzten Ereignisse haben sich im Zuge der detaillierten Untersuchungen als doch nicht nutzbar erwiesen. Etwas mehr als 20 % konnten nicht bewertet werden, da entweder die davon betroffenen Anlagen sich schon lange in der Rückbauphase befinden und damit die erforderlichen spezifischen Informationen nicht mehr verfügbar waren (ca. 15 % der Fälle) oder es bis zum Ende des Vorhabens noch nicht gelungen ist, die Anlagen für eine Zusammenarbeit zu gewinnen (ca. 6 % der Fälle). Zusammenfassend ist jedoch festzustellen, dass die Bereitschaft der Anlagen, das Vorhaben mit teilweise sehr aufwändig zu erhebenden Informationen zu unterstützen, sehr hoch war.

In der Gruppe der Stichproben sind fast alle deutschen Anlagen vertreten. Signifikante Unterschiede hinsichtlich der Anzahl von Stichproben aus DWR oder SWR bzw. älteren oder neueren Anlagen liegen nicht vor.

Die in den Stichproben vertretenen Handlungen wurden an unterschiedliche Handlungsorten innerhalb der Anlage durchgeführt. Handlungsorte, an denen Fehler auftraten, waren die Warte, örtliche Leitstände, das Schaltanlagegebäude, das Dieselsegebäude und die M-Werkstatt.

Handlungsfehler traten in den Anlagenbetriebszuständen „Stillstand“, „Anfahren“, „Leistungsbetrieb“ und „Abfahren“ auf. Somit sind unter den Stichproben keine Handlungsfehler vertreten, die nach Eintritt eines auslösenden Ereignisses oder eines Störfalls auftraten. Stichproben aus solchen Handlungssituationen sind auch nicht notwendigerweise erforderlich, um den Datenbestand zu verifizieren und zu erweitern. Dies begründet sich wie folgt:

Allgemeine Anerkennung bei der probabilistischen Bewertung von Personalhandlungen hat der Ansatz gefunden, dass die Fehlerwahrscheinlichkeit für eine Handlung und eine postulierte Fehlerart i abhängt von der Basisfehlerwahrscheinlichkeit für diesen Handlungs-/Fehlertyp und der Wirkung der für diesen Handlungstyp relevanten leistungsbeeinflussenden Faktoren (PSF).

$$P_i = f(P_{Bi}, PSF_1 \dots PSF_n)$$

Handlungstypen sind z. B. das Lesen einer schriftlichen Information oder die Betätigung einer Kommandotaste. Die Basisfehlerwahrscheinlichkeit ist der beste erreichbare Wert für diesen Typ und die unterstellte Fehlerart, d.h. die Fehlerwahrscheinlichkeit unter optimalen Bedingungen. Basisfehlerwahrscheinlichkeiten und Daten zum Einfluss vieler leistungsbeeinflussenden Faktoren können auch aus Stichproben gewonnen werden, die nicht aus Störfallsituationen stammen. Typisch für Störfallsituationen ist die Beanspruchung der Operateure durch Stress, vor allem hervorgerufen durch die emotionale Beanspruchung.

Unter den ausgewählten Stichproben befinden sich keine Handlungsfehler, die unter der Wirkung von extrem hohem Stress auftraten. Solche Situationen treten in der deutschen Betriebserfahrung nur selten auf. Häufiger sind Situationen mit moderat erhöhtem stress, z. B. aufgrund des hohen Aufgabendrucks. Unter den Stichproben sind auch Fälle, bei denen relativ zuverlässige Handlungstypen unter dem Einfluss sehr fehlerfördernder ergonomischer Faktoren auszuführen waren (z. B. Mängel bei der Kennzeichnung von Handlungsobjekten) und demzufolge auch zu sehr hohen Fehlerwahrscheinlichkeiten führten.

Die Methoden THERP und HCR/ORE gehen davon aus, dass die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Diagnose eines Störfalls abhängt von der Zeit, die für diese Aufgabe zur Verfügung steht (THERP: abhängig von dem dafür zur Verfügung stehenden Zeitbudget, HCR/ORE: abhängig vom Verhältnis „Im Mittel benötigte Zeit/maximal ver-

fügbare Zeit“). Angaben zum Zeitbedarf für die Diagnose einer Störung oder gar eines auslösenden Ereignisses sind in der deutschen Betriebserfahrung nur selten dokumentiert und auch nachträglich kaum zu rekonstruieren. Fehlerwahrscheinlichkeiten für solche Aufgaben können über die Ergebnisse aus Simulationsstudien verifiziert werden. Zum Diagnosefehlerwahrscheinlichkeitsmodell der Methode THERP liegen inzwischen Ergebnisse aus einigen Simulatorstudien vor, die auf die Validität dieses Modells hinweisen (vgl. u. a. /IRSN 07/ und /La Salle 87/). Auch die Fehlerwahrscheinlichkeiten der Methode HCR/ORE sollen durch Simulatorexperimente abgesichert sein. Allerdings kann diese These zurzeit nicht überprüft werden.

Bei den insgesamt bewerteten Fehlhandlungen wird unterschieden zwischen Auslassungsfehlern und Ausführungsfehlern. Insgesamt liegen deutlich mehr bewertete Ausführungsfehler (42) als Auslassungsfehler (17) vor. Bei 8 Stichproben war die Anzahl der Gelegenheiten für einen Fehler zu gering, um eine abschließende Bewertung vorzunehmen. Um die Voraussetzungen für einen Vergleich der aus den Stichproben gewonnenen Daten mit anderen Daten, z. B. die der Methode THERP, zu verbessern, wird entsprechend den zugrundeliegenden kognitiven Fehlern (vgl. auch Kognitionsmodell, Kapitel 4.4) wie folgt weiter differenziert:

- Ausführungsfehler trotz korrekter Aufgabenstellung, d.h. kognitiver Fehler bei der Kontrolle der Handlungsausführung.
- Ausführungsfehler aufgrund von kognitiven Fehlern bei der Generierung der Aufgabenstellung (u. a. falsch erinnert oder falsch verstanden bei mündlicher Kommunikation).
- Auslassungsfehler aufgrund von Gedächtnisfehlern (Vergessen eines Handlungsschnittes) oder Interpretationsfehlern (Prozeduranweisung falsch verstanden).

Im folgenden Abschnitt 4.2 werden die im Rahmen dieses Vorhabens bewerteten Stichproben entsprechend dieser Klassifikation geordnet und im Detail vorgestellt. Eine ausführliche Dokumentation der Stichproben S1 bis S37 findet sich in /GRS 10/. Soweit möglich wird dem Stichprobenergebnis auch der entsprechende zu verifizierende Wert aus der Methode THERP gegenübergestellt. Teilweise haben die Stichproben auch zu neuen Daten geführt.

Hinsichtlich der Dokumentation der Stichproben ist zu beachten, dass die Details der zugrundeliegenden meldepflichtigen Ereignisse generell vertraulich behandelt werden.

Die Stichproben sind daher so dokumentiert, dass keine Rückschlüsse auf das Ereignis selbst, oder die betroffenen Anlage oder die handelnden Personen gezogen werden können. Angaben hierzu sind auch nicht erforderlich, um das wissenschaftliche Ziel dieses Vorhabens, Datenverifizierung und Verbreitung, zu erreichen.

Da die in SR2568 /GRS 10/ dokumentierten Stichproben mit den in diesem Vorhaben ermittelten zu einer Datentabelle zusammengefasst werden (vgl. Abschnitt 4.3) beginnt die Kennzeichnung der im Folgenden beschriebenen Stichproben mit der laufenden Nummer S38.

4.2 Ergebnisse der Stichproben

4.2.1 Ausführungsfehler aufgrund von Fehlern bei der Handlungsausführung

Ist das Handlungsziel korrekt gewählt, so können Ausführungsfehler auch dadurch auftreten, dass Fehler bei der Regulation der Handlungsausführung auftreten. Typisch für diese Fehlerart sind Handlungsausführungen, bei denen versehentlich ein im Greifraum befindliches anderes Handlungsobjekt wird (z. B. Kommandotasten, Steckverbindungen, Schlüsselschalter, Simulationsstifte) oder das Handlungsobjekt selbst falsch betätigt wird (z. B. zu viel, zu schnell, zu langsam, nicht ausreichend lange). Zu diesem Fehlermechanismus wurden die folgenden, die Ergebnisse aus SR2568 ergänzenden, Stichproben ermittelt.

4.2.1.1 Stichprobe S38 „Füllstandsabfall im Turbinenölbehälter“

Das Filter, das das Steueröl der Turbine reinigt, muss von Zeit zu Zeit selbst gereinigt werden. Hierzu wird zunächst vor Ort über eine Dreiwegearmatur auf das in Bereitschaft stehende zweite Filter umgeschaltet und danach das zu reinigende Filter geöffnet. Bei dem der Stichprobe zugrundeliegenden Ereignis wurde die Dreiwegearmatur nicht vollständig in Richtung des zweiten Filters umgeschaltet. Das zu reinigende Filter war somit nicht vollständig vom Steuerölkreislauf abgetrennt. Beim Öffnen trat Steueröl aus. Das Niveau im Turbinenölbehälter fiel soweit ab, dass es zur Auslösung des Turbinenschnellschlusses und in der Folge zur meldepflichtigen Reaktorschnellabschaltung kam.

Bis zum Ereigniseintritt wurden die vor Ort Arbeiten gedächtnisgestützt (Fachwissen) ausgeführt. Die Dreiwegearmatur wird solange verstellt, bis sie blockiert (Handlungserfolg über Verstellkraft kontrolliert). Eine Endlageanzeige, die die Armaturposition genau genug wiedergibt, ist nicht vorhanden. Die Stichprobe charakterisiert einen Ausführungsfehler (Armatur nicht vollständig umgestellt) beim Betätigen von vor Ort Armaturen und (Kontrolle des Handlungserfolgs über den Kraftaufwand).

Nach dem Ereignis wurden vor Ort Öldruckanzeiger nachgerüstet und zusätzlich eine Arbeitsanweisung erstellt, so dass die Stichprobe mit Eintritt des Ereignisses abzuschließen ist. Eine Recherche der Anlagendokumentation führte zu 23 vergleichbaren Arbeitsvorgängen. Damit ergibt sich als Schätzwert der Fehlerwahrscheinlichkeit „vor Ort Armatur nicht vollständig verstellt (Handlungskontrolle über Kraftaufwand)“ $P_{EW} = 6,5 \cdot 10^{-2}$. Für den aufgetretenen Fehler werden in THERP keine direkt vergleichbaren Daten vorgeschlagen. In Tabelle 14 des THERP Handbuches wird vorausgesetzt, dass die zu verstellende Armatur aufgrund eines technischen Defekts vor Erreichen der Endlage hängenbleibt. Angenommen, dass die Armatur keine Endlagenanzeige besitzt, wird ein Erwartungswert von $1,3 \cdot 10^{-2}$ für das Nichtbemerken des technischen Defekts vorgeschlagen. Damit wäre die Armatur nicht in der erforderlichen Endlage. Dieser Wert wäre noch am ehesten mit dem Ergebnis der Stichprobe vergleichbar.

4.2.1.2 Stichprobe S39 „Startversagen eines Notstromdiesels aufgrund Blockierung des Regelgestänges der Kraftstoffeinspritzpumpen“

Um zu Beginn der Prüfung eines Notstromdieselaggregats dessen Vorschmierung zu verbessern, wird das Aggregat mit Hilfe der Startluft vorgedreht. Hierbei könnte es zu einem Anlaufen des Diesels kommen. Daher wird über den Stopphebel direkt am Aggregat die Kraftstoffförderung der Einspritzpumpen zunächst auf null reduziert. Wird der Stopphebel zu weit verstellt, so können einzelne Stößel der über den Hebel angesteuerten Regelgestänge, wie im Ereignis geschehen, aus den Führungsbuchsen herausgleiten. Auch wenn der Stopphebel wieder in seine Ausgangslage gebracht wird, reicht dann die Kraftstoffmenge nicht mehr aus, um den Diesel auf Nenndrehzahl zu bringen. In der Folge bricht die Schutzleittechnik den Start ab. Dieser Ablauf ist meldepflichtig.

Dem Ereignis liegt ein Ausführungsfehler bei der Teilhandlung „Kraftstoffmenge über Stopphebel auf null reduzieren“ zugrunde. Der Hebel muss hierzu um ca. 80 – 90 Grad

verstellt werden. Eine Markierung der erforderlichen Endposition ist nicht vorhanden. Durch zu viel Krafteinsatz kann die Verstellung um einige Winkelgrade zu weit erfolgen und einzelne Stößel fahren, für den Ausführenden nicht erkennbar, aus den Führungsbuchsen. Nach dem Ereignis wurden bei allen Stopphebeln Anschläge nachgerüstet. Die Stichprobe umfasst einen Beobachtungszeitraum von 8,5 Jahren mit 612 Gelegenheiten für diesen Fehler (pro Jahr 12 Prüfungen, insgesamt 6 Dieselaggregate). Sie ist charakteristisch für einen Bedienvorgang an einem Stellhebel vor Ort und dem Ausführungsfehler „Hebel nicht in die erforderliche Position verstellt“. Die Möglichkeiten zur Handlungskontrolle waren aus ergonomischer Sicht ungünstig gestaltet (keine geeignete Endlagenmarkierung). Auf Basis der Stichprobe folgt ein Erwartungswert für die Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 2,4 \cdot 10^{-3}$. In den Datentabellen von THERP werden hierzu keine Werte vorgeschlagen.

4.2.1.3 Stichprobe S40 „Ausfall einer Notstromschiene durch Öffnen des Kuppelschalters zur Blockschiene“

Im Rahmen einer wiederkehrenden Prüfung wird bei freigeschaltetem Notstromdieselaggregat das Öffnen des Generatorschalters durch ein Schutzkriterium geprüft. Da dieses Kriterium auch den Verbindungsschalter zur Eigenbedarfsschiene öffnet, muss vor der Prüfauslösung der Anregezug des Schutzsignals zum Verbindungsschalter getrennt werden. Hierzu ist eine Trennklemme vor Ort im Schaltschrank zu ziehen. In dem entsprechenden Schaltschrank befinden sich noch eine Reihe anderer Trennklemmen. Wird versehentlich eine falsche Trennklemme, wie im Ereignis geschehen, gezogen, so öffnet der Verbindungsschalter zur Eigenbedarfsschiene und die Notstromschiene wird spannungslos. Der Ausfall einer Notstromschiene ist meldepflichtig.

Die Trennklemmen im Schaltschrank sind feldartig angeordnet. Die Klemmen werden durch alphanumerische Beschriftung gekennzeichnet, wobei die korrekte und die fehlerhafte gezogene Trennklemme sich im Greifraum des Handelnden befinden und die Bezeichnungen ähnlich sind.

Die Stichprobe ist charakteristisch für einen Ausführungsfehler aufgrund von Fehlern bei der Kontrolle der Handlungsausführung. Fehlerfördernd hat sich ausgewirkt, dass sich gleichartige Trennklemmen im Greifraum befinden, die sich nur durch ihre räumliche Lage (bezogen auf die zur ziehende Trennklemme) und die Beschriftung voneinander unterscheiden, und die Beschriftungen Ähnlichkeiten aufweisen. Die nach dem

Ereignis durchgeführten Verbesserungen haben keine Auswirkungen auf die beschriebene Handlungssituation am Schaltschrank, so dass auch Prüfungen nach dem Ereignis in die Stichprobe einbezogen werden können. Die Prüfung wird einmal jährlich an allen sechs Dieselaggregaten durchgeführt. Damit ergibt sich bei insgesamt 162 Gelegenheiten eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 9,2 \cdot 10^{-3}$. In den Datentabellen von THERP werden hierzu keine Werte vorgeschlagen.

4.2.1.4 Stichprobe S41 „Fehlöffnen der Turbinenstellventile“

Die Anlage wurde zum Brennelementwechsel abgefahren und befand sich bereits im Zustand „unterkritisch, heiß“. In diesem Betriebszustand sollte die Turbine zur Kühlung mit einer geringen Menge Frischdampf (FD) gespült werden (Sonderfahrweise). Hierzu ist die Turbinenanfahreinrichtung zu verwenden, mit der die Position der vier Turbinenstellventile verändert werden kann. Bei diesem Vorgang wurde die Anfahreinrichtung zu weit verstellt, mit der Folge, dass zu viel Dampf einströmte und aufgrund des Druckabfalls der Reaktordruckbehälterfüllstand bis zum meldepflichtigen Ansprechen von Reaktorschutzsignalen anstieg.

Die Stichprobe charakterisiert einen Ausführungsfehler bei einer Regelungsaufgabe (Einstellen eines geringen Frischdampfmassenstroms durch vorsichtiges Verstellen der Anfahreinrichtung). Eine Reihe sehr ungünstig gestalteter ergonomischer Faktoren haben den Ausführungsfehler begünstigt. Die Anfahreinrichtung ist in diesem Bereich schwierig zu handhaben (kleine Verstellungen bewirken große Stellungsänderungen, der FD-Massenstrom kann nur mittelbar gesteuert werden). Die Anzeige der Anfahreinrichtung war ungünstig gestaltet. Hinsichtlich dieser Sonderfahrweise lag keine ausreichende Erfahrung vor. Nach dem Ereignis wurden eine Reihe auf die Schwachstellen ausgerichtete Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt.

Die Stichprobe umfasst nur eine Gelegenheit für diesen Fehler unter den beschriebenen Randbedingungen. Die quantitative Auswertung kann somit nicht abschließend sein (vgl. auch Ausführungen zu Stichprobe 54).

Aufgrund dieser Stichprobe ergibt sich eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 7,5 \cdot 10^{-1}$. In den Tabellen der Methode THERP sind keine Daten zu Ausführungsfehlern bei Regelungsaufgaben vorhanden, die unter vergleichbar ungünstigen ergonomischen Randbedingungen auszuführen sind.

4.2.1.5 Stichprobe S42 „Kurzzeitige Nichtverfügbarkeit eines Notstromaggregats“

Die örtlichen Leitstände der Notstromdieselaggregate sind regelmäßig auf eventuell vorhandene Verschmutzungen zu kontrollieren und bei Bedarf zu reinigen. Bei einer dieser Reinigungsvorgänge wurde versehentlich der Aggregateschutzschalter (Druckschalter) des Diesels betätigt. Der Fehler wurde sofort korrigiert. Der Vorgang ist meldepflichtig, da das Aggregat für eine kurze Zeitspanne unverfügbar war.

Die Stichprobe charakterisiert eine Tätigkeit, die keine Bedienung von Kommandotasten oder Schlüsselschaltern zum Ziel hat. Aufgrund der Art der Tätigkeit ist es jedoch denkbar, dass es bei einem Fehler bei der Handlungsregulation zu einer Fehlbedienung kommen kann (vgl. auch Stichprobe 12, SR2568). Fehlerfördernd hat sich ausgewirkt, dass Schutzmaßnahmen nur teilweise realisiert waren (keine Freigabetaste, Schalter mit Kragen, d.h. erhöhter Rand). Weitere fehlerfördernde Faktoren sind hier nicht zu berücksichtigen.

Nach dem Ereignis wurde der Aggregateschutzschalter besonders gekennzeichnet. Die Stichprobe für den Handlungstyp „Reinigen von Pultoberflächen“ und der Fehlerart „versehentliches Bedienen einer Komponente, Bedienvorgang nicht besonders abgesichert“ umfasst insgesamt 1000 Ausführungen (Ergebnis der nachträglichen Auswertung der Betriebsdokumentation der beiden vergleichbaren Reaktorblöcke der Doppelblockanlage). Der Fehler trat einmal auf. Damit ergibt sich der Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit zu $P_{EW} = 1,5 \cdot 10^{-3}$.

Die Möglichkeit, dass bei der Ausführung von Tätigkeiten an oder nahe an Schaltpulten Kommandotasten versehentlich bedient werden, wird im THERP-Handbuch, Kapitel 13, diskutiert. Das Spektrum der betrachteten Tätigkeiten schließt solche mit ein, die keine Schalthandlungen erfordern, so dass die Fehlbedienung nicht auf eine Verwechslung von Kommandotasten zurückzuführen ist. Hierzu gehört auch die Reinigung von Schaltpulten. Wahrscheinlichkeiten dafür, dass aus diesen Tätigkeiten Fehlbedienungen resultieren, werden jedoch nicht genannt.

4.2.1.6 Stichprobe S43 „Ausfall der 380 V-Umformerschaltanlagen bei wiederkehrender Prüfung“

In der Anlage, in der das der Stichprobe zugrundeliegende, meldepflichtige Ereignis auftrat, sind 4 unterbrechungslos versorgte (d.h. batteriegepufferte) 380 V-Notstromschienen vorhanden, die im Bedarfsfall mit einer Reserveschiene verbunden werden können. Die Funktion der Schaltgeräte in den Verbindungsleitungen zur Reserveschiene ist wiederholt zu prüfen. Am Ende der Prüfung sind diese Schalter vor Ort am Schaltschrank aus der Stellung „Test“ in die Stellung „Betrieb“ zu bringen.

Das Einfahren eines dieser Schaltgeräte erfolgt mit einer Handkurbel. Ist der Schalter nicht vollständig eingefahren, so wird beim Zuschalten des Steuerkopfes das Signal „Schalterstörung“ gebildet. Dieses Signal trennt die dem Verbindungsschalter zugeordnete 380 V-Notstromschiene von allen Einspeisequellen ab (Komponentenschutz). Ein Spannungsausfall an einer batteriegepufferten 380 V-Notstromschiene ist meldepflichtig.

Die Stichprobe charakterisiert einen Ausführungsfehler beim Einfahren eines Schaltgerätes mittels einer Handkurbel (Fehler bei der Regulation der Handlungsausführung). Vergleichbare Handlungen sind auch in anderen Zusammenhängen (u. a. auch bei Notfallmaßnahmen) durchzuführen. Zur Herstellung des Schalteranschlusses muss dieser vollständig eingefahren werden. Schon geringe Abweichungen führen dazu, dass sich der Schalter in einer Zwischenstellung befindet. Bei Erreichen der erforderlichen Endlage erlischt eine auf der Frontplatte des Schalters angebrachte Meldelampe.

Die Prüfung wird nur alle vier Jahre durchgeführt (d.h. selten). Als Abhilfemaßnahme zur Verhinderung der Folgen dieses Ausführungsfehlers wurden die technischen Auswirkungen des Signals „Schalterstörung“ aufgehoben. Die Stichprobe umfasst damit nur 28 Gelegenheiten für den oben beschriebenen Ausführungsfehler, der insgesamt Zweimal auftrat. Damit ergibt sich der Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit zu $P_{EW} = 8,6 \cdot 10^{-2}$. Zu Handhabungsfehlern an Schaltgeräten vor Ort werden in der Methode THERP keine Daten vorgeschlagen.

4.2.2 Ausführungsfehler aufgrund kognitiver Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung

Fehler bei der Ausführung von Handlungen können auch dadurch entstehen, dass der Handlungsausführende ein falsches Handlungsziel vor Augen hat. Ursache für Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung liegen im kognitiven Bereich, z. B. Angaben in schriftlichen Unterlagen werden falsch interpretiert, mündlich mitgeteilte Information wird falsch verstanden oder im Gedächtnis gespeicherte Information wird falsch erinnert. Zu diesen Fehlermechanismen liegen die nachfolgend vorgestellten über SR2568 hinausgehenden Stichproben vor.

4.2.2.1 Stichprobe S44 „Ausfall eines Schnellabschalttanks“

Aufgrund betriebsbedingter Druckverluste muss von Zeit zu Zeit Stickstoff in die Schnellabschalttanks nachgespeist werden. Sinkt der Druck in einem der drei Behälter zu weit ab, so wird eine Meldung ausgelöst. Das Schichtpersonal hat dann die Verbindungsleitung zum Stickstoffnachspeisesystem zu öffnen und den Druck im Abschalttank wieder über den Sollwert von ca. 160 bar anzuheben. Der Vorgang ist etwas zeitaufwändig und wird in Betriebsunterlagen ausreichend genau beschrieben.

In dem der Stichprobe zugrundeliegenden Ereignis versuchte der mit der Nachfüllaufgabe betraute Operateur, den Zeitbedarf der Maßnahme durch zusätzliches Öffnen der Entleerungsleitung des Schnellschalttanks zu verringern. Nach dem Öffnen der Entleerungsleitung fiel der Tankdruck jedoch weiter ab. Der Tank wurde nach Ansprechen des Drucküberwachungsgrenzwertes (≤ 144 bar) automatisch isoliert und stand somit für die Funktion der Schnellabschaltung für kurze Zeit nicht mehr zur Verfügung. Damit ist das Ereignis meldepflichtig.

Die Stichprobe charakterisiert einen Fehler bei der Ausführung einer Handlung, der auf einen kognitiven Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung zurückgeht. Der Operateur hat eine Teilhandlung ausgeführt, die in den Unterlagen nicht beschrieben ist und in diesem Zusammenhang auch nicht ausgeführt werden darf. Er erwartete, hierdurch das Ziel der gesamten Aufgabe schneller zu erreichen, ohne dass dadurch eine schädliche Reaktion des technischen Systems erfolgt.

Eine eingehende Recherche der Anlagendokumentation führte zu 324 Nachspeisevorgängen (27 Vorgänge in 2 Jahren bei insgesamt 24 Betriebsjahren), bei denen der be-

schriebene Fehler einmal auftrat. Damit ergibt sich der Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit zu $P_{EW} = 4,6 \cdot 10^{-3}$. Für die hier aufgetretene Fehlerart (Ausführen einer zusätzlichen, ungeplanten Handlung, um den Weg zum Aufgabenziel zu verkürzen) werden in THERP keine Daten vorgeschlagen.

4.2.2.2 Stichprobe S45 „Durchdringungsabschluss Reaktorwasserreinigungssystem“

Betriebsbedingt muss von Zeit zu Zeit das Harzfilter des Reaktorwasserreinigungssystems gereinigt werden. Nach dem Reinigungsvorgang ist das Filter über eine Drossel zunächst auf Betriebsdruck zu bringen. Hierzu sind, wie in den Betriebsunterlagen beschrieben, zwei Armaturen von der Warte aus zu öffnen. Um das Filter wieder in Betrieb zu nehmen, muss nach erfolgtem Druckaufbau vor Ort noch eine weitere Armatur geöffnet werden. Für diese Aufgabe erteilt der verantwortliche Operateur einen mündlichen Auftrag an einen Mitarbeiter. Wesentlich ist, dass die Reihenfolge eingehalten wird, d.h. erst muss der Druckaufbau abgeschlossen sein, dann darf die Armatur vor Ort geöffnet werden. Beim Ereigniseintritt hat der Mitarbeiter die vor Ort Armatur zu früh geöffnet. Die nun auftretende starke Strömung in der Rohrleitung führte zum Ansprechen der Leckerkennung für dieses System und zur Auslösung von Reaktorschutzsignalen. Damit ist das Ereignis meldepflichtig.

Die Stichprobe charakterisiert einen Fehler bei der Ausführung einer Handlung, der auf einen kognitiven Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung zurückgeht. Die vor Ort Armatur wurde zu früh geöffnet, und damit die technisch erforderliche Reihenfolge der Handlungsschritte nicht eingehalten. Wesentlicher fehlerfördernder Faktor war eine hinsichtlich der Randbedingung „Druckaufbau abwarten“ unpräzise mündliche Anweisung des verantwortlichen Operateurs an seinen Mitarbeiter, die von diesem falsch interpretiert wurde.

Nach dem Ereignis wurden Schulungsmaßnahmen (u. a. Mindestumfang von mündlichen Anweisungen) und eine Reihe von technischen Verbesserungen durchgeführt. Die Stichprobe für den Fehler „Mündliche Anweisung falsch erinnert/vor Ort Armatur zu früh geöffnet“ umfasst etwa 490 vergleichbare Arbeitsvorgänge über einen Zeitraum von etwas mehr als 22 Jahre. Damit ergibt sich ein Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit unter den genannten Randbedingungen zu $P_{EW} = 3 \cdot 10^{-3}$. Für den aufgetretenen Fehler (zu frühes Öffnen einer vor Ort Armatur, mündliche Anweisung falsch

interpretiert) werden in THERP keine direkt verwendbaren Daten vorgeschlagen. Tabelle 8 befasst sich mit Fehlern beim Erinnern an den Inhalt von mündlich erteilten Anweisungen, (Fehlerart „Anweisung nicht erinnert“).

4.2.2.3 Stichprobe S46 „Reaktorschnellabschaltung nach Absinken des Wasserdrucks im Schnellabschaltsystem“

Die pneumatischen Entlastungsventile zur Auslösung der Reaktorschnellabschaltung sind alle 6 Wochen zu prüfen. Im Anforderungsfall müssen mindestens 2 der 3 redundanten Schnellabschaltsignale gleichzeitig angeregt werden, um die Schnellabschaltung auszulösen. Zur Prüfung werden die Signale zeitlich versetzt nacheinander simuliert. Dadurch kommt es nicht zur Schnellabschaltung. Bei der Simulation in zwei der drei Redundanzen geht jedoch ein Teil der Druckluft in den Steuerleitungen verloren, die vom Steuerluftsystem ergänzt werden muss. Erfahrungsgemäß muss hierzu etwa 30 Sekunden gewartet werden. Wird die nächste Redundanz zu früh geprüft, so kann, wie im Ereignis geschehen, der Steuerluftdruck so weit abfallen, dass die Schnellöffnungsventile nicht mehr dicht geschlossen sind. Wasser aus den unter hohem Druck stehenden Schnellabschalt-Wassertanks geht verloren. Der Druck sinkt unter den zulässigen Wert ab und das Reaktorschutzsystem löst die meldepflichtige Schnellabschaltung aus.

Nach dem Ereignis wurden eine Reihe von Verbesserungsmaßnahmen (Schlitzmeldung „Steuerluftdruck tief“ am Arbeitsplatz, Ergänzung der Anweisungen, diese Meldung vor der Simulation zu kontrollieren), durchgeführt, so dass der Stichprobe eine Beobachtungszeit von etwa 7 Jahren und 7 Monaten zugrunde liegt. Der Fehler kann je Prüfung einmal auftreten (Wechsel zwischen den Redundanzen, bei denen es zum Abblasen von Steuerluft kommt). Die erforderliche Wartezeit ist Teil des Erfahrungswissens des Prüfungsdurchführenden. Da die Aufgabe von einem größeren Personenkreis durchgeführt wird, muss davon ausgegangen werden, dass sich ein Prüfungsdurchführender eher selten an dieses Prüfungsdetail zu erinnern hat. (Prüfintervall 6 Wochen).

Die Stichprobe charakterisiert einen Ausführungsfehler (Prüftaste zu früh betätigt), der auf einen Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung (Teilschritt „Warten“ nicht erinnert) zurückzuführen ist. Fehlerfördernd hat sich ausgewirkt, dass die Aufgabe eher

selten durchzuführen ist. Bei etwa 66 Gelegenheiten für diesen Fehler folgt ein Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 2,2 \cdot 10^{-2}$.

In den Datentabellen der Methode THERP wird für das Vergessen eines zu erinnernden Prozedurschrittes in Abhängigkeit von der Häufigkeit seiner Ausführung ein Wertebereich von $1,6 \cdot 10^{-2}$ bis $8 \cdot 10^{-2}$ vorgeschlagen (vgl. Tabelle 7, item 5).

4.2.2.4 Stichprobe S47 „Fehlerhaftes Abschalten eines 380V/220V Wechselrichters“

Um bei der Prüfung eines statischen Wechselrichters die Versorgung der zugeordneten 380 V-Wechselstromschiene zu gewährleisten, wird der Reservewechselrichter auf diese 380 V-Schiene geschaltet (übernimmt die redundanzzugehörige Versorgung). Bei den erforderlichen Schalthandlungen ist u. a. auch der Verbindungsschalter des Reservewechselrichters zur zuletzt geprüften Redundanz zu öffnen. Das Öffnen erfolgt über eine Kommandotaste am Schaltanlageneinschub. Bei dem der Stichprobe zugrundeliegenden Ereignis wurde versehentlich der Verbindungsschalter des Wechselrichters der zuletzt geprüften Redundanz geöffnet. Damit fiel die von diesem Wechselrichter versorgte 380 V-Schiene aus. Der Ausfall ist meldepflichtig.

Zu betätigender und versehentlich betätigter Schalter befinden sich in zwei verschiedenen Räumen. Der Handlungsausführende merkt sich das im Rahmen einer mündlichen Beauftragung genannte Anlagenkennzeichen des Schalters und führt dann die Handlung am Schaltschrank vor Ort aus. Die Stichprobe charakterisiert einen Ausführungsfehler aufgrund kognitiver Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung (falsch erinnert bei mündlicher Beauftragung). Die Zeitspanne zwischen Merken und Handeln ist kurz. Die Kennzeichnung und die Schaltgeräte weisen jedoch Ähnlichkeiten auf. Die Prüfung erfolgt jährlich in 4 Redundanzen. Da keine Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt wurden, sind im Beobachtungszeitraum von 27 Jahren insgesamt 108 Gelegenheiten für diesen Fehler anzusetzen. Daraus ergibt sich eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 1,4 \cdot 10^{-2}$

Zur Fehlerart „mündliche Anweisung falsch erinnert“, werden in THERP keine Daten vorgeschlagen (vgl. auch Kapitel 4.2.2.2).

4.2.2.5 Stichprobe S48 „Unterbrechung der automatischen Dieselanregung im Rahmen einer wiederkehrenden Prüfung bei Anlagenstillstand“

In der vom Ereignis betroffenen Anlage sind die Funktion und Einstellung der Grenzwertgeber und Vergleicher des Reaktorschutzsystems während der Anlagenrevision zu prüfen. Die Prüfungen erfolgten durch Fachpersonal einer Fremdfirma. Die Prüfdokumentation, bestehend aus Arbeitserlaubnis und Prüfungsanweisung sah vor, Stecker für die Ausgangssignale der Reaktorschutzschränke abzuziehen (als Prüfvorbereitung bezeichnet), alle Grenzsinalgeber und Vergleicher zu prüfen und dann die Stecker wieder anzuschließen.

Bei der Durchführung der Prüfung wurden in der ersten zu prüfenden Redundanz zunächst alle Signalstecker abgezogen und mit der Baugruppenprüfung begonnen. Der Prüfungsdurchführende beschloss im Verlauf der Prüfung, die Prüfung in dieser Redundanz zu unterbrechen, da er wusste, dass die Baugruppen zur Überwachung der Notstromversorgung in diesem Anlagenzustand nicht geprüft werden dürfen. Er setzte die Arbeiten nun, ohne die Signalstecker wieder anzuschließen (Handlungsfehler), in gleicher Weise in den anderen drei Redundanzen fort. In der Folge waren somit die Signalausgangsstecker in allen Redundanzen abgezogen. Über einige dieser Stecker werden auch die Reaktorschutzsignale zur Sicherstellung einer Notstromversorgung im Notstromfall geführt. Ein Teil der Notstromversorgung muss bei Anlagenrevision immer für eine Reaktorschutzanregung verfügbar gehalten werden. Als Folge der Prüfarbeiten waren jedoch die Funktionen des Reaktorschutzsystems für alle 8 Notstromdiesel unwirksam. Die Unverfügbarkeit der Reaktorschutzsignale wurde bei einer Kontrolle etwa 15 Stunden später bemerkt und behoben. Das Vorkommnis ist meldepflichtig.

Die Stichprobe ist charakteristisch für einen Fehler bei der Handlungsausführung, für den ein kognitiver Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung ursächlich ist. Gravierende ergonomische Defizite hinsichtlich der Bereitstellung und Verfügbarkeit prüfrelevanter Information haben sich fehlerfördernd ausgewirkt:

- Die im Schritt „Prüfvorbereitung“ aufgeführten Signalstecker dürfen nur gezogen werden, wenn der Anlagenzustand dies erlaubt. Hinweise und Vorgaben hierzu waren weder in der Prüfanweisung noch im Arbeitserlaubnisschein aufgeführt.
- Nicht niedergeschriebene tätigkeitsrelevante Informationen müssen erinnert werden (Fachkunde). Die Prüfung wird allerdings nur jährlich und auch erst zum zweiten Mal nach Übergabe der Anlage ausgeführt (selten auszuführende Tätigkeit,

praktische Erfahrungen noch gering. Der Prüfungsverantwortliche konnte sich nur daran erinnern, dass die für die Bildung der Notstromstartsignale erforderlichen Baugruppen nicht geprüft werden dürfen. Dass mit dem Ziehen aller Stecker die Startsignale unwirksam sind, war ihm nicht bewusst.

- Störmeldungen werden zu Sammelmeldungen zusammengefasst, die auch durch prüfbedingte, geplante Handlungen angeregt werden. Das Störmeldekonzep ist nur noch eingeschränkt wirksam.

Nach dem Ereignis wurde eine Reihe von Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt, so dass die Stichprobe nur zwei Gelegenheiten für diesen Fehler aufweist. Daraus ergibt sich eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 0,5$. Die Datentabellen der Methode THERP enthalten keine Werte für Ausführungsfehler, die durch vergleichbar ungünstig gestaltete Faktoren gefördert werden.

4.2.2.6 Stichprobe S49 „Reaktorschnellabschaltung über zu hohen Frischdampfdruck beim Abfahren der Anlage aus dem Streckbetrieb“

Beim Abfahren am Ende eines Zyklus aus der Streckbetriebsphase sind in der von diesem Ereignis betroffenen Anlage ein große Zahl von Schalthandlungen in der Warte sowie auch eine Vielzahl von Grenzwertverstellungen vor Ort an den Steuerschränken vorzunehmen. Grundlage hierfür sind die Anweisungen des Betriebshandbuches „Fahren der Anlage im Streckbetrieb“. Im Zuge der erforderlichen Prozesseingriffe hat der für die Sekundärseite zuständige Operateur fälschlicherweise das Anfahrprogramm für die Sollwertführung der Frischdampfdruckregelung zugeschaltet. Die Handlung ist für diesen Betriebszustand der Anlage nicht vorgesehen. Die Automatik veranlasste daraufhin ein Hochfahren des Frischdampfdrucks. Nach dem Überschreiten des bereits herabgesetzten Ansprechwertes „Frischdampfdruck hoch“ des Reaktorschutzes wurde automatisch die meldepflichtige Schnellabschaltung ausgelöst.

Die Stichprobe charakterisiert das Auftreten einer ungeplanten Teilhandlung. Aufgrund eines kognitiven Fehlers bei der Generierung der Aufgabenstellung wurde eine zusätzliche, schädliche wirkende Handlung ausgeführt. Das Nachfahren der Frischdampfdruckkennlinien erfolgt automatisch über die in diesem Betriebszustand von Hand vorzunehmenden Sollwertkorrekturen. Eine zusätzliche automatische Einrichtung darf nicht zugeschaltet werden. Fehlerfördernd haben sich mehrere Faktoren ausgewirkt:

- Das Betriebshandbuch enthält an dieser Stelle eine Zusatzinformation, die auch als Schaltanweisung interpretiert werden kann („FDU-Anfahrtsollwert, FD-Minimaldruckregelung nachführen, FD-Minimaldruckregelung wird automatisch nachgeführt).
- Der Zusammenhang zwischen „von Hand vorzunehmenden Sollwertkorrekturen“ und „Nachführen der Kennlinien“ ist Bestandteil des Fachwissens und muss erinnert werden. Die Aufgabe ist allerdings nur selten (Abfahren am Zyklusende) auszuführen.
- Die in dieser Betriebsphase vorhandene hohe Aufgabenbelastung verursacht ein zumindest moderat erhöhtes Stressniveau.

Nach dem Ereignis wurde ein zusätzlicher Hinweis in das Betriebshandbuch eingefügt, der die technischen Zusammenhänge genauer beschreibt. Die Stichprobe setzt sich damit aus insgesamt 7 Gelegenheiten für diesen Fehler zusammen. Daraus folgt eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 1,9 \cdot 10^{-1}$. Eine Reihe von Faktoren hat sich fehlerfördernd ausgewirkt (erhöhter Stress, lange zurückliegendes muss erinnert werden, BHB-Anweisungen sind ungenau formuliert). Die Datentabellen der Methode THERP enthalten keine Wahrscheinlichkeiten für die Ausführung von zusätzlichen, schädlich wirkenden Handlungen, die auf kognitive Fehler bei der Generierung der ‚Aufgabenstellung beruhen.

4.2.2.7 Stichprobe S50 „Fehlfahren von zwei Steuerstäben aufgrund ver- tauschter Leistungs- und Rückmeldekabel der Antriebe“

Im Rahmen einer wiederkehrenden Prüfung zur Kontrolle der Einschießzeiten von Steuerstäben des Reaktorschnellabschaltssystem wurde festgestellt, dass nach dem hydraulischen Einschießen eines Steuerstabes die elektromotorische Betätigung (der sogenannte automatische „Mutternachlauf“) eines anderen nicht geprüften Stabes angeregt wurde. Wie die technische Klärung ergab, waren insgesamt 2 Elektromotoren inklusive ihrer Leistungs- und Steuerkabel an die falschen Steuerstäbe montiert.

Die Elektroantriebe der Steuerstäbe werden während der Anlagenrevision im Zuge von Instandhaltungsmaßnahmen de- und remontiert. Eine Auswertung der Anlagendokumentation ergab, dass im Mittel 6 Elektroantriebe je Revision ab und wieder angebaut werden. Die Stichprobe charakterisiert einen Ausführungsfehler, der auf einen kogniti-

ven Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung zurückzuführen ist. Beim Rückbau muss das korrekte Handlungsziel, d.h. der zu einem Elektromotor gehörende Steuerstab, identifiziert werden. Die Steuerstabpositionen sind durch numerische Koordinaten gekennzeichnet (z. B. „46-51“). Die Kennzeichnung ist nur am Elektromotor und nicht auch am zugehörigen Steuerstab angebracht. Beim Rückbau muss der Handlungsführende (erfahrener Mitarbeiter einer Fremdfirma) den korrekten Steuerstab durch folgende Vorgehensweise identifizieren

- Kontrolle und Merken des Positionskennzeichens auf dem Elektromotor.
- Kontrolle der Leerpositionskoordinaten, ausgehend von der erinnerten Koordinatensystematik und den beobachteten Kennzeichen.
- Abgleich des Überlegungsergebnisses mit der Kennzeichnung des einzubauenden Motors.

Die ergonomischen Randbedingungen zum Identifizieren des korrekten Steuerstabes sind als fehlerfördernd zu werten. Die vorgesehene Funktionsprüfung am Ende der Instandhaltungsarbeiten war nicht geeignet um die Vertauschung zu erkennen. Der Betreiber verbesserte nach dem Ergebnis sein Prüfverfahren (Einzelüberprüfung nach Instandhaltung) und kennzeichnete die Steuerstabkernpositionen an den Spindelsperren der Steuerstäbe, die bei diesen Arbeiten nicht demontiert werden. Die Stichprobe umfasst somit einen Zeitraum von 20 Jahren mit insgesamt 120 Gelegenheiten für den beschriebenen Fehler, der insgesamt zweimal aufgetreten ist. Unter den sehr ungünstigen ergonomischen Randbedingungen ergibt sich daraus eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 2 \cdot 10^{-2}$. Die Datentabellen der Methode THERP enthalten keine Werte zu Ausführungsfehlern dieser Art.

4.2.2.8 Stichprobe S51 „RESA-Auslösung über Dampferzeugerniveau < MIN“

In der Anlage, in der das Ereignis auftrat, sind die vier Redundanzen des Notspeisezuschaltsignals in einem Zyklus von vier Wochen zu prüfen. Jede Woche ist eine andere Redundanz zu prüfen. Durch drei dieser Signale wird jeweils auch einer der drei Hauptspeisewasserpumpen-Druckschieber geschlossen.

Im Leistungsbetrieb werden die Dampferzeuger mit 2 der 3 Hauptspeisewasserpumpen bespeist. Ist einer dieser beiden Stränge von der Prüfung betroffen, muss vor der Prüfung auf den Reservestrang umgeschaltet werden. Nach der Prüfung ist der vorher-

rige Betriebszustand wieder herzustellen, d.h. u. a. sind der Druckschieber des von der Prüfung betroffenen Strangs wieder zu öffnen und der Druckschieber des Reservestrangs zu schließen. Vertauscht der Reaktorfahrer die Reihenfolge dieser beiden Rückschaltsschritte, wie im Ereignis geschehen, so sinkt die geförderte Speisewassermenge und damit die Füllstände in den Dampferzeugern schnell auf den Auslösegrenzwert für die meldepflichtige Reaktorschnellabschaltung ab.

Die Stichprobe ist charakteristisch für einen Ausführungsfehler im Zuge einer häufig ausgeführten, in einer Prozedur beschriebenen Handlung. Fehlerfördernd wirkte sich aus, dass die vertauschten Teilhandlungen in der Arbeitsunterlage in umgekehrter Reihenfolge aufgelistet sind (d.h. Kompensation dieses Mangels durch erinnertes Fachwissen). Nach dem Ereignis wurde der Teilschritt „Öffnen des Druckschiebers des zu prüfenden Strangs“ in den vorangehenden Prozedurschritt verlegt.

Die Stichprobe umfasst ca. 1200 Gelegenheiten für diesen Ausführungsfehler, der einmal aufgetreten ist. Hierbei wurde berücksichtigt, dass der Fehler nur bei zwei der insgesamt 4 Signalprüfungen auftreten und zur Meldepflicht führen kann und die Prüfung in der Nachbaranlage identisch ist. Aufgrund der Stichprobenparameter ergibt sich eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 1,2 \cdot 10^{-3}$. Für das Vertauschen der Abarbeitungsreihenfolge von in Prozeduren beschriebenen, häufig geübten Teilhandlungen (ergonomisch ungünstige Darstellung durch Fachwissen kompensiert) werden in der Methode THERP keine Daten vorgeschlagen.

4.2.2.9 Stichprobe S52 „Vertauschen von Wirkdruckleitungen“

Während einer in zwei Phasen durchgeführten Änderungsmaßnahme (Phase 1 – Block 1, Phase 2 – Block 2 der Doppelblockanlage) wurden insgesamt 156 Messumformer des Reaktorschutzsystems durch neue Geräte ersetzt. Zusätzlich wurden neue, erdbebensicher ausgeführte Tragegestelle montiert.

Im Zuge der Montagearbeiten sind die Messumformer mit dem Ventilblock zu verbinden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Zuordnung der beiden vom Prozess kommenden Wirkdruckleitungen zu den Eingängen des Messumformers korrekt ist. In einem Fall erfolgte die Zuordnung fehlerhaft. Der Fehler wurde beim Abfahren der Anlage über Störmeldungen der Vergleicherbaugruppen des Reaktorschutzsystems bemerkt, da der fehlerhafte Messwert erheblich von den redundanten Messwerten abwich.

Die Stichprobe charakterisiert eine Routinehandlung, bei der ein Ausführungsfehler aufgetreten ist. Das Vorgehen beruht auf der Fachkunde des Monteurs (Planunterlage und Anschlussanleitung prüfen, Zuordnung merken, anschließen). Gestaltungsmerkmale, die der fehlerhaften Handlungsausführung entgegenwirken (u. a. Farb- oder Formkodierung, Beschriftung) waren nicht vorhanden. Weitere, den Fehler begünstigende Faktoren lagen nicht vor. Die Stichprobe umfasst 156 Gelegenheiten für den Ausführungsfehler, der einmal auftrat. Daraus ergibt sich eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 9,5 \cdot 10^{-3}$. Für Ausführungsfehler bei erinnertem, auf Fachwissen beruhendem Vorgehen werden in der Methode THERP keine Daten vorgeschlagen.

4.2.2.10 Stichprobe S53 „Ausfall der Spannungsversorgung einer Notstromschiene“

In der Anlage, aus der das der Stichprobe zugrundeliegende meldepflichtige Ereignis stammt, sind in einem Zyklus von 4 Wochen die Notstromsignale des Reaktorschutzsystems und die von ihnen veranlassten technischen Maßnahmen (u. a. Abtrennung zu prüfender 10 kV-Notstromschiene vom Eigenbedarfsnetz, Start und Zuschaltung des redundanzzugehörigen Notstromdiesels) zu prüfen. Nach erfolgreicher Prüfung ist eine Prüfrückstellung vorzunehmen. U. a. ist vor Ort am Leitstand des Dieselaggregats eine Rückschaltung der Notstromschiene auf Versorgung vom Eigenbedarfsnetz der Anlage vorzunehmen. Der Elektriker erhält hierzu einen mündlich erteilten Auftrag vom Prüfungsdurchführenden in der Warte. Er hat hierzu am Leitstand die Taste „Rückschaltung“ zu betätigen. Die Notstromschiene wird dann automatisch mit der Eigenbedarfsanlage verbunden. Danach wird das Dieselaggregat abgeschaltet.

Bei dem aufgetretenen Ereignis interpretierte der Elektriker die Anweisung falsch. Er war der Auffassung, dass nur das Dieselaggregat von Hand abzuschalten ist (Taste „Abstellen“ am örtlichen Leitstand). Durch das Abstellen des Diesels ohne vorangehendes Verbinden mit der Eigenbedarfsanlage wurde die Notstromschiene spannungslos. Der Vorgang ist meldepflichtig.

Die Stichprobe ist charakteristisch für einen Ausführungsfehler im Zuge einer häufig ausgeführten Tätigkeit, der auf einer falschen Aufgabenstellung beruht (fehlerhafte Interpretation einer mündlich erteilten Aufgabenstellung). Fehlerfördernd wirkte sich aus, dass für die korrekte und die fehlerhaft ausgeführte Maßnahme ähnliche Begriffe verwendet wurden (Rückschalten Notstromdiesel vom Leitstand).

Die Stichprobe umfasst 1248 Gelegenheiten für diesen Fehler, der einmal auftrat. Daraus folgt eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 1,2 \cdot 10^{-3}$. Die Methode THERP enthält Daten zu Auslassungsfehlern, die auf das „nicht erinnern“ von mündlich erteilten Anweisungen beruhen (Tabelle 20-8). Daten zu Ausführungsfehlern, die auf der Fehlerinterpretation mündlicher Anweisungen beruhen, werden nicht vorgeschlagen.

4.2.2.11 Stichprobe S54 „Durchdringungsabschluss der Frischdampfleitungen durch schnelle Druckabsenkung RDB“

Der Reaktor der von diesem Ereignis betroffenen Anlage wurde zur Durchführung einer Reparaturmaßnahme abgefahren. Der Abfahrvorgang sollte auch zur wiederkehrenden Prüfung der Reaktorschnellabschaltung genutzt werden. Um beide Ziele zu erreichen, wurde die RESA bei etwa 40 % Reaktorleistung über die zuvor durchgeführte Turbinenschnellabschaltung ausgelöst. In der Folge fiel der Reaktor so schnell ab, dass das Reaktorschutzsystem den Durchdringungsabschluss der Frischdampfleitungen anregte.

Die wiederkehrende Prüfung der RESA ist erstmalig in diesem Anlagenzustand durchgeführt worden. Im Zuge der Vorbereitung der Maßnahme wurde bereits erkannt, dass der Reaktordruck schnell absinken würde. Um dem Druckabfall entgegenzuwirken, nahm das Personal in Anlehnung an die BHB-Vorgaben bzgl. einer Reaktorleistung von ca. 5% die Stützdampfregelventile auf Handbetrieb und schloss sie weitgehend (aber nicht vollständig, wie dort für Reaktorleistung ca. 5% angewiesen). Die Maßnahme war jedoch nicht ausreichend. Ein unzulässiger Druckabfall wäre nur bei vollständig geschlossenen Stützdampfventilen zu verhindern gewesen.

Die Handlung ist charakteristisch für wissensbasiertes Vorgehen in neuartigen Situationen. U. a. werden bekannte Vorgehensweisen (Schließen der Stützdampfregelventile bei Reaktorleistung 5% auf den aktuellen Kontext übertragen (weitestgehend Zufahren bei Reaktorleistung ca. 40%). Fehlerfördernd hat sich ausgewirkt, dass die thermohydraulischen Zusammenhänge zu komplex sind, um ohne detaillierte Analysen die korrekte Problemlösung herauszuarbeiten (d.h. vorab vollständiges Schließen der Regelventile). Nach dem Ereignis wurde beschlossen, die wiederkehrende RESA Prüfung nicht mehr in diesem Anlagenzustand durchzuführen.

Aufgrund der spezifischen, sich nicht mehr wiederholenden Prüfungssituation umfasst die Stichprobe nur eine Gelegenheit für das Auftreten des Fehlers. Die quantitative Auswertung kann somit nicht abschließend sein.

Ziel ist es in solchen Fällen die Anzahl der Stichproben mit vergleichbar ungünstigen Faktoren weiter zu erhöhen, um durch die den Stichprobenumfang und damit die Auswertungsbasis zu verbreitern. Auf der Grundlage dieser Stichprobe ergibt sich eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 7,5 \cdot 10^{-1}$. In den Datentabellen der Methode THERP fehlen Daten zu fehlerhaft ausgeführten wissensbasierten Handlungen, die unter vergleichbar ungünstigen Randbedingungen (komplexe physikalische Zusammenhänge sind einzuschätzen) auftreten können.

4.2.2.12 Stichprobe S55 „Öffnen der Längskupplung zwischen 10 kV Normalnetz und 10 kV Notstromnetz in der Redundanz 3“

Zum Funktionsnachweis der Aggregateschutzkriterien des Notstromdieselaggregats ist auch das Schutzkriterium „Überstrom“ zu prüfen. Entsprechend Prüfanweisung ist hierzu das Prüfgerät an die Prüfbuchsen vor Ort am Schaltschrank anzuschließen. Im unteren Teil des Schaltschranks befinden sich noch weitere baugleiche Anschlussbuchsen. Wird das Prüfgerät daran angeschlossen, wie im zugrundeliegenden meldepflichtigen Ereignis geschehen, so wird ein Fehlsignal in die Leittechnik eingespeist, das die Verbindung zwischen Eigenbedarf- und Notstromnetz öffnet. Die Spannung an der betroffenen Notstromschiene fällt aus und das Reaktorschutzsystem startet das redundanzzugeordnete Notstromaggregat.

Die Stichprobe ist charakteristisch für den Handlungstyp „Anschluss von Steckern an Steuerschrankbuchsen“ und die Fehlerart „Ausführungsfehler, da Aufgabenstellung falsch erinnert wurde“. Fehlerfördernd wirkte sich aus, dass die Kennzeichnungen der fehlerhaft verwendeten Anschlussbuchsen mit der Vorgabe in der Prüfanweisung übereinstimmten. Die tatsächlich zu benutzenden Buchsen sind davon abweichend gekennzeichnet. Der Prüfungsausführende muss sich an diese fehlerfördernde Besonderheit erinnern (Fachkunde).

Die Stichprobe umfasst 112 Gelegenheiten für diesen Fehler. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass jährlich 8 Dieselaggregate zu prüfen sind und vor jeder Einzelprüfung die Aufgabenstellung einmal korrekt zu generieren ist. Damit ergibt sich der Erwartungswert für die Fehlerwahrscheinlichkeit zu $P_{EW} = 1,3 \cdot 10^{-2}$. Für den Handlungstyp und der

dabei aufgetretenen Fehlerart (Ausführungsfehler, da Aufgabenstellung fehlerhaft generiert wurde) werden in THERP keine Daten vorgeschlagen.

4.2.2.13 Stichprobe S56 „Falsche Einstellungen an Gehäusebruchsicherungen“

Gebäudebruchsicherungen haben die Aufgabe, Armaturen vor zu hohem Innendruck zu schützen. Die Einstellung des Ansprechdrucks erfolgt im ausgebauten Zustand auf dem Prüfstand. Vor dem Ereignis wurde der Ansprechdruck mit Druckluft eingestellt. Um den Hubbeginn des Sicherheitsventils zu erkennen, trägt der Prüfungsdurchführende auf der Austrittsseite ein schaubildendes Medium auf. Aus der Blasenbildung konnte auf den Übertritt von Luft und damit auf das Öffnen geschlossen werden. Beim Übergang auf ein neues Prüfverfahren (Prüfmedium Deionat und nicht mehr Luft) wurde festgestellt, dass die Ansprechdrücke von 37 der insgesamt 198 vorhandenen Gehäusebruchsicherungen falsch eingestellt waren.

Die Stichprobe charakterisiert einen Ausführungsfehler beim Einstellen eines Sicherheitsventils. Der Fehler geht auf eine falsche Interpretation der Blasenbildung zurück. Blasen entstehen, wenn das Ventil sich zu öffnen beginnt. Sie entstehen aber auch, wenn die Schließkraftreserve zurückgeht und das Ventil undicht wird, aber noch nicht öffnet. Der Einstellvorgang ist aus Arbeitsschutzgründen wegen des hohen Prüfdrucks nicht unproblematisch (d.h. ein Öffnen ist möglichst zu vermeiden). Die verfügbare Information zur Kontrolle des Einstellvorgangs ist aus ergonomischer Sicht als sehr ungünstig einzuschätzen (unklarer Zusammenhang Blase, Hubbeginn, mögliche Gefahren beim Öffnen).

Die Stichprobe umfasst 198 Gelegenheiten für einen Einstellfehler, der dann 37-mal auftrat. Damit ergibt sich für den Ausführungsfehler eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $1,9 \cdot 10^{-1}$.

In der Methode THERP werden in den Tabellen 10 und 11 Daten für das Fehlinterpretieren visuell wahrgenommener Informationen vorgeschlagen. Die Daten beziehen sich allerdings auf die Nutzung von Anzeigeelementen. Sie zeigen jedoch, dass bei ungünstigen ergonomischen Randbedingungen mit Fehlerwahrscheinlichkeiten zu rechnen ist, die in der gleichen Größenordnung wie die oben ermittelte liegen.

4.2.2.14 Stichprobe S57 „Ausfall eines rotierenden Umformers“

Nach Abschluss der Wartungsarbeiten an einem rotierenden Umformer ist zunächst die Betriebsbereitschaft des Leistungsschalters, der den Umformer mit der unterbrechungslos versorgten 380 V Drehstromschiene verbindet, herzustellen. Danach ist der Umformer zu starten, mit der Drehstromschiene zu synchronisieren und der Leistungsschalter ist einzuschalten. Die Herstellung der Betriebsbereitschaft umfasst nur wenige Schalthandlungen (Steuerkopf ausschalten, Schaltgerät einfahren, Steuerkopf einschalten). Wird in diesem Zusammenhang der Schalter auch eingeschaltet, wie in dem dieser Stichprobe zugrundeliegenden Ereignis geschehen, so läuft der Umformer im Motorbetrieb). Der hohe Laststrom bewirkt ein Ansprechen der Schutzeinrichtungen der Drehstromschiene. Dadurch öffnen alle Einspeiseschalter der Schiene. Der Ausfall der Schiene ist meldepflichtig.

Die Stichprobe charakterisiert einen Fehler bei der Ausführung einer Handlung, der auf einem kognitiven Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung zurückgeht. Der Operateur hat eine Teilhandlung ausgeführt, die in diesem Zusammenhang nicht ausgeführt werden darf (vgl. auch Stichprobe 44). Die Details der Aufgabenstellung „Betriebsbereitschaft herstellen“ wurden falsch erinnert und um eine schädlich wirkende unzulässige Teilhandlung ergänzt. Fehlerfördernd wirkt sich aus, dass die Aufgabe eher selten auszuführen ist und die Vorgabe „Betriebsbereitschaft herstellen“ mit dem Handlungsziel „Schalter einschalten“ interpretiert werden kann.

Eine Auswertung der Anlagendokumentation führte zu 148 Gelegenheiten für den beschriebenen Fehler (37 Wartungsvorgänge an 4 Umformern). Damit ergibt sich der Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit zu $P_{EW} = 1 \cdot 10^{-2}$. Für den aufgetretenen Fehler (ausführen einer zusätzlichen, ungeplanten Handlung aufgrund einer falschen Interpretation der Aufgabenstellung) werden in THERP keine Daten vorgeschlagen.

4.2.2.15 Stichprobe S63 „Fehleinstellung des Überlastschutzes von Motoren mit mehr als 300 KW Leistung“

In der Anlage, aus der diese Stichprobe stammt, sind insgesamt 58 Schutzeinrichtungen eines bestimmten Herstellers vorhanden, mit denen Elektromotoren mit mehr als 300 KW Leistung vor Überlast geschützt werden. Die Einstellwerte sind in einem vierjährigen Zyklus (pro Jahr eine von vier Redundanzen) zu überprüfen. Im Rahmen einer

Sonderprüfung wurde festgestellt, dass alle Schutzeinrichtungen falsch eingestellt waren.

Ursächlich hierfür war eine fehlende Information in der Prüfanweisung. Bei einer einphasig durchgeführten Prüfung, wie sie in diesem Kraftwerk realisiert ist, ist bei der Einstellung noch ein Korrekturfaktor zu berücksichtigen. Die Kenntnis dieses Korrekturfaktors gehört nicht zur Fachkunde des tätigen Personals.

Die Stichprobe charakterisiert einen Ausführungsfehler, der auf Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung zurückzuführen ist. Die Randbedingungen sind hierbei extrem ungünstig, da die erforderliche Korrektur weder in der Prüfanweisung beschrieben, noch Bestandteil des Fachwissens der Prüfungsdurchführenden ist. Insgesamt wurden ca. 261 Einstellungen vorgenommen, die alle fehlerhaft waren. Bei einer fehlerhaften Aufgabenstellung (Wissen nicht vorhanden, d.h. weder Fachwissen, noch schriftliche Unterlage noch entsprechende Reaktionen des Handlungsobjektes) wird der Fehler so oft reproduziert, bis er durch einen anderen Vorgang mit neuen Vorgaben entdeckbar wird. Das Ergebnis dieser Stichprobe ($P_{EW} \approx 1$) ist somit trivial. Die Stichprobe zeigt auf, welche Wirkungsbreite Fehlerursachen im Bereich der Aufgabenstellung entfalten können.

4.2.3 Auslassungsfehler

Vor der Ausführung einer regelbasierten Handlung ist es erforderlich, sich der dieser Handlung zugrundeliegenden Aufgabenstellung bewusst zu werden. Solche Aufgabenstellungen können im Gedächtnis gespeichert sein und müssen in der konkreten Handlungssituation erinnert werden oder werden von außen an den Handelnden herangebracht (Inhalt einer schriftlichen Unterlage, Kommunikation). Gedächtnisfehler (sowohl Kurzzeit- als auch Langzeitgedächtnis), Kommunikationsfehler (nicht oder falsch verstanden) und Fehler beim Lesen und Verstehen schriftlicher Unterlagen sind wichtige Gründe für das Auslassen eines Handlungsschrittes oder einer ganzen Aufgabe. Zu Auslassungsfehlern und den dargestellten Ursachen liegen folgende über SR2568 hinausgehende Stichproben vor.

4.2.3.1 Stichprobe S58 „RESA durch Anforderung des TJ-Systems bei einer WKP im Reaktorschutz“

Beim Prüfen der Funktion von Grenzsinalgeberkarten ist ein Stecker auf der Frontplatte der Baugruppe von der Steckposition „Betrieb“ auf die Position „Prüfen“ umzustecken. Hierdurch kommt es zur einkanaligen Anregung des Grenzwertes. Zur Grenzwertauslösung und damit zur Auslösung von Reaktorschutzsignalen kommt es erst, wenn mindestens noch ein zweiter Kanal angeregt wird, d.h. eine von zwei weiteren Karten auslöst (2v3 Bewertung des Auslöseverhaltens von drei gleichartigen Baugruppen). Nach dem Prüfen einer Karte wird der Stecker wieder auf die Position „Betrieb“ zurückgesetzt und mit der Prüfung der nächsten Karte fortgesetzt. Bei dem der Stichprobe zugrundeliegenden Ereignis vergaß der mit der Prüfung beauftragte Mitarbeiter, den Stecker der gerade geprüften Baugruppe auf die Position „Betrieb“ zurückzustecken. Durch das Umsetzen des Steckers der nächsten Baugruppe standen zwei Grenzwertanregungen gleichzeitig an. Es kam zur Auslösung einer Aktion des Reaktorschutzsystems, wodurch das Ereignis meldepflichtig wird.

Die beschriebene Teilhandlung ist hochgeübt und wird gedächtnisgestützt ausgeführt (Erinnern an den Teilschritt „Zurückstecken“ vor dem Beginn der Prüfung der nächsten Baugruppe). Die einem Grenzwertsignal zugeordneten drei Baugruppen sind im Leittechnikschrank vor Ort nebeneinander angeordnet. Somit befinden sich alle drei Baugruppen immer im Blickfeld des Handelnden. Die ergonomischen Randbedingungen bei diesem Prüfschritt sind insgesamt als günstig einzuschätzen. Auch bei Beginn der Arbeiten an der nächsten Baugruppe kann noch erkannt werden, dass der Stecker der zuvor geprüften Baugruppe nicht umgesteckt ist. Die Stichprobe charakterisiert einen Auslassungsfehler bei gedächtnisgestützten, hochgeübten Vorgehen (Teilaufgabe nicht erinnert) unter Randbedingungen, die die Fehlervermeidung begünstigen.

Die Recherchen ergaben, dass bei 4 wiederkehrenden Prüfungen pro Jahr insgesamt 300 Grenzsinalgeber-Baugruppen auf vergleichbare Weise geprüft wurden. Eine meldepflichtige Fehlfunktion liegt vor, wenn bei einer der ersten beiden Baugruppen einer Dreiergruppe der Stecker nicht umgesteckt wurde. Nach dem Ereignis wurden technische und organisatorische Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt, so dass die Stichprobe einen Zeitraum von etwa 19 Jahren umfasst. Hieraus ergeben sich 15 200 Gelegenheiten für den beschriebenen Fehler, der einmal aufgetreten ist. Der Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit beträgt somit $P_{EW} = 1 \cdot 10^{-4}$. Das THERP Handbuch schlägt einen Wert von $1 \cdot 10^{-2}$ für das Vergessen eines häufig geübten

Teilschrittes einer Aufgabe vor. Dieser Wert ist jedoch nicht vergleichbar mit dem Ergebnis der Stichprobe. In der hier vorliegenden Arbeitssituation (drei gleiche Baugruppen im Blickfeld) kann der Handlungsausführende noch selbst erkennen, dass der Teilschritt „umstecken“ noch nicht erfolgt ist (Eigenkontrolle).

4.2.3.2 Stichprobe S59 „Nichtstarten einer Nebenkühlwasserpumpe bei WKP“

Im Zuge der wiederkehrenden Prüfung (WKP) eines Notstromdieselaggregats startete die Steuerungsautomatik auslegungsgemäß die zweite in Bereitschaft stehende Nebenkühlwasserpumpe. Der Prüfungsdurchführende hat am Ende der Prüfung die zweite Pumpe von Hand abzuschalten. Hierzu ist zunächst die Automatik abzuschalten, um danach die Pumpe von Hand abschalten zu können. Am Ende dieser Prüfungsrückstellungsaufgabe ist die Automatik wieder zuzuschalten. Wird die Zuschaltung der Automatik, wie in diesem Ereignis geschehen, unterlassen, so startet die in Bereitschaft stehende Pumpe bei einer Anforderung nicht automatisch. Der meldepflichtige Fehler wurde erst bei der nächsten Prüfung entdeckt.

Die Einzelschritte zur Normalisierung der zweiten Nebenkühlwasserpumpe sind Bestandteil der Fachkunde des Prüfungsdurchführenden und sind vergleichsweise häufig auszuführen (einmal je Woche). Schriftliche Anweisungen wurden erst nach dem Ereignis in die Prüfprozedur eingefügt. Die Stichprobe ist charakteristisch für das Auslassen einer Schalthandlung an einem Leitstand, das auf einen kognitiven Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung zurückzuführen ist (Teilschritt „Einschalten der Automatik“ nicht erinnert). Die Schalthandlungen an der Automatik und an der Pumpe werden über ein Pultbetätigungselement ausgeführt. Die Zustandsmeldelampen für „Pumpe aus“ und „Automatik aus“ sind nebeneinander angeordnet und in Weißlicht ausgeführt. Es besteht die Möglichkeit einer Fehlinterpretation des Meldebildes. Die Randbedingungen zur Fehlervermeidung sind als nicht optimal einzuschätzen.

Die Stichprobe umfasst einen Zeitraum von fast 26 Jahren, so dass sich etwa 1347 Gelegenheiten für diesen einmal aufgetretenen Fehler ergeben. Der Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit beträgt somit $P_{EW} = 1,1 \cdot 10^{-3}$. Das THERP Handbuch schlägt einen Wert von $1 \cdot 10^{-2}$ für das Vergessen eines gut geübten Teilschrittes einer Aufgabe vor. Dieser Wert ist jedoch nicht mit dem Stichprobenergebnis vergleichbar. In der hier vorliegenden Arbeitssituation (Zustandsmeldungen im Blickfeld) kann der Aus-

führende noch erkennen, dass der Teilschritt „Automatik Aus (Zustandsmeldepampe wird dunkel)“ nicht erfolgt ist. Eine Eigenkontrolle ist möglich, auch wenn die ergonomischen Randbedingungen nicht optimal sind.

4.2.3.3 Stichprobe S60 „RESA bei der Generatorprüfung während des Anfahrens der Anlage“

Während des Anfahrens der Anlage nach Revision wird eine Generatorprüfung, die sogenannte „Maschinenfahrt“, durchgeführt, bei der die Übertragungseigenschaften von Messwandlern zu prüfen sind. Im Prüfschritt „Kurzschlussprüfung“ ist u. a. die Verbindung des Stromwandlers für die Differentialschutzeinrichtung mit dem Maschinentransformator zu öffnen. Wird dieser Teilschritt ausgelassen, wie in dem der Stichprobe zugrundeliegenden Ereignis geschehen, so trennt die Schutzeinrichtung den Maschinentransformator während der Prüfungsdurchführung vom Hochspannungsnetz ab. In der Folge fallen alle vier Hauptkühlmittelpumpen aus und die meldepflichtige RESA wird ausgelöst.

Der Schritt „Auftrennen der Stromwandlerverbindung“ ist Teil einer umfangreichen Folge von Teilaufgaben. Er wird in der zu verwendenden Arbeitsunterlage im Rahmen eines Hinweises erwähnt. (Problematik der Präsentation von Schalthandlungen in Hinweisen) und wurde nicht gelesen. Das erfahrene, mit der Prüfungsdurchführung beauftragte externe Fachpersonal geht bei diesem Teilschritt gedächtnisgestützt vor. Die Stichprobe ist charakteristisch für einen Auslassungsfehler bei gedächtnisgestütztem Vorgehen, der durch eine Reihe ungünstiger Faktoren begünstigt wird (vergleichsweise selten durchgeführte Tätigkeit, ungünstig gestaltete Arbeitsunterlage, moderat erhöhter Stress aufgrund des erhöhten Aufgabendrucks kurz vor Übergang in den Leistungsbetrieb).

Aufgrund der Verbesserungsmaßnahmen nach dem Ereignis (u. a. Umgestaltung der Arbeitsunterlage bzgl. der auszuführenden Teilschritte und der Prüfvoraussetzungen) umfasst die Stichprobe einen Zeitraum von 13 Jahren mit insgesamt 13 Prüfungen. Der Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich daraus zu $P_{EW} = 1,1 \cdot 10^{-1}$.

In der Datentabelle 20-7 des THERP Handbuches werden Wahrscheinlichkeiten für das Auslasen einer in Prozeduren beschriebenen Handlungsanweisungen vorgeschlagen. Item (5) schlägt einen Erwartungswert von $P_{EW} = 8 \cdot 10^{-2}$ für den Fall vor, dass gedächtnisgestützt vorgegangen wird. Berücksichtigt man noch den Einfluss von mo-

deratem Stress (Datentabelle 20-16, Item 4a), so ergibt sich mit dem in THERP vorgeschlagenen Daten eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $1,6 \cdot 10^{-1}$. Dieser Wert stimmt vergleichsweise gut mit dem Ergebnis der Stichprobe überein.

4.2.3.4 Stichprobe S61 „Kurzzzeitige Nichtverfügbarkeit eines Notstromdiesels bei WKP“

Im Rahmen der Prüfung einer Redundanz der 24 V Gleichstromanlage steht diese für die Steuerspannungsversorgung des ihr direkt zugeordneten Dieselschranks nicht zur Verfügung. Die Steuerspannungsversorgung erfolgt dann über eine Zweiteinspeisung aus einer anderen Redundanz der 24 V Gleichstromanlage. In der vom Ereignis betroffenen Anlage fanden Umbauarbeiten an der 24 V Gleichstromanlage statt, bei denen die Zuordnung der 24 V Gleichstromschienen zu den Dieselsteuerschränken geändert wurden. Die gerade vom Umbau betroffene Redundanz stand somit weder zu direkten Versorgung des ihr zugeordneten Dieselschranks noch als Zweiteinspeisung für einen anderen Schrank zur Verfügung. Parallel zu diesen Arbeiten wurde mit Prüfungen in den anderen Redundanzen begonnen. Dadurch kam es dazu, dass beide 24 V Gleichstromeinspeisungen eines Dieselsteuerschranks und damit das zugehörige Dieselaggregat unverfügbar wurden. Das Ereignis ist meldepflichtig.

Die Durchführung von Prüfungen ist in der Regel mit Prüfvoraussetzungen verknüpft. Im Zuge der Umbauplanung wurde versäumt, die Prüfarbeiten mit der Bedingung, dass die Zweiteinspeisung verfügbar ist, zu verbinden. Die Prüfanweisungen enthielten keine dementsprechende Vorgabe. Dem Unterlassungsfehler liegt ein kognitiver Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung zugrunde (Notwendigkeit, diese Prüfungsvoraussetzungen an die neuen Gegebenheiten anzupassen nicht erkannt). Sehr fehlerfördernd wirkte sich aus, dass die Prüfanweisungen bereits vor dem Umbau keine Vorgaben zur Kontrolle der Zweitanweisung enthielten.

Der Fehler ist an die Sondersituation des Umbaus gebunden. Die Stichprobe umfasst somit nur eine Gelegenheit für diesen Fehler. Sie ist charakteristisch für eine Planungstätigkeit, bei der Probleme zu lösen sind (welche Tätigkeiten werden von der Prüfungsmaßnahme betroffen und welche Änderungen sind dort vorzunehmen). Solche Handlungen werden auch als wissensbasiert bezeichnet. Die fehlenden Vorgaben in den alten Prüfungsanweisungen haben dem Planungsfehler begünstigt.

Wie bereits bei den Stichproben S24 und S26 und S36 /GRS 10/ ist der Stichprobenumfang zu gering, um zu einer abschließenden Bewertung zu gelangen. Ziel ist es, die Anzahl der Stichproben mit vergleichbaren Tätigkeiten, Fehlern und Einflussfaktoren weiter zu erhöhen, um durch die Anwendung der zweiten Stufe der Methode von Bayes den Stichprobenumfang und damit die Auswertebasis zu verbeitern. Auf der Grundlage dieser Stichprobe ergibt sich eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 7,5 \cdot 10^{-1}$. In den Datentabellen der Methode THERP fehlen Werte zu Auslassungsfehlern bei Planungstätigkeiten, die unter vergleichbar ungünstigen Randbedingungen auftreten können.

4.2.3.5 Stichprobe S62 „RESA-Auslösung wegen fehlender Anfahrüberbrückung“

Zum Zeitpunkt des Ereigniseintritts wurde die Anlage aus dem Betriebszustand „Nulllast heiß“ mit einer Steigerung der thermischen Reaktorleistung von 1%/Minute in den Leistungsbetrieb übergeführt. Bei einer Reaktorleistung von $P_{th} = 10\%$ kam es zur meldepflichtigen RESA Auslösung, da die Anfahrüberbrückung nicht betätigt war.

Entsprechend BHB muss die Anfahrüberbrückung betätigt werden, wenn der Neutronenfluss über 3% steigt (Zustandsmeldung am Pult „Freigabe zur Anfahrüberbrückung“). Aufgrund der aktuellen Verstärkungsfaktoren im Neutronenflussleistungsbe- reich lag das Neutronenflussmesssignal noch unter 3%, obwohl die thermische Reak- torleistung bereits bei 10% war. In dieser Situation hätte das Personal die Entschei- dung treffen müssen, die weitere Leistungssteigerung zu unterbrechen und die erfor- derlichen Maßnahmen zum Abgleich zwischen Neutronenflussmesssignal und Reak- torleistung zu veranlassen. Das BHB enthielt bis zum Ereignis jedoch keine Hinweise, wie in einer solchen Situation vorzugehen ist.

Die Stichprobe ist charakteristisch für eine sogenannte „wissensbasierte Handlung“, d.h. die verfügbaren Vorgaben reichen nicht aus, um die sicherheitstechnisch erforderliche Aufgabenstellung zu generieren. Das Personal muss auf der Grundlage der Er- fahrung das korrekte Vorgehen erarbeiten (hier Anhalten des Anfahrprozesses). Es liegt ein Unterlassungsfehler vor, dem ein kognitiver Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung zugrunde liegt. Fehlerfördernd wirkte sich aus, dass es keinen Hin- weis auf die technische Konsequenz (RESA bei $P_{th} \geq 10\%$ und Anfahrüberbrückung nicht wirksam) gab.

Der Fehler ist an die Sondersituation der aktuellen Kernbeladung gebunden. Die Stichprobe umfasst daher nur eine Gelegenheit für diesen Fehler ($m = 1, n = 1$). Solche Stichproben sind für sich allein betrachtet nur begrenzt aussagefähig (vgl. auch Ausführungen zur Stichprobe S61). Auf Grundlage der Stichprobenparameter ergibt sich eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 7,5 \cdot 10^{-1}$. In den Datentabellen der Methode THERP fehlen Werte zu Auslassungsfehlern bei Handlungen, die nur eine geringe Vorplantiefe aufweisen.

Die Teilaufgabe „Anfahrüberbrückung einlegen“ wurde in allen anderen Anfahrssituationen fehlerfrei ausgeführt. Sie eignet sich daher für die Bildung von „Null-Fehler“ Stichproben (Analyse der Handlungssituation mit der in Abschnitt 5 beschriebenen Methode, Identifikation von bewertbaren, aber noch nicht aufgetretenen Fehlern).

4.2.3.6 Stichprobe S64 „Nichtverfügbarkeit einer Gebäudeabschlussarmatur infolge Spannungsausfall“

In der Anlage aus der diese Stichprobe stammt, werden Stromverbraucher, die während der Revision verfügbar sein müssen, und Instandhaltungsarbeiten an den sie versorgenden Stromschienen durchgeführt werden, an „provisorische“ Verteilerschränke angeschlossen. Hierzu wird zunächst der Einschub eines Verbrauchers in einen speziellen Verteilerschrank gesteckt. In das nun leere Schaltfeld wird ein provisorisches Schaltgerät eingebracht und danach werden beide Geräte über ein Kabel verbunden. Nur in der Revision, in der das meldepflichtige Ereignis auftrat, wurden Sicherungslasttrenner als provisorisches Schaltgerät eingesetzt. Beim Rückbau eines solchen Provisoriums ist die Sicherung des Trenners zu ziehen, die Kabelverbindung zu lösen, der Trenner zu öffnen und dann zu ziehen. Bei einer Rückbaumaßnahme wurde vergessen, die Kabelverbindung zu lösen. Es kam beim Ziehen des Trenners zu einem Kurzschluss mit der Folge, dass eine Gebäudeabschlussarmatur nicht verfügbar war. Nach dem Ereignis wurden die Revisionsprovisorien konstruktiv verbessert, so dass sich das Ereignis nicht wiederholen kann.

Die Kenntnis der Teilschritte beim Rückbau sind dem Fachwissen des E-Technikers zuzuordnen. Die Stichprobe ist charakteristisch für einen Auslassungsfehler der auf einen Gedächtnisfehler zurückzuführen ist (Teilhandlung nicht erinnert). Der Rückbau eines provisorischen Anschlusses ist während der Revision häufig durchzuführen. Eine detaillierte Auswertung der Revision ergab etwa 250 Rückbauvorgänge. Besonders

fehlerfördernde ergonomische Faktoren liegen nicht vor. Auf der Grundlage der Stichprobenparameter ergibt sich eine Wahrscheinlichkeit für den beobachteten Fehler (nicht Erinnern eines Handlungsschrittes, häufig ausgeführte Handlung) von $P_{EW} = 6 \cdot 10^{-3}$.

Die Methode THERP empfiehlt für Handlungsschritte, die in Prozeduren beschrieben sind, tatsächlich aber gedächtnisgestützt ausgeführt (d.h. Prozedur wird nicht verwendet) und dann nicht erinnert werden Fehlerwahrscheinlichkeiten in einem Wertebereich von $1,6 \cdot 10^{-2}$ bis $8 \cdot 10^{-2}$. Bei dem höheren Wert wird aber vorausgesetzt, dass wenig Erfahrung vorliegt und der Handlungsausführende die Prozedur verwenden muss.

4.2.3.7 Stichprobe S65 „Anregung der Notbespeisung für einen Dampferzeuger“

Im Zuge des Anfahrens der Anlage sind die Rückschlagklappen im Not- und Hauptspisewassersystem zu prüfen. Während der Prüfung ist die Dampferzeugerbespeisung außer Betrieb und wird nur kurzfristig zugeschaltet, um einen unzulässigen Dampferzeuger-Füllstandsabfall zu verbinden. In diesem Anlagenzustand fällt der Füllstand nur langsam ab (Zeitspanne bis zum Erreichen des Reaktorschutzsystem-Grenzwertes etwa 3 Stunden). Die Füllstände in den vier Dampferzeugern sind diskontinuierlich zu kontrollieren. Die Aufgabe wird gedächtnisgestützt ausgeführt. Wird die Kontrollaufgabe nicht durchgeführt, wie bei dem der Stichprobe zugrundeliegenden Ereignis geschehen, so startet das Reaktorschutzsystem die Notbespeisung. Ein solcher Ereignisablauf ist meldepflichtig.

Die Stichprobe ist charakteristisch für einen Auslassungsfehler bei gedächtnisgestütztem Vorgehen, der durch ungünstig gestaltete Faktoren begünstigt wird. Die Prozessgröße ist über einen längeren Zeitraum zu kontrollieren und ändert sich nur allmählich. Die Aufgabenbelastung des für die Kontrollaufgabe zuständigen Operateurs ist wegen zahlreicher weiterer, zeitgleich zur Kontrollaufgaben durchzuführender Tätigkeiten hoch (u. a. Schalthandlungen zum Aufheizen der Sekundärseite, parallel laufende Systemprüfungen, Kontrolle von Zustands- und Störmeldungen).

Aufgrund von Verbesserungsmaßnahmen nach dem Ereignis (verändertes Vorgehen in dieser Phase, Ergänzung der BHB-Anweisungen) umfasst diese Stichprobe einen Zeitraum von ca. 17 Jahren mit 115 Gelegenheiten für diesen Fehler. Daraus folgt eine Fehlerwahrscheinlichkeit (Erwartungswert) von $P_{EW} = 1,3 \cdot 10^{-2}$.

In der Methode THERP wird in Tabelle 7, Item 5 und 5# ein Wertebereich von $P_{EW} = 1,6 \cdot 10^{-2}$ bis $8 \cdot 10^{-2}$ für das Auslassen eines Handlungsschritts vorgeschlagen, wenn dieser in einer anzuwendenden Prozedur beschrieben ist, diese aber nicht angewendet wird. In oben beschriebenen Fall geht der Operateur gedächtnisgestützt vor. Der Wertebereich ergibt sich aus dem Umfang an Erfahrungen mit diesem Handlungsschritt. Diese Werte können mit dem Ergebnis der Stichprobe nicht direkt verglichen werden. Maßgeblich für das Vergessen der Teilhandlung waren andere Einflüsse (hohe kognitive Beanspruchung durch andere Aufgaben beeinträchtigen die Fähigkeit, sich an eine diskontinuierlich in größeren Zeitabständen durchzuführende Teilaufgabe zu erinnern).

4.2.3.8 Stichprobe S66 „Anregung des Notstromsignals in der Redundanz 4 bei 10 kV Verriegelungsprüfung“

Das Ereignis, das dieser Stichprobe zugrunde liegt, trat in einer Doppelblockanlage auf. Die Funktion sowohl der Querverbindungen zwischen den Stromversorgungsanlagen beider Blöcke als auch mit der Verbindung zum Reservenetztransformator sind regelmäßig zu prüfen. Zur Vorbereitung der Prüfung ist die Automatik zur Steuerung der Umschaltung zwischen Eigenbedarfs- und Reservenetzstromversorgung vorübergehend abzuschalten. Das Abschalten der Automatik wurde unterlassen. Dies führte dazu, dass während der Prüfung die Automatik fälschlicherweise eine unzulässige Doppeleinspeisung auf eine Eigenbedarfsschiene erkannte und zum Schutz dieser Stromschiene beide Einspeiseschalter öffnete. Die betroffene Eigenbedarfsschiene und die von ihr versorgte Notstromschiene wurden spannungslos. Dieser Zustand ist meldepflichtig. Das Reaktorschutzsystem startete das der Notstromschiene zugeordnete Notstromaggregat, das die Versorgung der Schiene übernahm.

Die Stichprobe charakterisiert einen Auslassungsfehler bei gedächtnisgestütztem Vorgehen. Erst nach dem Ereignis wurden die Prüfungsunterlagen um Anweisungen für die erforderliche Teilaufgabe ergänzt. Fehlerfördernd wirkte sich aus, dass die Prüfung sehr selten durchzuführen ist (bei jedem achten Brennelementwechsel, d.h. der Zeitabstand zwischen zwei Prüfungen beträgt hier ca. 11 Jahre).

Die Auswertung der Anlagendokumentation ergab, dass die Prüfung seit der Aufnahme des Leistungsbetriebs bis zum Ereigniseintritt dreimal durchgeführt wurde und damit sehr wenig Erfahrung mit dieser Aufgabe vorliegt. Mit dieser Randbedingung ergibt sich eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 3,7 \cdot 10^{-1}$.

Wie bereits bei Stichprobe S65 beschrieben, schlägt die Methode THERP für Auslassungsfehler bei gedächtnisgestütztem Vorgehen (Randbedingung „Prozedur wird nicht verwendet“) in Abhängigkeit von der Erfahrung mit der Aufgabe einen Wertebereich von $1,6 \cdot 10^{-2}$ bis $8 \cdot 10^{-2}$ für das Unterlassen einer Teilhandlung vor. Die der Stichprobe zugrundeliegende Aufgabe ist extrem selten durchzuführen. Das Stichprobenergebnis könnte den in THERP vorgeschlagenen Wertebereich für Handlungssituationen erweitern, in denen Erinnerungsleistungen besonders anspruchsvoll sind.

4.2.3.9 Stichprobe S67 „Schäden an zwei Gelenkstreben für die Halterung einer Rohrleitung“

Die Funktionsbereitschaft der Nachkühlpumpen wird in regelmäßigen Abständen nachgewiesen. Vor dem Pumpenstart ist entsprechend den Anweisungen des Betriebshandbuchs die Absperrarmatur in der Pumpensaugleitung zu öffnen. Wird das wie im der Stichprobe zugrundeliegenden Ereignis unterlassen, bildet sich ein Unterdruck im Leitungsabschnitt zwischen Pumpe und Absperrarmatur. Der Operateur hat seinen Fehler bei der Kontrolle der Pumpenfördermenge bemerkt. Das nachträgliche Öffnen führte jedoch zu einem Druckstoß, der die Halterungen der Saugleitung beschädigte. Druckstoßereignisse sowie Schäden an Halterungen sicherheitstechnisch wichtiger Rohrleitungen sind meldepflichtig.

Die Stichprobe charakterisiert eine Schalthandlung am Leitstand, die entsprechend einer schriftlichen Unterlage auszuführen ist und bei der der Fehlertyp „Auslassen eines Handlungsschrittes, Aufgabenstellung in der Unterlage nicht umgesetzt“ auftrat. Die Arbeitsunterlage enthält eine erhebliche Anzahl von Anweisungen, die in dichter Reihenfolge aufgelistet sind. Felder zum Eintragen von Erledigungsvermerken für abgearbeitete Schritte sind nicht vorhanden.

Die Stichprobe umfasst ca. 350 Gelegenheiten für diesen erstmalig aufgetretenen Fehler. Daraus ergibt sich der Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit zu $P_{EW} = 4,3 \cdot 10^{-3}$. Für einen solchen Fehler und unter Berücksichtigung der Designmerkmale der Arbeitsunterlage wird in THERP ein Erwartungswert von $P_{EW} = 1,3 \cdot 10^{-2}$ (Tabelle 20-7, Item 4) vorgeschlagen.

4.3 Datentabelle zu Stichproben aus Handlungsfehlern

Die folgende Datentabelle fasst die Ergebnisse der Stichproben mit Handlungsfehlern aus SR2588 und aus diesem Vorhaben zusammen. Das ist sinnvoll, da die übergeordnete Diskussion der Ergebnisse auf der Grundlage aller nun vorliegenden Stichproben erfolgt (vgl. Ausführungen in Kapitel 4.1).

4.3.1 Ausführungsfehler, Fehler bei der Handlungsregulation

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_{5\%}$; P_{EW} ; $P_{95\%}$
S1	Kommandotaste betätigen	Falsche Taste betätigt	Greifraum, gleich konstruiert; sonst gut gestaltet	948/1	$1,8 \cdot 10^{-4}$; $1,6 \cdot 10^{-3}$; $4 \cdot 10^{-3}$;
S2	Schraubhülse, Si-Ventil auf Markierung eindrehen	Zu große Abweichung	Große Genauigkeit erforderlich	913/1	$1,9 \cdot 10^{-4}$; $1,6 \cdot 10^{-3}$; $4 \cdot 10^{-3}$;
S3	Kommandotaste betätigen	Taste zu spät betätigt	Kurze Zeitspanne zwischen Erkennen und Ausführen	608/2	$9,4 \cdot 10^{-4}$; $4,1 \cdot 10^{-3}$; $9 \cdot 10^{-3}$
S4	Einbringen eines Baugruppensimulationsstiftes	Simulation an falscher Baugruppe	Greifraum, gleich konstruiert	48/1	$3,6 \cdot 10^{-3}$; $3,1 \cdot 10^{-2}$; $7,8 \cdot 10^{-2}$
S5	Drehschalter betätigen	Falscher Drehschalter betätigt	Greifraum, gleich konstruiert	1332/1	$1,3 \cdot 10^{-4}$; $1,1 \cdot 10^{-3}$; $2,9 \cdot 10^{-3}$;
S6	Kommandotaste betätigen	Falsche Taste betätigt	Greifraum, gleich konstruiert; sonst gut gestaltet	400/1	$4,4 \cdot 10^{-4}$; $3,7 \cdot 10^{-3}$; $9,7 \cdot 10^{-3}$
S7	Prüfkabel an Baugruppe anschließen	Prüfkabel an falsche Baugruppe angeschlossen	Greifraum, gleich konstruiert, Farbkennzeichnung	1512/1	$1,2 \cdot 10^{-4}$; $9,9 \cdot 10^{-4}$; $2,6 \cdot 10^{-3}$

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_5\%$; P_{EW} ; $P_{95\%}$
S8	Kommandotaste betätigen	Falsche Taste betätigt	Greifraum, gleich konstruiert; sonst gut gestaltet, aber hohe Belegungsdichte	440/1	$4 \cdot 10^{-4}$; $3,4 \cdot 10^{-3}$; $8,8 \cdot 10^{-3}$
S9	Druckschalter betätigen	Falschen Druckschalter betätigt	Greifraum, gleich konstruiert	1146/1	$1,5 \cdot 10^{-4}$; $1,3 \cdot 10^{-3}$; $3,4 \cdot 10^{-3}$
S10	Kommandotaste betätigen	Taste zu früh betätigt	Erhöhter Stress, Bedienfolge; kurze Mindestwartezeit	81/1	$2,2 \cdot 10^{-3}$; $1,8 \cdot 10^{-2}$; $4,7 \cdot 10^{-2}$
S11	Kommandotaste betätigen	Falsche Taste betätigt	Greifraum, gleich konstruiert; sonst gut gestaltet	170/1	$1 \cdot 10^{-3}$; $8,8 \cdot 10^{-3}$; $2,3 \cdot 10^{-2}$
S12	Sonstige Tätigkeit auf Bedienpultoberfläche	Schlüsselschalter versehentlich betätigt	Keine Schutzmaßnahme gegen Fehlbedienung	1200/1	$1,5 \cdot 10^{-4}$; $1,2 \cdot 10^{-3}$; $3,3 \cdot 10^{-3}$
S13	Schlüsselschalter betätigen	Falschen Schlüsselschalter betätigt	Greifraum, gleich konstruiert	152/1	$1,2 \cdot 10^{-3}$; $9,8 \cdot 10^{-3}$; $2,5 \cdot 10^{-2}$
S14	Kommandotaste betätigen	Taste nicht ausreichend lang betätigt	Lange Betätigungsdauer	1488/1	$1,2 \cdot 10^{-4}$; $1 \cdot 10^{-3}$; $2,6 \cdot 10^{-3}$;

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_5\%$; P_{EW} ; $P_{95}\%$
S15	Regelungsaufgabe; diskontinuierlich	Regelabweichung nicht schnell genug reduziert	Erhöhte Stressbelastung, schnelle Reaktion erforderlich	28/1	$6,3 \cdot 10^{-3}$; $5,2 \cdot 10^{-2}$; $1,3 \cdot 10^{-1}$;
S38	Dreiwegearmatur vor Ort umstellen	Nicht vollständig in erforderliche Endlage gestellt	Ungenauere Endlagenanzeige, Erfolgskontrolle über Verstellkraft	23/1	$7,7 \cdot 10^{-3}$; $6,5 \cdot 10^{-2}$; $1,6 \cdot 10^{-1}$
S39	Betätigen eines kontinuierlich verstellbaren Drehhebels vor Ort	Drehhebel zu weit verstellt	Keine Markierung zur Unterstützung der Handlungsausführung vorhanden	612/1	$2,9 \cdot 10^{-4}$; $2,4 \cdot 10^{-3}$; $6,4 \cdot 10^{-3}$;
S40	Ziehen einer Trennklemme in Schaltschrank vor Ort	Falsche Trennklemme gezogen	Greifraum, gleich konstruiert, feldartige Anordnung, ähnliche Bezeichnungen	162/1	$1,1 \cdot 10^{-3}$; $9,2 \cdot 10^{-3}$; $2,4 \cdot 10^{-2}$;
S42	Sonstige Tätigkeit auf Bedienpultoberfläche	Kommandotaste versehentlich betätigt	Keine ausreichende Schutzmaßnahmen	1000/1	$1,8 \cdot 10^{-4}$; $1,5 \cdot 10^{-3}$; $3,9 \cdot 10^{-3}$;
S43	Einfahren eines Schaltgerätes mittels Handkurbel am Schaltschrank	Nicht vollständig eingefahren	Hohe Anforderungen an die Genauigkeit	28/1	$6,3 \cdot 10^{-3}$; $8,6 \cdot 10^{-2}$; $1,3 \cdot 10^{-1}$;

4.3.2 Ausführungsfehler, fehlerhafte Aufgabenstellung

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_5\%$; P_{EW} ; $P_{95\%}$;
S16	Remontage von Bauteilen	Einbaulage falsch erinnert	Keine schriftliche Unterlage; Ähnlichkeit falsche/korrekte Handlung	36/1	$4,9 \cdot 10^{-3}$; $4 \cdot 10^{-2}$; $1 \cdot 10^{-1}$;
S17	Prüfkabel an Schrankbuchsen anschließen	Lage der Anschlussbuchsen falsch erinnert	Räumliche Nähe, vergleichbare Konstruktion	33/1	$5,4 \cdot 10^{-3}$; $4,4 \cdot 10^{-2}$; $1,1 \cdot 10^{-1}$;
S18	Zusammenstellen von Arbeitsunterlagen	Falsche Erinnerung an erforderliche Unterlagen	Inhaltliche Ähnlichkeit der korrekten und falschen Unterlage	84/1	$2,1 \cdot 10^{-3}$; $1,7 \cdot 10^{-2}$; $4,6 \cdot 10^{-2}$;
S19	Remontage von Bauteilen	Falsche Erinnerung an zu betätigendes Bauteil	Vergleichbare Bedienung und räumliche Nähe von korrektem und falschem Bauteil	888/1	$2 \cdot 10^{-4}$; $1,7 \cdot 10^{-3}$; $4,4 \cdot 10^{-3}$;
S20	Messsignalkalibrierung	Lage des Kalibrierungspotentiometers falsch erinnert	Beschriftung des korrekten und falschen Potentiometers sehr ungünstig gestaltet	18/1	$9,9 \cdot 10^{-3}$; $7,9 \cdot 10^{-2}$; $2 \cdot 10^{-1}$
S21	Erteilen einer Arbeitsfreigabe	Falsche Vorstellung vom Zustand der Anlage, Arbeitsfreigabe fehlerhaft erteilt	Erhöhter Stress, Kommunikationsvorgang nicht durchgeführt	17/1	$1 \cdot 10^{-2}$; $8,3 \cdot 10^{-2}$; $2,1 \cdot 10^{-1}$;

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_5\%$; P_{EW} ; $P_{95\%}$;
S22	Abschalten von Sicherungsautomaten	Falsche Erinnerung an die Lage der Automaten	Defizite in der Kennzeichnung und den Arbeitsunterlagen, vergleichbare Konstruktion, räumliche Nähe vorangehender Handlung	4/2	$1,7 \cdot 10^{-1}$; $5 \cdot 10^{-1}$; $8,3 \cdot 10^{-1}$;
S23	Kontrolle von Zustandsmeldelampen	Fehlbedienung einer Kommandotaste; Aufgabenstellung falsch erinnert	Keine Hinweise auf technische Unterschiede bei Tätigkeit in zwei verschiedenen Blöcken	56/1	$3,2 \cdot 10^{-3}$; $2,6 \cdot 10^{-2}$; $6,8 \cdot 10^{-2}$
S44	Stickstoffnachspeisen in einen Tank des Schnellabschaltsystems	Ausführung einer unzulässigen Schalthandlung	Zeitaufwändige Aufgabe, Erwartung eines erheblichen Zeitgewinns	324/1	$5,4 \cdot 10^{-4}$; $4,6 \cdot 10^{-3}$; $1,2 \cdot 10^{-2}$
S45	Öffnen einer Handarmatur vor Ort	Armatur zu früh geöffnet, mündliche Anweisung falsch interpretiert	Ungenau mündliche Anweisung	490/1	$3,6 \cdot 10^{-4}$; $3 \cdot 10^{-3}$; $7,9 \cdot 10^{-3}$
S46	Wartezeit (ca. 30 Sekunden) zwischen zwei Schalthandlungen einhalten	Notwendigkeit zu Warten nicht erinnert	Eher selten zu erinnern des Erfahrungswissen	66/1	$2,7 \cdot 10^{-3}$; $2,2 \cdot 10^{-2}$; $5,8 \cdot 10^{-2}$
S47	Leistungsschalter vor Ort am Schaltschrank betätigen	Falschen Schalter betätigt; mündliche Anweisung falsch erinnert	Kurze Zeitspanne zwischen Merken und erinnern; sehr ähnliche Kennzeichnung	108/1	$1,6 \cdot 10^{-3}$; $1,4 \cdot 10^{-2}$; $3,6 \cdot 10^{-2}$

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_{5\%}$; P_{EW} ; $P_{95\%}$
S48	Baugruppenprüfung im Reaktorschutzsystem bei Anlagenrevision	Signalstecker in allen Redundanzen fälschlicherweise abgezogen, Fachwissen nicht erinnert	Seltene Tätigkeit, Vorgaben in den Arbeitsanweisungen fehlen, Störmeldungen leicht zu übersehen	2/1	$9,7 \cdot 10^{-2}$; $5 \cdot 10^{-1}$; $9 \cdot 10^{-1}$
S49	Beobachten des Frischdampfdruckverlaufs im Steckbetrieb der Anlage	Ausführung einer unzulässigen Schalthandlung; Fehlinterpretation eines BHB-Hinweises	Eher selten zu erinnern des Fachwissen; BHB-Hinweis ungünstig gestaltet; Stress durch hohe Aufgabenbelastung	7/1	$2,6 \cdot 10^{-2}$; $1,9 \cdot 10^{-1}$; $4,4 \cdot 10^{-1}$
S50	Rückbau von Steuerstabsantrieben	Antrieb an falschen Steuerstab angebaut; Handlungsziel (Rückbauposition) fehlerhaft identifiziert	Keine Kennzeichnung der Rückbauposition; indirektes Schließen aus ergonomisch ungünstig gestalteter Sekundärinformation	120/1	$4,8 \cdot 10^{-3}$; $2 \cdot 10^{-2}$; $4,5 \cdot 10^{-2}$
S51	Prüfung der Notspeisewasserversorgung während des Leistungsbetriebs	Vertauschen der Reihenfolge zweier Schalthandlungen, Aufgabenstellung fehlerhaft generiert	Handlungen in Arbeitsunterlage in falscher Reihenfolge aufgeführt; Richtige Reihenfolge Bestandteil des häufig anzuwendenden Fachwissens	1200/1	$1,4 \cdot 10^{-4}$; $1,2 \cdot 10^{-3}$; $3,3 \cdot 10^{-3}$

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_{5\%}$; P_{EW} ; $P_{95\%}$
S52	Anschluss von Messumformern an Wirkdruckleitungen	Anschlüsse vertauscht, Fachwissen falsch erinnert	Keine Kennzeichnung, häufig ausgeführte Tätigkeit	156/1	$1,1 \cdot 10^{-3}$; $9,5 \cdot 10^{-3}$; $2,5 \cdot 10^{-2}$
S53	Schalthandlungen vor Ort am Dieselleitstand	Falsche Schalthandlung ausgeführt; Fehlinterpretation einer mündlichen Anweisung	Häufige Tätigkeit; Verwendung ähnlicher Begriffe	1248/1	$1,4 \cdot 10^{-4}$; $1,2 \cdot 10^{-3}$; $3,1 \cdot 10^{-3}$
S55	Anschluss von Steckern an Steuerschrankbuchsen	Anschluss an falsche Buchse; Aufgabenstellung fehlerhaft generiert	Sehr fehlerfördernde Angaben in Arbeitsunterlage; Erinnern von eher selten benötigtem Fachwissen erforderlich	112/1	$1,6 \cdot 10^{-3}$; $1,3 \cdot 10^{-2}$; $3,4 \cdot 10^{-2}$
S56	Einstellen von Gehäusebruchsicherungen am Prüfstand	Ansprechwert zu hoch eingestellt; Fehlinterpretation des Hubbeginns der Armatur	Visuelle Information zum Hubbeginn ergonomisch ungünstig gestaltet. Öffnen aus Arbeitsschutzgründen zu vermeiden	198/37	$1,5 \cdot 10^{-1}$; $1,9 \cdot 10^{-1}$; $2,4 \cdot 10^{-1}$
S57	Betriebsbereitschaft eines Leistungsschalter vor Ort am Schaltschrankhersteller	Ausführen einer unzulässigen Schalthandlung (Schalter schließen), Fehlinterpretation der schriftlichen Anweisung	Ungenauer Anweisungstext, eher selten benötigtes Fachwissen zur Interpretation erforderlich	148/1	$1,2 \cdot 10^{-3}$; $1 \cdot 10^{-2}$; $2,6 \cdot 10^{-2}$

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_5 \%$; P_{EW} ; $P_{95} \%$
S63	Einstellen von Überlastschutzgrenzwerten für Elektromotoren	Grenzwert zu tief eingestellt (vorzeitiges Ansprechen); Falsche Aufgabenstellung generiert	Zum Prüfverfahren passender Wert weder in Arbeitsunterlage angegeben, noch Bestandteil des Fachwissens	261/261	1

4.3.3 Auslassungsfehler

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_5 \%$; P_{EW} ; $P_{95} \%$
S27	Pumpenförderhöhe diskontinuierlich erhöhen	Handlungsschritt nicht erinnert	Erhöhtes Stressniveau durch hohen Aufgabendruck	50/1	$3,5 \cdot 10^{-3}$; $2,9 \cdot 10^{-2}$; $7,6 \cdot 10^{-2}$
S28	Transport von Brennelementen mit Lademaschine	Handlungsschritt nicht erinnert	Hoher Stress durch Zeitdruck, Designdefizite und Störungen bei der Arbeit	7/1	$2,6 \cdot 10^{-2}$; $1,9 \cdot 10^{-1}$; $4,4 \cdot 10^{-1}$
S29	Betätigung eines Schlüsselschalters	Aufgabenstellung in Arbeitsunterlage nicht gelesen	Umfangreiche Arbeitsunterlage; Erledigungsvermerke vorhanden	211/1	$8,3 \cdot 10^{-4}$; $7,1 \cdot 10^{-3}$; $1,8 \cdot 10^{-2}$

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten P_5 %; P_{EW} ; P_{95} %;
S30	Positionsänderung einer Handarmatur	Handlungsschritt nicht erinnert	Hochgeübte Aufgabe; keine besonders fehlerfördernde Einflüsse	1470/1	$1,2 \cdot 10^{-4}$; $1 \cdot 10^{-3}$; $2,7 \cdot 10^{-3}$
S31	Betätigung eines Schlüsselschalters	Handlungsschritt nicht erinnert	Vergleichsweise selten durchzuführende Handlung muss erinnert werden; erhöhter Stress, ergonomische Defizite	28/1	$6,3 \cdot 10^{-3}$; $5,2 \cdot 10^{-2}$; $1,3 \cdot 10^{-1}$
S32	Überbrückungsschalter betätigen	Aufgabenstellung in Arbeitsunterlagen nicht gelesen	Erhöhtes Stressniveau durch hohen Aufgabendruck	180/2	$3,2 \cdot 10^{-3}$; $1,4 \cdot 10^{-2}$; $3 \cdot 10^{-2}$
S33	Armaturblockierung nicht eingefahren	Aufgabenstellung in Arbeitsunterlage nicht gelesen	Umfangreiche Arbeitsunterlage; Erledigungsvermerke vorhanden	$440/\geq 1$	$\geq 4 \cdot 10^{-4}$; $\geq 3,4 \cdot 10^{-3}$; $\geq 8,8 \cdot 10^{-3}$
S34	Öffnen einer Absperrarmatur	Handlungsschritt nicht erinnert	Vergleichsweise selten durchzuführende Handlung; erhöhter Stress durch Aufgabendruck	20/1	$8,9 \cdot 10^{-3}$; $7,1 \cdot 10^{-2}$; $1,8 \cdot 10^{-1}$
S35	Entfernen der Arbeitserde vor Ort	Handlungsschritt nicht erinnert	Vergleichsweise selten durchzuführende Handlung	48/1	$3,7 \cdot 10^{-3}$; $3 \cdot 10^{-2}$; $7,9 \cdot 10^{-2}$

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten P_5 %; P_{EW} ; P_{95} %;
S37	Inbetriebnahme einer Messeinrichtung	Handlungsschritt ausgelassen; Anweisung falsch verstanden	Missverständlich formulierte schriftliche Anweisung; erhöhtes Stressniveau durch Aufgabendruck	40/1	$4,4 \cdot 10^{-3}$; $3,6 \cdot 10^{-2}$; $9,4 \cdot 10^{-2}$
S58	Umsetzen eines Simulationssteckers vor Ort am Leittechnikschrank	Handlungsschritt nicht ausgeführt (Teil des Fachwissens)	Hochgeübte Tätigkeit; sehr gute Voraussetzungen zur Fehlervermeidung	15200/1	$1,2 \cdot 10^{-5}$; $1 \cdot 10^{-4}$; $2,6 \cdot 10^{-4}$
S59	Schalthandlungen am Leitstand in der Warte	Erforderliche Schalthandlung nicht erinnert (Teil des Fachwissens)	Häufige Tätigkeit, Rückmeldelampen aus ergonomischer Sicht nicht optimal gestaltet	1347/1	$1,3 \cdot 10^{-4}$; $1,1 \cdot 10^{-3}$; $2,9 \cdot 10^{-3}$
S60	Elektrische Schalthandlungen vor Ort	Erforderliche Schalthandlung nicht erinnert (Fachwissen)	Umfangreiche Folge von zu Erinnernden Teilschritten, hoher Aufgabendruck, seltene Aufgabe	13/1	$1,4 \cdot 10^{-2}$; $1,1 \cdot 10^{-1}$; $2,6 \cdot 10^{-1}$
S64	Demontage eines elektrischen Schaltgerätes am Schaltschrank vor Ort	Einen von insgesamt vier Teilschritten (Kabelverbindung lösen) vergessen	Vorgehensweise Bestandteil des Fachwissens, häufig durchzuführende Tätigkeit	250/1	$7 \cdot 10^{-4}$; $6 \cdot 10^{-3}$; $1,6 \cdot 10^{-2}$

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten P_5 %; P_{EW} ; P_{95} %;
S65	Diskontinuierliche Kontrolle einer Prozessgröße am Wartenleitstand	Kontrollaufgabe nicht ausgeführt (Aufgabenstellung nicht erinnert)	Gedächtnisgestütztes Vorgehen; sehr langsame Änderung der Prozessgröße, hohe Aufgabenbelastung	115/1	$1,5 \cdot 10^{-3}$; $1,3 \cdot 10^{-2}$; $3,3 \cdot 10^{-2}$
S66	Abschalten einer Automatik als Voraussetzung für Durchführung einer Prüfung	Automatik nicht abgeschaltet (Teilschritt nicht erinnert)	Gedächtnisgestütztes, auf Fachwissen beruhendes Vorgehen, sehr seltene Tätigkeit	3/1	$6,2 \cdot 10^{-2}$; $3,7 \cdot 10^{-1}$; $7,6 \cdot 10^{-1}$
S67	Ausführen einer Schalthandlung am Leitstand in der Warte	Schalthandlung unterlassen	Arbeitsunterlage mit erheblicher Anzahl von Anweisungen, kennzeichnen von abgearbeiteten Schritten nicht vorgesehen	350/1	$5 \cdot 10^{-4}$; $4,3 \cdot 10^{-3}$; $1,2 \cdot 10^{-2}$

4.3.4 Stichproben mit zu niedrigem Stichprobenumfang

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_{5\%}$; P_{EW} ; $P_{95\%}$
S24	Beantworten einer KMA-Meldung	KMA-Meldung falsch interpretiert, nicht korrekt beantwortet	Sammelmeldung, gehend quittierbar, laufende Arbeiten könnten Meldung auslösen	4/4	$6,4 \cdot 10^{-1}$; $9 \cdot 10^{-1}$; 1
S25	Beantworten einer Störmeldelampe	Störmeldelampe falsch interpretiert, falsch beantwortet	Ungenauere mündliche Anweisung; gehend quittierbar, laufende Arbeiten könnten Meldung auslösen	4/4	$6,4 \cdot 10^{-1}$; $9 \cdot 10^{-1}$; 1
S26	Ungewöhnliches Verhalten einer Zustandsmeldelampe wahrnehmen	Ungewöhnliches Verhalten der Meldelampe nicht wahrgenommen	Lampe im Sichtfeld; Zustandskontrolle aber kein Tätigkeitsziel	1/1	$2,3 \cdot 10^{-1}$; $7,5 \cdot 10^{-1}$; $9,9 \cdot 10^{-1}$
S36	Sperrsignal vor Ort ausschalten	Handlungsschritt nicht erinnert	Keine ausreichende Erfahrung; keine schriftlichen Hinweise	1/1	$2,3 \cdot 10^{-1}$; $7,5 \cdot 10^{-1}$; $9,9 \cdot 10^{-1}$

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_{5\%}$; P_{EW} ; $P_{95\%}$
S41	Regelaufgabe am Leitstand in der Warte	Stellgröße zu weit verstellt	Ungünstiger Zusammenhang zwischen Stellgröße und zu regelnde Prozessgröße, Anzeige ungünstig gestaltet, wenig Erfahrung mit der Aufgabe	1/1	$2,3 \cdot 10^{-1}$; $7,5 \cdot 10^{-1}$; $9,9 \cdot 10^{-1}$;
S54	Schließen der Stützdampfregelventile zur Vermeidung eines schnellen Druckabfalls im RDB nach RESA	Regelventile nicht vollständig geschlossen (Aufgabenstellung fehlerhaft generiert)	Situativ geplante Maßnahme in neuartiger, durch BHB nicht abgedeckte Handlungssituation; Thermohydraulische Zusammenhänge sehr komplex	1/1	$2,3 \cdot 10^{-1}$; $7,5 \cdot 10^{-1}$; $9,9 \cdot 10^{-1}$
S61	Prüfung der 24 V Gleichstromanlagen	Wesentliche Prüfungsvoraussetzung nicht kontrolliert	Keine schriftlichen Hinweise, selten benötigtes Fachwissen	1/1	$2,3 \cdot 10^{-1}$; $7,5 \cdot 10^{-1}$; $9,9 \cdot 10^{-1}$
S62	Anfahren der Anlage über 10% Reaktorleistung	Leistungszunahme fortgesetzt, obwohl eine Randbedingung hierfür nicht vorlag	Sondersituation ohne passende BHB-Vorgaben	1/1	$2,3 \cdot 10^{-1}$; $7,5 \cdot 10^{-1}$; $9,9 \cdot 10^{-1}$

Die Daten geben auch Auskunft über die Zuverlässigkeit einzelner oder mehrerer zusammenhängend auszuführenden Komponenten des Kognitionsmodells. Sie unterstützen damit den Übergang von den sogenannten HRA Modellen der ersten Generation (zu denen THERP zu zählen ist) zu den HRA Modellen der zweiten Generation (z. B. CREAM oder MERMOS). Diesen neueren Entwicklungen gehört die Zukunft der HRA Bewertung. Sie bilden letztlich die sehr große Menge unterschiedlichster in einer PSA zu bewertenden Handlungen auf die damit verbundenen kognitiven Belastungen und Beanspruchungen ab. Zum Beispiel kann es bei sehr unterschiedlichen Teilaufgaben erforderlich sein, sich an eine sehr selten benötigte, im Langzeitgedächtnis gespeicherte Information („Fachwissen“) zu erinnern und die Zuverlässigkeit dieser kognitiven Teilaufgabe bestimmt das Ergebnis beider Handlungen.

Die derzeit verfügbaren HRA-Methoden der zweiten Generation weisen derzeit noch zwei wesentliche Schwachpunkte auf:

- Die Modelle sind noch nicht ausreichend detailliert und repräsentieren den Erkenntnisstand auf dem Gebiet der Kognitionsforschung nicht in ausreichendem Umfang.
- Es gibt kaum belastbare Daten zur Zuverlässigkeit einzelner oder mehrerer gemeinsam ausgeführter kognitiver Teilaufgaben (z. B. Fehler bei der Wahrnehmung, Unterscheidung und Interpretation visueller oder akustischer Information).

Neben der Validierung und Erweiterung des über die Datentabellen der Methode THERP verfügbaren Bestandes an Daten kommt diesem Forschungsprojekt somit noch eine weitere für die Weiterentwicklung der HRA-Methodik bedeutsame Aufgabe zu. Die im Folgenden durchgeführte Interpretation der vorliegenden Stichproben gibt auch Hinweise zur Zuverlässigkeit von kognitiven Aufgaben.

4.4.1 Ausführungsfehler aufgrund von Fehlern bei der Regulation der Handlungsausführung

Zu Fehlern bei der Regulation der Handlungsausführung liegen nun insgesamt (d.h. einschließlich der Stichproben aus /GRS 10/ 20 Stichproben vor (vgl. Tabelle 4.3.1). Die fünf neuen Stichproben beschreiben Handlungsfehler, für die in THERP keine Daten vorgeschlagen werden. S38, S39, S40 und S43 stehen für Tätigkeiten vor Ort in der Anlage, die auch in Notfallsituationen auszuführen sind (Verstellen von Armaturen

vor Ort, Trennklemmen elektrischer Signalpfade ziehen, Schaltgeräte verfahren, Drehhebel verstellen). Sie erweitern den insgesamt verfügbaren Datenbestand zu Handlungsausführungen vor Ort. Bei der Bewertung von Einzelhandlungen von Notfallmaßnahmen können sie als Schätzhilfe herangezogen werden, wenn sonst keine Daten zur Verfügung stehen. Bezieht man die Ergebnisse aus /GRS 10/ zu vor Ort Tätigkeiten (S4, S7) ein, so variieren die Erwartungswerte für Ausführungsfehler in Abhängigkeit von der Tätigkeit und den ergonomischen Randbedingungen zwischen $1 \cdot 10^{-3}$ und $8,6 \cdot 10^{-2}$. Zur Verwendung als Schätzhilfe wäre auch der Einfluss von Stress in Notfallsituationen auf die Fehlerwahrscheinlichkeit in Betracht zu ziehen (z. B. über THERP, Tab. 20-16).

Eine wesentliche Erkenntnis aus /GRS 10/ ist, dass die Wahrscheinlichkeit von Fehlbedienungen an Schaltpulten von den Einflussfaktoren „Bedienelemente im Greifraum“, „ähnliches Design der Bedienelemente“ und „gleichartige Bedienung“ bestimmt wird. Damit lassen sich insgesamt 7 Stichproben (S1, S5, S6, S8, S9, S11 und S13) zusammenfassen. Liegen keine gravierenden ergonomischen Mängel vor (z. B. fehlerhafte Kennzeichnung), so ergibt sich aus der Betriebserfahrung für das Auftreten einer Fehlbedienung an Schaltpulten ein Erwartungswert von $P_{EW} = 1,6 \cdot 10^{-3}$.

Abb. 4-2 aus /PRW 13 / stellt die zugehörige Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (β - Verteilung mit den Parametern $\alpha = 7,5$ und $\beta = 4581,5$, nicht informative a-priori Verteilung) dar. Die senkrechten Linien geben die 5 %, 50 % und 95 % Fraktile wieder, die ein Maß für die epistemischen Unsicherheiten (d.h. Kenntnisstandunsicherheiten zu den Stichprobenparametern) sind. Um auch aleatorische Kenntnisstandunsicherheiten zu berücksichtigen (u. a. Variabilität der Leistungsfähigkeit der Personen innerhalb der ausgewerteten Population von Personen) sind die Unsicherheitsbänder (5 %, 95 % Fraktile) zu vergrößern. In der Methode THERP wird hierfür ein Faktor von maximal 4 vorgeschlagen. Der Vorschlag beruht auf Untersuchungsergebnissen zur Variabilität der Leistungsfähigkeit des Menschen, die in der chemischen Industrie durchgeführt wurden.

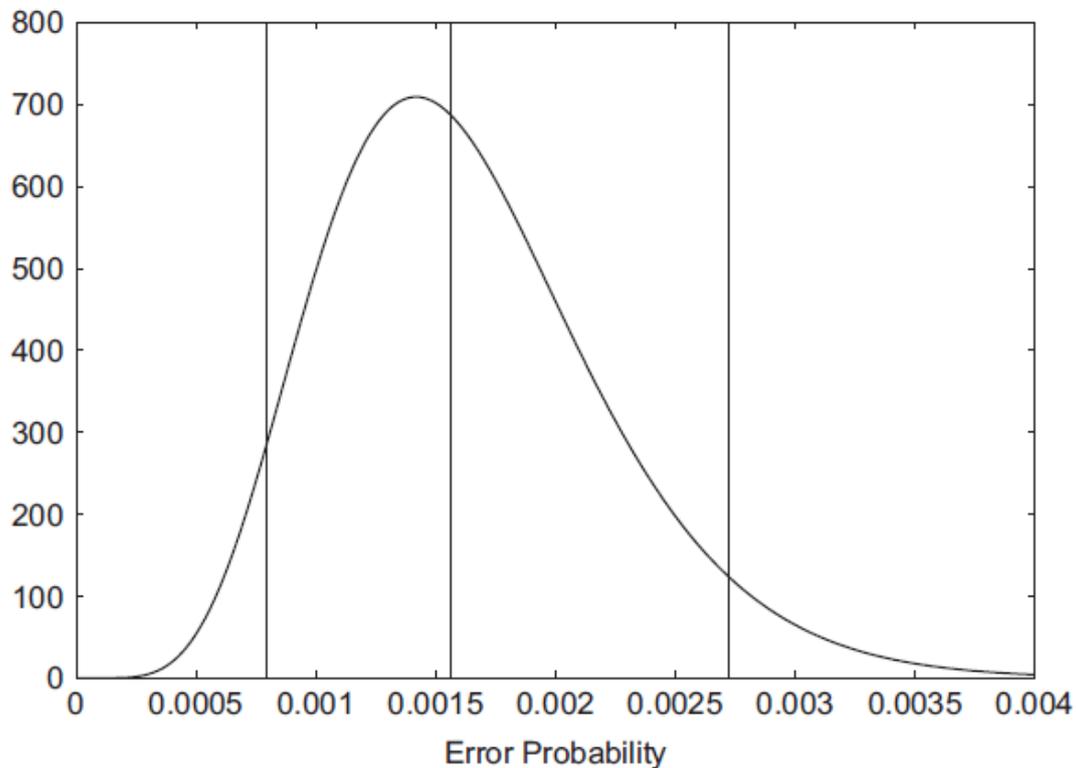


Abb. 4-2 Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Vergreiffehler an Schaltpulten, Stichprobenparameter $m = 7$, $n = 4588$

Neue über /GRS 10/ hinausgehende Erkenntnisse zu Zeitfehlern (vgl. S3, S10 und S14) oder Ausführungsfehler bei Regelungsaufgaben (vgl. S15) haben sich nicht ergeben. Für die Wahrscheinlichkeit einer unbeabsichtigten Bedienung als Folge von anderen Tätigkeiten an oder in der Nähe von Leiständen liegen nun insgesamt 2 Stichproben vor (S12 und S42).

4.4.2 Ausführungsfehler aufgrund von Fehlern bei der Generierung der Aufgabenstellung

Zu den in /GRS 10/ ausführlich beschriebenen 8 Stichproben S16 bis S23 konnten im Zuge der hier durchgeführten Arbeiten noch 14 weitere Stichproben identifiziert werden, die Ausführungsfehler charakterisieren und denen kognitive Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung vorausgingen. In der überwiegenden Zahl der Stichproben wurde im Gedächtnis gespeichertes Wissen falsch erinnert. Sie liefern damit Hinweise auf die Zuverlässigkeit des Gedächtnisses (Kurz- und Langzeitgedächtnis) als wesentliches Element des Kognitionsmodells.

Für die probabilistische Bewertung von Personalhandlungen sind die Stichproben, die sich mit der Fähigkeit befassen, im Gedächtnis gespeichertes Wissen zu nutzen, von besonderem Interesse. Für die Fehlerart „falsch erinnert“ werden in der Methode THERP keine Daten vorgeschlagen. Die aufgetretenen Fehler traten in unterschiedlichen Handlungssituationen auf (z. B. Lage von Handlungsobjekten falsch erinnert oder Teilschritt einer Aufgabe falsch erinnert). Im Rahmen einer probabilistischen Analyse von Personalhandlungen sind solche Fehler in Betracht zu ziehen, wenn

- Informationen zunächst gemerkt werden müssen, ehe sie in Handlungen umgesetzt werden (Kurzzeitgedächtnis),
- nicht ausreichend detaillierte Prozeduren zur Verfügung stehen und die Informationslücken in den Unterlagen durch erinnertes Wissen (Erfahrung, Fachwissen) zu schließen sind,
- keine schriftlichen Unterlagen verwendet werden und der Handelnde überwiegend entsprechend seinem Fachwissen vorgeht.
- Informationen (visuell oder akustisch wahrgenommene) zu interpretieren sind.

Charakteristisch für viele der Stichproben ist, dass die fehlerhaft ausgeführte Tätigkeit Ähnlichkeiten zur erforderlichen Tätigkeit aufweist (z. B. Lage, visuelle Erscheinung, Art der Betätigung der Handlungsobjekte) oder Teilaspekte von Handlungen zu erinnern sind, die nur selten auszuführen sind. Diese Randbedingung sollte beachtet werden, wenn die Stichprobenergebnisse im Rahmen einer probabilistischen Analyse genutzt werden. Dies gilt nicht für Stichprobe S44. Hierbei wurde absichtlich eine nicht regelkonforme Handlung ausgeführt, die sich schädlich auf den Zustand der Anlage auswirkte. Solche schädlich wirkenden Handlungen (vgl. auch Handlungskategorie C2 entsprechend Methodenband des PSA Leitfadens /MET 05/), sind in Betracht zu ziehen, wenn ihre schädliche Wirkung für den Operateur nicht erkennbar ist und mit dem gewählten Vorgehen ein erheblicher (persönlicher) Nutzen verbunden ist (hier Erwartung eines Zeitgewinns, $P_{EW} = 4,6 \cdot 10^{-3}$). Auch die Stichproben S29 und S57 beschreiben regelwidrige, schädlich wirkende Handlungen. Auch hier war ihre schädliche Wirkung vorab nicht erkennbar für den Operateur. Ursache hierfür sind ergonomische Defizite (S49: ungünstig gestaltete Handlungsanweisungen, nur selten zu verwendendes Fachwissen, Stress durch hohen Aufgabendruck, $P_{EW} = 1,9 \cdot 10^{-1}$) oder auch nur die seltene Verwendung von Fachwissen (S57: $P_{EW} = 1 \cdot 10^{-2}$). Die Stichprobenergebnisse können zur Verifikation und Verbesserung von fortschrittlichen HRA Methoden heran-

gezogen werden (u. a. /GRS 03/), die sich mit der Bewertung schädlich wirkender, nicht regelkonformer Handlungen befassen. Das Spektrum der bisher vorliegenden Fehlerwahrscheinlichkeiten reicht von ca. $2 \cdot 10^{-1}$ bis ca. $5 \cdot 10^{-3}$.

Mit den Stichproben S45, S47 und S53 stehen nun Erfahrungen zu Handlungen zur Verfügung, die durch mündliche Kommunikationsvorgänge veranlasst wurden. Solche Veranlassungen sind sehr häufig, auch in Störungssituation (z. B. Schichtleiter liest die Anweisung im BHB und gibt sie mündlich an den Operateur weiter). Der Anweisungsempfänger muss die Anweisung interpretieren, im Kurzzeitgedächtnis speichern und dann bei der Ausführung korrekt erinnern. In THERP werden hierzu keine passenden Daten vorgeschlagen. In PSA Studien werden sie (ggf. aufgrund des Datenmangels) nur selten berücksichtigt. Bei den Stichproben waren die Anweisungen ungenau und mussten nur kurze Zeit gemerkt werden. Ähnlichkeiten zu Details der tatsächlich ausgeführten Handlung waren vorhanden (z. B. zu merkende Anlagenkennzeichen). In Abhängigkeit von der Häufigkeit der Handlungsausführung variiert die Fehlerwahrscheinlichkeit zwischen $1,4 \cdot 10^{-2}$ (jährlich), $3 \cdot 10^{-3}$ (monatlich) und $1 \cdot 10^{-3}$ (wöchentlich). Die Stichprobenergebnisse können als Schätzhilfe für die Bewertung vergleichbarer Kommunikationsvorgänge verwendet werden.

Insgesamt liegen 14 Stichproben vor, die Hinweise auf die Zuverlässigkeit des Langzeitgedächtnisses, in dem das sogenannte Fachwissen gespeichert ist, geben. Charakteristisch ist, dass das benötigte Fachwissen zu anderen Wissensquellen (schriftliche Unterlagen, BHB-Anweisungen) hinzutreten muss, um eine Aufgabe korrekt auszuführen, eine Handlungssituation, die sehr häufig anzutreffen ist. Die aus dem Fachwissen abzuleitenden Aufgabedetails werden in PSA Studien allerdings nur selten berücksichtigt.

In Abhängigkeit von der Häufigkeit, mit der eine Handlung ausgeführt wird und zusätzlicher ergonomischer Gestaltungsmängel, die sich fehlerfördernd auswirken, variieren die Erwartungswerte der Fehlerwahrscheinlichkeiten von $1,2 \cdot 10^{-3}$ (häufige Tätigkeit) bis $4 \cdot 10^{-2}$ (selten ausgeführte Tätigkeit, z. B. einmal jährlich) bis hin zu Werten deutlich höher $1 \cdot 10^{-1}$ (sehr wenig Erfahrung und zusätzliche ergonomische Gestaltungsmängel). Führt man die Stichproben entsprechend diesem Zuordnungsprinzip zusammen, so ergeben sich als generische Fehlerwahrscheinlichkeiten für die Fehlerart „Aufgabenstellung falsch erinnert“ unter der Randbedingung „Ähnlichkeit zwischen erforderlicher und fehlerhaft ausgeführter Handlung“:

- Häufig ausgeführte Handlung keine zusätzlichen fehlerfördernden Faktoren (S19, S51)

$$P_{EW} = 1,5 \cdot 10^{-3}$$

- Selten (z. B. 1 x jährlich) ausgeführte Handlung, keine zusätzlichen fehlerfördernden Faktoren (S16, S17, S18, S23, S46, S57)

$$P_{EW} = 1,9 \cdot 10^{-2}$$

- Selten ausgeführte Handlung, weitere fehlerfördernde Faktoren (S20, S22, S55, S56)

$$P_{EW} = 8,3 \cdot 10^{-2}$$

- Selten auszuführende Handlung, weitere sehr fehlerfördernde Faktoren (S48, S49)

$$P_{EW} = 3,5 \cdot 10^{-1}$$

Diese generischen Werte können als Schätzwerte für in PSA Studien zu bewertende vergleichbare Handlungsfehler herangezogen werden. Die Resultate hierzu aus /GRS 10/ haben sich verfestigt. Wie aus den Stichproben S16, S17, S20 und S56 hervorgeht, können sich Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung negativ auf eine Reihe gleichartiger, hintereinander auszuführender Handlungen auswirken.

Dies ist als Hinweis auf eine vollständige Abhängigkeit zwischen den Fehlerwahrscheinlichkeiten der vergleichbaren Handlungen zu werten, wenn die Aufgabenstellung falsch erinnert wurde.

Eine Sonderrolle nehmen die Stichproben S51 und S52 ein. In beiden Fällen traten Fehler bei der Generierung der Aufgabenstellung auf, wobei als Wissensquelle nur das Fachwissen zur Verfügung stand. Die Aufgabe musste situationsspezifisch geplant und durchgeführt werden. Solche Vorgehensweisen sind entsprechend den Empfehlungen des Methodenbandes des PSA Leitfadens /MET 05/ als sogenannte „wissensbasierte“ Handlungen zu klassifizieren (Handlungskategorie C3, falls sie nach Eintritt eines auslösenden Ereignisses erforderlich sind). Die kognitive Beanspruchung ist erheblich höher als beim sogenannten „regelbasierten“ Verhalten (vgl. Kategorie C1 des Methodenbandes). Im Rahmen einer PSA wären solche Handlungen zu bewerten, wenn die im BHB beschriebenen Maßnahmen nicht mehr ausreichen, um einen Unfall zu verhindern (auslegungsüberschreitender Störfallverlauf mit der Möglichkeit z. B. durch ad hoc Reparaturen schwerwiegende Folgen zu verhindern).

Zurzeit gibt es nur wenige HRA Methoden, die solche Handlungen bewerten. Die Bewertungsgrundlagen sind allerdings kaum abgesichert. Die Stichprobenergebnisse mit $P_{EW} = 1,2 \cdot 10^{-3}$ und $P_{EW} = 9,5 \cdot 10^{-3}$ werden durch die Häufigkeit der Aufgabenstellung bestimmt (häufig, sehr selten). Sie könnten als Schätzwerte für die Anwendung in einer PSA herangezogen werden, wobei allerdings noch der Einfluss von Stressoren zu berücksichtigen ist (z. B. mit THERP, Tab. 16). So ergibt sich z. B. mit Tab. 16, item 5a oder 5b eine Wertespanne für solche Handlungen von $P_{EW} = 1 \cdot 10^{-1}$ bis $6 \cdot 10^{-3}$.

Auch Stichprobe S47 nimmt eine Sonderrolle ein. Hier war eine Anweisung für kurze Zeit zu merken und dann zu erinnern, ein Vorgang der auf die Zuverlässigkeit des Kurzzeitgedächtnisses hinweist. Die Stichprobe führt unter der Randbedingung, dass der fehlerhaft erinnerte Sachverhalt Ähnlichkeiten mit dem korrekten Sachverhalt aufweist, zu einem Erwartungswert von $P_{EW} = 1,4 \cdot 10^{-2}$.

4.4.3 Auslassungsfehler, Aufgabenstellung nicht erinnert

Insgesamt konnten 6 neue Stichproben ermittelt werden, die Hinweise darauf geben mit welcher Wahrscheinlichkeit Gedächtnisinhalte unter unterschiedlichen Randbedingungen nicht erinnert werden (S58 bis S66). Sie treten zu dem im vorangegangenen Vorhaben ermittelten Stichproben (S27 bis S31, S34 und S35) hinzu und werden im Folgenden gemeinsam mit diesen diskutiert. In Abhängigkeit von den situativen Randbedingungen „Häufigkeit der Handlung“, „Stressbelastung“ und „zusätzliche fehlerfördernde Faktoren“ liegen die Stichprobenresultate in einem Wertebereich von $1 \cdot 10^{-4}$ (sehr häufige Handlung) bis $3,7 \cdot 10^{-1}$ (extrem wenig Erfahrung). Entsprechend dieser Merkmale können die 12 Stichproben wie folgt gruppiert werden:

- Hochgeübte Handlung, keine weiteren Defizite (S58)

$$P_{EW} = 1 \cdot 10^{-4}$$

- Viel Erfahrung, keine weiteren Defizite (S30, S59, S64)

$$P_{EW} = 1 \cdot 10^{-3} \dots 6 \cdot 10^{-3}$$

- Wenig Erfahrung, keine weiteren Defizite (S35)

$$P_{EW} = 3 \cdot 10^{-2}$$

- Wenig Erfahrung, erhöhter Stress (S27, S34, S65)

$$P_{EW} = 7,1 \cdot 10^{-2} \dots 1,3 \cdot 10^{-2}$$

- Wenig Erfahrung, erhöhter Stress, ergonomische Mängel (S31, S60)

$$P_{EW} = 1,1 \cdot 10^{-1} \dots 5,2 \cdot 10^{-2}$$

- Wenig Erfahrung, erhöhter Stress, ergonomische Mängel, dynamische Handlungssituation (S28)

$$P_{EW} = 1,9 \cdot 10^{-1}$$

- Äußerst selten ausgeführte Handlung, keine weiteren Defizite (S66)

$$P_{EW} = 3,7 \cdot 10^{-1}$$

Die Fehlerwahrscheinlichkeiten verändern sich in Abhängigkeit von den o.g. Parametern um etwas mehr als drei Größenordnungen.

Diese Ergebnisse können als Schätzwerte zur Bewertung von Handlungssituationen verwendet werden, in denen vergleichbare Fehler unter vergleichbaren Randbedingungen postuliert werden. In der Methode THERP wird in Tabelle 7, Item 5 und 5# ein Wertebereich von $P_{EW} = 1,6$ bis $8 \cdot 10^{-2}$ für das Auslassen eines Handlungsschrittes vorgeschlagen, wenn dieser in einer anzuwendenden Prozedur beschrieben ist, diese aber nicht verwendet wird. In einem solchen Fall geht der Operateur gedächtnisgestützt vor. Leitet man aus der Erfordernis, die Prozedur zu verwenden, den Schluss ab, dass zu wenig Erfahrung vorliegt, um auf gedächtnisgestütztes Vorgehen zu vertrauen, so können diese Werte am ehesten mit dem Ergebnis der Stichprobe S35 verglichen werden ($P_{EW} = 3 \cdot 10^{-2}$). Wie bereits im vorangegangenen Vorhaben festgestellt, wäre dies ein Hinweis für die Validität des durch THERP Tabelle 7, Item 5 und 5# festgelegten Wertebereichs. Das Ergebnis der Stichprobe S58 könnte eine Zuverlässigkeitsgrenze für zu erinnernde Gedächtnisinhalte darstellen (hochgeübt, keine ergonomischen Defizite, $P_{EW} = 1 \cdot 10^{-4}$).

Unter den Stichproben sind Handlungssituationen, die bis auf die Höhe der Stressbelastung vergleichbar sind. Daraus lassen sich Hinweise zur Validität des THERP-Stressmodells (Tabelle 16) ableiten. Für diese spezifische Betrachtung des THERP-Stressmodells stehen neben den im vorangegangenen Vorhaben ermittelten Stichproben S35, S27, S34, S31 und S28 nun auch die neuen Stichproben S60 und S65 zur Verfügung. So können nun die Stichproben S35 (kein Stress) und S27, S34, S65 (erhöhter Stress) sowie S31 und S60 (erhöhter Stress, ergonomische Mängel) gegen-

übergestellt werden. Demnach erhöht moderat ansteigender Stress die Fehlerwahrscheinlichkeit um den Faktor 1,2. Die aus einer dynamischen Handlungssituation resultierender Belastungen führen zu einer weiteren Erhöhung um den Faktor 2,3 an.

In THERP, Tabelle 16 wird für die Wirkung von moderat erhöhtem Stress ein Faktor von 2 (Item 4a) und für die Zusatzwirkung einer dynamischen Handlungssituation ein weiterer Faktor von 2,5 (Unterschied Item 4a und 5a) vorgeschlagen. Die Einschätzung „Faktor 2“ liegt über dem aus der Betriebserfahrung abgeleiteten Wert (Faktor 1,2), die Einschätzung „Faktor 2,5“ etwa bei dem Betriebserfahrungswert (Faktor 2,3). Angesichts der auch nach diesem Vorhaben wenigen aus der Betriebserfahrung vorliegenden Daten zum Einfluss von Stress und den damit verbundenen Unsicherheiten sind die Abweichungen nicht so relevant, dass hier auf Korrekturbedarf im THERP Stressmodell geschlossen werden kann. Die beiden neuen Stichproben haben die im vorangegangenen Vorhaben ermittelten Erkenntnisse zur Validität des THERP-Stressmodells gestützt. Allerdings muss festgehalten werden, dass neuere Forschungsergebnisse zeigen, dass Stress auf kognitive Aktivitäten in unterschiedlicher Weise wirkt. Die hier gefundenen Erkenntnisse beziehen sich auf Erinnerungsleistungen. Das THERP-Stressmodell macht keine weiteren Unterscheidungen bzgl. der kognitiven Aktivität. Die Stichprobengegenüberstellung könnte insbesondere bedeutsam sein für HRA-Modelle der zweiten Generation. Bei der Anwendung dieser Methoden sind u. a. Erinnerungsleistungen unter Stresseinfluss zu bewerten. In der Regel hat die dabei verwendete Datenbasis keine ausreichende empirische Grundlage.

4.4.4 Auslassungsfehler, schriftliche Anweisung nicht gelesen

Fehler beim Lesen und Verstehen von Unterlagen können dazu führen, dass in den Unterlagen vorgegebene Teilhandlungen nicht ausgeführt werden. Diese Fehlerart ist in den Stichproben S29, S32, S33, S37 und S67 aufgetreten und im vorangegangenen Vorhaben einer stichprobenübergreifenden Wertung unterzogen worden. In dem der Stichprobe S37 zugrundeliegenden Ereignis hat der Operateur die Anweisung gelesen, sie aber aufgrund von Mängeln bei der Formulierung falsch interpretiert und damit eine erforderliche Teilhandlung ausgelassen. Für diesen Fehlermechanismus werden in der Methode THERP keine Daten vorgeschlagen.

Bei den drei Stichproben S29, S32, S33 und der nun neu ermittelten Stichprobe S67 wurde die Anweisung nicht gelesen. In Abhängigkeit von den situativen Randbedin-

gungen (Stresseinfluss) und der ergonomischen Gestaltung der Unterlage variieren die Stichprobenergebnisse zwischen $P_{EW} = 3,4 \cdot 10^{-3}$ und $P_{EW} = 1,4 \cdot 10^{-2}$. Die Stichproben S29 und S33 weisen vergleichbare Randbedingungen auf (kein erhöhter Stress, umfangreiche Arbeitsunterlage, Möglichkeit abgearbeitete Anweisungen zu kennzeichnen) und können somit zusammengefasst werden. Das Ergebnis von $P_{EW} = 3,8 \cdot 10^{-3}$ stimmt sehr gut mit dem in der Methode THERP vorgeschlagenen, für diese Handlungssituation passenden Wert von $P_{EW} = 3,7 \cdot 10^{-3}$ überein (Tabelle 7, Item 2). Dies ist als Hinweis für die Validität der in THERP vorgeschlagenen Fehlerwahrscheinlichkeit zu werten.

Der aus den Stichproben S29 und S33 gebildete Wert kann dem Ergebnis der Stichprobe S32 gegenübergestellt werden, bei der unter sonst vergleichbaren Randbedingungen moderat erhöhter Stress vorlag und somit ein Hinweis auf Wirkung des Einflusses von moderat erhöhtem Stress ableitbar ist. Der Vergleich zeigt eine Zunahme der Fehlerwahrscheinlichkeit um den Faktor 3,8. Dieses Resultat ist dem in der Methode THERP vorgeschlagenen Wertebereich für die Wirkung von moderat erhöhtem Stress von Faktor 2 bis Faktor 4 (Tabelle 16, Item 4a, 4b) gegenüberzustellen. Der Betriebserfahrungswert befindet sich noch innerhalb des in THERP vorgeschlagenen Wertebereichs. Dies wird als Hinweis für die Validität der Einschätzung von THERP zur Wirkung von moderat erhöhtem Stress interpretiert (vgl. hierzu auch Ausführungen in Abschnitt 4.4.3 insbesondere zur Wirkung von Stress auf Kognition).

Die Stichprobenergebnisse zu S29 und S33 können auch dem Ergebnis der neuen Stichprobe S67 gegenübergestellt werden, um den in THERP postulierten Einfluss einer Kennzeichnung (Erledigungsvermerk) von abgearbeiteten Anweisungen auf die Wahrscheinlichkeit, eine Anweisung auszulassen, zu überprüfen. THERP (Tab. 7, Item 4) schlägt einen um den Faktor 3 höheren Basiswert vor, wenn eine Abarbeitungskennzeichnung nicht vorhanden ist. Die Daten aus der Betriebserfahrung weisen auf einen deutlich geringeren Effekt hin (13 %). Allerdings liegen noch zu wenige Stichproben vor, um eine Korrektur zu rechtfertigen. Der in THERP vorgeschlagene Faktor 3 ist eher konservativ, d.h. ggf. wird die Fehlerwahrscheinlichkeit zu hoch angenommen.

5 Daten aus Betriebserfahrung „unterhalb der Meldeschwelle“

In einem Kernkraftwerk werden jeden Tag eine große Anzahl von Personalhandlungen ausgeführt. Nur bei einem Teil dieser Handlungen sind die Auswirkungen auf die Sicherheit der Anlage im Fehlerfall so relevant, dass das Ereignis meldepflichtig ist. Sofern hierbei bereits Fehler aufgetreten sind können diese Handlungen und Fehler mit der in Abschnitt 3.2.1 beschriebenen Methode über die Ereignisdokumentation ermittelt und daraus, bei Vorliegen bestimmter Kriterien, Zuverlässigkeitskenngrößen abgeleitet werden.

Zu bisher fehlerfrei ausgeführten vergleichbar sicherheitsrelevanten Handlungen sind in der Datenquelle „meldepflichtige Ereignisse“ entsprechend ihrer Aufgabe kaum verwertbare Informationen zu finden. Gleichwohl kann auch aus der fehlerfreien Ausführung einer sicherheitsrelevanten Handlung (d.h. meldepflichtig wäre im Fehlerfall unmittelbar erfüllt) auf die Zuverlässigkeit dieser Handlung geschlossen werden. Um solche Handlungen identifizieren und bewerten zu können, war die Entwicklung einer spezifischen Methode erforderlich. Die Methode wird im Folgenden zusammenfassend dargestellt. Eine ausführliche Dokumentation findet sich im Anhang dieses Berichts.

Die Methode wurde in Zusammenarbeit mit einer Referenzanlage erprobt. Die bisher gewonnenen praktischen Erfahrungen und ermittelten Zuverlässigkeitskenngrößen werden im zweiten Teil dieses Kapitels dargestellt.

5.1 Methode zur Identifikation von sicherheitsrelevanten, bisher fehlerfrei ausgeführten Personalhandlungen

Ziel der Methode ist es, Handlungen zu bestimmen, die bisher nachweislich fehlerfrei ausgeführt wurden und zu denen die für eine probabilistische Bewertung entsprechend der im Abschnitt 3.2.1 dargestellten Vorgehensweise benötigten Informationen ermittelt werden können. Für diese Handlungen müssen folgende Randbedingungen gelten:

- Es muss eine abzählbare, wiederholt ausgeführte Handlung vorliegen. Die Ausführung kann in gleichen oder ungleichen zeitlichen Abständen erfolgen.

- Art, Abfolge und Ausführungsbedingungen sind innerhalb eines feststellbaren Zeitraums stets gleichartig.
- Ein postulierter Fehler zieht unausweichlich meldepflichtige Sachverhalte nach sich.
- Bisher wurden keine dadurch verursachten Ereignisse gemeldet.

Abb. 5-1 stellt diese grundlegenden Eigenschaften der gesuchten Handlungen am Beispiel einer bisher fünfmal ausgeführten Aufgabe grafisch dar. Aus einer Handlung mit diesen Eigenschaften kann eine mit der Bayes'schen Methode bewertbare Stichprobe (vgl. Abschnitt 3.2.1) bestimmt werden. Der Erwartungswert der Fehlhandlungswahrscheinlichkeit für den postulierten Fehler ergibt sich entsprechend Abschnitt 3.2.1 aus der Formel

$$P = (0,5 + n) / (1 + m)$$

Hierbei ist **n** (Fehlerzahl) gleich Null zu setzen und **m** entspricht der Anzahl der unter den vorgenannten Bedingungen ausgeführten Handlungen. Der daraus ermittelte Schätzwert für die Wahrscheinlichkeit eines postulierten Fehlers ist hinsichtlich seiner Aussagekraft gleichwertig mit Schätzwerten, die aus fehlerbehafteten Stichproben gewonnen wurden (vgl. Ergebnisse Kapitel 4).

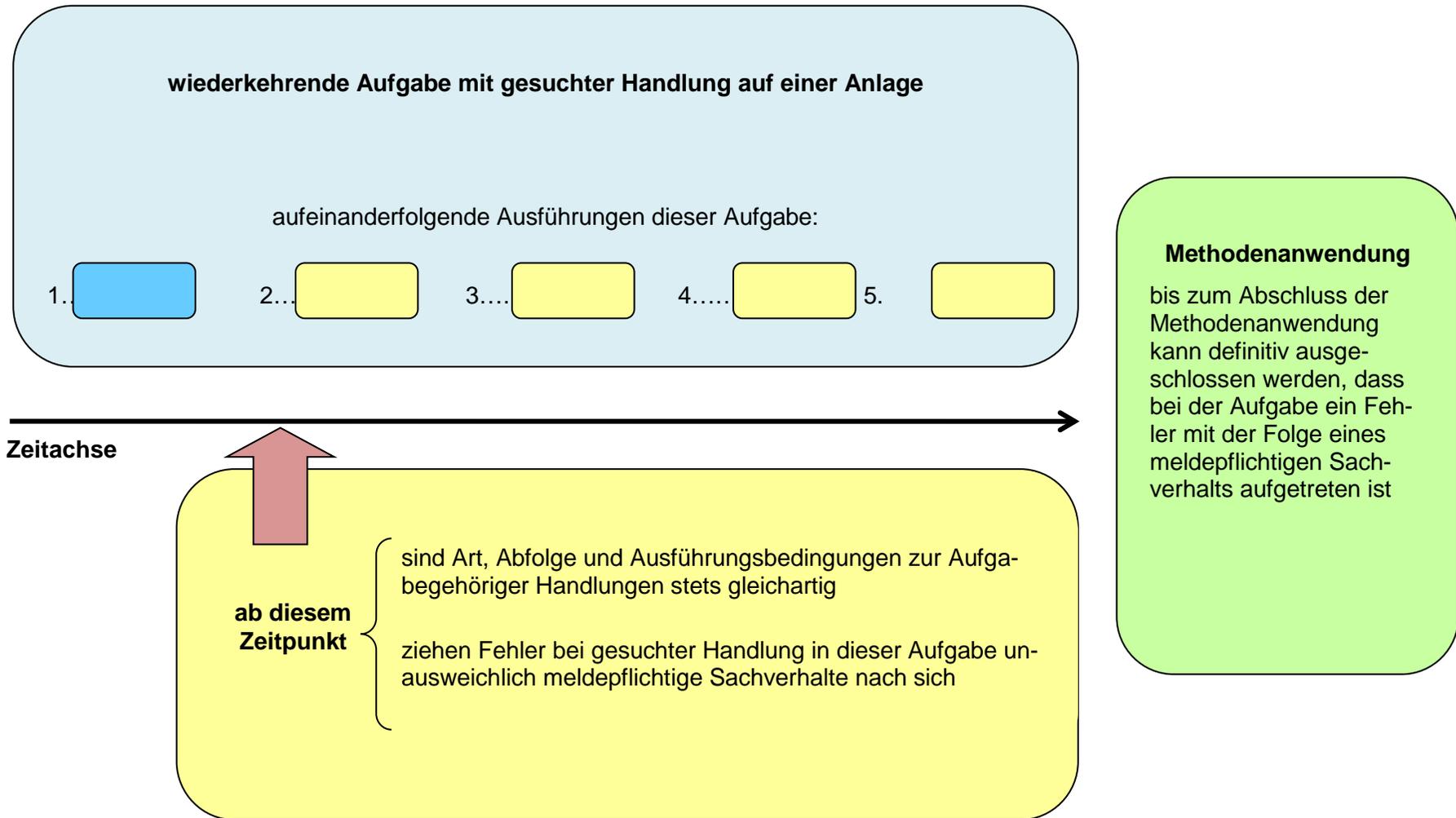


Abb. 5-1 Wichtige Merkmale einer gesuchten Handlung am Beispiel einer fünffach anstehenden Aufgabe

Tab. 5-1 Bereiche an Aufgaben, bei deren fehlerhafter Bearbeitung Meldekriterien erfüllt sein könnten (Auszug aus Anhang)

Meldekriterien lt. Anlage 1 (/ATO 10/)		Aufgabenbereiche
Gruppe	Untergruppe	
Radiologie und Strahlenschutz	Ableitung radioaktiver Stoffe	<p>Arbeiten mit bzw. an radioaktiven Stoffen, radioaktiven Gegenständen, kontaminierten Objekten (einschließlich Böden, Wänden, sonstigen Architekturteilen und Geländebereichen) sowie mit bzw. an Systemen, Anlagenteilen oder Behältnissen, die radioaktive Stoffe, Gegenstände und (oder) kontaminierte Objekte enthalten, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transport, Lagerung, Aufbereitung, Beseitigung. • Handhabung bzw. Bedienung von Behältnissen, Transportmitteln, Systemen oder Anlagenteilen, die radioaktive Stoffe oder Gegenstände enthalten.
	Freisetzung radioaktiver Stoffe	
	Kontamination	
	Verschleppung radioaktiver Stoffe	
Anlagentechnik und –betrieb	Funktionsstörungen, Schäden oder Ausfälle im Sicherheitssystem oder in den sonstigen sicherheitstechnisch wichtigen Systemen oder Anlagenteilen	<p>Aufgaben des Betriebs und der Instandhaltung (Inspektion, Wartung, Verbesserung, Instandsetzung) in Warte, Notsteuerstelle und vor Ort einschließlich Freigelände, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schalthandlungen. • Prüfungen. • Austausch schadhafter, verschleißender oder sonstiger Teile. • zugehörige Freischaltungen und sonstige Vorkehrungen wie die Errichtung von Abschirmungen.
	Schäden oder Leckagen an Rohrleitungen oder Behältern	
	Kritikalitätsstörungen	
	Absturz von Lasten; Ereignisse bei Handhabung, Lagerung oder Transport	
	Sonstige Ereignisse	

Tab. 5-2 Weitere Aufgabenbereiche, die wegen ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung zu untersuchen sind (Auszug aus Anhang)

Aufgabenbereich	Kritische Faktoren	Erläuterungen
<p>Bedienung und Instandhaltung von Einrichtungen, Systemen oder Anlagenteilen betrieblicher Art</p>	<p>Arbeiten finden so nahe an Einrichtungen des Sicherheitssystems oder anderer sicherheitstechnisch wichtiger Systeme oder Anlagenteile statt, dass bei den Arbeiten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nebenwirkungen auf und (oder) • Zweckentfremdungen von <p>Einrichtungen des Sicherheitssystems oder anderer sicherheitstechnisch wichtiger Systeme oder Anlagenteile möglich sind.</p> <p>Zu beachten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • „Einrichtungen des Sicherheitssystems“ (steht für beliebige Teile des Sicherheitssystems). • Nebenwirkungen sind nicht beabsichtigt. • Bei Zweckentfremdungen besteht keine Absicht, Schäden zu verursachen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Ort der Arbeiten kann sich neben, unter oder über der Einrichtung des Sicherheitssystems bzw. dem sicherheitstechnisch wichtigen System oder Anlagenteil befinden, die (das, der) potentiellen Nebenwirkungen und (oder) Zweckentfremdungen ausgesetzt ist. • Beispiele für Nebenwirkungen sind <ul style="list-style-type: none"> • Druck oder Stoß mit Körperteilen und (oder) gehandhabten Gegenständen bei den Arbeiten, • Erschütterungen oder Vibrationen, die im Zuge der Arbeiten entstehen, • Eintrag fester, flüssiger oder gasförmiger Materie, die vom Arbeitsort aus fallen, rieseln, fliegen, spritzen, tropfen, ablaufen, entweichen oder auf andere Weise in benachbarte Einrichtungen, Systeme oder Anlagenteile gelangen kann. • Beaufschlagung mit Temperaturen und (oder) elektromagnetischen Feldern, die im Zuge der Arbeiten entstehen, • Funkenflug. • Beispiele für Zweckentfremdungen sind Nutzung als Standplatz, Griff, Halterung oder Ablage.

Tab. 5-3 Arten technisch-ergonomisch-organisatorischer Änderungen der Aufgabendurchführung (vgl. Anhang)

Art der Änderung	Mögliche Auswirkungen auf wichtige Faktoren zuverlässigen Handelns Weitere Möglichkeiten sind ausdrücklich nicht ausgeschlossen.
<p>Vollständige oder teilweise Automatisierung oder Mechanisierung auch durch Bereitstellung von andersartigen Geräten und Werkzeugen einschließlich Transportmitteln (zu Benutzungsoberflächen und Prozeduren: siehe unten)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik, • Art und Abfolge der Handlungen des Personals einschließlich Kommunikation, Kooperation, • andersartige Bedien- und Nutzungsweisen sowie veränderte Möglichkeiten, Fehler zu begehen, zu erkennen und zu beherrschen, • körperliche und (oder) geistige Belastungen auch bei unveränderten Arten möglicher Fehler, Fehlererkennung und Fehlerbehebung, • Zahl und (oder) Qualifikation der Ausführenden, • Zeitbedarf.
<p>Ersatz bisher automatisierter oder mechanisierter Aufgaben oder Teile solcher Aufgaben durch die geistige und (oder) körperliche Arbeit des Menschen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vgl. oben.
<p>Änderungen der Architektur der Gebäude und (oder) Änderungen der räumlichen Anordnung technischer Einrichtungen, an oder neben denen zu arbeiten ist, einschließlich architektonischer Änderungen an Transportwegen oder deren Verlegung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Raum für die Zahl der Personen, die Ausführung der Arbeiten, das Aufsuchen und Verlassen des Arbeitsorts, Transport und Handhabung der benötigten oder anfallenden Materialien (Werkzeuge, Ersatzteile, Transportmittel, Abfall, ...) • Zeitbedarf für Arbeitswege und Transporte, • Nähe bzw. Distanz zu Schnittstellen mit Einrichtungen des Sicherheitssystems oder anderer, sicherheitstechnisch wichtiger Systeme oder Anlagenteile (vergleiche Tab. 5-2).

Die im Anhang dieses Berichts beschriebene Methode leitet den Anwender durch die auszuführenden Einzelschritte, die im Ergebnis zur Identifikation von Handlungen mit den geforderten Eigenschaften führt. Definitionen und umfangreiche Erläuterungen unterstützen den Anwendungsprozess. Im Wesentlichen sind drei Schritte auszuführen.

Im ersten Schritt sind Aufgaben zu bestimmen, von denen erwartet werden kann, dass sie die gesuchten Handlungen umfassen. hierzu wird eine Suchhilfe bereitgestellt (vgl. u. a. Beispiele für zu untersuchende Aufgabenbereiche und zu prüfende wichtige Faktoren zuverlässigen Handelns, Tabellen 5-1 bis 5-3).

Ergebnis des Schrittes hat eine Liste an Aufgaben zu sein, deren fehlerhafte Ausführung einen meldepflichtigen Sachverhalt herbeiführen könnte. Für jede dieser Aufgaben ist bekannt,

- das sie wiederholt auszuführen ist,
- welchem Aufgabenbereich (welchen Aufgabenbereichen) sie angehört,
- welches Meldekriterium (welche Meldekriterien) bei fehlerhafter Bearbeitung erfüllt sein könnte(n),
- an welchem Reaktor sie ansteht (falls es sich um eine Doppelblockanlage handelt),
- wann die Modalität der Aufgabenerfüllung vor der Methodenanwendung die letzte Änderung erfahren hat, die sich auf Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit des Personals auswirken kann.
- wie oft das Personal die Aufgabe bearbeitet hat, seit die Modalität der letzten Änderung unterworfen war.

Im weiteren Schritt bestimmt der Anwender pro Aufgabe, die weiter zu untersuchen ist, die

- Art und Abfolge der zugehörigen Handlungen,
- für die Zuverlässigkeit der zugehörigen Handlungen bedeutsamen Randbedingungen.

Eine ausführliche Darstellung der Merkmale für diesen Teil der Untersuchung ist im Anhang dokumentiert. Die Merkmale gehen vor allem auf Aspekte der Aufgabenana-

lyse ein, die für die vorliegende Methode spezifisch sind. Verschiedene Teile der Analyse entsprechen eingeführten Verfahren, die das vorliegende Dokument nicht im Detail behandeln, sondern nur referenziert.

Herauszuheben ist, dass hierzu neben den verfügbaren Dokumenten auch Erkenntnisse aus der Befragung des Personals und der Beobachtung der Aufgabendurchführung zu nutzen sind. Der Anwender lässt sich hierbei durch vier Fragen leiten

- Welche Handlungen führt das Personal tatsächlich aus?
- Welche vorgesehenen Handlungen führt das Personal bei der betrachteten Aufgabe nicht aus?
- Welche Handlungen werden anstelle der vorgesehenen Aktionen ausgeführt?
- Welche Handlungen werden ohne explizite Anweisungen (aufgrund der Fachkunde) ausgeführt?

Bei der Ermittlung des Handlungsablaufes und der Randbedingungen sind auch Variationen zu erfassen.

Im nächsten Schritt sind denkbare und sicher meldepflichtige Fehler zu bestimmen. Hierbei werden

- im Handlungsablauf systematisch Fehler (Auslassungsfehler und Ausführungsfehler, wie z.B. Zeitfehler, Reihenfolgefehler, Verwecheln, zu viel, zu wenig) unterstellt.
- die Fehlerfolgen für den weiteren Handlungsablauf untersucht,
- die mögliche oder ausbleibende Erkennung und Behebung des Fehlers berücksichtigt,
- mit den Erkenntnissen die Pfade erfolgreicher bzw. gescheiterter Bearbeitung der Aufgabe bestimmt,
- die Fehlerpfade, die in einem meldepflichtigen Sachverhalt münden identifiziert und
- Abhängigkeiten zwischen kontrollierenden und kontrollierten Personen erfasst.

Die Vorgehensweise entspricht der Erstellung eines HRA-Baumes (Human Reliability Assessment). Details hierzu können den im Anhang aufgeführten Referenzen entnommen werden.

Im letzten Schritt sind die Ergebnisse der Untersuchungen zusammenzufassen. Das Ergebnis besteht aus einer Liste von Handlungen mit den folgenden für die quantitative Bewertung wesentliche Informationen:

- Die Handlungen gehören zu Aufgaben, die das Eigen- oder Fremdpersonal deutscher Anlagen in den Gebäuden oder auf den Freigeländen deutscher Anlagen wiederholt unter gleichartigen Rahmenbedingungen des Handelns ohne Fehler ausgeführt hat, die bei dieser Aufgabe sicher einen meldepflichtigen Sachverhalt verursacht hätten. Unterschiedliche, mögliche Handlungsabläufe bei derselben Aufgabe werden erfasst und berücksichtigt. Der Anwendungsbereich der Methode erstreckt sich prinzipiell auf Handlungen
 - an den technischen oder baulichen Einrichtungen der Anlage.
 - der anlagenintern anstehenden Anforderung und Qualitätssicherung anlagenexterner Güter und (oder) Dienstleistungen, soweit letztere für die betrachtete Aufgabe notwendig sind.
 - des Sicherheitsmanagements, soweit die betrachtete Aufgabe Gegenstand wiederkehrender Sicherheitsmanagementaktivitäten ist.
 - der Arbeitsvorbereitung, wie sie die Instandhaltungsordnung der Anlage bei Instandhaltungen vorsieht. Sie umfasst die Planung der Arbeiten, die Ausfertigung erforderlicher Unterlagen und die zugehörigen Kontrollen.

Es können also Handlungen aus all diesen Kategorien in die weitere Auswertung eingehen.

- Man konnte bestimmen, wie oft die Handlungen im definierten Sinne fehlerfrei vollzogen worden sind.
- Die Analyse hat gezeigt,
 - unter welchen Rahmenbedingungen das Personal die einzelnen Handlungen vollzieht.

- ob der Fehler den meldepflichtigen Sachverhalt allein oder in Kombination mit anderen Fehlern verursacht.
- welche Abhängigkeiten zwischen den Fehlern im Fall einer Fehlerkombination bestehen.

5.2 Erhebung von Stichproben aus Betriebserfahrungen „unterhalb der Meldeschwelle“

Wie bereits in der Einführung zu Kapitel 5 dargelegt, befassen sich die im Folgenden dargestellten Arbeitsergebnisse mit den Erfahrungen zu abzählbaren Personalhandlungen, die belegbar noch nicht fehlerhaft ausgeführt wurden (Teil der insgesamt vorhandenen Betriebserfahrungen „unterhalb der Meldeschwelle“). In der wiederholt fehlerfreien Ausführung einer Handlung liegt eine qualitative mit einer Stichprobe zu beschreibende Information zur Zuverlässigkeit dieser Handlung, aus der mit der Bayes'schen Methodik ein Schätzwert der Zuverlässigkeitskenngroße ermittelt werden kann. Ziel der Arbeiten war es, mit einer Reihe von Beispielen zu zeigen, dass auf diesem Wege Zuverlässigkeitskenngroßen erhoben werden können. Mit der im Abschnitt 5.1 beschriebenen Methode wurden hierzu folgende Tätigkeiten analysiert:

- Anfahren der Anlage,
- wiederkehrende Prüfung der Notstromanlagen
 - Vollastprobe der Notstromdieselaggregate,
 - Netzausfallsimulation,
 - Prüfung der Schutzkriterien der Notstromdieselaggregate,
- Prüfung des Systems zur Unterdruckhaltung im Ringspalt zwischen Sicherheitsbehälter und Reaktorgebäude.

Der Betreiber der Referenzanlage stellte zunächst in ausreichendem Umfang Unterlagen zu den durchzuführenden Handlungen zur Verfügung (u. a. Schaltpläne, Prüfanweisungen, sonstige Prozeduren). Auf dieser Grundlage und mit Unterstützung von fachkundigen Betreiberpersonal wurden dann für jede einzelne Aufgabe Handlungsablaufmodelle entwickelt und analysiert (d.h. Fehlerannahmen, Einschätzung der Fehlerkonsequenzen im Hinblick auf die Meldepflicht, Ermittlung von ggf. vorliegenden fehlerfördernden Faktoren). Alle dann vorliegenden Erkenntnisse wurden danach im Rahmen

einer Anlagenbegehung gemeinsam mit Personen, die diese Aufgaben ausführen, einem praxisbezogenen Überprüfungsschritt unterzogen (u. a. Teilnahme an Prüfungen und/oder detaillierte Beschreibung der Tätigkeiten an den Handlungsorten, Diskussion des Fehlerpotentials). Die Arbeiten führten zu insgesamt 18 Stichproben, die in der Folge aufgabenbezogen dargestellt werden.

5.2.1 Stichproben SN1 bis SN4 „Anfahrüberbrückung beim Übergang in den Leistungsbetrieb nicht eingelegt“

In der Doppelblockanlage, die Referenz für diese Stichprobe ist, wird beim Anfahren aus dem Zustand „Nulllast heiß“ die thermische Reaktorleistung mit ca. 1 % je Minute erhöht. Entsprechend den Anweisungen des Betriebshandbuches zum Abfahren der Anlage ist die sogenannte Anfahrüberbrückung (Kommandotaste am Wartenleitstand) zu betätigen, wenn der Neutronenfluss über 3 % ansteigt. Überschreitet die thermische Reaktorleistung einen Wert von 10%, ohne dass die Anfahrüberbrückung eingelegt ist, so schaltet das Reaktorschutzsystem den Reaktor ab.

Mit Ausnahme einer Sondersituation, in der das Neutronenflussmesssignal noch nicht den Wert 3% überstieg, obwohl die thermische Reaktorleistung 10% erreichte, sind die folgenden mit dieser Aufgabe verbundenen Teilhandlungen bisher korrekt ausgeführt worden:

- Lesen und Merken der BHB-Anwendung,
- Beobachten der Neutronenflussanzeige.

Fehler beim Generieren der Aufgabenstellung (BHB-Anweisung lesen und merken für einen kurzen Zeitraum) sowie beim Ablesen der Anzeige, die im vergleichsweise engen Zeitfenster bis zum Erreichen einer Reaktorleistung von $P_{th} = 10\%$ auftreten, würden die Schnellabschaltung zur Folge haben. Aus dieser Überlegung heraus können Stichproben zu folgenden Handlungsfehlern gebildet werden:

- SN1 „BHB-Anweisung wird nicht gelesen“ mit der Folge, dass die Aufgabenstellung nicht bekannt ist und die Handlung ausgelassen wird. Das Anfahr-BHB umfasst eine große Zahl von Schritten. Die Kontrolle der Abarbeitung des Anfahr-BHB`s wird durch Erledigungsvermerke unterstützt.

- SN2 „BHB-Anweisung wird nach dem Lesen nicht erinnert“.
Vor der Ausführung der Anweisung muss abgewartet werden, bis das Neutronenflussmesssignal über 3% angestiegen ist. Die Zeitspanne zwischen Lesen und Ausführung der Handlung ist kurz, d.h. die Aufgabenstellung muss nicht lange gemerkt werden. Allerdings werden während der Wartephase noch andere Handlungen ausgeführt.
- SN3 „Neutronenflussmesssignal wird zu spät abgelesen“.
Die Zeitspanne zwischen Erreichen des Kriteriums für das Einlegen der Überbrückung (Neutronenfluss > 3 %) und der Auslösung der RESA umfasst nur wenige Minuten. Das Übersteigen des Wertes von 3% muss rechtzeitig erkannt werden.
- SN4 „Neutronenflussmesssignal wird falsch abgelesen“
Hierzu hat der Reaktoroperator an seinem Arbeitsplatz eine Analoganzeige abzulesen, die einen sehr großen Bereich an Messwerten abdeckt.

Fehlerfördernd für alle postulierten Fehlhandlungen wirken sich die hohen Aufgabenbelastung des Operators und die sich rasch ändernden Prozessgrößen in dieser Betriebsphase aus. Die Anzahl der Gelegenheiten für einen Fehler ist bei allen vier „Null-Fehler“ – Stichproben gleich. Eine detaillierte Auswertung der Betriebsdokumentation ergab für beide vergleichbaren Reaktorblöcke eine Anzahl von etwa 350 Anfahrvorgängen (nach geplanten und nicht geplanten Abschaltungen). Damit ergibt sich für jeden postulierten Fehler ein Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit von $1,4 \cdot 10^{-3}$. Randbedingungen und Fehlerart werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

- SN1, Auslassungsfehler, Aufgabenstellung nicht generiert, Prozedurschritt nicht gelesen (umfangreiche Prozedur, Abarbeitungskennzeichnung vorhanden, Aufgabenbelastung hoch). Im Datenteil der Methode THERP wird hierfür ein Schätzwert von $P_{EW} = 7,5 \cdot 10^{-3}$ vorgeschlagen (Tab. 20-7 (2)) in Verbindung mit Tab. 20-16 (4a).
- SN2, Auslassungsfehler, Aufgabenstellung nicht erinnert (kurze Zeitspanne zwischen Lesen der Anweisung und Erinnern, Aufgabenbelastung hoch). Die Methode THERP schlägt Werte für Erinnerungsleistungen vor (u. a. Tab. 20-7 (5#)). Diese schließen jedoch nicht Situationen mit ein, bei denen die Zeitspanne zwischen Merken und Erinnern vergleichbar kurz ist (Kurzzeitgedächtnis).

- SN3, Zeitfehler bei der Ausführung einer Handlung (Anzeigen zu spät gelesen, enges Zeitfenster, dynamische Handlungssituation, hoher Aufgabendruck). Die Methode THERP schlägt keine Daten zu Zeitfehlern vor.
- SN4, Fehler beim Ablesen einer analogen Anzeige (großer Messbereich, hohe Anforderungen an die Ablesegenauigkeit, hoher Aufgabendruck). Der Referenzwert der Methode THERP beträgt $P_{EW} = 7,5 \cdot 10^{-3}$ (Tab. 20-11 (4) in Verbindung mit Tab. 20-16 (4a)).

5.2.2 Stichproben SN5 bis SN11 „Handlungsfehler bei der Vollastprobe der Notstromdieselaggregate“

Zum Nachweis der Funktionsfähigkeit wird in der Referenzanlage jede Woche eines der insgesamt 6 Notstromdieselaggregate einer sogenannten Vollastprobe unterzogen. Der mit der Prüfung beauftragte Elektriker fährt hierzu das Aggregat nach dem Start am örtlichen Leitstand mit dem Handlungsstopphebel auf Nenndrehzahl. Danach ist die Synchronisierungseinrichtung „Dieselaggregat/Notstromschiene“ an der E-Tafel in der Warte zu betätigen, die nach erfolgreicher Synchronisierung den Diesel automatisch auf die Notstromschiene schaltet. Durch vorsichtiges Verstellen des Drehzahlswerts am örtlichen Leitstand wird nun die Leistungsabgabe stufenweise bis auf Vollastniveau erhöht. Die Anzeigen der Prozessgrößen „Aggregateleistung“, Drehzahl“ und „Verhältnis Wirk- zu Blindleistung ($\cos \varphi$)“ befinden sich im Blickfeld des Elektrikers. Drehzahlswert und $\cos \varphi$ sind diskontinuierlich anzupassen (Drucktasten „höher“, „tiefer“). Kommt es im Verlauf der Prüfung zu Handlungsfehlern, die ein Ansprechen des vorrangigen Aggregateschutzes zur Folge haben (Abschaltung mit Vorrang vor Anforderung durch Reaktorschutzsystem), so liegt ein meldepflichtiges Ereignis vor. Entsprechend den Ereignissen der Aufgabenanalyse kann dies bei folgenden sieben mit „Nullfehlerstichproben“ charakterisierten Fehlern geschehen. Die Prüfung ist seit Übergabe der Anlage etwa 2010-mal fehlerfrei durchgeführt worden. Für alle sieben Stichproben folgt somit ein Schätzwert der Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 2,5 \cdot 10^{-4}$.

- SN5 „Ausführungsfehler bei der Betätigung der Synchronisierungstaste „Diesel/Notstromschiene“ an der E-Tafel in der Warte.
Ein versehentliches Betätigen des Kuppelschalters Eigenbedarfs-/Notstromschiene führt zum Spannungsausfall an der Notstromschiene. Die E-Tafel ist ergonomisch günstig gestaltet (Fließbilddarstellung u. a.). Die Kommandotaste des Kuppelschal-

ters befindet sich im Greifraum des Operators. Die Tasten sind gleichartig gestaltet. Die Beschriftungen weisen Ähnlichkeiten auf. Die Datentabellen der Methode THERP schlagen für diesen Fehler einen Wert von $P_{EW} = 1,3 \cdot 10^{-3}$ (Tab. 20-12 (4)) vor.

– SN6 bis SN8, Hochfahren des Diesels auf Volllast

Der Elektriker hebt hierzu den Sollwert für die Dieseldrehzahl vorsichtig an. Die Drehzahlanzeige bleibt jedoch bei 1500 U/min, da der Diesel mit der an das EB-Netz angekoppelten Notstromschiene verbunden ist. Die Drehzahlregelung versucht über die Steigerung der Einspritzmenge und damit der Dieselleistung die Drehzahl anzuheben, d.h. der Elektriker beobachtet einen Anstieg der Dieselleistung. Bei Erreichen der Leistungssollwerte ist der Drehzahlsollwert vorsichtig zurückzustellen bis die Dieselleistung sich auf dem zu prüfenden Wert stabilisiert. Es handelt sich hierbei um eine Regelaufgabe, bei der die Dieselleistung indirekt über den Drehzahlsollwert gesteuert wird. Eine Anzeige für den Drehzahlsollwert selbst ist nicht vorhanden. Wird die abgegebene Leistung zu hoch gefahren, so bricht der vorrangige Aggregateschutz die Prüfung ab. Hierzu können insgesamt 3 Handlungsfehler führen.

- SN6, Fehler beim Ablesen der Leistungsanzeige im oberen Anzeigebereich (Ausführungsfehler).

Die Analoganzeige ist gut ablesbar. Der Ablesefehler muss relativ groß sein. Insgesamt liegen als günstig einzuschätzende Randbedingungen vor. Die Datentabellen der Methode THERP schlagen für Ablesefehler bei Analoganzeigen einen Erwartungswert von $P_{EW} = 3,8 \cdot 10^{-3}$ vor. Hierbei wird hinsichtlich des Designs der Anzeige nicht weiter differenziert (d.h. günstige oder ungünstige Ablesebedingungen).

- SN7, Drehzahlsollwert wird beim Hochfahren auf Volllast zu stark erhöht (Ausführungsfehler).

Die Taste „höher“ wird zu lange, bzw. zu häufig betätigt. Bei Überschreitung des Volllastwertes kann dann der Sollwert nicht mehr schnell genug zurückgenommen werden. Die Vorgehensweise zur Bedienung des Sollwertstellers beruht auf Fachkundewissen, das häufig anzuwenden ist. Für häufig anzuwendendes, zu erinnerndes und falsch erinnertes Fachwissen werden in THERP keine Daten vorgeschlagen.

- SN8 Sollwert bei Erreichen der Vollastleistung nicht rechtzeitig zurückgestellt (Ausführungsfehler, „tiefer“ Taste zu spät bedient).
Das Zeitfenster zwischen Erreichen der Vollastleistung und Ansprechen des Überlastschutzes ist kurz. Günstig wirkt sich aus, dass der Elektriker auf dieses Prüfziel wartet und in der Wartezeit keine an anderen Arbeitsplätzen durchzuführenden Aufgaben zu erledigen hat. Für Zeitfehler werden in der Methode THERP keine Daten vorgeschlagen.
- SN9 bis SN11, Nachfahren des Verhältnisses „Wirk-/Blindleistung ($\cos \varphi$)“
Dieser Prozessparameter ist während der Leistungsveränderung immer oberhalb eines Wertes von 0,9 zu halten. Sinkt er unter 0,8 ab, so schalten vorrangige Schutzkriterien das Aggregat ab. Der Elektriker hat den aktuellen Wert über eine Analoganzeige zu beobachten und über die Taste „höher“ der $\cos \varphi$ -Regeleinrichtung ein Absinken unter 0,8 zu verhindern. Insgesamt drei postulierte Fehler können zum Abbruch der Prüfung führen.
 - SN9, Auslassung der Teilaufgabe
Auf die Teilaufgabe wird in der Prüfanweisung hingewiesen. Die Notwendigkeit ist auch Bestandteil des häufig angewendeten Fachwissens des Elektrikers. Die Methode THERP schlägt für das Auslassen eines Schrittes in dieser Prüfanweisung einen Erwartungswert von $3,8 \cdot 10^{-3}$ (Tab. 20-7 (2)) vor. Hierbei wird allerdings nicht berücksichtigt, dass das Wissen über die Kontrolle des $\cos \varphi$ -Wertes auch Bestandteil der Fachkunde ist.
 - SN10, $\cos \varphi$ - Anzeige wird falsch abgelesen (Ausführungsfehler beim Ablesen eines analogen Anzeigeegerätes)
Grenzwert und Sollwert liegen etwa 10% der Skalenlänge auseinander und sind gut unterscheidbar. Die Datentabellen der Methode THERP schlagen hierfür einen Wert von $3,8 \cdot 10^{-3}$ vor (Tab. 20-11 (4)) ohne weitere Differenzierung der Ableseanforderungen).
 - SN11, $\cos \varphi$ -Wert wird zu spät angehoben (Ausführungsfehler „Höher“-Taste zu spät betätigt).
Das Zeitfenster zwischen Unterschreiten des Sollwertes und Erreichen des Schutzgrenzwertes ist vergleichsweise kurz. Günstig wirkt sich aus, dass die Aufmerksamkeit des Elektrikers auf das Verhalten der Leistungs- und $\cos \varphi$ -Anzeige ausgerichtet ist, die sich beide in seinem Blickfeld befinden. Für Zeitfehler werden in der Methode THERP keine Daten vorgeschlagen.

5.2.3 Stichproben SN12 bis SN17 „Prüfung der Generatorschutzkriterien“

Die Schutzkriterien eines Dieselaggregates wurden in der Referenzanlage bis Mitte 1996 bei Leistungsbetrieb geprüft. Käme es aufgrund von Handlungsfehlern zur Fehlauslösung eines der vorrangigen Schutzkriterien, so liegt ein meldepflichtiges Ereignis vor. Die Prüfungen werden in der Schaltanlage an den Schaltschränken mit den Steuerrelais durchgeführt.

Der Elektriker öffnet zunächst die Trennlaschen am Relais, über das die Schutzausbe-
fehle geführt werden, da es im Verlauf der Prüfung zu Grenzsignalauslösungen kommt. Danach werden die Auslöserelais für die Schutzgrenzwerte geprüft. Der Elektriker simuliert hierbei mit extern angeschlossenen Prüfgeräten die Grenzwerte (Vorgabe der elektrischen Werte in der Prüfanweisung) und beobachtet das Ansprechverhalten des jeweiligen Relais. Schaltet das geprüfte Relais nicht beim Referenzwert, so kann er über einen Drehknopf am Relais das Ansprechverhalten des Relais so verändern, dass es beim vorgegebenen Wert schaltet. Eine Fehleranalyse der Arbeitsvorgänge führte zu insgesamt 6 bisher noch nicht aufgetretenen Handlungsfehlern und darauf aufbauende bewertbare Stichproben. Bei der Ermittlung der Häufigkeit der Ausführung einer bewertbaren Teilhandlung ist zu berücksichtigen, dass einige Teilhandlungen während der Prüfung mehrfach auszuführen sind und einige Fehler auch nach der Verlegung des Prüfzeitpunktes (nur noch bei abgeschalteter Anlage) noch zur Meldepflicht geführt hätten.

- SN12, Anweisung zum Öffnen der Trennlaschen des Relais für die Schutzausbe-
fehle wird nicht ausgeführt (Auslassungsfehler)
Ein Auslassen dieses in der Prüfanweisung beschriebenen Schrittes hätte bis Mitte 1996 zur Meldepflicht geführt ($m = 78$). Daraus ergibt sich ein Erwartungswert für den Auslassungsfehler von $P_{EW} = 6,3 \cdot 10^{-3}$ (Umfangreiche Prozedur ohne Möglichkeit zur Abarbeitungskennzeichnung). Die Datentabellen der Methode THERP schlagen hierfür einen Wert von $P_{EW} = 1,3 \cdot 10^{-2}$ vor (Tab. 20-7 (4)).
- SN13, eine der drei Trennlaschen des Relais für die Schutz-Aus-Befehle wird nicht geöffnet (Auslassen einer Teilhandlung)
Die Trennlaschen sind an der Vorderseite des Relais angebracht und werden mit dem Schraubendreher nach oben geschoben. Für eine Eigenkontrolle der Handlungsausführung (ist keine Lasche vergessen worden?) muss eine unbequeme Körperhaltung eingenommen werden (dicht über dem Boden angebrachtes Relais,

Laschenzustand von oben nicht sicher kontrollierbar). Der Elektriker geht gedächtnisgestützt (Kurzzeitgedächtnis) vor. Mit $m = 234$ ergibt sich der Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit zu $P_{EW} = 2,1 \cdot 10^{-3}$. Die Methode THERP schlägt keine Daten zur Zuverlässigkeit von nur kurz zu merkenden Informationen vor.

- SN14, eine der drei Trennlaschen des Schutz-Aus-Relais wird nicht vollständig geöffnet (Ausführungsfehler)

Jede der drei Laschen (verschiebbare Metallstreifen, die zwei Relaiskontakte verbinden) muss mit dem Werkzeug vollständig nach oben geschoben werden. Die ergonomischen Randbedingungen der Handlungsausführung sind als eher ungünstig einzuschätzen (gebückte Körperhaltung, Laschenposition schlecht einsehbar, vollständiges Verschieben erforderlich, vgl. auch SN13). Die Vorgehensweise ist Bestandteil des Fachwissens des Elektrikers). Mit $m = 234$ ergibt sich der Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit zu $P_{EW} = 2,1 \cdot 10^{-3}$. Die Methode THERP schlägt hierfür keine Daten vor.

- SN15, Trennlaschen werden am falschen Relais geöffnet (Ausführungsfehler)

Im Greifraum um das Relais für die Schutz-Aus-Befehle, befinden sich noch weitere gleichartige Relais mit ähnlicher Kennzeichnung. Mit $m = 78$ ergibt sich für den Verwechslungsfehler ein Erwartungswert von $P_{EW} = 6,3 \cdot 10^{-3}$. Die Methode THERP schlägt hierfür keine Daten vor.

- SN16, Ablesefehler bei der Kontrolle der Sollwertvorgabe für das Überlastschutzrelais

Die Sollwertvorgabe für den Überlastschutz wird mit einem Leistungsmessgerät kontrolliert. Wird dieser falsch abgelesen (Digitalanzeige), so kommt es zu einer Fehleinstellung des Ansprechwertes des Schutzrelais. Fehlerfördernde, den Ablesevorgang erschwerende Randbedingungen liegen nicht vor. Mit $m = 180$ ergibt sich der Erwartungswert der Fehlerwahrscheinlichkeit zu $P_{EW} = 2,8 \cdot 10^{-3}$. Die Methode THERP schlägt hierfür einen Erwartungswert von $P_{EW} = 1,2 \cdot 10^{-3}$ vor (Tab. 20-10 (2)).

- SN17, Ablesefehler bei der Kontrolle der Sollwertvorgaben für das Überstrom, Überspannungs- oder Erregerstromschutzrelais

Die Sollwertvorgaben werden durch Strom/Spannungsmessgeräte mit Analoganzeigen kontrolliert. Ablesefehler führen zu Fehleinstellungen der Ansprechwerte der Schutzrelais. Fehlerfördernde, den Ablesevorgang erschwerende Randbedingungen liegen nicht vor. Mit $m = 438$ ergibt sich der Erwartungswert der Fehler-

wahrscheinlichkeit zu $P_{EW} = 1,1 \cdot 10^{-3}$. Die Methode THERP schlägt hierfür einen Erwartungswert von $P_{EW} = 3,8 \cdot 10^{-3}$ vor (Tab. 20-10 (1)).

5.2.4 Stichprobe SN18 „Netzausfallsimulation“

Alle zwei Monate werden in der Referenzanlage die Systeme zur Sicherstellung der Notstromversorgung der sechs Notstromschienen „scharf“ geprüft. Nach dem Öffnen der Verbindung zur Eigenbedarfsanlage muss das Notstromdieselaggregat automatisch gestartet werden und stufenweise die Versorgung der notstromgesicherten Verbraucher übernehmen.

Die erforderlichen Schalthandlungen werden in der Warte ausgeführt und zu erheblichen Teilen von automatischen Prüfeinrichtungen unterstützt. Die Aufgabe des Operateurs besteht überwiegend in der Beobachtung und Protokollierung von Prozessinformationen und im Weiterschalten der Prüfautomatik. Einige der dabei möglichen Fehler führen lediglich zum Abbruch der Prüfung und sind nicht meldepflichtig. Obwohl die Prüfanweisung sehr umfangreich ist, hatte die Analyse und Fehlerbetrachtung der Teilschritte nur eine Fehlhandlung zum Ergebnis, für die eine Zuverlässigkeitsstichprobe aufgebaut werden konnte.

- SN18, Ausführungsfehler bei der Betätigung der Synchronisierungstaste „Notstromschiene/Eigenbedarfsschiene“ an der E-Tafel in der Warte
Ein versehentliches Betätigen der Kommandotaste für den Dieselgeneratorschalter führt in dieser Prüfsituation zu einem ungeplanten Spannungsausfall an der Notstromschiene und ist damit meldepflichtig. Die E-Tafel ist ergonomisch günstig gestaltet (u. a. Fließbilddarstellungen). Die Kommandotasten des Synchronisationsgerätes und des Generatorschalters befinden sich im Greifraum des Operateurs. Die Tasten sind gleichartig konstruiert. Die Beschriftungen weisen Ähnlichkeiten auf. Für die Anforderungshäufigkeit ergibt sich ein Wert von $m = 1460$ und damit ein Erwartungswert für die Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_{EW} = 3,4 \cdot 10^{-4}$. Die Datentabellen von THERP schlagen für diesen Fehler einen Wert von $P_{EW} = 1,3 \cdot 10^{-3}$ vor (Tab. 20-12 (4)).

5.2.5 Prüfung des Systems zur Unterdruckhaltung im Ringspalt zwischen Sicherheitsbehälter und Reaktorgebäude

Die Funktion des Systems zur Ringspaltabsaugung ist jährlich zu prüfen (Funktionsnachweise für die Kompressoren, die Störungsumschaltautomatik, die Grenzwerte und der Unterdruckhaltung im Ringspalt). Die Detailanalyse des Prüfablaufs führte zu einer Reihe von zu unterstellenden Handlungsfehlern. Im Zuge des Verifizierungsschrittes mit Fachpersonal vor Ort in der Anlage musste jedoch festgestellt werden, dass keiner davon die Kriterien für den Aufbau einer Stichprobe erfüllt. Entweder waren die Auswirkungen der Fehler nicht meldepflichtig oder sie führen nur gemeinsam mit weiteren Fehlern zur Meldepflicht. In beiden Fällen kann nicht ausreichend sicher festgestellt werden, ob die in Frage kommende Prüfhandlung bisher fehlerfrei ausgeführt wurde. Die Erfahrung mit der Analyse dieser Prüfung unterstreicht aber die bedeutsame Rolle der Recherchen in der Anlage und die Unterstützung des fachkundigen Anlagenpersonals für die Identifikation geeigneter Stichproben.

5.3 Datentabelle zu fehlerfreien Stichproben

5.3.1 Ausführungsfehler, Fehler bei der Handlungsregulation

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_{5\%}$; P_{EW} ; $P_{95\%}$
SN3	Diskontinuierliches Ablesen eines Messwerts	Messwert zu spät abgelesen	Enges Zeitfenster, hohe Aufgabenbelastung	350/0	$6 \cdot 10^{-6}$; $1,4 \cdot 10^{-3}$; $5,5 \cdot 10^{-3}$
SN5	Kommandotaste betätigen an Wartentafel	Falsche Taste betätigt	gleich konstruiert; ähnlich bezeichnete Taster im Greifraum, Fließbilddarstellung und Farbkodierung	2010/0	$1 \cdot 10^{-6}$; $2,5 \cdot 10^{-4}$; $9,6 \cdot 10^{-4}$
SN8	Kommandotaste für kontinuierlich verstellbare Prozessgröße bei Erreichen des Zielwertes betätigen	Taste zu spät betätigt	Kurzes Zeitfenster; Zwei im Sichtfeld befindliche Anzeigen sind während der Wartezeit zu kontrollieren	2010/0	$1 \cdot 10^{-6}$; $2,5 \cdot 10^{-4}$; $9,6 \cdot 10^{-4}$;
SN11	Kommandotaste für kontinuierlich verstellbare Prozessgröße bei Erreichen des Zielwertes betätigen	Taste zu spät betätigt	Kurzes Zeitfenster; Zwei im Sichtfeld befindliche Anzeigen sind während der Wartezeit zu kontrollieren	2010/0	$1 \cdot 10^{-6}$; $2,5 \cdot 10^{-4}$; $9,6 \cdot 10^{-4}$

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_5\%$; P_{EW} ; $P_{95\%}$
SN14	Öffnen der Trennlasche eines Relais	Lasche nicht weit genug verschoben	Ungünstige Körperhaltung erforderlich, Laschenposition schlecht einsehbar, vollständiges Verschieben erforderlich	234/0	$8 \cdot 10^{-6}$; $2,1 \cdot 10^{-3}$; $8,2 \cdot 10^{-3}$
SN15	Öffnen von Relai-trennlaschen	Am falschen Relais gearbeitet	Gleich konstruierte, ähnlich bezeichnete Relais im Greifraum	78/0	$2,5 \cdot 10^{-5}$; $6,3 \cdot 10^{-3}$; $2,4 \cdot 10^{-2}$
SN18	Kommandotaste betätigen an Wartentafel	Falsche Taste betätigt	gleich konstruiert; ähnlich bezeichnete Taster im Greifraum, Fließbilddarstellung und Farbkodierung	1460/0	$1 \cdot 10^{-6}$; $3,4 \cdot 10^{-4}$; $1,3 \cdot 10^{-3}$

5.3.2 Ausführungsfehler, fehlerhafte Aufgabenstellung

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_5\%$; P_{EW} ; $P_{95\%}$;
SN4	Ablezen eines Messwertes, Analoganzeige	Messwert falsch abgelesen	Hohe Anforderung an Ablesegenauigkeit; hoher Aufgabendruck	350/0	$6 \cdot 10^{-6}$; $1,4 \cdot 10^{-3}$; $5,5 \cdot 10^{-3}$;
SN6	Ablezen eines Messwertes, Analoganzeige	Messwert falsch abgelesen	Gut ablesbare Anzeige	2010/0	$1 \cdot 10^{-6}$; $2,5 \cdot 10^{-4}$; $9,6 \cdot 10^{-4}$;
SN7	Kommandotaste für kontinuierlich verstellbare Prozessgröße betätigen	Taste zu lange betätigt; Fachwissen falsch erinnert	Zu erinnerndes, häufig anzuwendendes Fachwissen	2010/0	$1 \cdot 10^{-6}$; $2,5 \cdot 10^{-4}$; $9,6 \cdot 10^{-4}$
SN10	Ablezen eines Messwertes, Analoganzeige	Messwert falsch abgelesen	Gut ablesbare Anzeige	2010/0	$1 \cdot 10^{-6}$; $2,5 \cdot 10^{-4}$; $9,6 \cdot 10^{-4}$
SN16	Ablezen eines Messwertes, Digitalanzeige	Messwert falsch abgelesen	Gut ablesbare Anzeige	180/0	$1 \cdot 10^{-5}$; $2,8 \cdot 10^{-3}$; $1,1 \cdot 10^{-2}$
SN17	Ablezen von Messwerten von Strom/ Spannungsmessgeräten, Analoganzeige	Messwert falsch abgelesen	Gut ablesbare Anzeige	438/0	$5 \cdot 10^{-6}$; $1,1 \cdot 10^{-3}$; $4,4 \cdot 10^{-3}$

5.3.3 Auslassungsfehler

Stichproben-Nr.	Handlung	Fehler	Einflüsse	Stichprobenparameter m/n	Fehlerwahrscheinlichkeiten $P_5\%$; P_{EW} ; $P_{95}\%$
SN1	Lesen einer Anweisung in Arbeitsunterlage	Eine der Handlungsanweisungen nicht gelesen	Umfangreiche Prozedur, Erledigungsvermerke, hoher Aufgabendruck	350/0	$6 \cdot 10^{-6}$; $1,4 \cdot 10^{-3}$; $5,5 \cdot 10^{-3}$;
SN2	Erinnern an eine zu vor gelesene Anweisung	Handlungsanweisung nicht erinnert	Kurze Zeitspanne zwischen Lesen und Handeln (Kurzzeitgedächtnis); hoher Aufgabendruck	350/0	$6 \cdot 10^{-6}$; $1,4 \cdot 10^{-3}$; $5,5 \cdot 10^{-3}$;
SN9	Lesen einer Anweisung in Arbeitsunterlage	Eine der Handlungsanweisungen nicht gelesen	Umfangreiche Prozedur mit Erledigungsvermerken; Aufgabenstellung auch Bestandteil des Fachwissens	2010/0	$1 \cdot 10^{-6}$; $2,5 \cdot 10^{-4}$; $9,6 \cdot 10^{-4}$
SN12	Lesen einer Anweisung in Arbeitsunterlage	Eine der Handlungsanweisungen nicht gelesen	Umfangreiche Prozedur ohne Erledigungsvermerke	78/0	$2,5 \cdot 10^{-5}$; $6,3 \cdot 10^{-3}$; $2,4 \cdot 10^{-2}$
SN13	Öffnen der Trennlaschen eines Relais	Eine der Laschen nicht geöffnet	Laschenzustand visuell schlecht kontrollierbar; Kurzzeitgedächtnisgestütztes Vorgehen	234/0	$8 \cdot 10^{-6}$; $2,1 \cdot 10^{-3}$; $8,2 \cdot 10^{-3}$

5.4 Bewertung der Daten aus der Datenquelle „Betriebserfahrung unterhalb der Meldeschwelle“

Ziel der in Abschnitt 5 dokumentierten Arbeiten war es, am Beispiel einer Referenzanlage zu zeigen, dass mit der im Anhang beschriebenen Methode Daten zur Zuverlässigkeit von Personalhandlungen ermittelt werden können. Im Vergleich zu /GRS 10/ war dabei methodisches Neuland zu beschreiten und zu prüfen, ob aus der fehlerfreien Ausführung sicherheitsrelevanter Personalhandlungen auf deren Zuverlässigkeit geschlossen werden kann.

Die im Anhang beschriebene Methode zur Identifikation von bewertbaren Handlungen und postulierten Handlungsfehlern greift bewährte und in der Arbeitswissenschaft akzeptierte Vorgehensweisen auf (u. a. Handlungsmodellierung, Aufgabenanalyse und Fehlermodelle) und passt diese an die Erfordernisse der hier zu untersuchenden Fragestellung an.

Die praktische Anwendung der Methode hat sich bewährt. Die Untersuchung von drei Tätigkeitsbereichen in der Referenzanlage (Anfahren der Anlage, wiederkehrende Prüfung der Notstromanlagen und Prüfung der Ringspaltunterdruckhaltung) hat zu insgesamt 18 bewerteten Stichproben geführt. Fehler, die zur Meldepflicht führen würden, Einflussfaktoren und Häufigkeit der Handlungsausführung konnte mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden. Die Qualität der Stichprobenparameter ist vergleichbar mit denen zu fehlerbehafteten Stichproben.

Die Erfahrungen aus dem Referenzfall zeigten, dass hiermit eine Datenquelle mit sehr hohem Erkenntnispotential erschlossen werden kann. Nachteilig ist, dass damit ein enorm hoher Arbeitsaufwand einhergeht. Ohne die Unterstützung durch fachkundiges Personal der Anlage und der Möglichkeit, die Tätigkeitsorte zu begehen, Interviews mit den Handlungsausführenden zu führen und sie bei der Tätigkeitsausführung zu beobachten, lassen sich keine belastbaren Ergebnisse erzielen. Schon in der Phase der Vorselektion der in Frage kommenden Aufgaben (vgl. Tabellen des Anhangteils) ist es erforderlich, in großem Umfang von der Anlage mit Dokumenten unterstützt zu werden. Bei ausreichender Erfahrung in der ergonomischen Beurteilung von Handlungssituationen und Arbeitsorten ist es jedoch auch ohne weiteres möglich, dass eine Anlage unter Anwendung dieser Methodik selbst Daten erhebt.

Typisch für die Identifikationsmethode ist, dass sich aus Handlungen, die die Selektionskriterien erfüllen, häufig eine genaue Reihe von damit verbundenen Handlungsfehlern ableiten lassen, für die dann in der Regel die gleichen Stichprobenparameter m und n anzusetzen sind. Dies gilt teilweise auch für die fehlerfördernden Einflüsse.

Die Referenzanwendung führte zu insgesamt 18 in Abschnitt 5.3 aufgelisteten, bewerteten Stichproben. Entsprechend dem in Abschnitt 4 beschriebenen Kognitionsmodell ergibt sich folgende Zuordnung:

- Ausführungsfehler, Fehler bei der Regulation der Handlungsausführung, 7 Stichproben
- Ausführungsfehler, fehlerhafte Aufgabenstellung, 6 Stichproben
- Auslassungsfehler, 5 Stichproben
- Ausführungsfehler, Fehler bei der Regulation der Handlungsausführung
 - Zeitfehler

Die Stichproben SN3, SN8 und SN11 beschreiben sogenannte Zeitfehler (Handlungsausführung zu langsam/zu schnell bzw. zu spät/zu früh), für die in THERP keine Daten vorgeschlagen werden. SN3 ($P_{EW} = 1,4 \cdot 10^{-3}$) unterscheidet sich von SN8/SN11 ($P_{EW} = 2,5 \cdot 10^{-4}$) durch den Einflussfaktor „hohe Aufgabenbelastung“. Bei SN3 sind parallele, konkurrierende Aufgaben in großem Umfang auszuführen. Daraus kann eine Erhöhung der Fehlerwahrscheinlichkeit um etwa Faktor 5 abgeleitet werden, wenn ein solcher Einfluss vorliegt. Diese Beobachtung passt sehr gut zu dem in THERP Tab. 16, Item 5a vorgeschlagenen Wert (moderately high stress, skilled operators, dynamic work situation). Die bei SN8/SN11 vorliegenden ergonomischen Randbedingungen sind als optional einzuschätzen, so dass die Stichprobenergebnisse ($P_{EW} = 2,5 \cdot 10^{-4}$) auf eine Zuverlässigkeitsgrenze für diese Art von Tätigkeit hinweisen. Das Ergebnis der Fehlerstichprobe S3 (vgl. Kapitel 4) mit $P_{EW} = 4,1 \cdot 10^{-3}$, beschreibt eine Handlungssituation in der die erforderliche Reaktionszeit im Vergleich zu SN3, SN8 und SN11 noch erheblich kürzer war.
 - Vergreiffehler an Bedienoberflächen für Kommandotasten

Die Stichproben SN5 und SN18 beschreiben Vergreiffehler an ergonomisch gut gestalteten Bedienoberflächen im Zuge der Betätigung von Kommandotasten ($P_{EW} = 2,5 \cdot 10^{-4}$ und $P_{EW} = 3,4 \cdot 10^{-4}$). Sie könnten zu den in Abschnitt

4.4.1 angeführten 7 vergleichbaren Stichproben hinzugefügt werden und würden zu einer Verschiebung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (vgl. Abb. 4-2) nach links (d.h. geringerer Erwartungswert, engere Verteilung) beitragen.

– Betätigen von Relaisstrennlaschen

SN14 und SN15 beschreiben Fehler bei Handlungen an Relaisstrennlaschen vor Ort am Schaltschrank. Die ergonomischen Randbedingungen sind als eher fehlerfördernd einzuschätzen. Handlungen und Fehlerarten könnten im Rahmen von zu untersuchenden Notfallmaßnahmen in einer PSA zu bewerten sein. Die Stichprobenergebnisse ($P_{EW} = 2,1 \cdot 10^{-3}$, $P_{EW} = 6,3 \cdot 10^{-3}$) für diese Tätigkeit könnten dann als Schätzhilfe herangezogen werden und müssten allerdings noch modifiziert werden (Stresseinfluss, z. B. THERP Tab. 16).

• Ausführungsfehler, fehlerhafte Aufgabenstellung

Die Stichproben SN4, SN6, SN10, SN16 und SN17 schätzen die Wahrscheinlichkeit von Ablesefehlern von visuell über Anzeigeräte dargebotener Information. Der Operateur hat hierbei korrekt abzulesen, den Wert zu interpretieren und daraus eine Aufgabenstellung abzuleiten (u. a. sicherheitsrelevante Grenz- und Sollwerte anpassen).

Die Ergebnisse für Ablesefehler bei Analoganzeigen (SN4, SN6, SN10, SN17) liegen in einem Wertebereich von $P_{EW} = 2,5 \cdot 10^{-4}$ bis $P_{EW} = 1,4 \cdot 10^{-3}$. Die vergleichbaren in den Datentabellen von THERP vorgeschlagenen Daten (vgl. Tabelle 20-10, Item 1 und 20-11, Item 4) sind teilweise deutlich höher. Allerdings differenziert THERP nicht weiter (d.h. günstige oder ungünstige Ablesevoraussetzungen, z. B. hohe Ablesegenauigkeit erforderlich) und deckt somit auch eher ungünstige Voraussetzungen mit ab (vergleichbar SN4). Die Werte aus der Betriebserfahrung tragen zu einer weitergehenden Differenzierung der hierzu vorliegenden Daten bei. SN16 (Ablesefehler Digitalanzeige) stimmt vergleichsweise gut mit dem im THERP vorgeschlagenen Wert (Tab. 20-10, Item 2) überein.

SN7 beschreibt eine Aufgabe, bei der sehr häufig anzuwendendes Fachwissen zu erinnern ist (Fehlerart „falsch erinnert“). Der Umfang an Erfahrung zu dieser Handlung geht noch erheblich über die durch die Stichproben S19, S51 beschriebenen Aufgaben (vgl. Kapitel 4.4.2) hinaus. Der für SN7 ermittelte Wert von $2,5 \cdot 10^{-4}$ kann als Zuverlässigkeitsgrenze für fehlerhaftes Erinnern von Fachwissen bei sehr häufiger Anwendung interpretiert werden und ergänzt die in Abschnitt 4.4.2 genannten generischen Fehler-

wahrscheinlichkeiten (Fehlerart „Fachwissen falsch erinnert“, Randbedingung „Ähnlichkeit zwischen erforderlicher und fehlerhaft ausgeführter Handlung“).

- Auslassungsfehler

Zu Auslassungsfehler liegen die Nullfehler-Stichproben SN1, SN9, SN12 (Prozedurschritt nicht gelesen) und SN2, SN13 (im Kurzzeitgedächtnis gespeicherte Information nicht erinnert) vor.

Zur Zuverlässigkeit des Kurzzeitgedächtnisses (Fehlerart „Information nicht erinnert“) werden in THERP keine Daten vorgeschlagen und auch Abschnitt 4 enthält keine fehlerbehafteten Stichproben. Die beiden Stichproben SN2 und SN13 weisen auf eine Zuverlässigkeit etwas höher als $1 \cdot 10^{-3}$ hin. Dieser Wertebereich könnte als Schätzwert für HRA-Modelle der zweiten Generation herangezogen werden.

Das Ergebnis der Stichprobe SN12 ($6,3 \cdot 10^{-3}$) ist günstiger als der in THERP vorgeschlagene Wert ($1,2 \cdot 10^{-2}$) und liegt vergleichsweise nahe bei dem für S67 ermittelten Ergebnis ($4,3 \cdot 10^{-3}$, vgl. Abschnitt 4). Er stützt die Vermutung, dass THERP den Einfluss von Erledigungsvermerken überschätzt (vgl. Abschnitt 4.4). SN9 ($P_{EW} = 2,5 \cdot 10^{-4}$) repräsentiert eine Sondersituation, da der Handlungsschritt auch Bestandteil des Fachwissens ist (d.h. Prozedur wurde nicht gelesen und Fachwissen wurde nicht erinnert). SN1 ($P_{EW} = 1,4 \cdot 10^{-3}$) fügt sich insgesamt in die in Abschnitt 4.4 für das Auslassen eines Prozedurschrittes genannte Wertespanne ein ($P_{EW} = 1,4 \cdot 10^{-2}$ bis $P_{EW} = 3,4 \cdot 10^{-3}$).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Ergebnisse der Nullfehler-Stichproben sich in die aus den fehlerbehafteten Stichproben gewonnenen Erkenntnisse einfügen, diese weiter absichern und teilweise auch erweitern. Datenvorschläge in THERP konnten verifiziert bzw. weiter differenziert werden (vgl. Tab.20-10 und 20-11). Die Vermutung, dass THERP den Einfluss von Abarbeitungskennzeichnungen in Prozeduren auf die Wahrscheinlichkeit Schritte auszulassen überschätzt, hat sich erhärtet. Ein weiterer Hinweis zur Validität des THERP Stressmodells bis zur Beanspruchungsebene „moderat erhöhter Stress“ (inklusive dynamische Handlungssituation) konnte gefunden werden.

6 Zusammenführung der Erkenntnisse, Vorschläge zur Fortschreibung des Methodenbandes der PSA-Leitfadens

Im Rahmen dieses und des vorangegangenen Forschungsvorhabens /GRS 10/ wurden Zuverlässigkeitskenngrößen für Personenhandlungen, deren Verwendung im Methodenband zum PSA-Leitfaden empfohlen wird, verifiziert und der verfügbare Datenbestand insgesamt erweitert. Die Arbeitsergebnisse führen zu neuen Erkenntnissen und zu Vorschlägen für eine Fortschreibung der empfohlenen Methoden zur probabilistischen Bewertung von Personalhandlungen.

Als Informationsquelle standen zunächst die in deutschen Kernkraftwerken aufgetretenen meldepflichtigen Ereignisse zur Verfügung. Systematisch ausgewertet wurden die Meldeberichte, Stellungnahmen von Sachverständigen, technische Unterlagen und Erkenntnisse aus Gesprächen mit sachkundigem Personal der Anlagenbetreiber. Die Auswertung führte zu insgesamt 67 Stichproben zu Personalhandlungen mit aufgetretenen Fehlern.

Darüber hinaus wurde eine neue Methode zur Erhebung von Daten entwickelt und exemplarisch angewendet. Im Fokus stand die Frage, ob und unter welchen Randbedingungen sich aus der fehlerfreien Ausführung sicherheitsrelevanter Personalhandlungen probabilistische Kenngrößen gewinnen lassen. Dieser Teil der Arbeiten führte zu 18 Stichproben.

Alle Stichproben wurden mit der Bayes'schen Methode, einem allgemein anerkannten mathematischen Verfahren zur Schätzung von probabilistischen Kenngrößen auf der Grundlage der Kenntnis von Stichproben zum zu bewertenden Sachverhalt, ausgewertet. Eine eingehende Prüfung ergab, dass beide Informationsquellen Daten mit vergleichbarer Qualität und Belastbarkeit liefern. Damit liegen zum Ende des Vorhabens nun folgenden Forschungsergebnisse vor:

- Methoden zur Selektion bewertbarer Stichproben aus der Datenquelle „Meldepflichtige Ereignisse“.
- Methoden zur Selektion bewertbarer Stichproben aus der Datenquelle „Sicherheitsrelevante, bisher fehlerfrei ausgeführte Personalhandlungen“.
- Anerkannte mathematisch begründete Vorgehensweisen zur Ableitung von Zuverlässigkeitskenngrößen für Personalhandlungen.

- 85 neue probabilistische, aus der Betriebserfahrung deutscher Kernkraftwerke abgeleitete Kenngrößen zur Zuverlässigkeit von Personalhandlungen.
- Ein arbeitswissenschaftlich anerkannter Ansatz zur Strukturierung und Abstrahierung der vorliegenden Daten.

Die fachliche Bewertung der neuen Daten führte zu folgenden Erkenntnissen:

- Die Hinweise zur Validität der im Methodenband des PSA Leitfadens /MET 05/ empfohlenen Methode THERP haben sich insgesamt erhöht. Nur vereinzelt ergaben sich Diskrepanzen (u. a. Einfluss des Merkmals „Greifraum“ auf Verwechslungsfehlern und Einfluss von Abarbeitungskennzeichnungen auf das Auslassen von Prozedurschritten). In allen Fällen überschätzt THERP möglicherweise die Fehlerwahrscheinlichkeit und führt damit zu einer pessimistischen Einschätzung.
- Der überwiegende Teil der neuen Daten verringert die Lücke an benötigten, aber in THERP nicht aufgelisteten Daten (u. a. zu vor Ort Tätigkeiten, Zeitfehler). Von besonderer Bedeutung sind dabei die Daten zu kognitiven Fehlern (u. a. „nicht erinnert“, falsch erinnert“, „akustische oder visuell wahrgenommene Information falsch interpretiert oder falsch erinnert“). Das Handeln des Kraftwerkspersonals beruht in der Regel auf unterschiedlichen Wissensquellen (Fachwissen, schriftliche Unterlagen, mündliche Anweisungen, Anzeigen). Die Wissensquellen „Fachwissen“ und „mündliche Anweisung“, d.h. bedeutsame Teile menschlichen Handelns, lassen sich mit THERP nicht adäquat bewerten. HRA Methoden der sogenannten zweiten Generation modellieren und bewerten Fehler, die sich daraus ergeben können. Die dabei vorgeschlagenen Daten beruhen in der Regel auf in der Fachwelt umstrittenen Schätzwerten. Die Basis der Schätzungen ist oft nicht nachvollziehbar oder kaum zu rechtfertigen. Die jetzt vorliegenden neuen Daten können einen wichtigen Beitrag zur Klärung dieser Debatte und zur Förderung von HRA Methoden der zweiten Generation liefern.
- Erstmals liegen Daten zu sogenannten „wissensbasierten Handlungen“ und „schadensvergrößernden, d.h. schädlich wirkenden, Handlungen“ vor. Die Bewertung solcher Handlungen stellt die Methodik der HRA nach wie vor noch vor große Probleme (vgl. /MET 05/). Die wenigen, nun vorliegenden Stichproben weisen zumindest auf einen Wertebereich von zu erwartenden Fehlerwahrscheinlichkeiten hin und könnten als Schätzhilfe zur Bewertung solcher Handlungen herangezogen werden.

- Die Erprobung der Methode zur Datenerhebung aus „bisher fehlerfrei ausgeführten, sicherheitsrelevanten Personalhandlungen“ zeigte das hohe Potential auf, das in dieser Datenquelle liegt. Bei ausreichender Erfahrung in der ergonomischen Beurteilung von Handlungssituationen und Arbeitsorten ist es ohne weiteres möglich, dass eine Anlage damit selbst belastbare Daten erhebt.

In der deutschen Betriebserfahrung wurden keine Stichproben gefunden, die auf die Zuverlässigkeit von Diagnoseaufgaben nach Eintritt eines auslösenden Ereignisses oder auf die Wirkung von extrem hohem (u. a. durch persönliche Bedrohung verursachtem) Stress schließen lassen. Dies liegt in erster Linie im Charakter der Datenquellen, die kaum gravierende Störungsereignisse enthalten. Diagnose-Aufgaben und zumindest teilweise auch die Wirkung von Stress können (und werden) mit Simulator-Experimenten untersucht.

Der Zugang zu den Randbedingungen und den Ergebnissen solcher Experimente ist jedoch generell schwierig und teilweise auch nicht möglich (z. B. Datenbasis der Methode MERMOS). Fortschritte bei der Validierung von Methoden, die Diagnosen und Stresseinfluss bewerten sind bei solchen Randbedingungen nicht zu erwarten.

Weiterhin ist zu beachten, dass die in den Datentabellen genannten Unsicherheitsbänder (5% und 95% Fraktile der β -Verteilungen) lediglich ein Maß für die epistemischen Unsicherheiten darstellen (d.h. Kenntnisstandunsicherheiten zu den Stichprobenparametern). Um auch aleatorische Kenntnisstandunsicherheiten zu berücksichtigen (u. a. Variabilität der Leistungsfähigkeit der Personen innerhalb der ausgewerteten Population von Personen) sind die Unsicherheitsbänder zu vergrößern. In der Methode THERP wird hierfür ein Faktor von maximal 4 vorgeschlagen. Der Vorschlag beruht auf Untersuchungsergebnissen zur Variabilität der Leistungsfähigkeit des Menschen, die in der chemischen Industrie durchgeführt wurden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die 85 Stichproben und die daraus abgeleiteten Kenngrößen die erste auf der Betriebserfahrung in deutschen Kernkraftwerken beruhende probabilistische Datenbasis auf diesem Arbeitsfeld bilden. Die Erkenntnisse sollten zur Fortschreibung des Methodenbandes /MET 05/ und zur Weiterentwicklung des internationalen Erkenntnisstandes genutzt werden. Hierzu können folgende Ergänzungen beitragen:

- Die Anwendung der Methoden zur Nutzung der Datenquellen „meldepflichtige Ereignisse“ und „fehlerfrei ausgeführte sicherheitsrelevante Personalhandlungen“ sollte empfohlen werden. Schon heute stellt der Methodenband fest, dass aus der Betriebserfahrung stammende Daten vorzuziehen sind, ohne allerdings konkrete Vorgaben zur Ermittlung solcher Daten bereitzustellen.
- Die Ergebnisse der 85 Stichproben (Datentabellen) sollten als eigenständiger Teil in den Anhang von /MET 05/ integriert werden. Die Kenngrößen unterstützen den Anwender bei der Bewertung von Handlungen, für die in THERP keine adäquaten Daten vorgeschlagen werden (Handlung vor Ort, Kommunikation, Erinnerungsleistungen).
- Die Einschätzung der Genauigkeit und Qualität von HRA-Methoden der zweiten Generation ist von erheblicher Bedeutung, um deren Anwendung im Rahmen einer PSA zu empfehlen. Die eingesetzten Modelle zur Beschreibung kognitiver Vorgänge und kognitiver Fehler sollten dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik auf diesem Fachgebiet entsprechen. Die in diesen Methoden vorgeschlagenen Fehlerwahrscheinlichkeiten sollten keine Diskrepanzen zur aktuell vorliegenden in den Datentabellen dokumentierten Betriebserfahrung aufweisen. Darauf sollte in /MET 05/ hingewiesen werden.
- Die aus Betriebserfahrungen stammenden Daten sollten in regelmäßigen Abständen entsprechend dem fortschreitenden Erkenntnisstand (u. a. durch neue Stichproben) ergänzt und aktualisiert werden.

7 Literatur

- /ATO 10/ Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über die Meldung von Störfällen und sonstigen Ereignissen (Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragte- und Meldeverordnung – AtSMV) vom 14. Oktober 1992 (BGBl.I 1992, Nr. 48, S. 1766), letzte Änderung durch Verordnung vom 08. Juni 2010 (BGBl.I 2010, Nr. 31, S 755)
- /BOX 73/ Box, G.E.P. & Tiao, G.,
Bayesian Inference in Statistical Analysis,
Reading, Massachusetts, Addison Wesley, 1973
- /CSN 08/ NEA/CSNI
HRA Data and Recommended Actions to Support the Collection and Exchange of HRA Data
WGRISK Report, NEA/CSNI/R(2008)9, May 2008
- /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. I: Overview of SLIM-MAUD, Vol. II: Detailed Analyses of the Technical Issues, NUREG/CR-3518, Washington, DC (USA), 1984
- /GER 92/ Gertman, D.I.; H.S. Blackmann; L.N. Haney; K.S. Seidler; H.A. Hahn;
INTENT: A Method for Estimating Human Error Probabilities for Decision Based Errors, Reliability Engineering & System Safety 35 (1992) pp. 127 – 136
- /GRS 01/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Menschliche Zuverlässigkeit in der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA), Teil 2: Methoden zur Verifikation von Swain-Daten und zur Datenverarbeitung,
GRS-A-2951, Februar 2001

- /GRS 03/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Bewertung von Personalhandlungen unter Unfallbedingungen – Methode zur Untersuchung und Bewertung schädlicher Eingriffe des Operateurs,
Technischer Fachbericht, GRS-A-3157, Oktober 2003
- /GRS 06/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Erprobung und Bewertung der Methoden einer PSA für SWR-Anlagen der Baulinie 69 nach Stand von Wissenschaft und Technik (PSA SWR 69), Fachband 2 – Datenermittlung für die PSA der Stufe 1 aus dem Leistungsbetrieb,
GRS-A-3293, April 2006
- /GRS 10/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Verifikation von Zuverlässigkeitsdaten für Personalhandlungen und Datenverbreiterung im Rahmen der PSA,
GRS-A-3515, Januar 2010
- /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 Nuclear Safety, Vienna, Revised Draft September 1987
- /HAN 88/ Hannaman, G.W. et.al.
Some Developments in Human Reliability Analysis, Reliability Engineering and System Safety 1988, Vol. 22, pp. 235-236
- /HOL 98/ Hollnagel, E.
Cognitive Reliability and Error Analysis Method CREAM Elsevier, Science 1998, ISBN 0-08-0428487
- /IRS 07/ IRSN Report “Principles of PANAME HRA Method”,
IRSN IST3C/BACR, May 2007

- /LaSalle 87/ Recovery Actions in PRA for the Risk Methods Integration and Evaluation Program (RMIEP)
U.S. Nuclear Regulatory Commission,
NUREG/CR-4834, June 1987
- /MET 05/ Facharbeitskreis probabilistischer Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke.
BfS-SCR-37/05, Stand August 2005
- /MOI 94/ P. Moieni; A.I. Spurgin; A. Singh;
Advanced in Human Reliability Analysis, Part 1: Framework, Models and Data, Part 2: PC-based HRA Software,
Reliability Engineering and System Safety, Vol. 44, 1994, pp. 27 – 66
- /MOS 90/ Mosneron, Dupin, F.; A. Villemeur; J.M. Moroni
Paluel Nuclear Power Plant PSA: Methodology for Assessing Human Reliability, 7th International Conference on Reliability and Maintainability, Brest (France), 1990
- /NEI 76/ Neisser, U.
Cognition and Reality, Freeman, San Francisco, CA; 1976
- /NRC 07/ U.S. Nuclear Regulatory Commission:
ATHEANA User's Guide, Final Report, NUREG-1880, May 2007
- /PRW 13/ W. Preischl; Hellmich, M.
Human Error Probabilities from Operational Experience of German Nuclear Power Plants,
Elsevier, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 109, pp. 150-159, January 2013
- /SWA 83/ A.D. Swain;, H.E. Guttmann
Handbook on Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications,
Final Report, NUREG/CR-1278, SAND 80-0200 RX, AN Albuquerque, 1983

/SWA 87/ A.D. Swain,
Accident Sequence Evaluation Program – Human Reliability Analysis
Procedure,
NUREG/CR-4472, February 1987

/WIL 88/ Williams, J.C.
A. Data –Based Method for Assessing and Reducing Human Error to
Improve Operational Performance, Proceedings on the IEEE 4th Con-
ference on Human Factors in Power Plants, Monterey, California, June
6-9, 1988,
Institute of Electronic and Electrical Engineers, New York (USA), 1988

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 4-1	Kognitionsmodell zur Interpretation der Daten	62
Abb. 4-2	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Vergreiffehler an Schaltpulten, Stichprobenparameter $m = 7$, $n = 4588$	65
Abb. 5-1	Wichtige Merkmale einer gesuchten Handlung am Beispiel einer fünffach anstehenden Aufgabe.....	75

9 Tabellenverzeichnis

Tab. 5-1	Bereiche an Aufgaben, bei deren fehlerhafter Bearbeitung Meldekriterien erfüllt sein könnten (Auszug aus Anhang).....	76
Tab. 5-2	Weitere Aufgabenbereiche, die wegen ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung zu untersuchen sind (Auszug aus Anhang).....	77
Tab. 5-3	Arten technisch-ergonomisch-organisatorischer Änderungen der Aufgabendurchführung (vgl. Anhang)	78

Anhang

Inhaltsverzeichnis Anhang

1	Ziel der Methode	A-1
2	Die einzelnen Schritte der Methode.....	A-7
2.1	Bestimmung der Aufgaben mit einschlägigen Handlungen	A-8
2.1.1	Suchbereich.....	A-8
2.1.2	Informationsquellen zu den Aufgaben.....	A-8
2.1.3	Suchhilfen zur Bestimmung der Aufgaben	A-9
2.1.4	Merkmale zu Suche und Zusammenstellung der Aufgaben	A-11
2.2	Ausschluss von Aufgaben.....	A-25
2.2.1	Zeitraum mit gleicher Modalität der Aufgabenbearbeitung oder Häufigkeit der Bearbeitung unbestimmt	A-25
2.2.2	Meldepflichtige Ereignisse	A-26
2.2.3	Weitere Ausschlüsse	A-28
2.2.4	Optionalen Schwellenwert für die Häufigkeit der Aufgabendurchführung.....	A-28
2.3	Analyse der Aufgaben	A-29
2.3.1	Art und Abfolge der Handlungen zur Erfüllung einer Aufgabe	A-30
2.3.1.1	Merkmale zur Art der Handlungen	A-30
2.3.1.2	Merkmale zur Erfassung der Handlungsabläufe.....	A-35
2.3.2	Denkbare durchgängig und sicher meldepflichtige Fehler bei der Aufgabenerfüllung.....	A-37
2.3.2.1	Bestimmung sicher meldepflichtiger Fehler.....	A-37
2.3.2.2	Durchgängigkeit sicher meldepflichtiger Fehler.....	A-40
2.3.3	Ergebnis der Analyse.....	A-41
3	Literatur.....	A-44

Methode zur Identifikation bewertbarer Personalhandlungen

Die Dokumentation stellt das Ziel und die einzelnen Schritte der Methode zur Bestimmung bewertbarer Personalhandlungen vor. Der nachfolgende Gliederungspunkt zum Ziel der Methode enthält auch Festlegungen zur Terminologie, die zur Darstellung der Methode dienen wird.

1 Ziel der Methode

Ziel der Methode ist es, Handlungen zu bestimmen, die das Personal deutscher Anlagen auszuführen hat und die alle der folgenden Merkmale aufweisen (zur Übersicht siehe auch Abb. A- 1-1):

- Jede der gesuchten Handlungen ist zur Erfüllung mindestens einer Aufgabe erforderlich, die Eigen- oder Fremdpersonal mindestens einer deutschen Anlage wiederholt auszuführen hat. „Personal“ dient im Folgenden als Sammelbezeichnung für Eigen- und Fremdpersonal. Die wiederholten Bearbeitungen der Aufgabe können in gleichen oder ungleichen, zeitlichen Abständen aufeinander folgen.

Zur Bestimmung der Handlungen ist die Kenntnis der Aufgabe aus folgenden Gründen unumgänglich:

- Es hängt von der Art der Aufgabe ab, welche Möglichkeiten bestehen, durch Fehler einen meldepflichtigen Sachverhalt zu verursachen. So führen Fehlfunktionen infolge fehlerhafter Kalibrierungen nur dann zu einem meldepflichtigen Ereignis, wenn die Aufgabe der Kalibrierung an einem Sicherheitssystem oder einem anderen sicherheitstechnisch bedeutsamen System ansteht (siehe unten, Tab. A- 2-1).
 - Art, Abfolge und Rahmenbedingungen der Handlungsausführung müssen bekannt sein, um Ursachen möglicher Fehler und die Kausalzusammenhänge zwischen Fehler und meldepflichtigem Sachverhalt klären zu können.
- Der Methodenanwender kann für mindestens eine dieser Aufgaben feststellen,

- welche Handlungen das Personal über die gesuchte Handlung hinaus zur Erfüllung der Aufgabe im Einzelnen vollzieht.
- in welcher Reihenfolge das Personal alle zu dieser Aufgabe gehörigen Handlungen ausführt.
- unter welchen Rahmenbedingungen die Aufgabe und die zur Aufgabe zählenden Handlungen durchgeführt werden.
- wann Art, Abarbeitungsreihenfolge und Ausführungsbedingungen der zur Aufgabe gehörigen Handlungen vor dem Zeitpunkt der Methodenanwendung die letzte Veränderung erfahren haben, die sich auf die Zuverlässigkeit der Aufgaben- und Handlungsausführung auswirken kann. Der Methodenanwender hat also nicht nur festzustellen, wann sich für eine betrachtete Aufgabe die Art, Reihenfolge und (oder) Ausführungsbedingungen der Handlungen geändert haben. Er hat auch zu werten, ob die Änderungen Folgen für die Zuverlässigkeit des Handelns haben können. Die Datierung der letzten Änderung mit Folgen für die Zuverlässigkeit ist wichtig, um die Zeitspanne abzugrenzen, in der das Personal die betreffende Aufgabe auf gleichartige Weise bearbeitet hat.

Wichtige Rahmenbedingungen des Handelns sind die Qualifikation des Personals, das Stressniveau sowie die ergonomische Auslegung der Arbeitsmittel, Arbeitsplätze und Arbeitsumgebungen. Man bezeichnet die aufgezählten Aspekte auch als leistungsbeeinflussende Faktoren. Die vorliegende Methodendarstellung nutzt den allgemeineren Begriff der Ausführungsbedingungen, um zu vermeiden, dass die Untersuchung auf die Faktoren wie Ergonomie, Qualifikation und Stress eingengt wird (siehe dazu Abschnitt 2.1.4 und 2.3.2).

Ausschlaggebend sind die Art der Handlungen, die Abarbeitungsreihenfolge und die Ausführungsbedingungen, die für eine jeweils betrachtete Aufgabe in dem Zeitraum gegeben sind. Dieser reicht vom Zeitpunkt der Methodenanwendung bis zu dem Zeitpunkt zurück, an dem die oben beschriebenen Merkmale die letzte Änderung erfahren haben, die sich auf die Zuverlässigkeit der Handlungsausführung auswirken könnte (zu anderen möglichen Zeiträumen, in denen die Aufgabe auf dieselbe Weise zu erfüllen war, vergleiche man Abschnitte 2.1.4 und 2.3.2).

Im Folgenden heißen

- Art, Abarbeitungsreihenfolge und Ausführungsbedingungen der Handlungen, die zu einer Aufgabe gehören auch „Art und Weise der Aufgabenerfüllung“, „Form der Aufgabenerfüllung“ oder „Modalität der Aufgabenerfüllung“.
- wiederkehrende Aufgaben „aktuelle und näher bestimmte, wiederkehrende Aufgaben“, wenn der Methodenanwender für diese Aufgaben sowohl die Modalität der Aufgabenerfüllung als auch den Zeitpunkt bestimmen konnte, in dem die Modalität der Aufgabenerfüllung bis zum Zeitpunkt der Methodenanwendung keine Änderung erfahren hat, die sich auf die Zuverlässigkeit der Aufgabenerfüllung und des Handelns auswirken kann.

Aufgabenerfüllung, Aufgabenbearbeitung, Aufgabenausführung und Aufgabendurchführung dienen als bedeutungsgleiche Bezeichnungen.

Aktuelle und näher bestimmte, wiederkehrende Aufgaben zeichnen sich also dadurch aus, dass das Personal sie ab einem bestimmten Zeitpunkt, der von Aufgabe zu Aufgabe verschieden sein kann, bis zum Zeitpunkt der Methodenanwendung unter gleichartigen Bedingungen bearbeitet. Diese Bedingungen stellen Anforderungen oder Belastungen dar, deren Bewältigung mit bestimmten Beanspruchungen einhergeht (/HAC 05/173ff.). Die vorliegende Methode erfasst mit dem Begriff des Handlungsablaufs, wie das Personal unter diesen Anforderungen und Belastungen tatsächlich vorgeht. Die Erfassung der Handlungsabläufe ist Gegenstand detaillierter Untersuchungen (Abschnitte 2.1.4 und 2.3.1).

„Wiederholt“ bedeutet mindestens zweimal. Die Anwendung der Methode kann auf häufigere Aufgaben eingegrenzt werden. Es ist aber auch möglich, Schätzwerte, die auf der Basis kleiner Häufigkeiten ermittelt worden sind, rechnerisch zusammenzufassen.

- Die Modalität der Aufgabenerfüllung liegt für mindestens eine wiederholt auszuführende Aufgabe, bei der das Personal die gesuchte Handlung zu vollziehen hat, soweit fest, dass der Methodenanwender eindeutig verfolgen kann, wie sich mögliche Fehler bei beliebigen Handlungen innerhalb dieser Aufgabe auf nachfolgende Handlungen und das Ergebnis der Aufgabenbearbeitung auswirken.
- Es gilt für jede der gesuchten Handlungen, die mindestens einer aktuellen und näher bestimmten, wiederkehrenden Aufgabe angehört:

- Unterlassung und (oder) fehlerhafte Ausführung der gesuchten Handlung hätten bei dieser Aufgabe immer und ausausweichlich einen meldepflichtigen Sachverhalt zur Folge.

Fehler dieser Art heißen im Folgenden auch „durchgängig sicher meldepflichtige Fehler“.

- Es gibt mindestens eine deutsche Anlage und auf dieser Anlage mindestens eine aktuelle und näher bestimmte, wiederkehrende Aufgabe, die eine der gesuchten Handlungen einschließt und die das Personal bearbeitet hat, ohne bis zum Abschluss der Methodenanwendung einen durchgängig sicher meldepflichtigen Fehler begangen zu haben.

Als Referenz dienen die Meldekriterien aus Anlage 1 der Atomrechtlichen Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung für deutsche Kernkraftwerke (/ATO 10/).

Die Meldepflicht bestimmter Fehler beseitigt unter der Voraussetzung, dass der meldepflichtige Fehler zum Zeitpunkt der Methodenanwendung entdeckt worden sein muss, die Ungewissheit, ob das Personal die Handlung bei der Bearbeitung bestimmter Aufgaben richtig oder fehlerhaft ausgeführt bzw. unterlassen hat.

- Die Methode bezieht neben Handlungen an oder mit der technischen Einrichtung der Anlage auch Handlungen in den Bereichen des Sicherheitsmanagements, der Arbeitsvorbereitung sowie der Qualitätskontrollen an Gütern und Dienstleistungen ein, sofern diese Managementaufgaben, Vorbereitungen bzw. Kontrollen auf der Anlage stattfinden und der Methodenanwender herausarbeiten kann, wie Sicherheitsmanagement, Arbeitsvorbereitung und (oder) Qualitätssicherung auf die Bearbeitung aktueller und näher bestimmter, wiederkehrender Aufgaben an oder mit technischen Einrichtungen und auf das Auftreten durchgängig sicher meldepflichtiger Fehler auswirken können.
- Ort der Handlungen sind Gebäude oder Freigelände einer Anlage. Somit fallen Handlungen nicht in den Anwendungsbereich der Methode, wenn diese Handlungen zu Arbeiten gehören, die außerhalb der Anlage stattfinden, auch wenn sie sich auf die Zuverlässigkeit des Handelns auf der Anlage auswirken. Man denke zum Beispiel an Reparaturen, Prüfungen oder sonstige Dienstleistungen, die außerhalb der Anlage durchgeführt werden. In solchen Fällen bezieht die Methode Handlungen

gen der Arbeitsvorbereitung, des Sicherheitsmanagements und Qualitätssicherung ein, soweit sie im Zuge der Aufgabenerfüllung auf der Anlage vollzogen werden.

Abb. A- 1-1 gibt einen Überblick, welche Zusammenhänge zwischen Aufgabe, Abarbeitungsreihenfolge und Ausführungsbedingungen, gesuchter Handlung und meldepflichtigem Fehler für die Methode wesentlich sind. Die Abbildung repräsentiert einen Fall mit der Wiederholung einer Aufgabe in gleichen zeitlichen Abständen. Wiederholung der Aufgabe in gleichen Zeitabständen ist aber keine Voraussetzung für die Anwendung der Methode.

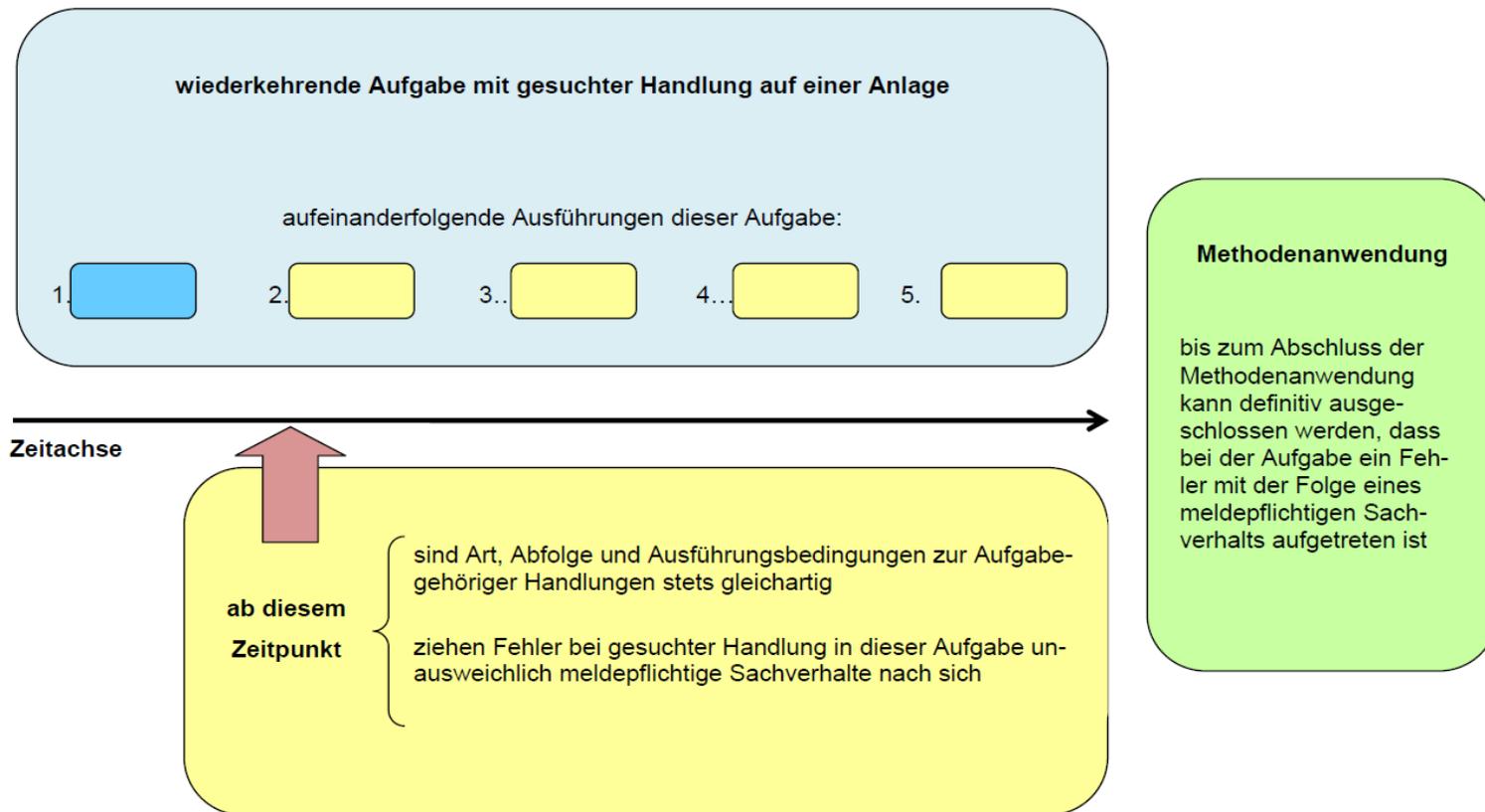


Abb. A- 1-1 Wichtige Merkmale einer gesuchten Handlung am Beispiel einer fünfmal anstehenden Aufgabe

Die nachfolgenden Ausführungen zeigen, wie der Methodenanwender die gesuchten Handlungen im Einzelnen zu bestimmen hat.

2 Die einzelnen Schritte der Methode

Die Methode umfasst mehrere Schritte, die den Anwender detailliert dabei unterstützen,

- eine umfassende Liste der Aufgaben zu erarbeiten, von denen zu erwarten ist, dass sie einschlägige Handlungen umfassen.
- aus dieser Liste Aufgaben herauszunehmen, die mit der vorliegenden Methode nicht weiter auswertbar sind.
- die verbleibenden Aufgaben
 - auf Handlungen zu untersuchen, deren Unterlassung und (oder) fehlerhafte Ausführung bei der Bearbeitung dieser Aufgaben stets und unausweichlich einen meldepflichtigen Sachverhalt nach sich zöge.
 - die Zusammenhänge zwischen Rahmenbedingungen des Handelns, denkbaren Fehlern und Fehlerfolgen in Gestalt eines meldepflichtigen Ereignisses zu klären.
 - alle Informationen zusammenzustellen, die man für die statistische Schätzung der Fehlerwahrscheinlichkeiten und ihrer Unsicherheitsbänder braucht.

Der Methodenanwender stellt im ersten Schritt zunächst Aufgaben zusammen, von denen er erwartet, dass sie einschlägige Handlungen umfassen. Er überprüft die Meldepflicht möglicher Fehler bei diesen Handlungen in einem späteren Schritt, nachdem er die Aufgaben ausgeschlossen hat, über die er nicht genug Information sammeln kann, um Fehlerwahrscheinlichkeiten mit statistischen Methoden zu schätzen. Die Zusammenstellung der Aufgaben beruht also auf einer Grobsichtung mit dem Ziel, möglichst keine Aufgabe mit auswertbaren Handlungen zu vernachlässigen.

2.1 Bestimmung der Aufgaben mit einschlägigen Handlungen

Die Methode unterstützt die Zusammenstellung einschlägiger Aufgaben durch Festlegungen zu Suchbereich und nutzbaren Informationsquellen sowie durch Suchhilfen und Merkmale, was bei Suche und Dokumentation der Ergebnisse beachtet werden muss.

2.1.1 Suchbereich

Gegenstand der Suche und Zusammenstellung sind Aufgaben, die in den Anwendungsbereich der Meldekriterien laut Atomrechtlicher Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung für deutsche Kernkraftwerke fallen (/ATO 10/, S. 5). Suche und Zusammenstellung berücksichtigen nur Aufgaben oder Aufgabenteile, die

- das Eigenpersonal des Betreibers oder Fremdpersonal auf dem Freigelände oder in den Gebäuden einer Anlage ausführt.
- beim Betrieb der Anlage mehr als nur einmal anstehen.

Die Untersuchung hat Aufgaben bei allen Anlagenbetriebszuständen einzubeziehen.

2.1.2 Informationsquellen zu den Aufgaben

Zur Bestimmung der Aufgaben nutzt der Methodenanwender das Betriebs- und das Prüfhandbuch sowie Erkenntnisse, die er aus Begehungen der Anlagen, Befragungen des Personals und (oder) Beobachtungen einschlägiger Arbeiten gewinnt. Die detaillierte Analyse der Aufgaben erfordert die Nutzung weiterer Informationsquellen, die bei der Beschreibung der Analyseschritte im Einzelnen aufgeführt werden (Abschnitt 2.3)

Der Methodenanwender hat alle Dokumente zu erfassen, auf die eine Prozedur, ein Arbeitsauftrag, ein Arbeitsschein oder eine andere Anweisung zur Aufgabendurchführung Bezug nehmen. Diese Dokumente können als Quellen für die Bestimmung des Handlungsablaufs und der Rahmenbedingungen der Handlungsausführung wichtig sein.

2.1.3 Suchhilfen zur Bestimmung der Aufgaben

Der Methodenanwender sucht einschlägige Aufgaben in den Aufgabenbereichen, die in der Tab. A- 2-1 und Tab. A- 2-2 aufgeführt sind:

- Tab. A- 2-1 ordnet jeder einzelnen Gruppe und Untergruppe der Meldekriterien (/ATO 10/, S. 4ff) ein umfassend definiertes Kollektiv an Aufgaben zu, bei denen ein Meldekriterium der betreffenden Gruppe oder Untergruppe greifen könnte. Die genauen Meldekriterien sind der zitierten Quelle (/ATO 92, Anhang 1) zu entnehmen.

Der Methodenanwender stellt für jeden betrachteten Aufgabenbereich die Aufgaben zusammen, bei denen er nach einer ersten Sichtung des Aufgabeninhalts nicht ausschließen kann, dass bei fehlerhafter Ausführung der Aufgabe ein Meldekriterium erfüllt sein könnte. Die genaue Analyse der Fehlermöglichkeiten ist Gegenstand eines späteren Schrittes der Untersuchung.

- Tab. A- 2-2 ergänzt den Inhalt der Tab. A- 2-1 für die Untergruppe der Funktionsstörungen, Schäden oder Ausfälle am Sicherheitssystem oder an anderen, sicherheitstechnisch wichtigen Systemen oder Anlagenteilen (/ATO 10/, S. 5). Diese Tabelle unterstützt eine gezielte Suche nach Aufgaben, die sich über Schnittstellen auf den bestimmungsgemäßen Zustand und (oder) die bestimmungsgemäße Funktion des Sicherheitssystems oder sonstiger sicherheitstechnisch wichtiger Systeme oder Anlagenteile auswirken können.

Grundlage der Tab. A- 2-2 bilden die folgenden Begriffsbestimmungen und Erkenntnisse:

- Der Begriff der „Schnittstelle“ steht ganz umfassend für alle Bestandteile eines Systems oder Anlagenteils, über die man diesem System oder Anlagenteil aus der Umgebung oder aus anderen Systemen oder Anlagenteilen Dinge, Stoffe, Flüssigkeiten, Gase und (oder) Energien mechanischer, elektromagnetischer und (oder) thermischer Art mit der Folge zuführen kann, Zustand und (oder) Funktion des betroffenen Systems oder Anlagenteils in erwünschter oder unerwünschter Weise zu verändern (/GRS 10/, S. 10). Zur Schnittstelle gehören zum Beispiel Bedieneinrichtungen, Zuleitungen, Lüftungsschlitze und, über Bedieneinrichtungen hinaus, alle Teile eines Systems oder Anlagenteils, an denen der Mensch handelt oder auf die er im Zuge seiner Arbeiten auch an

benachbarten Einrichtungen absichtlich oder unabsichtlich einwirkt oder einwirken kann. Die Betrachtung schließt Handlungen an oder mit einem System oder Anlagenteil aus, durch die der Handelnde Schäden mit der Folge einer Beeinträchtigung der Sicherheit beabsichtigt.

- Man kann Zustand und (oder) Funktion des Sicherheitssystems oder eines anderen, sicherheitstechnisch wichtigen Systems oder Anlagenteils auf verschiedene Weisen beeinträchtigen. Zu unterstellen sind (1) mögliche, unbeabsichtigte Nebenwirkungen der Arbeiten an einem beliebigen, auch betrieblichen System, (2) denkbare Verwechslungen von Systemen, Anlagenteilen, Räumen und (oder) Arbeitsmitteln, sowie (3) Zweckentfremdungen eines Systems (/GRS 10/, S. 31ff). Letztere liegen zum Beispiel vor, wenn das Personal auf Rohrleitungen steigt, um leichter den Teil eines Systems zu erreichen, an dem zu arbeiten ist.
- Fehler dieser Arten gehen wesentlich auf die Nachbarschaft betroffener Systeme oder Anlagenteile zum Arbeitsort, auf Ähnlichkeiten des Erscheinungsbildes sowie auf Art und Umfang eventuell unzulänglicher Freischaltungen, Abschirmungen und sonstigen Vorkehrungen zurück, die unzulässige Auswirkungen bestimmter Arbeiten auf Zustand und Funktion der Anlage ausschließen sollen. Die Methode bezieht über den Arbeitsort hinaus auch Wege ein, die das Personal im Zuge der Aufgabenerfüllung mit oder ohne Transport von Dingen zurücklegen muss, weil zum Beispiel Fehler beim Transport benachbarte sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen betreffen können.

Tab. A- 2-2 enthält die Zusammenstellung der einschlägigen Aufgabenbereiche, der Faktoren, die für die Berücksichtigung zugehöriger Aufgaben wesentlich sind, und Erläuterungen, auf Grund welcher Fehlerquellen und Fehlermöglichkeiten diese Aufgaben für die Sicherheit Bedeutung haben.

Der Methodenanwender sichtet die Aufgabenbereiche in Tab. A- 2-2 auf Arbeiten, die kraft der aufgeführten Faktoren und Fehlermöglichkeiten (mittlere Spalte der Tabelle) zu einem meldepflichtigen Ereignis führen oder beitragen können.

Tab. A- 2-1 und Tab. A- 2-2 gehen von den technischen Einrichtungen aus. Folglich stehen bei der Suche Aufgaben an bzw. mit diesen technischen Einrichtungen im Vordergrund. Die Methode erfasst weitere Aufgaben zum Beispiel der Arbeitsvorbereitung, der Qualitätskontrolle und des Sicherheitsmanagements bei der Klärung der Hand-

lungsabläufe, mit denen das Personal Aufgaben an bzw. mit der technischen Einrichtung zu erfüllen hat, und bei der Erfassung der Informationen über die Bedingungen, unter denen das Personal bei der Aufgabenerfüllung zu handeln hat (siehe Abschnitt 2.3).

2.1.4 Merkmale zu Suche und Zusammenstellung der Aufgaben

Der Methodenanwender muss bei der Suche und Zusammenstellung der Aufgaben folgende Punkte beachten:

- Die Sichtung des Aufgabeninhalts setzt voraus, die Arbeiten zu bestimmen, die zu einer Aufgabe gehören bzw. nicht gehören. Der Methodenanwender nutzt dazu pragmatische Abgrenzungsaspekte. Als Aufgaben gelten
 - die Handlungsanweisungen zum Normalbetrieb und dem Betrieb der Systeme laut Betriebshandbuch. Zum Begriff der Handlungsanweisung vergleiche man die Punkte 7.5 und 9 der Regel KTA 1201 (/KTA 09a/, S. 9 bzw. 10). Für „Handlungsanweisungen“ ist auch der Begriff der Prozedur üblich.
 - die Prüfungen laut Prüfliste des Prüfhandbuchs (man vergleiche dazu Punkt 3.3 der Regel KTA 1202 (/KTA 09b/, S. 4).
 - „geplante Arbeiten“ im Sinne der Richtlinie für Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten (/BMU 78/, S. 4 und S. 7).
 - „kleinere Arbeiten“ des bestimmungsgemäßen Betriebs (/BMU 78/, S. 4).
 - Aufsuchen und Verlassen des Arbeitsortes mit oder ohne Transport von benötigten Dingen (Tab. A- 2-2).
- Suche und Zusammenstellung erfolgen nach Reaktoren getrennt, um den technologischen und organisatorischen Unterschieden gebührend Rechnung zu tragen, die sich auf die Bearbeitung der Aufgaben auswirken können. Bei Anlagen mit mehreren Blöcken kann es Aufgaben geben, die auf der Anlage für mehrere oder alle Blöcke zentral erfüllt werden. Diese Aufgaben sind ebenfalls zu erfassen.
- Der Methodenanwender konzentriert seine Suche und Zusammenstellung auf wiederholt durchgeführte Aufgaben.

- Eine Aufgabe könnte mehreren der Aufgabenbereiche angehören, die Tab. A- 2-1 bzw. Tab. A- 2-2 für die Bestimmung und Einordnung der Aufgaben vorsehen. Diese verschiedenen Zugehörigkeiten sind zu dokumentieren, weil je nach Aufgabenbereich unterschiedliche Meldekriterien wegen gleicher oder unterschiedlicher Fehler bei den Handlungen möglich sind, die zur Aufgabe gehören.

Der Methodenanwender notiert alle Meldekriterien, die nach Sichtung des Aufgabeninhalts bei fehlerhafter Bearbeitung einer Aufgabe greifen können. Man denke zum Beispiel an den Absturz eines schweren Behälters mit radioaktiven Substanzen in einem Raum mit sicherheitstechnisch wichtigen Systemen und die Kontamination des Raums durch Substanzen, die aus dem durch den Aufprall beschädigten Behältnis austreten. In diesem Beispiel würden Meldekriterien aus den Bereichen „Radiologie und Strahlenschutz“ und „Absturz von Lasten, ...“ greifen.

- Es ist obligatorisch, zu jeder Aufgabe die Überlegungen zu dokumentieren, auf denen das Urteil beruht, eine fehlerhafte Bearbeitung der Aufgabe könne einen meldepflichtigen Sachverhalt herbeiführen. Dabei beachtet der Methodenanwender die nachstehenden Aspekte:
 - Meldekriterien definieren meldepflichtige Sachverhalte auf einem Niveau, das von konkreten Handlungen abstrahiert. Der Methodenanwender hat mit seinem Fachwissen zu erkennen, welche Aufgabenteile oder Handlungen als Ursachen meldepflichtiger Sachverhalte in Frage kommen können. Die genaue Prüfung der Möglichkeit durchgängig und sicher meldepflichtiger Fehler erfolgt in nachfolgenden Schritten der Methode.
 - Soweit zugänglich, sind Auskünfte des Personals über Beinahe-Fehler zu nutzen.
 - Die Suche möglicher Fehler darf sich nicht auf Arbeiten beschränken, die das Personal unter ungünstigen Bedingungen technischer, ergonomischer und (oder) organisatorischer Art auszuführen hat. Fehler können auch unter optimalen Handlungsvoraussetzungen auftreten. Der Methodenanwender bezieht somit auch Aufgaben ein, deren Erfüllung keinen Faktoren mit nachteiliger Wirkung auf Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit unterliegt. Ein zu enges Verständnis der Fehlermöglichkeiten könnte zum Beispiel Verwechslungen zweier Redundanzen mit dem Argument ausschließen, sie seien eindeutig gekennzeichnet und (oder) in getrennten Räumen untergebracht. Die Betriebser-

fahrungen belegt Verwechslungen auch in Fällen mit scheinbar unmissverständlichen Hinweisen, wo sich welche Redundanz befindet.

Die Einschätzung des Fehlerpotentials hat also nach dem Gesichtspunkt zu erfolgen, möglichst keine Aufgabe zu übersehen, deren fehlerhafte Bearbeitung einen meldepflichtigen Sachverhalt herbeiführen könnte.

- Der Methodenanwender muss für jede Aufgabe, die er mit Hilfe der Tab. A- 2-1 und Tab. A- 2-2 ermittelt hat, das Datum vermerken, ab dem das Personal der jeweiligen Anlage die Aufgabe so erfüllt, wie es zum Zeitpunkt der Methodenanwendung der Fall ist. Derartige Daten sind der Tag, an dem die Modalität der Aufgabenbearbeitung vor dem Zeitpunkt der Methodenanwendung die letzte Änderung erfahren hat, die sich auf Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit der Aufgabenerfüllung auswirken. Als Orientierungshilfe dient Tab. A- 2-3, die einen Überblick über wesentliche Änderungen dieser Art bietet. Man darf die Erläuterungen in der rechten Spalte der Tab. A- 2-3 nur als Beispiele, nicht als erschöpfende Liste verstehen. Der Methodenanwender hat also über diese Möglichkeiten hinaus zu berücksichtigen, welche weiteren Auswirkungen eine Änderung auf Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit des Menschen mit sich bringen könnte.

Gibt es für eine Aufgabe Änderungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten, dann ist als Stichtag das Datum der Änderung zu wählen, das dem Zeitpunkt der Methodenanwendung am nächsten liegt. Diese Datumsangaben sind wichtig, weil aus ihnen zu ersehen ist, seit wann die Vorgaben und Bedingungen vorliegen, die für die Bearbeitung der betrachteten Aufgaben zum Zeitpunkt der Methodenanwendung bestehen. Die Kenntnis dieser Vorgaben und Bedingungen gehört zu den Eingangsinformationen für die Beurteilung, ab wann das Personal bestimmte Aufgaben und Handlungen wiederholt ausgeführt hat. Dies wiederum ist Voraussetzung für die Ermittlung der Häufigkeit gleichartiger Durchführungen einer Aufgabe. Der Methodenanwender dokumentiert Unklarheiten, Unsicherheiten oder Widersprüche der Datumsangaben. Lassen sie sich nicht ausräumen, dann führen sie zum Ausschluss einer Aufgabe aus der weiteren Untersuchung.

Die Betriebserfahrung zeigt, dass das Personal Rahmenbedingungen der Aufgabenerfüllung außer Acht lassen oder umgehen kann. Man denke zum Beispiel an die Unterlassung scheinbar entbehrlicher Schritte einer Prozedur. Die Methode be-

rücksichtigt solche Diskrepanzen zwischen dem tatsächlichen und dem geforderten Vorgehen bei der Untersuchung des Handlungsablaufs (Abschnitt 2.3.1).

Ferner können Rahmenbedingungen der Aufgabenerfüllung Spielräume lassen. Ein Beispiel stellt die Überbrückung von Wartezeiten durch die Vorbereitung von Aufgaben oder Aufgabenteilen dar, die nach Ablauf der Wartezeit anstehen und deren Vorbereitung vor oder nach Ablauf der Wartezeit möglich ist. Detaillierte Erfassung und Analyse solcher Spielräume sind ebenfalls Teil späterer Untersuchungen (Abschnitt 2.3.1).

- Prinzipiell könnte es während der Laufzeit eines Reaktors mehrere Zeiträume gegeben haben, in denen das Personal die Aufgabe bereits in der Art und Weise zu bearbeiten hatte, wie es zum Zeitpunkt der Methodenanwendung der Fall ist. Die Methode berücksichtigt generell nur den Zeitraum, der ohne Unterbrechungen vom Zeitpunkt der Methodenanwendung bis zu dem Zeitpunkt zurückreicht, zu dem die Aufgabe vor der Methodenanwendung die letzte Änderung erfahren hat, die sich auf Art, Reihenfolge oder Ausführungsbedingungen und damit die Zuverlässigkeit des Handelns auswirken kann. Davor liegende Zeiträume mit gleicher Modalität der Aufgabenbearbeitung bleiben aus dem folgenden Gründen außer Betracht:
 - Informationen zu Aufgabe und Handlungen können umso spärlicher und (oder) ungenauer sein, je weiter man bei der Untersuchung in die Vergangenheit zurückgeht. Dies gilt vor allem für die oben angesprochenen Diskrepanzen zwischen der tatsächlichen und der geforderten Art der Aufgabendurchführung und für die Spielräumen, die das Personal bei der Aufgabenbearbeitung hatte.
 - Informationen über Aufgaben und Handlungen könnten zwar im erforderlichen Umfang vorliegen und für die weiteren Untersuchungen genutzt werden. Ermittlung und Auswertung der möglichen, verschiedenen Phasen mit gleichartiger Modalität der Aufgabenerfüllung können sich aber sehr aufwendig gestalten. Der Methodenanwender müsste zum Beispiel ältere Fassungen des Betriebshandbuchs oder frühere Pult- und Tafelbelegungen in Warte untersuchen. Diese aufwendigen Arbeiten sind in der vorliegenden Methode nicht vorgesehen.
- Der Methodenanwender bestimmt die Häufigkeit, mit der das Personal die Aufgabe im eben definierten Betrachtungszeitraum ausgeführt hat.

- Es muss die Möglichkeit bestehen, im Zuge der Methodenanwendung bis zum Anschluss der Untersuchung
 - alle Unterlagen zu sichten, die der Betreiber eines Reaktors dem Personal zur Verfügung stellt, das die betrachteten Aufgaben auszuführen hat.
 - jede weitere Informationsquelle zu nutzen, die kompetent Auskünfte über die Bearbeitung der jeweils betrachteten Aufgabe geben kann.

Der Methodenanwender hat die Art der Informationsquelle zu vermerken.

Ergebnis der Sichtung und Zusammenstellung hat eine Liste an Aufgaben zu sein, deren fehlerhafte Ausführung einen meldepflichtigen Sachverhalt herbeiführen könnte. Für jede dieser Aufgaben ist bekannt,

- dass sie wiederholt auszuführen ist,
- welchem Aufgabenbereich (welchen Aufgabenbereichen) sie angehört,
- welches Meldekriterium (welche Meldekriterien) bei fehlerhafter Bearbeitung erfüllt sein könnte(n),
- an welchem Reaktor sie ansteht (falls es sich um eine Doppelblockanlage handelt),
- wann die Modalität der Aufgabenerfüllung vor der Methodenanwendung die letzte Änderung erfahren hat, die sich auf Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit des Personals auswirken kann.
- wie oft das Personal die Aufgabe bearbeitet hat, seit die Modalität der letzten Änderung unterworfen war.

Der Methodenanwender hat zu jeder Aufgabe, deren fehlerhafte Ausführung einen meldepflichtigen Sachverhalt herbeiführen könnte, mögliche, auch hypothetische und spekulative, Ursachen in Form unterlassener und (oder) fehlerhafter Handlungen bei der Aufgabenbearbeitung dokumentiert.

Der nächste Schritt der Methode besteht darin, Art und Häufigkeit der Fehler zu bestimmen, deren Eintritt unausweichlich die Erfüllung eines Meldekriteriums nach sich zöge.

Tab. A- 2-1 Bereiche an Aufgaben, bei denen bei fehlerhafter Bearbeitung Meldekriterien erfüllt sein könnten

Meldekriterien lt. Anlage 1 (/ATO 10/)		Aufgabenbereiche
Gruppe	Untergruppe	
Radiologie und Strahlenschutz	Ableitung radioaktiver Stoffe	<p>Arbeiten mit bzw. an radioaktiven Stoffen, radioaktiven Gegenständen, kontaminierten Objekten (einschließlich Böden, Wänden, sonstigen Architekturteilen und Geländebereichen) sowie mit bzw. an Systemen, Anlagenteilen oder Behältnissen, die radioaktive Stoffe, Gegenstände und (oder) kontaminierte Objekte enthalten, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transport, Lagerung, Aufbereitung, Beseitigung. • Handhabung bzw. Bedienung von Behältnissen, Transportmitteln, Systemen oder Anlagenteilen, die radioaktive Stoffe oder Gegenstände enthalten.
	Freisetzung radioaktiver Stoffe	
	Kontamination	
	Verschleppung radioaktiver Stoffe	
Anlagentechnik und –betrieb	Funktionsstörungen, Schäden oder Ausfälle im Sicherheitssystem oder in den sonstigen sicherheitstechnisch wichtigen Systemen oder Anlagenteilen	<p>Aufgaben des Betriebs und der Instandhaltung (Inspektion, Wartung, Verbesserung, Instandsetzung) in Warte, Notsteuerstelle und vor Ort einschließlich Freigelände, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schalthandlungen. • Prüfungen. • Austausch schadhafter, verschleißender oder sonstiger Teile. • zugehörige Freischaltungen und sonstige Vorkehrungen wie die Errichtung von Abschirmungen.
	Schäden oder Leckagen an Rohrleitungen oder Behältern	
	Kritikalitätsstörungen	
	Absturz von Lasten; Ereignisse bei Handhabung, Lagerung oder Transport	
	Sonstige Ereignisse	

Meldekriterien lt. Anlage 1 (/ATO 10/)		Aufgabenbereiche
Gruppe	Untergruppe	
Einwirkungen von außen und anlageninterne Ereignisse	Einwirkungen von außen	U. a. Schutz gegen Hochwasser.
	Anlageninterne Ereignisse	Arbeiten, bei denen wegen der benutzten Stoffe, Flüssigkeiten, Gase oder Energien die Gefahr anlageninterner Brände, Überflutungen, Explosionen und (oder) weiterer interner Ereignisse besteht.

Tab. A- 2-2 Weitere Aufgabenbereiche, die wegen ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung zu untersuchen sind

Aufgabenbereich	Kritische Faktoren	Erläuterungen
<p>Bedienung und Instandhaltung von Einrichtungen, Systemen oder Anlagenteilen betrieblicher Art</p>	<p>Arbeiten finden so nahe an Einrichtungen des Sicherheitssystems oder anderer sicherheitstechnisch wichtiger Systeme oder Anlagenteile statt, dass bei den Arbeiten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nebenwirkungen auf und (oder) • Zweckentfremdungen von <p>Einrichtungen des Sicherheitssystems oder anderer sicherheitstechnisch wichtiger Systeme oder Anlagenteile möglich sind.</p> <p>Zu beachten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • „Einrichtungen des Sicherheitssystems“ steht für beliebige Teile des Sicherheitssystems. • Nebenwirkungen sind nicht beabsichtigt. • Bei Zweckentfremdungen besteht keine Absicht, Schäden zu verursachen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Ort der Arbeiten kann sich neben, unter oder über der Einrichtung des Sicherheitssystems bzw. dem sicherheitstechnisch wichtigen System oder Anlagenteil befinden, die (das, der) potentiellen Nebenwirkungen und (oder) Zweckentfremdungen ausgesetzt ist. • Beispiele für Nebenwirkungen sind <ul style="list-style-type: none"> • Druck oder Stoß mit Körperteilen und (oder) gehandhabten Gegenständen bei den Arbeiten, • Erschütterungen oder Vibrationen, die im Zuge der Arbeiten entstehen, • Eintrag fester, flüssiger oder gasförmiger Materie, die vom Arbeitsort aus fallen, rieseln, fliegen, spritzen, tropfen, ablaufen, entweichen oder auf andere Weise in benachbarte Einrichtungen, Systeme oder Anlagenteile gelangen kann. • Beaufschlagung mit Temperaturen und (oder) elektromagnetischen Feldern, die im Zuge der Arbeiten entstehen, • Funkenflug. • Beispiele für Zweckentfremdungen sind Nutzung als Standplatz, Griff, Halterung oder Ablage.

Aufgabenbereich	Kritische Faktoren	Erläuterungen
Betrieb und Instandhaltung beliebiger Einrichtungen, Systeme oder Anlagenteile	Äußere Ähnlichkeit zwischen Einrichtung, System oder Anlagenteil, an dem zu arbeiten ist, und benachbarten und zugänglichen Einrichtungen des Sicherheitssystems oder einem anderen sicherheitstechnisch wichtigen System oder Anlagenteil, so dass Verwechslungen möglich sind.	Keine, da gut bekannte und gut dokumentierte Fehlerquelle.
Aufsuchen, Verlassen beliebiger Arbeitsorte mit oder ohne Transport von Dingen, die am Arbeitsort benötigt werden oder bei den Arbeiten anfallen (z. B. ausgetauschte Teile, Verpackungen, Altöl, Schutt)	Arbeits- und (oder) Transportweg führen so nahe an Einrichtungen des Sicherheitssystems oder an anderen sicherheitstechnisch wichtigen Systemen oder Anlagenteilen vorbei, dass Nebenwirkungen und (oder) Zweckentfremdungen möglich sind.	<ul style="list-style-type: none"> • Transportweg kann sich neben, unter oder über der Einrichtung des Sicherheitssystems oder dem sicherheitstechnisch wichtigen System oder Anlagenteil befinden, die (das, der) potentiellen Nebenwirkungen und (oder) Zweckentfremdungen ausgesetzt ist. • Beispiele für Nebenwirkungen sind durch Bewegung und oder Transport bedingte(r) <ul style="list-style-type: none"> • Druck oder Stoß mit Körperteilen und (oder) gehandhabten Gegenständen • Erschütterungen, Schwingungen oder Vibrationen, • Eintrag fester, flüssiger oder gasförmiger Materie, die vom Transportweg aus fallen, rieseln, fliegen, spritzen, tropfen, ablaufen, entweichen oder auf andere Weise in benachbarte Einrichtungen, Systeme oder Anlagenteile gelangen kann. • Beispiele für Zweckentfremdungen sind Nutzung als

Aufgabenbereich	Kritische Faktoren	Erläuterungen
		Leiter, Standplatz, Griff, Halterung oder Ablage.
Arbeiten an einer von mehreren Redundanzen des Sicherheitssystems oder anderer sicherheitstechnisch wichtiger Systeme oder Anlagenteile	<p>Redundanzen sind nebeneinander untergebracht, so dass ihre Verwechslung möglich ist.</p> <p>Die Verwechslung technischer Einrichtungen kann auf der Verwechslung der Räume oder Gebäudeteile zurückgehen, in denen sich die Einrichtungen befinden. Diese Möglichkeit ist einzubeziehen.</p>	Keine, da gut bekannte und gut dokumentierte Fehlerquelle.
<p>Freischaltung und sonstige Vorkehrungen (z. B. Abschirmungen) an</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einrichtungen des Sicherheitssystems, • anderen sicherheitstechnisch wichtigen Systemen oder Anlagenteilen, • weiteren Einrichtungen, Systemen oder Anlagenteilen sowie • dafür erforderliche Arbeitswege und Transporte. 	Man vergleiche die Faktoren bei Betrieb und Instandhaltung betrieblicher, beliebiger und redundanter Systeme.	Man vergleiche die Erläuterungen zu Betrieb und Instandhaltung betrieblicher Systeme, Einrichtungen und Anlagenteile.

Tab. A- 2-3 Arten technisch-ergonomisch-organisatorischer Änderungen der Aufgabendurchführung

Art der Änderung	Mögliche Auswirkungen auf wichtige Faktoren zuverlässigen Handelns Weitere Möglichkeiten sind ausdrücklich nicht ausgeschlossen.
<p>Vollständige oder teilweise Automatisierung oder Mechanisierung auch durch Bereitstellung von andersartigen Geräten und Werkzeugen einschließlich Transportmitteln (zu Benutzungsoberflächen und Prozeduren: siehe unten)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik, • Art und Abfolge der Handlungen des Personals einschließlich Kommunikation, Kooperation, • andersartige Bedien- und Nutzungsweisen sowie veränderte Möglichkeiten, Fehler zu begehen, zu erkennen und zu beherrschen, • körperliche und (oder) geistige Belastungen auch bei unveränderten Arten möglicher Fehler, Fehlererkennung und Fehlerbehebung, • Zahl und (oder) Qualifikation der Ausführenden, • Zeitbedarf.
<p>Ersatz bisher automatisierter oder mechanisierter Aufgaben oder Teile solcher Aufgaben durch die geistige und (oder) körperliche Arbeit des Menschen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vgl. oben.
<p>Änderungen der Architektur der Gebäude und (oder) Änderungen der räumlichen Anordnung technischer Einrichtungen, an oder neben denen zu arbeiten ist, einschließlich architektonischer Änderungen an Transportwegen oder deren Verlegung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Raum für die Zahl der Personen, die Ausführung der Arbeiten, das Aufsuchen und Verlassen des Arbeitsorts, Transport und Handhabung der benötigten oder anfallenden Materialien (Werkzeuge, Ersatzteile, Transportmittel, Abfall, ...) • Zeitbedarf für Arbeitswege und Transporte, • Nähe bzw. Distanz zu Schnittstellen mit Einrichtungen des Sicherheitssystems oder anderer, sicherheitstechnisch wichtiger Systeme oder Anlagenteile (vergleiche Tab. A- 2-2),

Art der Änderung	Mögliche Auswirkungen auf wichtige Faktoren zuverlässigen Handelns Weitere Möglichkeiten sind ausdrücklich nicht ausgeschlossen.
	<ul style="list-style-type: none"> • Art und Abfolge der Handlungen des Personals einschließlich Kommunikation, Kooperation, • Körperhaltung und Bewegungsablauf bei der Aufgabendurchführung.
Verlegung der Aufgabendurchführung in einen anderen Anlagenbetriebszustand	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichkeiten, den Zustand der Anlage, eines Anlagenteils oder Systems zu erkennen, • Möglichkeiten, den Zustand eines Anlagenteils oder Systems zu verändern, • Art und Zahl der Barrieren gegen Handlungsfehler, • Zeitbudgets für die Aufgabendurchführung, • Möglichkeiten, Fehler zu begehen, zu erkennen oder zu meistern, • Zeitbudgets, um auf Fehler zu reagieren, • Notwendigkeit, Ablauf und (oder) Ergebnisse anderer Arbeiten bei der Bearbeitung der betrachteten Aufgabe zu berücksichtigen, • Zugänglichkeit von Arbeitswegen, Transportwegen, Arbeitsorten, Systemen, Anlagenteilen und anderen Objekten des Handelns.
Verlängerung oder Verkürzung des Zeitbudgets für die Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> • Zunahme oder Abnahme des Zeitdrucks für Aufgabenerfüllung bzw. Erkennung und Bewältigung möglicher Fehler.
Entlastung von bzw. Belastung mit anderen Aufgaben, die im gleichen Zeitraum wie die betrachtete Aufgabe auszuführen sind	<ul style="list-style-type: none"> • durch „Pendeln“ zwischen Aufgaben und (oder) Arbeitsplätzen bedingte Art und Abfolge der Handlungen des Personals (Arbeiten rechtzeitig unterbrechen und wieder aufnehmen, erreichten Stand unterbrochener Arbeiten bei Fortsetzung rekapitulieren etc.)

Art der Änderung	Mögliche Auswirkungen auf wichtige Faktoren zuverlässigen Handelns Weitere Möglichkeiten sind ausdrücklich nicht ausgeschlossen.
	<ul style="list-style-type: none"> • Zunahme oder Abnahme der Fehlermöglichkeiten durch Wechsel zwischen den Aufgaben wie die Nutzung von Unterlagen und (oder) Werkzeugen, die für eine Aufgabe A vorgesehen sind, bei einer Aufgabe B.
Übertragung der Zuständigkeit für die Aufgabe auf andere Bearbeiter	<ul style="list-style-type: none"> • Zahl und (oder) Qualifikation der neuen Bearbeiter unterscheiden sich von denjenigen der bisherigen Ausführenden, • Vorerfahrungen zu und Training für die Aufgaben, • Belastungen durch andere Aufgaben wie zum Beispiel durch Wechsel zwischen mehr (weniger) parallel zu bearbeitenden Aufgaben, • Verfügbarkeit der Bearbeiter auf der Anlage, je nachdem, ob die Bearbeiter zu Eigen- oder Fremdpersonal gehören.
Änderung der Aufgabenteilung zwischen den Bearbeitern mit oder ohne Änderungen der Zahl von Personen, die für eine betrachtete Aufgabe vorgesehen sind	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung oder Schwächung des Vier-Augen-Prinzips und anderer Formen der Kontrolle zur Vermeidung und Erkennung möglicher Fehler • Art der Aufgabenschwerpunkte, Umfang der Aufgaben, die auf die verschiedenen Mitglieder eines Arbeitsteams entfallen.
Änderungen der Ausbildung des ausführenden Personals in Bezug auf Inhalte und (oder) Dauer	<ul style="list-style-type: none"> • Art der Qualifikation für die betrachtete Aufgabe.
<p>Änderungen an vorhandenen oder Bereitstellung neuer Unterlagen für die Aufgaben und (oder) Benutzungsoberflächen</p> <p>Zu beachten sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Art, Detaillierungsgrad und Layout sprachlicher und 	<ul style="list-style-type: none"> • Mehr oder weniger Aufgaben oder Aufgabenteile, die das Personal mit oder ohne Unterstützung durch Unterlagen zu bearbeiten hat, • Umstellung auf rechnerbasierte Unterlagen oder (umgekehrt) auf nicht-rechnerbasierte Dokumente, • Gliederung, Inhalt, Detaillierung und (oder) Aufmachung der Prozeduren, der

Art der Änderung	Mögliche Auswirkungen auf wichtige Faktoren zuverlässigen Handelns Weitere Möglichkeiten sind ausdrücklich nicht ausgeschlossen.
<p>bildlicher Information in Prozeduren aus Betriebs- und Prüfhandbuch, Arbeitsaufträgen, Arbeitsscheinen, Freischaltlisten und sonstigen Unterlagen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Benutzungsoberflächen in Warte, Notsteuerstelle und vor Ort (Leitstände und alle Analgenteile, die Objekt absehbarer Handlungen sind). 	<p>anderen Unterlagen für die Aufgabenerfüllung oder mindestens eines ihrer Teile,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Art, Vorverarbeitung und Darstellung benötigter Informationen auf Benutzungsoberflächen, • Gestaltung der Bedieneinrichtungen, • räumliche Anordnung der Informations- und Bedieneinrichtungen, • Art bzw. Ausprägung von Grenzwerten, Kriterien und Bedingungen für Prozeduren, Prozedurteile und (oder) einzelne Handlungen, • Vorgabe zur Abarbeitungsreihenfolge der Teile einer Prozedur oder einer anderen Unterlage für die Aufgabendurchführung..

2.2 Ausschluss von Aufgaben

In die weitere Untersuchung geht keine Aufgabe, die mindestens eines der folgenden Merkmale erfüllt:

- Der Methodenanwender konnte den Stichtag, ab dem das Personal eine betrachtete Aufgabe am jeweils betrachteten Reaktor in der gleichen Form wie zum Zeitpunkt der Methodenanwendung zu erfüllen hat, nicht oder nicht genau bestimmen.
- Die Bearbeitung der Aufgabe hat mindestens ein meldepflichtiges Ereignis verursacht oder mitverursacht oder sie war durch ein meldepflichtiges Ereignis so betroffen, dass Voraussetzungen für die Anwendung der vorliegenden Methode verletzt sind oder sein könnten.
- Art bzw. Qualität der sonstigen Information über die Aufgabe am betrachteten Reaktor erfordern es, sie aus der weiteren Untersuchung herauszunehmen.

Der Methodenanwender hat zudem die Option, Aufgaben aus der Untersuchung herauszunehmen, deren Häufigkeit einen Schwellenwert unterschreitet. Darauf geht der letzte Teil des vorliegenden Gliederungspunktes ein.

Als Eingangsinformation dient die Liste weiter auswertbarer Aufgaben aus Tab. A- 2-2.

2.2.1 Zeitraum mit gleicher Modalität der Aufgabenbearbeitung oder Häufigkeit der Bearbeitung unbestimmt

Der Methodenanwender nimmt eine Aufgabe an einem Reaktor aus der weiteren Untersuchung heraus, wenn

- es Unklarheiten gibt, seit wann das Personal die betrachtete Aufgabe an diesem Reaktor in der Form zu bearbeiten hat, die zum Zeitpunkt der Methodenanwendung gegeben ist.
- die Häufigkeit nicht ausreichend präzise bestimmt werden kann, mit der das Personal des Reaktors die betrachtete Aufgabe im Betrachtungszeitraum bearbeitet hat.

Unklarheiten können sich zum Beispiel ergeben, wenn Änderungen der Modalität einer betrachteten Aufgabe nicht genau datierbar sind und das Personal sich nicht an den genauen Zeitpunkt erinnern kann, seit dem es die Aufgabe auf dieselbe Weise wie zum Zeitpunkt der Methodenanwendung erfüllt. Ohne einen klaren Stichtag bleibt unbestimmt, ab wann die Gelegenheiten für die gleichartige Durchführung der Aufgabe zu zählen sind.

2.2.2 Meldepflichtige Ereignisse

Die Methode sieht vor, alle Aufgaben von der weiteren Untersuchung auszunehmen, wenn

- das Personal die Aufgabe nach Beginn und vor Beendigung der Methodenanwendung mit der Folge eines meldepflichtigen Sachverhalts bearbeitet.
- eine Handlung zur Erfüllung dieser Aufgaben ein meldepflichtiges Ereignis verursacht oder mitverursacht hat und deshalb nicht in den Anwendungsbereich der vorliegenden Methode fällt.
- ein meldepflichtiges Ereignis Rahmenbedingungen der Erfüllung einer Aufgabe so verändert haben kann, dass Voraussetzungen für die Anwendung der vorliegenden Methode nicht erfüllt sind: Ereignisse können den Abbruch, eine vom üblichen Vorgehen abweichende, ereignisspezifische Fortsetzung oder zusätzliche, außerplanmäßige Ausführungen einer Aufgabe erfordern. Das Personal könnte infolge des meldepflichtigen Ereignisses die Aufgabe mit veränderter Aufmerksamkeit, anderem Stressniveau und mit dem zusätzlichen Wissen, das es aus dem Ereignis gewonnen hat, bearbeiten. Diese Nachwirkungen können mehr oder minder lange anhalten, ohne dass der Methodenanwender die Länge dieser Zeitspanne präzise ermitteln könnte. Ziel der Methode ist es aber, wiederholte Handlungen mit gleichartigen Ausführungsbedingungen innerhalb eines definierten Zeitraums zu bestimmen.

Es genügt, dass zum Zeitpunkt der Methodenanwendung zumindest eine vorläufige Ereignismeldung vorliegt oder zu erstellen ist.

Der Methodenanwender schließt generell alle Aufgaben aus, deren Bearbeitung ein meldepflichtiges Ereignis verursacht hat oder durch ein Ereignis betroffen war. Das meldepflichtige Ereignis muss also nicht innerhalb des Zeitraums stattgefunden haben,

der vom Zeitpunkt der Methodenanwendung bis zu dem Zeitpunkt zurückreicht, zu dem die Modalität der Aufgabenbearbeitung die letzte Änderung mit Auswirkungen auf Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit erfahren hat. Dieses Vorgehen hat folgenden Grund:

Der Methodenanwender hat mit Hilfe der Tab. A- 2-1 und Tab. A- 2-2 Aufgaben zusammengestellt, die das Personal zum Zeitpunkt der Methodenanwendung in einer bestimmten Form bearbeitet. Als Referenz für die Meldepflicht denkbarer Fehler nutzt der Methodenanwender die Meldeverordnung, die zum Zeitpunkt der Methodenanwendung in Kraft ist. Fehlerart, Fehlerursachen und Fehlerfolgen in Gestalt der Meldepflicht hängen somit von der Modalität der Aufgabenbearbeitung und von der Meldeverordnung zum Zeitpunkt der Methodenanwendung ab (im Folgenden als „aktuelle“ Modalität bzw. Meldeverordnung bezeichnet). Der Methodenanwender muss den Fall ausschließen können, dass ein nach aktueller Modalität und Meldeverordnung möglicher meldepflichtiger Fehler bei der betrachteten Aufgabe tatsächlich aufgetreten ist, als ältere Meldeverordnungen in Kraft waren und das Personal damals unter denselben oder vergleichbaren Rahmenbedingungen zu handeln hatte wie zum Zeitpunkt der Methodenanwendung.

Die vorliegende Methode sieht vor, statt detaillierter Untersuchungen generell an einem Reaktor alle Aufgaben auszuschließen, deren fehlerhafte Erfüllung als Ursache meldepflichtige Ereignisse an diesem Reaktor herbeigeführt oder deren Bearbeitung durch meldepflichtige Ereignisse zumindest temporär eine wesentliche Änderung mit Folgen für Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit erfahren hat.

Dieses Vorgehen erspart aufwendige Untersuchungen und nimmt die Möglichkeit in Kauf, Aufgaben aus der Untersuchung herauszunehmen, deren Modalität sich nach dem letzten meldepflichtigen Ereignis so stark verändert hat, dass Fehler, die zum Zeitpunkt der Methodenanwendung unterstellt werden können, erst mit dieser Veränderung möglich geworden, aber noch nicht aufgetreten sind, wohingegen meldepflichtige Fehler aus der Zeit vor dieser Veränderung nicht mehr begangen werden könnten.

Abschnitt 2.3.2 erläutert, wie der Methodenanwender Änderungen der Meldeverordnungen berücksichtigt. Darüber hinaus werden Aufgaben und Handlungen, die zu meldepflichtigen Ereignissen führten, mit den in Abschnitt 3 beschriebenen Methoden untersucht und bewertet.

Als Quellen nutzt der Methodenanwender zum einen Berichte über meldepflichtige Ereignisse. Diese Ereignismeldungen gehen aber häufig nur summarisch oder selektiv auf das Handeln und die Bedingungen der Handlungsausführung ein. Über die Ereignismeldung hinaus hat der Methodenanwender daher zum anderen die Ergebnisse einer fachlich fundierten Recherche der Personalaufgaben und ihrer Bearbeitung beim betrachteten meldepflichtigen Ereignis zu verwenden. Aus Ereignismeldung und (oder) Recherche muss zumindest klar hervorgehen, dass fehlerhaftes Handeln das Ereignis verursacht oder mitverursacht hat.

Meldepflichtige Ereignisse können zum Beispiel als Folge einer Weiterleitungsnachricht nicht nur am betroffenen, sondern auch an weiteren Reaktoren ergonomisch-organisatorisch-technische Änderungen nach sich ziehen: Der Methodenanwender berücksichtigt solche Änderungen, wenn er den Zeitpunkt bestimmt, ab dem das Personal die betrachtete Aufgabe nach den Vorgaben zu bearbeiten hat, die zum Zeitpunkt der Methodenanwendung gelten.

2.2.3 Weitere Ausschlüsse

Die Modalität der Aufgabenerfüllung kann für eine Aufgabe an einem Reaktor vor dem Zeitpunkt der Methodenanwendung so kurzfristig geändert worden sein, dass das Personal die Aufgabe in der neuen Form höchstens genau einmal bearbeitet hat. Solche Aufgaben entfallen für die weitere Untersuchung, weil zum Zeitpunkt der Methodenanwendung keine Information vorliegt, ob die Aufgabe mehrmals auf die neue, gleichartige Weise und in allen Fällen richtig bearbeitet worden ist.

Zusätzliche Ausschlüsse können bei der Analyse der Aufgaben erforderlich werden. Darauf gehen die Ausführungen des Abschnitts 2.3 ein.

2.2.4 Optionaler Schwellenwert für die Häufigkeit der Aufgabendurchführung

Im Extremfall hat das Personal die Aufgabe nur zweimal und dabei stets richtig bearbeitet seit die Modalität der Aufgabenbearbeitung vor dem Zeitpunkt der Methodenan-

wendung die letzte, für Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit wesentliche Änderung erfahren hat.

Der Methodenanwender hat die beiden Optionen, alle Aufgaben zu untersuchen oder nur solche, die öfter als zweimal durchzuführen waren. Der Schwellenwert für die Mindestzahl der Bearbeitungen ist frei wählbar. Das Problem geringer Wiederholungshäufigkeiten kann auch dadurch gelöst werden, dass statistische Schätzwerte für Zuverlässigkeitskenngrößen mit geeigneten Verfahren rechnerisch zusammengefasst werden. Darauf geht die Darstellung der quantitativen Methoden ein (vgl. Abschnitt 3).

Ein anfänglich gesetzter Schwellenwert darf angehoben oder gesenkt werden, um eine Zusammenstellung von Aufgaben zu erzielen, die ausreicht, um die Zuverlässigkeit möglichst vieler Personalhandlungen in deutschen Anlagen zu schätzen. Schwellenwert und Schwellenwertänderungen sind zu dokumentieren.

2.3 Analyse der Aufgaben

Der Methodenanwender verfügt über folgende Informationen, nachdem er die bisher dargestellten Schritte der Methode bearbeitet hat:

- die Meldeverordnung, die zum Zeitpunkt der Methodenanwendung in Kraft ist und als Referenz für meldepflichtige Sachverhalte dient (in Folgenden kurz auch „aktuelle Meldeverordnung“ genannt).
- das Datum, ab dem die aktuelle Meldeverordnung gilt.
- die Liste der Aufgaben, die er weiter untersucht.
- für jede Aufgabe auf dieser Liste
 - die Bezeichnung des Reaktors, an dem die Aufgabe ansteht (bei Doppelblockanlagen).
 - das Datum, ab dem die Modalität der Aufgabenerfüllung unverändert bis zum Zeitpunkt der Methodenanwendung bestanden hat.
 - die Häufigkeit der Bearbeitung seit diesem Datum.
 - das Ergebnis, dass das Personal die Aufgabe bis zum Zeitpunkt der Methodenanwendung ohne Verursachung eines meldepflichtigen Ereignisses oder

ohne ereignisbedingte Auswirkungen auf Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit erfüllt hat.

- Anhaltspunkte zu möglichen Fehlern und zu den Meldekriterien der aktuellen Meldeverordnung, die greifen könnten, wenn das Personal diese Fehler begeht (man vergleiche die Ausführungen zu Tab. A- 2-1 und Tab. A- 2-2). Der Methodenanwender hat bei der Zusammenstellung von Aufgaben anhand der Tab. A- 2-1 und Tab. A- 2-2 noch nicht im Detail überprüft, ob fehlerhaftes Handeln bei den Aufgaben tatsächlich und unausweichlich einen meldepflichtigen Sachverhalt nach sich zieht. Diese Analyse ist Gegenstand des vorliegenden Schrittes der Methode.

Der Methodenanwender bestimmt und pro Aufgabe, die nach den bisherigen Schritten der Methodenanwendung weiter zu untersuchen ist, die

- Art und Abfolge der zugehörigen Handlungen.
- Art, Ursachen und Häufigkeit durchgängig sicher meldepflichtiger Fehler (zum Begriff des durchgängig sicher meldepflichtigen Fehlers vergleiche man Kapitel 2.

Merkmale zu diesen einzelnen Teilen der Untersuchung sind in den folgenden Gliederungspunkten zu finden. Die Merkmale gehen vor allem auf Aspekte der Aufgabenanalyse ein, die für die vorliegende Methode spezifisch sind. Verschiedene Teile der Analyse entsprechen eingeführten Verfahren, die das vorliegende Dokument nicht im Detail behandeln, sondern nur referenzieren wird.

2.3.1 Art und Abfolge der Handlungen zur Erfüllung einer Aufgabe

Die Untersuchung erfolgt für jede Aufgabe, die nach den Ausschlüssen entsprechend Abschnitt 2.2 weiter zu betrachten ist.

2.3.1.1 Merkmale zur Art der Handlungen

Bei der Bestimmung der Handlungen zur Erfüllung einer Aufgabe beachtet der Methodenanwender folgende Gesichtspunkte:

- Die Untersuchung hat alle Handlungen einzubeziehen, die das Personal ausführt, um diejenigen Teile der Aufgabe zu erfüllen, die in den Gebäuden bzw. auf dem

Freigelände der Anlage anstehen. Dazu gehören alle Handlungen von der Einleitung bis zum Abschluss der Aufgabe ohne die Handlungen derjenigen Aufgabenteile, die außerhalb der Anlage zu bearbeiten sind. Solche anlagenexternen Handlungen gehören zum Beispiel zur Produktion von Ersatzteilen. Handlungen außerhalb der Anlage fallen nicht in den Anwendungsbereich der Methode (vgl. Kapitel 1).

Beginn und Ende einer Aufgabe sind in der vorliegenden Methode wie folgt bestimmt:

- Der Beginn einer Aufgabe ist als die erste Handlung definiert, die das Personal ausführen muss, um zu erkennen, dass es die Aufgabe einleiten muss. Die Einleitung kann durch einen bestimmten Anlagenzustand gefordert sein, der zum Beispiel durch Grenzwerte für Drücke, Temperaturen oder Füllstände definiert ist. Bei Aufgaben der Instandhaltung und Änderung hat das Personal zu erkennen, dass das „auslösende Ereignis“ geplanter Arbeiten vorliegt (/BMI 78/, S. 5). Ein auslösendes Ereignis im Sinne der zitierten Richtlinie kann zum Beispiel darin bestehen, dass der Termin einer wiederkehrenden Aufgabe an bzw. mit der technischen Einrichtung eingetreten ist.
- Das Ende der Aufgabe ist durch das Ziel definiert, das durch die Bearbeitung der Aufgabe zu erreichen ist. Bei Instandhaltungen und Änderungen besteht dieses Ziel in der Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft betroffener Einrichtungen.

Die Analyse bezieht nur Handlungen vom Beginn (der geforderten Einleitung) bis zum Ende der Aufgabe (dem geforderten Ziel oder Endergebnis) ein. Teilaufgaben außerhalb der Anlage werden als Unterbrechungen behandelt. Liegen solche Teilaufgaben vor, schließt die Analyse Handlungen des Personals auf der Anlage ein, mit denen es die anlagenexternen Teilaufgaben definiert, einleitet und unterstützt und mit denen es das Ergebnis der anlagenexternen Teilaufgaben abnimmt, prüft und der weiteren Bearbeitung auf der Anlage zuführt. Kurz: die Analyse bezieht alle Handlungen an der Schnittstelle mit anlagenexternen Einrichtungen ein, sofern diese Handlungen auf der Anlage auszuführen sind.

- Der Methodenanwender nutzt Dokumente, Befragungen des Personals und nach Möglichkeit auch Beobachtungen der Aufgabendurchführung, um Art; Abfolge und Ausführungsbedingungen der Handlungen zu bestimmen, die einer betrachteten

Aufgabe angehören. Wichtige Dokumente sind die Anweisungen des Betriebs- bzw. des Prüfhandbuchs zur Aufgabe, Betriebsordnungen, Unterlagen zu Arbeitsaufträgen und die Dokumentation des Sicherheitsmanagementsystems der Anlage. Der Methodenanwender beachtet:

- Auch wenn zu einer Aufgabe schriftliche Anweisungen vorliegen, befragt und (oder) beobachtet er das Personal. Schriftliche Anweisungen können mehr oder weniger detailliert und (oder) fehlerhaft sein: Unterlagen können Aufgabenteile oder Handlungen unerwähnt lassen, von denen der Ersteller voraussetzt, dass das Personal sie auch ohne schriftliche Anweisungen kennt und durchführt. Der Inhalt einer Unterlage kann zum Beispiel tippfehlerbedingt falsch sein und vom Personal stets berichtigt worden sein, ohne den Fehler an die zuständige Stelle zu melden. Befragung und (oder) Beobachtung sind in solchen Fällen die einzige Quelle, um Art und Ablauf des realen Handelns zu klären.
- Unter den Betriebsordnungen zählen die Warten- und die Schichtordnung, vor allem aber die Instandhaltungsordnung des Reaktors zu den wichtigen Quellen, auf die sich die Bestimmung der Handlungen und der Handlungsabläufe zu stützen hat. Warten- und Schichtordnung legen die Aufgabenverteilung zwischen den Mitgliedern der Schichtmannschaft fest. Daraus ergeben sich insbesondere die aufgabenspezifischen Erfordernisse für Kooperation und Kommunikation sowie die Möglichkeiten der Handlungskontrolle, Fehlererkennung und Fehlerkorrektur. Die Instandhaltungsordnung regelt auf der Grundlage der Instandhaltungsrichtlinie (/BMI 78/) die Art und Abfolge der Teilaufgaben, die das Personal ab dem „auslösenden Ereignis“ einer Instandhaltung oder Änderung bis zur Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft zu bearbeiten hat. Dieser Prozess umfasst auch die wesentlichen Schritte der Arbeitsvorbereitung einschließlich der Ausfertigung der erforderlichen Unterlagen für die anstehende Instandhaltung oder Änderung. Zu diesen Unterlagen gehören Arbeitsaufträge sowie Frei- und Rückschaltlisten. Die einzelnen Handlungen innerhalb der Teilaufgaben hat der Methodenanwender vom Personal in Erfahrung zu bringen, weil Instandhaltungsrichtlinie und Instandhaltungsordnung das Vorgehen bei allen Instandhaltungen oder Änderungen sicherheitsrelevanter Art festlegen und folglich nicht auf die Details spezifischer Aufgaben eingehen können.

- Schriftliche Arbeitsaufträge werden unter Nutzung der Formulare erstellt, die dafür in der Instandhaltungsordnung vorgesehen sind. Diese Arbeitsaufträge enthalten für eine konkrete Instandhaltungsaufgabe die Anweisungen, Zeitpläne sowie Bezeichnungen der Ausführenden und der Arbeitsmittel, deren Niederschrift bzw. explizite Bezeichnung der Ersteller des Auftrags für erforderlich hält. Befragung und Beobachtung haben zu zeigen, welche Aufgabenteile bzw. Handlungen das Personal über die schriftlichen Anweisungen hinaus oder eventuell davon abweichend vollzieht.
- Das Sicherheitsmanagementsystem des Betreibers kann Forderungen enthalten, die das Personal bei der Bearbeitung einer betrachteten Aufgabe umsetzen muss. Man denke zum Beispiel an bestimmte Schritte der Qualitätssicherung oder Kontrollen des Arbeitsablaufs durch Sicherheitsmanager. Der Methodenanwender prüft durch Sichtung der Dokumente sowie durch Befragung und (oder) Beobachtung des Personals, ob zur Erfüllung der untersuchten Aufgabe Handlungen gehören, die das Sicherheitsmanagementsystem vorgibt.
- Der Methodenanwender lässt sich von vier Fragen leiten, wenn er mit den Erkenntnissen aus Unterlagen, Personalbefragung und (oder) Personalbeobachtung die Handlungen bestimmt, die zu einer Aufgabe gehören:
 - Welche Handlungen führt das Personal tatsächlich aus?
 - Welche vorgesehenen Handlungen führt das Personal bei der betrachteten Aufgabe nicht aus? Vorgesehene Kontrollen der Vorgesetzten oder Aufsichtführenden können mangels Zeit oder wegen großen Vertrauens in die Ausführenden regelmäßig unterbleiben.
 - Welche Handlungen führt das Personal bei der betrachteten Aufgabe anstelle vorgesehener Aktionen aus? Dazu gehören eventuelle Gewohnheiten des Personals, zum Beispiel bestimmte Informationsquellen anderen vorzuziehen, oder Fehler in schriftlichen Prozeduren stillschweigend zu korrigieren und richtig zu handeln, ohne den Fehler an zuständige Stellen zu melden. Bevorzugte Informationsquellen können zum Beispiel Anzeigen in unmittelbarer Nachbarschaft zum Arbeitsort sein, die das Personal schneller erreichen kann als Anzeigen, die für eine Kontrolle eigentlich vorgesehen sind. Bei Checklisten besteht die Möglichkeit, sie nicht Schritt für Schritt während der Aufgabenbearbeitung, sondern nach Abschluss der Aufgabe aus der Erinnerung heraus auszu-

füllen. In solchen Fällen unterbleibt die vorgesehene Nutzung der Checkliste als Anleitung und Prüfung der einzelnen Handlungen.

- Welche Handlungen führt das Personal bei der betrachteten Aufgabe aus, ohne dass diese Handlungen durch explizite Handlungsanweisungen gefordert sind? Dazu zählen unter anderem handschriftliche Notizen zu mündlich erteilten Aufträgen oder die Auswahl eines Werkzeuges nach Fachkunde ohne explizite Spezifikation des Werkzeuges in den Unterlagen.

Es kann sein, dass dieselbe Aufgabe bei einigen Gelegenheiten die Ausführung bestimmter Handlungen einschließt, bei anderen Gelegenheiten dagegen nicht. Ein Teil des Personals könnte zum Beispiel schriftliche Notizen zu mündlich erteilten Anweisungen anlegen, ein anderer Teil könnte dagegen darauf verzichten. Der Methodenanwender berücksichtigt diese Varianten bei der Ermittlung des Handlungsablaufs. Er erfasst soweit möglich die Gründe für die Wahl der verschiedenen Varianten wie zum Beispiel das Ausmaß an Berufserfahrung, das zum Beispiel die Anfertigung von Notizen als geboten oder entbehrlich erscheinen lässt.

- Der Methodenanwender erfasst auch die Rahmenbedingungen, unter denen das Personal die einzelnen Handlungen ausführt. Dazu gehören Qualifikation, Erfahrung, Zahl und Firmenzugehörigkeit (Eigen- oder Fremdpersonal) der Ausführenden, Zeitpunkte und Zeitfenster der Handlungen, Stressniveau sowie Art und ergonomische Auslegung der Arbeitsmittel, Arbeitsplätze bzw. Arbeitsorte und der Arbeitsumgebungen. Als Orientierungshilfe kann Tab. A- 2-3 genutzt werden, die mögliche Änderungen wichtiger Rahmenbedingungen und damit diese selbst nennt. Der Methodenanwender nimmt eine detaillierte Wertung der Rahmenbedingungen und die Analyse ihres Beitrags zu Fehlern aus Gründen der Arbeitersparnis am besten erst vor, wenn er für die jeweils betrachtete Aufgabe durchgängig sicher meldepflichtige Fehler bestimmt hat. Da Fehler auch unter optimalen Rahmenbedingungen auftreten können, darf die Erfassung der Rahmenbedingungen nicht ausschließlich oder vorrangig auf Aspekte ausgerichtet sein, die sich nachteilig auf Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit auswirken können.
- Der Detaillierungsgrad der Handlungsbeschreibung entspricht zumindest demjenigen der Swain'schen Bewertungsmethoden THERP und ASEP (/SWA 83/, /SWA 87/). Dies trägt zur Vergleichbarkeit quantitativer Schätzwerte der Handlungszuverlässigkeit bei.

Eine Aufgabe entfällt für die weitere Untersuchung, wenn der Methodenanwender nicht genau feststellen kann, welche Handlungen das Personal zur Erfüllung dieser Aufgabe im Einzelnen durchführt und (oder) welchen Rahmenbedingungen das Handeln unterliegt.

2.3.1.2 Merkmale zur Erfassung der Handlungsabläufe

Bei der Erfassung der Handlungsabläufe beachtet der Methodenanwender die folgenden Punkte:

- Der Handlungsablauf umfasst nur die Handlungen, die das Personal tatsächlich durchführt.
- Handlungsabläufe müssen immer bestimmt werden, weil sich erst aus Art und Reihenfolge der Handlungen ersehen lässt, wie sich unterstellte Fehler auf die nachfolgenden Handlungen sowie den Zustand und (oder) die Funktion technischer Einrichtungen auswirken würden.
- Handlungsabläufe können sich in verschiedene Handlungsstränge verzweigen, von denen zwei oder mehr wieder in einen gemeinsamen Handlungsstrang einmünden können. Der Methodenanwender hat die Gliederung des Handlungsablaufs in Handlungsstränge zu ermitteln.
- Der Methodenanwender ermittelt auch die Chronologie des Handlungsablaufs unter Nutzung der Informationen über Zeitpunkte und Zeitfenster der Handlungen. Handlungsabläufe können durch Wartezeiten oder durch andere Aufgaben unterbrochen sein, die das Personal im gleichen Zeitraum wie die betrachtete Aufgabe bearbeitet, um zum Beispiel Wartezeiten zu überbrücken. Solche Unterbrechungen des Handlungsablaufs sind einschließlich ihrer Zeitpunkte und Dauern zu erfassen.
- Bestehen mehrere Möglichkeiten, wie das Personal den Ablauf einer bestimmten Aufgabe organisiert, dann hat der Methodenanwender jede Variante und die Häufigkeit zu erfassen, mit der das Personal die Aufgabe nach dieser Variante bearbeitet hat. Ein Beispiel bilden Arbeiten in mehreren Redundanzen: Ein Betreiber könnte zum Beispiel je nach Verfügbarkeit des Personals, diese Arbeiten nacheinander von ein- und derselben Person oder, zeitlich parallel, pro Redundanz jeweils von einer anderen Person ausführen lassen. Der Methodenanwender notiert alle Informationen über Gelegenheiten und Gründe für die Wahl jeder Option.

- Bei gleichartigen Aufgaben kann es bei Doppelblockanlagen zwischen Reaktoren Unterscheide der Handlungsabläufe geben. Es ist daher unzulässig, bei der Methoden-anwendung aus Gründen der Arbeitersparnis davon auszugehen, dass für gleichartige Aufgaben an baugleichen Reaktoren dieselben Handlungsabläufe vorliegen.

Eine Aufgabe geht nur dann in die weitere Untersuchung ein, wenn der Methoden-anwender klären konnte, in welcher Abfolge oder in welchen Abfolgen das Personal eines betrachteten Reaktors Handlungen zur Erfüllung dieser Aufgabe ausführt, und wie oft jeder einzelne Handlungsablauf aufgetreten ist.

Der Methoden-anwender überprüft, ob er die Häufigkeit berichtigen muss, mit der das Personal des betrachteten Reaktors die untersuchte Aufgabe nach seinen bisherigen Recherchen ausgeführt hat (vgl. Abschnitte 2.1.4 und 2.2.1). Dieser Kontrollschritt ist erforderlich, weil die detaillierten Analysen Erkenntnisse erbringen können, ab welchem Zeitpunkt die Rahmenbedingungen der Aufgabenbearbeitung vor der Methoden-anwendung die letzte Änderung erfahren haben, die sich auf Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit auswirken können. Man denke zum Beispiel an Erweiterungen des Handlungsablaufs um eventuelle zusätzliche Kontrollen durch Sicherheitsmanager. Sind die Kontrollen erst mit den Sicherheitsmanagementsystem des Betreibers eingeführt worden, kann die Zählung der wiederholten Bearbeitung betroffener Aufgaben unter sonst gleichen Bedingungen erst ab dem Zeitpunkt beginnen, als diese Kontrollen auszuführen waren.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen erhält der Methoden-anwender für jede Aufgabe, die weiter zu untersuchen ist, einen oder mehrere Handlungsabläufe und Häufigkeiten, mit denen das Personal die betrachtete Aufgabe den verschiedenen Handlungsabläufen entsprechend bearbeitet hat.

Im Extremfall kann ein Handlungsablauf nur einmal ausgeführt worden sein. Der Methoden-anwender hat die beiden Optionen, für die Mindestzahl der Handlungsabläufe einen Schwellenwert festzusetzen und die weniger häufigen Handlungsabläufe von der weiteren Untersuchung auszuschließen. Es besteht aber auch die Option, alle Handlungsabläufe auf meldepflichtige Fehler zu untersuchen und Möglichkeiten zu prüfen, die Erkenntnisse für die statistische Auswertung zusammenzuführen. Der Methoden-anwender dokumentiert die Höhe des Schwellenwertes, eventuelle Änderungen dieses

Wertes und Gründe solcher Änderungen (wie zum Beispiel das Ziel, die Zahl auswertbarer Handlungsabläufe zu erhöhen).

2.3.2 Denkbare durchgängig und sicher meldepflichtige Fehler bei der Aufgabenerfüllung

Zum Begriff des durchgängig sicher meldepflichtigen Fehlers vergleiche man die Ausführungen in Kapitel 2

2.3.2.1 Bestimmung sicher meldepflichtiger Fehler

Der Methodenanwender bestimmt meldepflichtige Fehler pro Handlungsablauf, indem er

- im Handlungsablauf systematisch Fehler unterstellt.
- die Fehlerfolgen für den weiteren Handlungsablauf untersucht,
- die mögliche oder ausbleibende Erkennung und Behebung des Fehlers berücksichtigt.
- mit den Erkenntnissen die Pfade erfolgreicher bzw. gescheiterter Bearbeitung der Aufgabe bestimmt und
- prüft, welche Fehlerpfade in einen meldepflichtigen Sachverhalt münden. Es ist zu begründen, warum der meldepflichtige Sachverhalt unausweichlich eintreten würde. Gibt es keinen derartigen Fehlerpfad oder kann die Unausweichlichkeit des meldepflichtigen Sachverhalts nicht zweifelsfrei begründet werden, scheidet der betreffende Handlungsablauf aus der weiteren Untersuchung aus.
- Der Methodenanwender beachtet die Abhängigkeiten zwischen kontrollierenden und kontrollierten Personen, die er bei der Ermittlung des Handlungsablaufs festgestellt hat.
- Besteht die Folge eines Fehlers in einem meldepflichtigen Sachverhalt, untersucht der Methodenanwender, ob dieser sofort erkennbar wird oder unerkannt in der Anlage bestehen bleiben kann. Das Personal wird den Absturz einer Last sicherlich sofort bemerken. Der Einbau einer ungeeigneten Sicherung könnte dagegen bis

zum Anforderungsfall der betroffenen Komponente oder einer Prüfung unerkannt bleiben.

Das Vorgehen entspricht der Erstellung eines HRA-Baumes (das Kürzel „HRA“ steht für „Human Reliability Analysis“). Details können den aufgeführten Referenzen entnommen werden (/BEL 83/, /SWA 83/, Kapitel 5). Der Methodenanwender beachtet folgende Aspekte und Besonderheiten:

- Er betrachtet sowohl Unterlassungs- als auch Ausführungsfehler bei allen Handlungen, bei denen beide Fehlerarten möglich sind. Beschränkt der Methodenanwender die Untersuchung bei einer Handlung nur auf den Unterlassungs- oder den Ausführungsfehler, hat er dieses Vorgehen zu begründen.
- Die Fehlererkennung erfordert Handlungen und Ressourcen wie zum Beispiel Information auf Benutzungsoberflächen, die Kontrolle dieser Anzeigen und Zeit für Kontrollen. Möglichkeiten der Fehlererkennung sind nur dann zu berücksichtigen, wenn das Personal die zugehörigen Kontrollhandlungen tatsächlich ausführt und dadurch eine Chance besteht, Fehler zu erkennen und zu beheben (vgl. Abschnitt 2.3.1). Zeigt die Untersuchung, auf der die Bestimmung des Handlungsablaufs beruht, dass bestimmte, mögliche oder geforderte Kontrollhandlungen stets unterbleiben, darf der HRA-Baum die entsprechenden Handlungen und Pfade nicht enthalten.
- Analoges gilt für die Fehlerbeherrschung.
- Ein Fehler kann auch unter optimalen Rahmenbedingungen des Handelns auftreten. Fehlermöglichkeiten sind daher sowohl für Situationen mit optimalen Bedingungen als auch für solche mit suboptimalen Bedingungen zu untersuchen.
- Bei der Analyse der Rahmenbedingungen berücksichtigt die Untersuchung alle Aspekte, die der Methodenanwender bei der Ermittlung der Handlungen und des Handlungsablaufs festgestellt hat und die für Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit wesentlich sein können. Die Betrachtung beschränkt sich nicht auf die „klassischen“ Faktoren wie Qualifikation, Stress und ergonomische Auslegung der Arbeitsmittel, der Arbeitsplätze und der Arbeitsumgebung. Folgende Beispiele zeigen, auf welche Aspekte der Methodenanwender zusätzlich achten kann:
 - Das Handeln kann durch Merkmale einer starken oder weniger starken Sicherheitskultur geprägt sein. Zum Beispiel können nach den Erkenntnissen des

Methodenanwenders aus Befragung und (oder) Beobachtung Führungskräfte den Auftrag zu vorbildlichem Handeln im untersuchten Handlungsablauf mehr oder weniger gut erfüllen.

- Eigen- und Fremdpersonal können sich in ihrer Qualifikation unterscheiden, wenn ersteres die Anlage mit ihren sicherheitstechnischen Anforderungen genauer kennt als letzteres, Fremdpersonal dagegen aufgrund seiner Spezialisierung das Vorgehen zur Erfüllung spezifischer Aufgaben besser beherrscht als Eigenpersonal.
- Seit einigen Jahren gibt es Modelle und Methoden, kognitive Faktoren systematisch und detailliert in die Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit einzubeziehen (zum Beispiel /GRS 03/). So kann eine Mehrzahl von Anzeigen mit Informationen, die sich wechselseitig bestätigen, dazu führen, einzelne diskrepante Informationen zu vernachlässigen. Eine detaillierte Analyse der Rahmenbedingungen des Handelns kann solche Fehlerquellen aufdecken. Weitere Fehlermöglichkeiten und Einzelheiten der Untersuchungsmethode können einschlägigen Quellen entnommen werden (zum Beispiel /GRS 03/).

Bezieht die Untersuchung solche Merkmale ausdrücklich ein, wird es möglich, ihren Beitrag bei der Schätzung der Handlungszuverlässigkeit zu quantifizieren.

- Der Methodenanwender hat mit seinem Fachwissen zu entscheiden, von welchen Rahmenbedingungen Fehler systematisch abhängen und welche als weniger wichtig anzusehen sind. Er hat fachwissenschaftlich zu begründen und nachvollziehbar zu dokumentieren, worauf sein Urteil beruht.
- Bei der Zusammenstellung der Aufgaben mit Hilfe der Tab. A- 2-1 und Tab. A- 2-2 hat der Methodenanwender unterstellt, dass die Bearbeitung der Aufgabe die Möglichkeit bestimmter meldepflichtiger Fehler bietet. Diese Überlegungen können mit der systematischen Untersuchung der Erfolgs- und Fehlerpfade überprüft werden. Es ist nicht zulässig, die Analyse des Handlungsablaufs auf die Fehlermöglichkeiten zu beschränken, auf die der Methodenanwender die Auswahl der Aufgabe für die weitere Untersuchung gestützt hat. Diese Überlegungen können falsch sein oder nicht alle meldepflichtigen Fehler erfassen. Der Methodenanwender hat also pro Aufgabe und Handlungsablauf einen HRA-Baum zu erstellen.

Das Ergebnis der Untersuchung besteht pro Aufgabe und Handlungsablauf darin, dass unterstellte Fehler im betrachteten Handlungsablauf entweder zu einem meldepflichti-

gen Sachverhalt führen oder nicht. Im ersten Fall weiß der Methodenanwender, welche Fehler einzeln oder in Kombination den meldepflichtigen Zustand verursachen können, welche Abhängigkeiten bei mehreren Fehlern bestehen und welchen Rahmenbedingungen das fehlerhafte Handeln unterliegt.

2.3.2.2 Durchgängigkeit sicher meldepflichtiger Fehler

Der Methodenanwender hat zu untersuchen, ob die sicher meldepflichtigen Fehler auch durchgängig sind. Dieser Teil der Untersuchung hat folgenden Grund: Die Modalität der Aufgabenerfüllung kann vor, mit oder nach dem Tag, an dem die aktuelle Meldeverordnung in Kraft getreten ist, die letzte Änderung erfahren, die sich auf Handeln, Leistung und Zuverlässigkeit auswirken kann. Aktuell ist diejenige Meldeverordnung, die zum Zeitpunkt der Methodenanwendung gilt und als Referenz für die Bestimmung meldepflichtiger Sachverhalte und meldepflichtiger Fehler dient. Ist die Modalität zuletzt vor dem Tag geändert worden, an dem die aktuelle Meldeverordnung in Kraft getreten ist, gibt es eine Zeitspanne, in der die aktuelle Meldeverordnung noch nicht gültig war und folglich auf eventuelle fehlerhafte Bearbeitungen der betrachteten Aufgabe nicht angewendet worden ist. In diesem Fall stehen dem Methodenanwender zwei Möglichkeiten offen:

- Der Methodenanwender zählt pro Aufgabe nur, wie oft das Personal jede der Handlungen, die im Fehlerfall sicher einen meldepflichtigen Sachverhalt bewirkt hätten, von dem Tag an ausgeführt hat, seit dem die aktuelle Meldeverordnung gilt. Ist der Fehler nur bei bestimmten Handlungsabläufen möglich, ist zu beachten, wie oft diese Handlungsabläufe ab diesem Stichtag aufgetreten sind. Diese Vorgehen ist wie folgt begründet: Das Kriterium der Meldepflicht hat den Zweck, Zeitspannen bestimmen zu können, in denen für eine betrachtete Aufgabe sicher meldepflichtige Fehler ausgeschlossen werden können. Dieser Zweck ist prinzipiell erreichbar, wenn man die Häufigkeit einer Aufgabe bzw. Handlung mit dem Potential eines sicher meldepflichtigen Fehlers nur für die Zeitspanne ermittelt, in der die aktuelle Meldeverordnung in Kraft war und ist. Liegt dieser Stichtag nahe am Termin der Methodenanwendung, kann die Häufigkeit, mit der das Personal diese Handlungen durchgeführt hat, aber sehr klein werden oder sogar den Wert Null annehmen.
- Man untersucht, ob ein nach der aktuellen Meldeverordnung sicher meldepflichtiger Fehler auch sicher meldepflichtig gewesen wäre, wenn man die vorher gültigen Meldeverordnungen als Referenz zugrunde legt. Dazu ist zu prüfen, ob die aktuelle

und die älteren Meldeverordnungen die gleichen, für den Fehler einschlägigen Kriterien enthalten. Ist dies der Fall, können in die Zählung der Häufigkeit auch die Zeitspannen einbezogen werden, in denen die älteren Meldeverordnungen anzuwenden waren und in denen die Modalität der Aufgabenbearbeitung die gleiche war wie zum Zeitpunkt der Methodenanwendung Diese Option bietet sich auch an, wenn die Häufigkeit nur für den Zeitraum ermittelt wird, in dem die aktuelle Meldeverordnung anzuwenden war, und die resultierenden Häufigkeiten sehr klein ausfallen oder den Wert Null annehmen.

Die Betriebserfahrung zeigt, dass in Einzelfällen lange Fristen verstreichen können, bis ein meldepflichtiger Fehler entdeckt und gemeldet wird. Ein solcher Fehler kann zum Zeitpunkt der Methodenanwendung also aufgetreten, aber noch nicht als meldepflichtiges Ereignis dokumentiert sein. Der Methodenanwender verfügt für solche Fälle über mehrere Optionen:

- Die Untersuchung beschränkt sich auf Fehler, die, wie zum Beispiel der Absturz einer Last, sofort oder bei der nächsten Prüfung auffallen und zu einer Ereignismeldung führen würden, wenn das Personal diese Fehler beginge.
- Der Betreiber vergewissert sich, dass der denkbare Fehler am betreffenden Reaktor nicht vorliegt, das Personal die Aufgabe also ohne den Fehler bearbeitet hat. Der Methodenanwender erhält unverzüglich eine Mitteilung über das Ergebnis der Prüfung. Der Handlungsablauf wird in der Untersuchung nur dann weiter berücksichtigt, wenn die Prüfung rechtzeitig zu dem Ergebnis führt, dass der Fehler nicht aufgetreten ist.

Das erste Vorgehen hat den Vorteil, weniger aufwendig zu sein. Das zweite kann dazu beitragen, unentdeckte Fehler in der Anlage zu finden.

2.3.3 Ergebnis der Analyse

Das Ergebnis der Methodenanwendung besteht aus einer Liste von Handlungen mit den folgenden Informationen:

- Die Handlungen gehören zu Aufgaben, die das Eigen- oder Fremdpersonal deutscher Anlagen in den Gebäuden oder auf den Freigeländen deutscher Anlagen wiederholt unter gleichartigen Rahmenbedingungen des Handelns ohne Fehler ausgeführt hat, die bei dieser Aufgabe sicher einen meldepflichtigen Sachverhalt

verursacht hätten. Unterschiedliche, mögliche Handlungsabläufe bei derselben Aufgabe werden erfasst und berücksichtigt. Der Anwendungsbereich der Methode erstreckt sich prinzipiell auf Handlungen

- an den technischen oder baulichen Einrichtungen der Anlage.
- der anlagenintern anstehenden Anforderung und Qualitätssicherung anlagen-externer Güter und (oder) Dienstleistungen, soweit letztere für die betrachtete Aufgabe notwendig sind.
- des Sicherheitsmanagements, soweit die betrachtete Aufgabe Gegenstand wiederkehrender Sicherheitsmanagementaktivitäten ist.
- der Arbeitsvorbereitung, wie sie die Instandhaltungsordnung der Anlage Instandhaltungen vorsieht. Sie umfasst die Planung der Arbeiten, die Ausfertigung erforderlicher Unterlagen und die zugehörigen Kontrollen.

Es können also Handlungen aus all diesen Kategorien in die weitere Auswertung eingehen.

- Man konnte bestimmen, wie oft die Handlungen im definierten Sinne fehlerfrei vollzogen worden sind.
- Die Analyse hat gezeigt,
 - unter welchen Rahmenbedingungen das Personal die einzelnen Handlungen vollzieht.
 - ob der Fehler den meldepflichtigen Sachverhalt allein oder in Kombination mit anderen Fehlern verursacht.
 - welche Abhängigkeiten zwischen den Fehlern im Fall einer Fehlerkombination bestehen.

Im einfachsten Fall führt ein Einzelfehler entweder unmittelbar oder über vollständig abhängige Fehler zum meldepflichtigen Sachverhalt. Das Personal könnte zum Beispiel versäumen, eine bestimmte Handlung rechtzeitig auszuführen. Die Folge könnte darin bestehen, dass auch die nachfolgenden Handlungen sicher unterbleiben und das Ziel der Aufgabe nicht zum sicherheitstechnisch erforderlichen Zeitpunkt erreicht werden kann. Die Analyse kann aber auch zeigen, dass Kombinati-

onen mehrerer, unabhängiger oder mehr oder minder abhängiger Fehler einen meldepflichtigen Sachverhalt verursachen würden.

Mit den Ergebnissen sind auch die Schwellenwerte zu dokumentieren, mit denen der Methodenanwender Aufgaben bzw. Handlungsabläufe mit „zu geringen“ Häufigkeiten von der weiteren Analyse ausgeschlossen hat.

Für zukünftige Auswertungen können wiederkehrende Aufgaben zusammengestellt werden, die zum Zeitpunkt der Methodenanwendung noch nicht ausreichend oft ausgeführt worden sind, um in die Untersuchung einbezogen zu werden.

3 Literatur

- /ATO 10/ Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über die Meldung von Störfällen und sonstigen Ereignissen (Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung - AtSMV) vom 14. Oktober 1992 (BGBl.I 1992, Nr. 48, S. 1766), letzte Änderung durch Verordnung vom 8. Juni 2010 (BGBl.I 2010, Nr. 31, S. 755)
- /BEL 83/ Bell, B. J., Swain, A. D.: A Procedure for Conducting a Human Reliability Analysis for Nuclear Power Plants, Washington (DC): U.S. NRC, 1983
- /BMI 78/ Richtlinie für das Verfahren zur Vorbereitung und Durchführung von Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten in Kernkraftwerken, vom 1. Juni 1978 (GMBI. 1978, Nr. 22, S. 342) - Bek. d. BMI v. 1.6.1978 - RS I 6 - 513 130/4
- /BMU 04/ Grundlagen für Sicherheitsmanagementsysteme in Kernkraftwerken, vom 29. Juni 2004 (BAAnz 2004, Nr. 138)
- /GRS 03/ Faßmann, W., Preischl, W.: Bewertung von Personalhandlungen unter Unfallbedingungen – Methode zur Untersuchung und Bewertung schädlicher Eingriffe des Operateurs, Technischer Fachbericht, GRS-A-3157, Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Garching, 2003
- /GRS 10/ Faßmann, W., Preischl, W. :Verbesserung der Bewertungsbasis für Aspekte des Sicherheitsmanagements und der Schnittstellen zur Sicherheitstechnik sowie für Personalhandlungen, AP 2: Vorsorge gegen Fehler bei sicherheitsrelevanten Prozessen, Technischer Fachbericht, GRS-A-3566, Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Garching, 2010
- /HAC 05/ Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit, Huber Verlag, Hogrefe AG, Bern, 2. Auflage 2005
- /KTA 09a/ KTA 1201: Anforderungen an das Betriebshandbuch, Fassung 11/2009

/KTA 09b/ KTA 1201: Anforderungen an das Prüfhandbuch, Fassung 11/2009

/SWA 83/ Swain, A. D., Guttman, H. E.: Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, Washington (DC): U.S. NRC, 1983

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

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