

**Erforschung
sicherheitsbezogener
Personalhandlungen
und Bestimmung
erforderlicher
Vorkehrungen für
Nachbetrieb, Stilllegung
und Rückbau von
kerntechnischen Anlagen**

**Erforschung
sicherheitsbezogener
Personalhandlungen
und Bestimmung
erforderlicher
Vorkehrungen für
Nachbetrieb, Stilllegung
und Rückbau von
kerntechnischen Anlagen**

Marcel Buchholz
Werner Faßmann
Michael Paßens

August 2020

Anmerkung:

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) unter dem Kennzeichen 4717R01363 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.

Deskriptoren

Personalhandlungen, Stilllegung

Kurzfassung

Der vorliegende Bericht stellt eine Methode zur Erfassung sicherheitsrelevanter Arbeitsvorhaben und zur Bestimmung von potenziellen Fehlern, Fehlerkonsequenzen und möglichen Vorkehrungen für Nachbetrieb, Rückbau und Stilllegung vor. Arbeitsvorhaben umfassen sowohl Instandhaltungsmaßnahmen, Änderungen, Nach- und Umrüstungen als auch Entsorgungs- und Abbauarbeiten. Sicherheitsrelevanz beinhaltet neben der nuklearen Sicherheit der Anlage auch die radiologische Sicherheit von Personen und der Umwelt. Die Erweiterungen des Anwendungsbereiches und der Definition von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben stellen dabei die beiden hauptsächlichen Anpassungen in Bezug auf die Ergebnisse des Vorgängerprojekts 3606R02562 dar. Die Methode gliedert sich in zwei Teile. In Teil 1 der Methode werden sicherheitsrelevante Arbeitsvorhaben bestimmt. In Teil 2 der Methode werden die identifizierten sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben in einzelne Personalhandlungen zerlegt und für diese detailliert potenzielle Fehler, leistungsbestimmende Faktoren, Fehlerkonsequenzen sowie Fehlervorkehrungen ermittelt.

Der Bericht umfasst ferner eine Fallstudie zur Anwendung der Methode auf ein Arbeitsvorhaben in der Stilllegung. In Kooperation mit einer im Rückbau befindlichen Referenzanlage sowie der zuständigen Aufsichtsbehörde wurde die entwickelte Methode exemplarisch auf das Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“ angewandt, welches nach Teil 1 der Methode als sicherheitsrelevant gemäß den entwickelten Kriterien bewertet wurde. Anschließend wurde eine detaillierte Analyse gemäß Teil 2 der Methode durchgeführt und dokumentiert. Des Weiteren werden allgemeine Erkenntnisse aus dem Besuch der Referenzanlage dargelegt.

Durch den Einsatz der entwickelten Methode bei in Stilllegung befindlichen Anlagen kann Fehlern bei sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben auf Basis einer systematischen Vorgehensweise vorgebeugt werden.

Abstract

This report presents a method for the identification of safety-relevant work projects and for the determination of possible errors, the error consequences and possible error precautions for decommissioning. Work projects include maintenance, plant modifications and retrofitting tasks as well as disposal and dismantling activities. Safety relevance includes both the nuclear safety of the plant and the radiological safety of persons and the environment. The scope of the work projects and the definition of safety relevant activities are the two main adjustments to results of the predecessor project 3606R02562. The method has two parts. In part 1 of the method, safety-relevant work projects are identified. In part 2 of the method, the identified safety-relevant work projects are broken down into individual actions. For these actions, possible errors, performance shaping factors, error consequences and error precautions are determined.

This report also includes a case study on the application of the method. This work was carried out in cooperation with a reference plant and the competent regulatory authority. The method was applied to the work project "Alpha-Site", which was evaluated as safety relevant according to part 1 of the method. Then a detailed analysis according to part 2 of the method was performed and documented. Furthermore, general insights from the visit of the reference plant are presented.

By using the developed method for the dismantling of plants in decommissioning, errors in safety-relevant work projects can be prevented on the grounds of a systematic approach.

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung	I
	Abstract.....	II
	Inhaltsverzeichnis	III
1	Einleitung.....	1
2	Stand von Wissenschaft und Technik.....	5
2.1	Einführung.....	5
2.2	Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben.....	6
2.3	Fehler und leistungsbestimmende Faktoren	10
2.3.1	Begriff des menschlichen Fehlers	11
2.3.2	Arten menschlicher Fehler	11
2.3.3	Grundlegende Erkenntnisse zu Fehlern und Fehlerursachen.....	13
2.3.4	Zusammenstellung leistungsbestimmender Faktoren.....	19
2.4	Bestimmung von Fehlervorkehrungen	23
2.4.1	Grundlegende Erkenntnisse zur Fehlerbeherrschung und Vorkehrungen.....	23
2.4.2	Zusammenstellung von Vorkehrungen	28
2.5	Zusammenfassung.....	34
3	Anpassung der Methode	37
3.1	Einführung.....	37
3.2	Anpassungen zur Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben.....	38
3.3	Anpassungen zur Zerlegung von Arbeitsvorhaben in Aufgaben unter Verwendung der Instandhaltungsrichtlinie auf Arbeitsvorhaben im Nachbetrieb und in der Stilllegung	39
3.4	Anpassung an Fehlervorkehrungen im Nachbetrieb und in der Stilllegung.....	40
3.5	Zusammenfassung und Überblick über die aktualisierte Methode zur Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen in	

	sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben für Anlagen im Nachbetrieb und in der Stilllegung.....	40
3.5.1	Erfassung von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben	41
3.5.2	Detaillierte Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen bei Personalhandlungen	49
4	Anwendung der Methode auf Arbeitsvorhaben in einer Referenzanlage.....	57
4.1	Einführung.....	57
4.2	Fallstudie: Arbeitsvorhaben auf einer Alpha-Baustelle.....	57
4.2.1	Anwendung von Teil 1 der Methode auf die Fallstudie	58
4.2.2	Anwendung von Teil 2 der Methode auf die Fallstudie	60
4.2.3	Allgemeine Erkenntnisse zu menschlichen Fehlhandlungen und Vorkehrungen bei Arbeitsvorhaben in der Stilllegung	80
4.3	Zusammenfassung.....	81
5	Zusammenfassung	85
	Literaturverzeichnis	89
	Abbildungsverzeichnis.....	93

1 Einleitung

Mit der endgültigen Abschaltung einer kerntechnischen Anlage endet die mitunter Jahrzehnte andauernde Betriebsphase, in der die Anlage zur Energiegewinnung verwendet wurde. In Deutschland ist dies durch den politischen Entschluss im Jahre 2011 für viele Anlagen relativ plötzlich geschehen. Der Verlust der Berechtigung zum Leistungsbetrieb kann aber auch geplant, aus wirtschaftlichen Gründen oder aufgrund von technischen Problemen erfolgen. In allen Fällen startet mit der endgültigen Abschaltung der Anlage die sogenannte Nachbetriebsphase. An diese schließt mit der Inanspruchnahme der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung die Phase der Stilllegung an. In dieser Phase werden auch weiterhin viele Anlagensysteme benötigt und betrieben (Restbetrieb) und einige Anlagensysteme sowie bauliche Strukturen etc. abgebaut.

Während die Betriebsphase durch viele Arbeitsabläufe gekennzeichnet ist, die sich regelmäßig wiederholen, finden im Nachbetrieb und in der Stilllegung Arbeitsabläufe mitunter nur einmalig und/oder zum ersten Mal statt. Insbesondere bei der Planung dieser Arbeiten kann somit nicht immer auf bereits gemachte Erfahrungen zurückgegriffen werden. Aber auch bei der Durchführung der Arbeiten kann es insbesondere anfangs zu bisher unbekanntem Herausforderungen kommen. Einige der Aufgaben werden mit fortschreitender Stilllegung wiederholt ausgeführt, so dass sich dann auch hier eine routiniertere Arbeitsweise und die Möglichkeit, auf Erfahrungen zurückzugreifen, einstellen können.

Insgesamt sind die Arbeitsabläufe und die Gegebenheiten in der Phase des Nachbetriebs und in der Stilllegung gegenüber der Phase des Betriebs eher durch sich dynamisch verändernde Faktoren gekennzeichnet. So sinkt beispielsweise mit der endgültigen Abschaltung und mit fortschreitender Zeit das sogenannte Gefahrenpotenzial der Anlage immer weiter, was sich positiv auf mögliche Risiken auswirkt. Aber auch die Anzahl der Mitarbeiter wird sich gerade im Verlaufe der Stilllegung dynamisch ändern. Ebenso resultieren aus den spezifischen in den unterschiedlichen Phasen durchzuführenden Arbeiten auch andere Anforderungen an Personalqualifikationen. Die Einflüsse dieser Faktoren und weiterer sich ändernder Faktoren sind nur schwer vorherzusehen, da der relevante Erfahrungsschatz mitunter noch nicht vergleichbar hoch ist wie in der Phase des Betriebs. Aus diesem Grund sind Vorkehrungen zur Vermeidung von Personalfehlhandlungen bzw. zur Verringerung der Auswirkungen von Personalfehlhandlungen, selbst bei niedrigerem Risiko auf Grund eines geringeren Gefahrenpotenzials, auch nach der endgültigen Abschaltung von besonderer Wichtigkeit.

Dieses Forschungsvorhaben mit dem Titel „Erforschung sicherheitsbezogener Personalhandlungen und Bestimmung erforderlicher Vorkehrungen für Nachbetrieb, Stilllegung und Rückbau von kerntechnischen Anlagen“ knüpft genau an dieser Stelle an. Die Ziele des Forschungsvorhabens sind die Anpassung einer von der GRS für die Betriebsphase entwickelten „Methode zur Erfassung sicherheitsrelevanter Instandhaltungen, Änderungen, Nach- und Umrüstungen und zur Bestimmung denkbarer Fehler, sicherheitstechnischer Folgen und möglicher Vorkehrungen“ /GRS 10/ auf die spezifischen Aspekte in kerntechnischen Anlagen während des Nachbetriebs und der Stilllegung sowie die Illustration dieser angepassten Methode anhand einer Fallstudie.

Die Methode in /GRS 10/ und die angepasste Methode gliedern sich beide in zwei Teile. Mit dem jeweils ersten Teil der Methode werden Arbeitsvorhaben anhand bestimmter Kriterien dahingehend untersucht, ob für diese eine detailliertere Untersuchung durchgeführt wird. Der jeweils zweite Teil der Methode umfasst die detaillierte Untersuchung, bei der potenzielle Fehler, Fehlerkonsequenzen und Fehlervorkehrungen ermittelt werden.

Dieser Bericht wurde im Rahmen des oben genannten Forschungsvorhabens erstellt. Die GRS hatte hierbei die Möglichkeit, einige der Arbeiten in Zusammenarbeit mit einer Referenzanlage und der zuständigen Aufsichtsbehörde durchzuführen. In diesem Rahmen war es möglich, eine Begehung einer Baustelle, bei der besondere Strahlenschutzvorsorgemaßnahmen getroffen wurden, sowie mehrere Besprechungen mit dem Betreiber und der Behörde durchzuführen. Hierdurch konnten nicht nur Erfahrungen des Betreibers zu Vorkehrungen in der Stilllegung zusammengestellt werden, sondern die angepasste Methode konnte auch an den spezifischen Arbeiten der Baustelle exemplarisch angewandt und für den Bericht illustrativ dargestellt werden.

Für die Anpassung der in /GRS 10/ dargestellten Methode sowie die Sichtung neuer Erkenntnisse wurde der relevante Stand von Wissenschaft und Technik analysiert und in Kapitel 2 dargestellt. Hierbei wird unter anderem der Begriff des Arbeitsvorhabens eingeführt, der verwendet wird, um geplante Arbeiten zu kennzeichnen. Aufbauend wird der Begriff der Sicherheitsrelevanz (innerhalb des Berichtes werden die Begriffe sicherheitsrelevant und sicherheitsbezogen als Synonyme verwendet) aufgegriffen, der auch bereits in /GRS 10/ eingeführt wurde. Die Sicherheitsrelevanz eines Arbeitsvorhabens kann aufgrund spezifischer Kriterien bewertet werden und kennzeichnet Arbeitsvorhaben, bei denen potenzielle Risiken auf Grund von Personalfehlhandlungen auftreten können. Des Weiteren beinhaltet Kapitel 2 den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu Fehlerursachen und Fehlerkategorien sowie zur Bestimmung von Fehlervorkehrungen.

Hier fließen auch die Ergebnisse der nationalen und internationalen Betriebserfahrung mit ein.

In Kapitel 3 werden die notwendigen Anpassungen der Methode auf die Gegebenheiten in der Phase des Nachbetriebs und der Stilllegung aufgeführt. Eine wesentliche Anpassung betrifft hier insbesondere die Sicherheitsrelevanz. Während in /GRS 10/ ausschließlich die nukleare Sicherheit einer kerntechnischen Anlage berücksichtigt wurde, ist die GRS bei der angepassten Methode dazu übergegangen, auch die radiologische Sicherheit von Personen und der Umwelt mit zu berücksichtigen. Des Weiteren konnte die damalige Definition der Sicherheitsrelevanz aus /GRS 10/ nicht für die angepasste Methode übernommen werden, da diese auf Basis des Sicherheitsebenenkonzeptes entwickelt wurde, welches in der Stilllegung nicht mehr anwendbar ist. Aus diesem Grund wurde eine neue Definition der Sicherheitsrelevanz mit neuen Kriterien entwickelt, die direkt auf den Schutzziele und den radiologischen Sicherheitszielen aufbaut. Die Kriterien der Sicherheitsrelevanz stellen eine Möglichkeit dar, aus allen anstehenden Arbeitsvorhaben eine Teilmenge zu selektieren, die in Folge einer detaillierteren Analyse auf potenzielle Personalfehlhandlungen unterzogen werden. In die hier verwendeten Kriterien zur Definition der Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben wurden keine Aspekte des Arbeitsschutzes mit aufgenommen. Weitere Besonderheiten bei der Anpassung der Methode werden ebenfalls in Kapitel 3 aufgeführt. Darüber hinaus wird in Kapitel 3 die angepasste Methode dargestellt.

In Kapitel 4 wird die Anwendung der angepassten Methode illustriert. Hierzu wird Bezug auf die Fallstudie, die in Zusammenhang mit der Referenzanlage durchgeführt wird, genommen. Die angepasste Methode konnte nur exemplarisch angewandt werden, da für eine vollständige Anwendung tiefergehende Analysen und Einsichten in Unterlagen notwendig wären, die in diesem Umfang nicht stattgefunden haben. Die vom Betreiber implementierten Fehlervorkehrungen sind ebenfalls in Kapitel 4 aufgeführt.

Der Bericht schließt mit einer Zusammenfassung in Kapitel 5 und mit dem Literaturverzeichnis in Kapitel 6.

2 Stand von Wissenschaft und Technik

2.1 Einführung

In Kapitel 2 wird der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik (W & T), der für das Projekt relevant ist, dargestellt. Die Darstellung der aufbereiteten Informationen orientiert sich an den drei wesentlichen Schritten der im Bericht GRS-A-3566 „Verbesserung der Bewertungsbasis für Aspekte des Sicherheitsmanagements und der Schnittstellen zur Sicherheitstechnik sowie für Personalhandlungen - AP 2: Vorsorge gegen Fehler bei sicherheitsrelevanten Prozessen“ /GRS 10/ aufgeführten Methode zur Beurteilung sicherheitsrelevanter Prozesse bei Instandhaltungsmaßnahmen. Die GRS-Methode in /GRS 10/ lässt sich in die drei folgenden Schritte gliedern:

- Erfassung und Klassifikation sicherheitsrelevanter Instandhaltungsmaßnahmen (/GRS 10/, Kap. 5),
- Fehler- und Ursachenbewertung bei Personalhandlungen (/GRS 10/, Kap. 6),
- Bestimmung von möglichen Vorkehrungen bei denkbaren Fehlern (/GRS 10/, Kap. 6).

Bei der Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik lag der Fokus auf dem Teilziel des hier dargestellten Projektes, die Methode auf eine Anwendung auf Arbeitsvorhaben (Instandhaltungs-, Änderungs-, Entsorgungs- und in der Stilllegung Abbauarbeiten) im Nachbetrieb und in der Stilllegung anzupassen. Die entsprechenden Anpassungen sowie eine Darstellung der neuen Methode finden sich in Kapitel 3 dieses Berichtes.

In Abschnitt 2.2 wird der relevante Stand von W & T für die Beurteilung der Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben aufgeführt. Abschnitt 2.3 führt den relevanten Stand von W & T bezüglich der Arten menschlicher Fehler (Fehlerkategorien) und leistungsbestimmender Faktoren auf und in Abschnitt 2.4 wird der relevante Stand von W & T zur Bestimmung von Fehlervorkehrungen aufgeführt.

2.2 Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben

In diesem Abschnitt wird der relevante Stand von Wissenschaft und Technik zur Bewertung der Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben im Nachbetrieb und in der Stilllegung dargestellt. Hierzu wird zunächst auf den Begriff des Arbeitsvorhabens und danach auf den Begriff der Sicherheitsrelevanz eingegangen.

Der Begriff *Arbeitsvorhaben* wird innerhalb dieses Berichtes verwendet, um eine geplante, in Aussicht genommene Arbeiten (Definition nach /DUD 20/) zu beschreiben. Ein Arbeitsvorhaben kann eine beliebige Menge von einzelnen oder nur eine einzelne Arbeit umfassen. Wesentlich innerhalb dieses Projektes sind Arbeitsvorhaben, bei denen die Sicherheit der Anlage, von Personen und der Umwelt gefährdet ist. Hierzu wurde der Begriff der Sicherheitsrelevanz verwendet, der weiter unten näher definiert wird. An dieser Stelle sei bereits darauf hingewiesen, dass sich der Begriff der Sicherheitsrelevanz, so wie er in diesem Bericht verwendet wird, auf die nukleare Sicherheit der Anlage und auf die radiologische Sicherheit von Personen und der Umwelt bezieht. Grundsätzlich ist der Begriff aber auch um bspw. die Arbeitssicherheit erweiterbar.

Um ein besseres Verständnis für typische Arbeitsvorhaben in Kernkraftwerken in der Nachbetriebsphase und in der Stilllegung zu bekommen, wird im Folgenden aus den relevanten Quellen dargestellt, welche Arbeiten unter anderem durchgeführt werden. In der Literatur (bspw. dem nationalen kerntechnischen Regelwerk) werden synonyme Begriffe für geplante, in Aussicht genommene Arbeiten verwendet. Beispielsweise wird in der IWRS-II-Richtlinie /BMU 05/ und in den Sicherheitsanforderungen /BMU 15/ der Begriff *Tätigkeiten* verwendet.

Die sogenannte Nachbetriebsphase beginnt mit der endgültigen Abschaltung des Kernreaktors und endet mit Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung durch den Betreiber. Mit der endgültigen Abschaltung wird der Prozess der Kernspaltung unterbrochen, die Brennelemente müssen jedoch noch über einige Jahre weiter gekühlt werden. Während dieser Phase sind viele der Systeme weiterhin notwendig und werden dementsprechend auch weiterhin instandgehalten. Im Rahmen der Betriebsgenehmigung kann es auch nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebes zu Änderungen, Nach- oder Umrüstungen kommen. Hierunter fallen im Nachbetrieb auch Vorbereitungsmaßnahmen auf die Stilllegung, die der Betreiber durchführen kann. Beispiele für Vorbereitungsmaßnahmen sind der Abtransport der Brennelemente, Dekontaminationsmaßnahmen, die Entfernung von

Betriebsmedien und -abfällen, die Außerbetriebnahme und Freischaltung nicht mehr benötigter Systeme und Einrichtungen, die Einrichtung von Freiflächen sowie von anlagen-internen Transportwegen und die radiologische Charakterisierung der Anlage (/BMU 16/ und /ESK 15/).

Der Übergang aus der Nachbetriebsphase in die Stilllegung findet durch die Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung durch den Antragsteller statt. Auch in der Phase der Stilllegung werden viele Systeme noch für den Restbetrieb der Anlage weiterbetrieben und instandgehalten (bspw. Lüftungssysteme). Ebenso kann es auch in der Stilllegung zu Änderungen sowie zu Nach- und Umrüstungen an Systemen und Einrichtungen kommen. In der Stilllegung kommen noch Entsorgungs- und Abbauarbeiten hinzu.

Typische Arbeitsvorhaben in der Nachbetriebsphase sind demnach Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten. In der Stilllegung kommen zu diesen auch noch Entsorgungs- und Abbautätigkeiten hinzu. In der IWRS-II-Richtlinie /BMU 05/ werden Instandhaltungs-, Änderungs-, Entsorgungs- und Abbauarbeiten zusammenfassend als Tätigkeiten bezeichnet. In /BMU 05/ sind Begriffsbestimmungen, Erläuterungen und Beispiele für die einzelnen Arbeiten zu finden.

Aufbauend auf dem Begriff des Arbeitsvorhabens, wie er in diesem Bericht verwendet wird, soll im Folgenden dargestellt werden, was die Sicherheitsrelevanz eines Arbeitsvorhabens bezeichnet. Der Begriff „sicherheitsrelevant“ findet sich im deutschen kerntechnischen Regelwerk in Anhang 1 (Begriffsbestimmungen) der Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke /BMU 15/ und wird dort folgendermaßen definiert:

Tätigkeiten und Prozesse, sicherheitsrelevant: *Alle Tätigkeiten und Prozesse, die auf die Sicherheit des Kernkraftwerks Einfluss haben können.*

In /GRS 10/ wurde die Sicherheitsrelevanz auf Grundlage des technischen Sicherheitskonzeptes gemäß den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke /BMU 15/ festgelegt. Ein Arbeitsvorhaben wird in /GRS 10/ dann als sicherheitsrelevant eingestuft, wenn eine fehlerhaft durchgeführte Personalhandlung zur Beeinträchtigung bzw. Anforderung eines Systems der Sicherheitsebene 3 führen kann. Die Sicherheitsebene 3 ist durch den Anlagenzustand „Störfall“ charakterisiert. Im Folgenden wird dargestellt, dass die Bewertung der Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben in der Stilllegung angepasst werden muss bzw. nur teilweise anwendbar ist.

Gemäß den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke /BMU 15/ dient das technische Sicherheitskonzept zur Einhaltung der radiologischen Sicherheitsziele (Strahlenexposition des Personals, den Schutz der Bevölkerung, die Freisetzung radioaktiver Stoffe sowie deren radiologischer Auswirkungen innerhalb und außerhalb der Anlage). Eine detaillierte Auflistung der radiologischen Sicherheitsziele findet sich ebenfalls in /BMU 15/. Weiterhin sind radioaktive Stoffe durch Barrieren und Rückhaltefunktionen einzuschließen und deren Strahlung abzuschirmen. Unter Barrieren verstehen sich gemäß /BMU 15/ bspw. das Brennstabhüllrohr oder der Sicherheitsbehälter, unter Rückhaltefunktionen werden Maßnahmen und Einrichtungen zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe (bspw. Gebäudeabdichtungen oder Auffangwannen) zusammengefasst. Die Wirksamkeit der Barrieren und Rückhaltefunktionen wird gemäß /BMU 15/ über die Erfüllung der Schutzziele (die Kontrolle der Reaktivität, die Kühlung der Brennelemente und der Einschluss der radioaktiven Stoffe) abgesichert. Das technische Sicherheitskonzept ist in Form eines gestaffelten Sicherheitskonzeptes zu realisieren, welches die Erfüllung der Schutzziele und die Erhaltung der Barrieren und Rückhaltefunktionen auf den gestaffelten Sicherheitsebenen gewährleistet.

Die Sicherheitsebenen (1 – 4c) werden durch spezifische Anlagenzustände gekennzeichnet. Auf den Sicherheitsebenen sind Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung des jeweiligen Anlagenzustandes sowie zur Vermeidung eines Übergangs in den nächsthöheren Anlagenzustand bzw. die nächsthöhere Sicherheitsebene vorzusehen. Für die jeweiligen Sicherheitsebenen sind mit diesen Maßnahmen und Einrichtungen die Schutzziele (Kontrolle der Reaktivität, Kühlung der Brennelemente und Einschluss der radioaktiven Stoffe) zu erfüllen.

Gemäß dem Stilllegungsleitfaden sind die Anforderungen der Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke /BMU 15/ „unter Berücksichtigung des veränderten Gefährdungspotenzials und der im Vergleich zu Errichtung und Betrieb veränderten und in vieler Hinsicht verringerten Anforderungen schutzzielorientiert angepasst bzw. teilweise anwendbar“ (siehe Anlage 2 von /BMU 16/). In Anlage 3 von /BMU 16/ wird darüber hinaus diese schutzzielorientierte Anpassung der Sicherheitsanforderungen detaillierter kommentiert. Demgemäß sind die Sicherheitsanforderungen auf die Belange der Stilllegung sinngemäß anzuwenden. Ebenfalls in Anlage 3 befindet sich ein Kommentar darüber, dass zwar das Sicherheitsebenenkonzept nicht auf die Stilllegung übertragbar ist, dass jedoch die Anforderungen aus /BMU15/ „zur Einhaltung der angeführten Schutzziele und zur Einhaltung der radiologischen Sicherheitsziele angepasst anzuwenden sind“.

Der oben aufgeführte Stand von Wissenschaft und Technik mit Bezug zur Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben zeigt auf, dass die alte Definition der Sicherheitsrelevanz gemäß /GRS 10/ nicht auf die Stilllegung übertragbar ist. Da, wie eingangs erwähnt, der Begriff der Sicherheitsrelevanz, wie er in diesem Bericht verwendet wird, nicht nur die nukleare Sicherheit der Anlage, sondern auch die radiologische Sicherheit von Personen und der Umwelt betrifft, wurde der Begriff der Sicherheitsrelevanz angepasst. Die neue Definition soll gleichermaßen für den Nachbetrieb als auch für die Stilllegung gültig sein. Alle Anpassungen finden sich in Kapitel 3 dieses Berichtes.

Der Aspekt der radiologischen Sicherheit von Personen und der Umwelt ist neu gegenüber /GRS 10/. Zudem soll die neue Methode nicht nur Instandhaltungsmaßnahmen anwendbar sein, sondern auf jegliche Arbeitsvorhaben im Nachbetrieb und in der Stilllegung anwendbar sein. Die Erweiterung des Begriffes der Sicherheitsrelevanz um radiologische Aspekte berücksichtigt die Erkenntnis, dass im Nachbetrieb vorbereitende Arbeitsvorhaben (bspw. Dekontaminationsarbeiten) und in der Stilllegung weitere Abbau- und Entsorgungsarbeiten durchgeführt werden, so dass aus Sicht der GRS die Strahlenschutzaspekte bei der Bewertung der Sicherheitsrelevanz besonders berücksichtigt werden sollten. In der angepassten Methode wird somit neben der nuklearen Sicherheit der Anlage auch die Sicherheit von Personen und der Umwelt bezüglich einer zu hohen Strahlenexpositionen berücksichtigt. Für ein besseres Verständnis der radiologischen Aspekte im Nachbetrieb und in der Stilllegung wird im Folgenden auf das Gefährdungspotenzial einer kerntechnischen Anlage eingegangen.

Das Gefährdungspotenzial der Anlage wird durch das in der Anlage vorhandene radioaktive Material (Aktivitätsinventar) und die Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung bestimmt. Gemäß /BMU 16/ erfolgt eine deutliche Reduktion des Gefährdungspotenzials ab dem Zeitpunkt, ab dem die Entladung der Brennelemente oder Kernbrennstoffe abgeschlossen ist. Eine weitere erhebliche Reduzierung des Aktivitätsinventars kann gemäß der Stilllegungsbroschüre der GRS /GRS 17/ durch die Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle erreicht werden. Die verbleibende Aktivität ist zum größten Teil in den baulichen Strukturen der Anlage eingebunden, die sich vormals in der Nähe des Reaktorkerns befanden. Hier ergibt sich das Gefährdungspotenzial aufgrund der Exposition des Personals bei Zerlegearbeiten. Der andere Teil der verbleibenden Aktivität liegt in ungebundener Form vor und hat hinsichtlich des Strahlenschutzes des Personals eine größere Relevanz, da eine Inkorporation bei Zerlegearbeiten auftreten kann. Durch Dekontaminationsmaßnahmen kann die Aktivität auf Anlagenteilen und Gebäudeoberflächen nochmals erheblich

reduziert werden. Hierdurch können auch erhebliche Teile der aufkommenden Reststoffe nach Dekontamination behördlich freigegeben werden.

Die Ermittlung des Gefährdungspotenzials der Anlage ist somit vom Fortschritt des Anlagenzustandes nach der endgültigen Abschaltung abhängig und kann nicht spezifisch für die Nachbetriebsphase oder die Stilllegung bestimmt werden, sondern muss jeweils angepasst an die aktuelle Situation bestimmt werden.

Gemäß der Merkpostenliste für die Durchführung einer Bewertung des aktuellen Sicherheitsstatus der Anlage für die Nachbetriebsphase /BMU 14/ soll anlagenspezifisch geprüft werden, welche Schutzziele für den jeweiligen Anlagenzustand in der Nachbetriebsphase relevant sind, welche Ereignisse in der Nachbetriebsphase anlagenspezifisch zu beherrschen sind und ob zusätzliche nachbetriebsspezifische Ereignisse zu berücksichtigen sind, die im Leistungsbetrieb bisher nicht relevant waren.

Des Weiteren soll im Folgenden noch darauf eingegangen werden, dass es im kerntechnischen Regelwerk bereits Vorgehensweisen gibt, Arbeitsvorhaben gemäß ihrer radiologischen Relevanz zu klassifizieren. Das Verfahrensschema der IWRS-II-Richtlinie /BMU 05/ stellt eine Vorgehensweise bereit, die durch den Betreiber auf Arbeitsvorhaben anzuwenden ist. Mit dem Verfahren wird für Arbeitsvorhaben auf Basis radiologischer Aspekte (Ortdosisleistung, Kollektivdosis, Individualdosis, ungünstige radiologische Bedingungen etc.) bestimmt, ob diese dem routinemäßigen oder dem speziellen Strahlenschutzverfahren unterliegen. Die beiden Strahlenschutzverfahren sind in /BMU 05/ beschrieben.

Der in diesem Abschnitt aufgeführte Stand von Wissenschaft und Technik zur Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben im Nachbetrieb und in der Stilllegung bildet die Grundlage für die in Kapitel 3 dokumentierte Anpassung des Begriffes für die überarbeitete Methode zur Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen in sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben für Anlagen im Nachbetrieb und in der Stilllegung.

2.3 Fehler und leistungsbestimmende Faktoren

Der vorliegende Abschnitt behandelt folgende Punkte: Bestimmung des Begriffs „menschlicher Fehler“, Arten menschlicher Fehler, Verursachung menschlicher Fehler und leistungsbestimmende Faktoren, von deren Ausprägung es abhängt, ob bei der Durchführung einer Aufgabe ein korrektes Handeln oder ein Fehler zu erwarten ist.

2.3.1 Begriff des menschlichen Fehlers

Ein menschlicher Fehler besteht ganz allgemein in einem Handeln, das in unakzeptabler Weise von einem vorgegebenen Soll abweicht. Abweichungen innerhalb eines zulässigen Toleranzbereiches gelten nicht als Fehler. An dieser Begriffsbestimmung hält auch die neuere und neueste Fachliteratur fest (z. B. /HAC 14/, S. 421 ff., /SCH 19/, S. 547 ff.).

2.3.2 Arten menschlicher Fehler

In der Fachliteratur gibt es noch keine einheitliche, allgemein akzeptierte Klassifikation von menschlichen Fehlern. Stattdessen werden in der Fachliteratur und in der Praxis unterschiedliche Einteilungen menschlicher Fehler nebeneinander verwendet (z. B. /RAD 12/, S. 48 ff., /REA 08/, S. 29 ff., /SHA 12/, S. 734 ff.). Für die angepasste Methode wurde weiterhin die Klassifikation aus dem Vorgängerprojekt verwendet (/GRS 10/, S. 31 f. 33 ff. und 64 f.). Dieser Klassifikation zufolge gibt es Unterlassungs-, Ausführungs- und Verwechslungsfehler:

- Bei Unterlassungsfehlern unterbleiben erforderliche Handlungen vollständig. Mit dem Begriff Auslassungsfehler ist dasselbe gemeint wie mit Unterlassungsfehler. Beispiele für diese Fehlerart sind das Vergessen einer mündlich erhaltenen Anweisung oder das Übersehen einer Meldung auf einer Benutzungsoberfläche.
- Ein Ausführungsfehler ist gegeben, wenn die betroffene Handlung am vorgesehenen Objekt (Komponente, Gerüst, Transportgut usw.) mit inakzeptablen Abweichungen von Sollvorgaben durchgeführt wird. Beispielsweise könnte ein Füllstand, der manuell auf eine bestimmte Höhe zu bringen ist, nach Abschluss der entsprechenden Handlungen einen Ist-Wert aufweisen, der außerhalb des Toleranzbereichs um den Sollwert liegt. Gibt es Sollvorgaben, wie die Handlung durchzuführen ist, fällt eine inakzeptable Abweichung von solchen Vorgaben an das Vorgehen unter die Ausführungsfehler (die Nicht-Ausführung eines vorgeschriebenen Arbeitsschrittes ist dagegen ein Unterlassungsfehler). Der Handelnde könnte z. B. von Sollvorgaben zum Gradienten abweichen, mit dem ein Füllstand unter Einhaltung bestimmter Toleranzbereiche zu verändern ist. Sollvorgaben können sich auch auf den Zeitraum beziehen, in dem eine erforderliche Handlung durchzuführen ist. Wird eine erforderliche Handlung so verzögert, dass ihr Ergebnis nicht innerhalb dieses Zeitfensters vorliegt, wird sie in der vorliegenden Klassifizierung der Kategorie der Ausführungsfehler zugeordnet. Diese Zuordnung schließt aus, eine Verzögerung als Unterlassung einer rechtzeitigen Ausführung zu verstehen und dementsprechend als Unterlassungsfehler zu klassifizieren.

Eine vorzeitige Ausführung einer geforderten Handlung kann ebenfalls ein Ausführungsfehler sein, wenn sie mit inakzeptablen Abweichungen von Vorgaben verbunden ist. Man denke z. B. an die Möglichkeit, dass Pumpen bei einem vorzeitigen Start in Kavitation laufen und dadurch funktionsuntüchtig werden können. Erkenntnisse aus der Betriebserfahrung zeigen, dass die folgenden Arten von Ausführungsfehlern eine gewichtige Rolle spielen, weshalb die Methode eigens auf diese Fehler eingeht (/GRS 10/, S. 33 ff.): (1) Erforderliche Handlungen können Nebeneffekte in Form von Zustandsänderungen hervorrufen, die zu unterbleiben haben. Man denke die Einwirkung auf Komponenten durch Druck oder Stoß mit Körperteilen oder mit handzuhabenden Dingen im Zuge von Arbeiten und eine dadurch bewirkte, unzulässige Änderung z. B. des Schaltzustands der betroffenen Komponente. Weitere Beispiele sind eine durch Druck oder Stoß hervorgerufene, unzulässige räumliche Verschiebung einer temporären Absperrung, die Beschädigung einer Einhausung oder das Abreißen von Aufklebern, mit denen Komponenten für anstehende Arbeiten gekennzeichnet worden sind. (2) Zweckentfremdungen bestehen darin, unzulässige Zustandsänderungen an Komponenten oder sonstigen Dingen herbeizuführen, indem man sie absichtlich, aber ohne den Vorsatz einer Schädigung, in unzulässiger Weise nutzt. Aus der Betriebserfahrung bekannte Beispiele sind u. a. die Beschädigung von Rohrleitungen, die der Handelnde bestiegen hat, um dadurch einer Komponente räumlich näher zu kommen, an der zu arbeiten ist. Belegt ist auch die Nutzung ebener Flächen zur Ablage von Ausrüstungsgegenständen, Werkzeugen, Ersatzteilen usw., die in Komponenten geraten sind, weil die Komponente zur zweckentfremdeten Fläche hin offen war.

- Verwechslungsfehler liegen vor, wenn Arbeiten an Komponenten und (oder) mit Mitteln stattfinden, an bzw. mit denen nicht gearbeitet werden soll. Beispiele sind die Verwechslung von Redundanzen oder räumlich nebeneinander liegender, ähnlich aussehender Komponenten, die Verwechslung von Drehmomentschlüsseln, Schrauben oder Sicherungen beim Ausfassen der Werkzeuge bzw. Ersatzteile für Instandhaltungen oder die Verwechslung von Komponenten, die für den Abbau zu kennzeichnen sind mit solchen, die noch nicht abgebaut werden dürfen. Als Verwechslungen zählen in der vorliegenden Klassifikation auch Änderungen der Reihenfolge, in der anstehende Handlungen auszuführen sind. Verwechslungsfehler sind im Prinzip Ausführungsfehler. Sie wurden aber als eigene Kategorie definiert, um zu verdeutlichen, dass neben Fehlern beim Arbeiten am und mit dem richtigen Objekt (Komponente, Werkzeug, Ersatzteil usw.) und unbeabsichtigten Nebeneffekten auch die Möglichkeiten zu berücksichtigen sind, dass vorgesehene Handlungen an bzw. mit nicht vorgesehenen Objekten erfolgen können.

Allen diesen Fehlerarten ist gemeinsam, dass der Handelnde nicht beabsichtigt, Komponenten zu schädigen oder sonstige unzulässige Zustandsänderungen herbeizuführen. Die Abweichung von Sollvorgaben kann, wie im Fall der Zweckentfremdungen, dagegen absichtlich erfolgen.

2.3.3 Grundlegende Erkenntnisse zu Fehlern und Fehlerursachen

Es entspricht dem wissenschaftlich-technischen Erkenntnisstand, dass Fehler stochastische Ereignisse sind: Fehler können in einer bestimmten Situation und bei einer bestimmten Person also mit einer Wahrscheinlichkeit auftreten, die kleiner als eins ist.

Eine Klärung der Fehlerursachen dient dazu, nutzbare Erkenntnisse für die Prävention bzw. Beherrschung der untersuchten Fehler und ihrer Folgen zu gewinnen. Die Sichtung des neueren und neusten Standes von Wissenschaft und Technik (/HAC 14/, /SCH 19/, /OEC 19/, /OEC 18/, /IAE 09b/, /LEE 19/) zu Fehlerursachen hat zu folgenden Ergebnissen geführt:

- Jede Handlung erfolgt in einer bestimmten Situation durch eine bestimmte Person, hängt also von Merkmalen dieser Situation und des Ausführenden ab. Das gilt auch für die Unterlassung und die fehlerhafte Ausführung erforderlicher Handlungen. Dieses Grundverständnis des Fehlers ist nach wie vor Stand von Wissenschaft und Technik (siehe dazu u. a. die bereits angeführten Referenzen).
- Es gibt noch keinen allgemeingültigen Ansatz, um die Merkmale der Person bzw. der Arbeitssituation, auf die sich Fehler zurückführen lassen, zu bezeichnen und einzuteilen. Die Fachliteratur nutzt für diese Merkmale Sammelbegriffe wie Einflussfaktoren, leistungsbestimmende Faktoren oder auch Rahmenbedingungen des Handelns, fehlerförderliche Faktoren oder Fehler herbeiführende Faktoren. Gebräuchlich ist die Unterscheidung menschlicher, technischer und organisatorischer Faktoren, dazu können aber auch Faktoren wie die National- oder Regionalkultur treten, in denen ein Unternehmen angesiedelt ist und (oder) Mitarbeiter rekrutiert (siehe dazu die jüngsten Country-Specific Safety Culture Foren der OECD-NEA /OEC 19/ und /OEC 18/). Da sich sicherheitskulturelle Faktoren auf menschliche, technische und organisatorische Faktoren zurückführen lassen (siehe dazu IAEA, GS-G-3.5, Appendix I /IAE 09b/), nutzt die Methodenweiterentwicklung des vorliegenden Projekts für die Klassifizierung leistungsbestimmender Faktoren die drei Kategorien „Mensch“, „Technik“ und „Organisation“ und ordnet sicherheitskulturelle Faktoren in die jeweils zutreffenden Kategorie ein.

- Einzelne Untersuchungen gehen auf die leistungsbestimmenden Faktoren bei bestimmten Stilllegungsaufgaben ein (z. B. /LEE 19/, S. 519). Für die anstehende Methodenweiterentwicklung werden aus diesen Untersuchungen Erkenntnisse zu diesen für Stilllegungsaufgaben relevanten Faktoren genutzt, um die Zusammenstellung der Faktoren aus dem Vorgängerprojekt zu ergänzen bzw. zu präzisieren.

Resilienz, Sicherheit I und Sicherheit II sowie des Managements unerwarteter Situationen

In der Diskussion um Fehler und Fehlerursachen nehmen die Ansätze der Resilienz, Sicherheit I und Sicherheit II sowie des Managements unerwarteter Situationen einen breiteren Raum ein. Die Kerngedanken dieser Ansätze lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Unter Resilienz versteht man in Bezug auf Unternehmen ganz allgemein die Eigenschaft eines Unternehmens, Belastungen v. a. größerer Art auszuhalten und sich an Bedingungen anzupassen, unter denen mit derartigen Belastungen zu rechnen ist (/GAB 20/). Resilienz schließt auch Vorkehrungen ein, welche in Abschnitt 2.4 behandelt werden. Unter dem Oberbegriff der Resilienz werden viele, z. T. lang bekannte Erkenntnisse über Handeln, Leistung und Fehler systematisch zusammengeführt.
- Sicherheit I und Sicherheit II sind Schlagwörter für zwei Ansätze, die Vertreter dieser Unterscheidung wie folgt gegenüberstellen: Sicherheit I ist ein Zustand, in dem keine inakzeptablen Risiken bestehen. Dazu sind diese Risiken und ihre Ursachen zu erkennen, zu analysieren, zu beseitigen oder soweit zu minimieren, dass sie in einen festzulegenden Akzeptanzbereich fallen. Zu den Risiken gehören menschliche Fehler. Die Kritik der Sicherheit-II-Anhänger an diesem Sicherheit-I-Ansatz besteht darin, dass Forschung und Anwendung sich nicht auf die Faktoren konzentrieren, auf denen Sicherheit beruht, sondern Sicherheit mit dem Zustand gleichsetzen, in dem Risiken auf ein akzeptables Ausmaß reduziert oder ganz beseitigt sind. Der Leitgedanke des Sicherheit-II-Ansatzes besteht hingegen darin, bei der Analyse und Beurteilung der Sicherheit gezielt die Faktoren zu untersuchen, die das Unternehmen und seine Mitarbeiter in die Lage versetzen, sich erfolgreich an unterschiedliche Bedingungen anzupassen und ihre tagtäglichen Aufgaben zu erfüllen. Sicherheit II und Resilienz sind somit bedeutungsgleiche Begriffe (/HOL 20/). Die scheinbar einfache und klare Gegenüberstellung von Sicherheit I und Sicherheit II wird weiter unten diskutiert werden.
- Die Arbeiten zum Management des Unerwarteten suchen Antworten auf die Frage, aus welchen Gründen Unternehmen, Kampfverbände, Feuerwehren usw. ihre Struktur und

ihre Funktion aufrechterhalten können bzw. in Krisen geraten oder sogar scheitern, wenn unerwartete Ereignisse eintreten und unvorhergesehene Änderungen des Vorgehens erforderlich sind. Erfolgsfaktoren sind die folgenden (/WEI 07/, S. 43 ff.): (1) Eine Hauptanliegen des Personals besteht darin, Fehler, Beinahe-Fehler, Fehlermöglichkeiten und Schwachstellen zu erkennen bzw. zu finden und sie zu melden. (2) Vereinfachungen werden als Quelle für Irrtümer, mangelnde Beachtung sicherheitsrelevanter Details, unangemessenes Vorgehen usw. abgelehnt und entsprechend vermieden. (3) Das Personal entwickelt ein klares, zutreffendes Gespür für die Abläufe innerhalb eines komplexen Systems und für Anzeichen, dass das System aus dem Ruder läuft und promptes Handeln erfordert. (4) Das Unternehmen strebt an, resilient zu sein. (5) Erfahrung und Expertise der Mitarbeiter stehen in hohem Ansehen. Diese allgemeinen Merkmale werden durch Untersuchungen und Fallstudien für verschiedenste Anwendungsbereiche präzisiert und weiterentwickelt (einen aktuellen Überblick zu „High Reliability Organizing“ und „Managing the Unexpected“ findet man auf der Website: <http://high-reliability.org/home>). Auch für die aufgeführten Grundlagen (1) bis (5) gilt, dass sie eine Vielzahl von z. T. schon länger bestehenden Erkenntnissen systematisch zusammenführen, die auch für die Fehlervorkehrungen (siehe Abschnitt 2.4) relevant sind.

Die nachfolgende Diskussion der drei Ansätze (Resilienz, Sicherheit I versus Sicherheit II und des Managements unerwarteter Situationen) geht auch auf die Nutzbarkeit von Erkenntnissen aus diesen Ansätzen für die anstehende Methodenentwicklung ein. Lässt man die drei Ansätze Revue passieren, zeigt sich:

- Die drei Ansätze hängen eng zusammen, da Sicherheit II und Management des Unerwarteten das Resilienz-Konzept einschließen und alle drei Ansätze Faktoren eine Schlüsselrolle zuweisen, die auf Seiten der Mitarbeiter (von der Führungsspitze bis zu Personal ohne Führungsaufgaben) den aktiven Einsatz für die Sicherheit und die Kompetenz stärken, auch neuartige, unerwartete und sogar krisenhafte Situationen zu meistern.
- Es bestehen durchweg große Überschneidungen mit den Merkmalen einer starken Sicherheitskultur im Sinne der IAEA (/IAE 09b/, Appendix I).
- Die Ertüchtigung eines Unternehmens soll den drei Ansätzen zufolge möglichst proaktiv erfolgen. Das heißt möglichst frühzeitig, umfassend und von sich aus Herausforderungen an die Sicherheit identifizieren und den Analysen entsprechende wirksame Vorkehrungen ableiten.

- Die technische Auslegung der Anlage, Ausrüstung, Arbeitsmittel und Arbeitsorte wird nicht besonders betont. Der Faktor Technik hat aber neben und in Verbindung mit den Faktoren Mensch und Organisation berücksichtigt zu werden, wenn es um die Analyse von menschlichen Fehlern, ihrer Ursachen und der Vorbeuge geht.
- Sicherheit I und Sicherheit II werden als gegensätzliche Herangehensweisen präsentiert, wobei Sicherheit II als der fortschrittliche, überlegene Ansatz propagiert wird. Diese Sichtweise ist als überspitzt anzusehen: Gegenstand einer Analyse und einer möglichst umfassenden Vorsorge sind die Handlungen und die leistungsbestimmenden Faktoren, von denen es abhängt, inwieweit die Handlung korrekt oder fehlerhaft ausgeführt werden kann. Bei den leistungsbestimmenden Faktoren ist also stets auch herauszuarbeiten, welche Ausprägungen das Handeln im Einklang mit der Sicherheit unterstützen und welche Ausprägungen fehlerförderlich sind. Eine ähnliche umfassende, beide „Seiten der Medaille“ einschließende Sichtweise zeichnet auch den Ansatz des Managements unerwarteter Situationen aus: Er stellt die Auseinandersetzung mit Fehlern und die Ablehnung fehlerhafter oder fehlerträchtiger Vereinfachungen gleichberechtigt neben das Streben nach Resilienz, die Erfahrung und ihre Wertschätzung, die sicherheitsgerichtetes Handeln stärken.
- Alle drei Ansätze rücken den Stand der Vorbereitung (Resilienz, Anpassungs-, Aktions- und Reaktionsfähigkeit) des gesamten Unternehmens in den Vordergrund. Sie propagieren ein unternehmensweites, einheitliches Vorgehen bei der Behandlung von Fehlern. Die im vorliegenden Projekt angestrebte Methode unterstützt ein einheitliches Vorgehen bei der Fehleranalyse und der Bestimmung von Vorkehrungen in einzelnen sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben innerhalb der Unternehmenstätigkeit. Somit ist zu unterscheiden zwischen Faktoren, die innerhalb eines Arbeitsvorhabens zu planen und zu implementieren sind, und solchen, die den Ansätzen zu Resilienz, Sicherheit I bzw. II und Management des Unerwarteten zufolge als unternehmensweite Treiber sicherheitsgerichtetes Handelns implementiert sein sollten, damit Planung und Durchführung einzelner Arbeitsvorhaben auf ihrer Grundlage erfolgen können.
- Zur ersten Faktorengruppe gehören die oben unter „Management des Unerwarteten“ genannte Anerkennung und Nutzung des Wissens der einzelnen Mitarbeiter durch die Führungskraft, die ein Arbeitsvorhaben leitet, oder das unter „Resilienz“ aufgeführte Lernen aus der Erfahrung, die in einem Arbeitsvorhaben anfällt und für u. U. viele weitere Arbeitsvorhaben genutzt werden sollte. Die anstehende Methodenweiterentwicklung wird ihre Recherche auf leistungsbestimmende Faktoren konzentrieren, die innerhalb eines Arbeitsvorhabens realisiert werden sollten, und mit diesen Faktoren

die Methode im erforderlichen Umfang erweitern und präzisieren. Zur zweitgenannten Faktorengruppe gehören z. B. diejenigen, die sich auf die Arbeitsmotivation der gesamten oder größerer Teile der Belegschaft auswirken, wenn eine Stilllegung bevorsteht oder in Gang ist und Entlassungen in größerem Umfang bevorstehen oder auch nur befürchtet werden. Man denke bei solchen negativen Effekten sinkender Arbeitsmotivation z. B. an Kündigungswellen, Wut, Ärger, Unlust, Gleichgültigkeit, Nachlässigkeiten, Abweichungen von Vorschriften, Rivalität, um die eigenen Beschäftigungschancen auf Kosten der Kollegen zu erhöhen, Krankmeldungen, um der drückenden Situation zumindest kurzzeitig zu entgehen, u.v.a.m. (/BLA 06/, S. 16 ff., /BLA 07/, S. 401.). Mitarbeiter könnten sich zudem selbst unter fehlerfördernden Stress setzen und an oder jenseits der Grenzen ihrer Belastbarkeit arbeiten, um z. B. ihre Chance auf Weiterbeschäftigung zu erhöhen (/BLA 06/, a.a.O.). Solchen Effekten kann das Unternehmen in erster Linie u. a. durch möglichst frühzeitige, unternehmensweite und (oder) auf bestimmte Zielgruppen abgestimmte Information, Personalplanung und Mitarbeiterbetreuung entgegenwirken.

Betriebserfahrung zu Fehlerursachen bzw. Fehlermechanismen in der Nachbetriebsphase

Bei der Auswertung der Betriebserfahrung wurden die Ergebnisse des Vorhabens „Sicherheitstechnisch relevante Fehlermechanismen in der Nachbetriebsphase“ /GRS 17/) genutzt. In diesem wurde die nationale sowie internationale Betriebserfahrung (deutsche meldepflichtige Ereignisse, IRS, ICDE) hinsichtlich relevanter übergeordneter Fehlermechanismen ausgewertet, die besonders in der Nachbetriebsphase erhöhte Bedeutung erlangen können. Eine identifizierte Kategorie an Fehlermechanismen behandelt „Organisatorische und personelle Randbedingungen“ /GRS 17/. Es wird den Fehlermechanismen dieser Kategorie eine erhöhte Bedeutung zugewiesen, da eine Anlage im Nachbetrieb oder in der Stilllegungsphase eine erhebliche Veränderung erfährt.

Änderungen von personellen Randbedingungen können negative Auswirkungen auf Fachkunde, Erfahrung und Motivation des Personals haben. Aber auch Abbau- und Umbaumaßnahmen können eine Erhöhung von menschlichen Fehlern bedingen. Konkret wurden Fehler wie eine falsche Kennzeichnung, eine unzureichende Qualität in der Arbeitsdurchführung sowie das Nichteinhalten von Regeln genannt (/GRS 17/, S.147).

Des Weiteren wurde, aufgrund der besonderen Begebenheiten während des Nachbetriebes oder der Stilllegung, ein Einfluss auf organisatorische Abläufe identifiziert. So werden durch eine größere Anzahl an durchzuführenden Änderungen vermehrt Fehler bei der Kommunikation, der Dokumentation, der Prüfung und Instandhaltung genannt. Beispiele

waren hier fehlerhafte Pläne, mangelhafte Prüfungen nach Umbaumaßnahmen und Fehleinschätzungen von Änderungsmaßnahmen. Als ein weiterer Aspekt wurden unzureichende oder nicht durchgeführte Ursachenforschung genannt. Als mögliche Ursache wurde darauf verwiesen, dass die Komponenten oder Systeme aufgrund der Abschaltung der Anlage zeitnah außer Betrieb genommen werden.

Im Detail sind 21 Ereignisse im Bericht /GRS 17/ Kapitel 5.3 beschrieben und der konkrete Fehlermechanismus bzw. die konkreten Fehlermechanismen zu jedem Ereignis genannt. Die abgeleiteten Fehlermechanismen sind im Folgenden als Liste dargestellt (vergleichbare Mehrfachnennungen in Klammern):

- Mangelnde Ursachenaufklärung wegen geplanter Abbauarbeiten
- Fehlerhafte Demontearbeiten (2)
- Fehler bei Änderung (13)
 - Fehlerhaft durchgeführte Änderung (Änderungsarbeiten) (6)
 - Fehleinschätzung der Änderung
 - Änderung der Auslegung
 - Unvollständig umgesetzter Änderungsdienst (2)
 - Veränderter Anlagenzustand
 - Fehler bei Umbauarbeiten (2)
- Nicht sachgerechte Abgrenzung von Zuständigkeiten bei organisatorischer Änderung
- Mangelnde Prüfung
- Fehlerhafte Prüfvorschrift (2)
 - Fehler bei Planung der Prüfvorschriften
 - Fehlerhafte Prüfvorschrift
- Fehlerhafte Planung
- Technische Änderung nicht in Prozeduren berücksichtigt
- Vergessene Freischaltung
- Unvollständiger Stromlaufplan

- Fehlerhafte Kennzeichnung
- Unzureichende Organisation (2)
- Probleme bei der Kommunikation (2)
 - Mangelnde Kommunikation
 - Probleme bei der Kommunikation
- Fehlerhafte Dokumentation (3)
- Veränderte Umgebungsbedingungen nicht berücksichtigt
- Unzureichende Qualität in der Arbeitsdurchführung

In der in Kapitel 3 beschriebenen Methode ist zu überprüfen ob eine identifizierte Fehlermöglichkeit plausibel ist. Eine Hilfe bei der Bewertung stellt die bereits gemachte Betriebs- erfahrung dar. Die oben genannten Fehlermechanismen sind aber nicht als abdeckend anzusehen. Bei der eigentlichen Anwendung der Methode muss insbesondere auch auf eigene Betriebserfahrung (und die bereits getroffenen Vorkehrungen gegen Fehler) zurückgegriffen werden (siehe auch Abschnitt 3.5.1, Schritt 1.2b bzw. 1.3b der Methode).

2.3.4 Zusammenstellung leistungsbestimmender Faktoren

Es folgt eine Zusammenstellung leistungsbestimmender Faktoren, die, abhängig von ihrer Ausprägung, korrektes oder fehlerhaftes Handeln fördern. Zufallsfehler sind auch unter bestmöglicher Ausprägung der Faktoren nicht auszuschließen. Die Zusammenstellung beruht auf derjenigen des Vorgängerprojekt (/GRS 10/, S. 58 ff.), ordnet sie aber nach den Faktoren Mensch, Technik und Organisation, um die Zugehörigkeit der leistungsbestimmenden Faktoren zu diesen Kategorien in aller Deutlichkeit herauszustellen. In die Zusammenstellung sind Faktoren aus den Ansätzen zur Resilienz, Sicherheit I und Sicherheit II und Management des Unerwarteten aufgenommen worden, soweit sie auf der Ebene von Arbeitsvorhaben realisierbar und in der Liste aus dem Vorgängerprojekt (/GRS 10/, a.a.O.) nicht berücksichtigt waren.

Die Liste ist in die übergeordneten Faktoren „Mensch“, „Technik“ und „Organisation“ gegliedert.

Zum Faktor Mensch zählen :

- die physischen und psychischen Leistungsvoraussetzungen des Handelnden,
- seine fachliche Qualifikation für die betrachtete Arbeit,
- weitere Qualifikationen wie insbesondere die hinreichende Beherrschung einer Sprache, die für die mündliche bzw. schriftliche Kommunikation zu nutzen ist,
- die Motivation zu einem sicherheitsgerichteten Handeln und
- der Stress, der mit dem Handeln verbunden ist. Stress geht auf ein Gleichgewicht bzw. Ungleichgewicht zwischen den Anforderungen an das Handeln und den Leistungsvoraussetzungen des Handelnden zurück, der die Anforderungen zu bewältigen versucht und im Fall eines Scheiterns mit persönlich wichtigen Konsequenzen wie etwa Gefahr für Leib und Leben rechnen muss. Je stärker das Missverhältnis zwischen Anforderungen und Leistungsmöglichkeiten ausgeprägt ist, desto stärker kann Stress ausfallen, zu Anspannung, Unlust und Unruhe bis hin zu Ängsten führen und die Leistung bis hin zu einer Blockade hochgeübter Handlungen führen. Stress mit negativer Wirkung auf das Handeln kann auf sehr unterschiedliche Faktoren („Stressoren“) wie insbesondere die folgenden zurückgehen: (1) Verantwortungs-, Erfolgs- und Zeitdruck, (2) Aufgabenvielfalt mit häufigen, unerwünschten Wechseln zwischen Aufgaben und (3) Verunsicherung in Situationen, deren Kontrolle dem Handelnden zumindest nach seiner subjektiven Einschätzung entgleitet und die Gefahren oder Risiken für die eigene Person und (oder) andere mit sich bringen können.
- Wichtig sind schließlich auch die Faktoren, von denen es abhängt, inwieweit der vorgesehene Ausführende aktuell in der Lage ist, anstehende Arbeiten zu erfüllen. Man denke z. B. an Schlafmangel, Hunger oder Durst (/LEE 19/, S. 518), Ermüdung und tageszeitliche Schwankungen der Leistungsfähigkeit (z. B. /RIC 17/, S. 66 ff.).

Der Faktor Technik umfasst die ergonomische Auslegung:

- des Arbeitsortes einschließlich der Arbeits- und Transportwege (Länge, Breite und Höhe in Bezug auf Körpermaße und Abmessungen der zu transportierenden und einzusetzenden Dinge),

- der Arbeitsumgebung (Beleuchtung, Belüftung, Beschallung, radiologische Bedingungen, Temperatur, Luftfeuchtigkeit usw.),
- der Benutzungsoberflächen, Werkzeuge und sonstigen Arbeitsmittel einschließlich der Unterlagen, die zu verwenden sind, und der permanenten oder temporären Kennzeichnungen v. a. der Komponenten auf dem Arbeitsweg und am Arbeitsort. Benutzungsoberflächen umfassen Informations- und Bedieneinrichtungen. Informationen beeinflussen die Leistung insbesondere durch die Verständlichkeit ihres Inhalts und die Übersichtlichkeit bzw. Lesbarkeit des Layouts. Bedieneinrichtungen können insbesondere in Bezug auf Übersichtlichkeit der Anordnung, Unterscheidbarkeit, Bedienkomfort und Sicherung gegen Fehlbedienung mehr oder minder gute Voraussetzungen für korrektes Handeln bieten.
- Bei Abbauaufgaben und der Behandlung bzw. Bearbeitung von radioaktiven Reststoffen kommen dazu die Eigenschaften der betroffenen Komponente(n), insbesondere Faktoren wie Aufstellungsort, Aufbau, Material, Gewicht der Komponente oder ihrer einzelnen Teile und radioaktive oder sonstige feste, flüssige und (oder) gasförmige Medien, die sie enthalten. Vom Aufstellungsort und Aufbau der Komponente hängt es ab, ob z. B. Gerüste aufzustellen und (oder) Hebezeuge zu nutzen sind, ob ein Bedarf an zusätzlichen Leuchtmitteln für Dunkelzonen am Arbeitsort besteht, ob wegen der Nähe zu anderen, kontaminierten oder aktivierten Komponenten Abschirmungen gebraucht werden und ob eine oder mehrere Personen wegen der mehr oder minder engen räumlichen Verhältnisse gleichzeitig an demselben Teil der Komponente arbeiten können. Material und Gewicht sind wichtig für die Auswahl der Werkzeuge (z. B. Sägen für Stahl oder Kunststoff), Hebezeuge, Transportmittel usw. Kontaminierte oder aktivierte Komponenten erfordern Abschirmungen und (oder) Beschränkungen des Abstandes von der Komponente und Begrenzung der Aufenthaltsdauer in der Nähe der Komponente, an oder neben denen zu arbeiten ist. Betriebsgeräusche eingesetzter Mittel können Gehörschutz und besondere Mittel für die Kommunikation zwischen Personen erfordern.

Unter den Faktor der Organisation fallen in Bezug auf einzelne Arbeitsvorhaben die Festlegungen zum Ablauf sowie der Prozess innerhalb eines Managementsystems oder eines umfassenderen Projekts, in dem Planung, Durchführung und Überwachung des betrachteten Arbeitsvorhabens erfolgen.

- Der Methode des vorliegenden Projekts legt das Ablaufschema der Richtlinie für die Planung und Durchführung von Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten zu Grunde. Dieses Ablaufschema erfasst die wesentlichen Schritte und Schnittstellen, die ein Arbeitsvorhaben der Instandhaltung bzw. Änderung zu durchlaufen hat. Somit besteht ein wesentlicher organisatorischer Faktor, der das sicherheitsgerichtete Handeln von der Planung bis zum Abschluss der Arbeiten unterstützt, in der Anwendung dieses Ablaufschemas bzw. der Methode, die von dem Ablaufschema ausgeht und es um eine systematische Analyse der Fehlermöglichkeiten und eine darauf beruhende Ermittlung von Vorkehrungen erweitert.
- Aus den Ansätzen zu Resilienz und Management unerwarteter Situationen ergeben sich leistungsbestimmende Faktoren in Gestalt der der Führung und der Motivierung von Mitarbeitern innerhalb eines Arbeitsvorhabens: (1) klare Zielvorgaben (/HÄS 11/, S. 142), (2) Kontrolle zu Beginn der Arbeiten, ob die vorgesehenen Ausführenden physisch und psychisch für die Ausführung fit sind oder Ersatzpersonen heranzuziehen oder das Arbeitsvorhaben auch abubrechen ist, (3) Anerkennung der Erfahrung auf Seiten der Ausführenden, aktive Suche der Führungskräfte nach Informationen, Rat und sonstiger Unterstützung von Seiten der Untergebenen und (4) kritische Reflexion eigener und fremder, u. U. zu sehr vereinfachender Überlegungen. Klare Zielvorgaben sind auch deshalb wichtig, um mögliche Konflikte zwischen Handlungszielen (insbesondere Sicherheit und sonstigen Zielen) zu vermeiden (z. B. /LEE 19/, S. 518).
- Unter die Kategorie der Organisation fallen auch Festlegungen zum Timing eines Arbeitsvorhabens und zur Übergabe der Arbeiten von einem Team auf das nächste, wenn sich ein Arbeitsvorhaben den Einsatz mehrerer, einander ablösender Teams erfordert (z. B. /LEE 19/, S. 518).
- Festlegungen sind darüber hinaus zum Informationsfluss zwischen Arbeitsvorhaben zu treffen, sowohl während der Planung als auch bei der Durchführung, um eine abgestimmte Koordination der Arbeiten zu unterstützen.

2.4 Bestimmung von Fehlervorkehrungen

In diesem Abschnitt werden Vorkehrungen behandelt, die darauf abzielen, die leistungsbestimmenden Faktoren so zu gestalten und aufeinander abzustimmen, dass bestmögliche Voraussetzungen für korrektes Handeln entstehen und potenzielle Fehlerquellen so weit wie möglich ausgeschlossen werden.

2.4.1 Grundlegende Erkenntnisse zur Fehlerbeherrschung und Vorkehrungen

Die Sichtung des neueren und neusten Standes von Wissenschaft und Technik zu Fehlerbeherrschung und Vorkehrungen werden im Folgenden dargestellt. Hier wird zunächst insbesondere auf die Ergebnisse zur Resilienz eingegangen:

- Resilienz beruht wesentlich auf bestehenden und v. a. proaktiven Vorkehrungen gegen Belastungen, die sich nachteilig auf Bestand und Funktion des Unternehmens auswirken können. Belastungen können auf menschliche Fehler zurückgehen bzw. Handlungen unter dem Einfluss und zur Bewältigung solcher Belastungen erfordern. Deshalb sind die Faktoren, von denen die Leistung, also richtiges oder falsches Handeln, abhängt, für die Resilienz eines Unternehmens wichtig und durch geeignete Vorkehrungen so auszugestalten, dass bestmögliche Voraussetzungen für richtiges Handeln bestehen. Bei Unternehmen im Risikotechnologiebereich ist die Sicherheit ein wesentlicher Bereich für die Anwendung des Resilienz-Konzepts. Eine Sichtung der einschlägigen Literatur zeigt, dass unter dem Begriff der Resilienz Bedingungen wie z. B. Lernen aus der Erfahrung und Qualifizierung der Mitarbeiter subsumiert werden, die als gute Praktiken schon lange bekannt sind. Verschiedene Autoren weisen „weichen Faktoren“ wie Führung und Motivierung der Mitarbeiter eine besondere Bedeutung für die Resilienz zu (z. B. /WRE 06/, S. 279 ff.). Insofern gibt es große Überschneidungen zu den Charakteristika und Attributen einer starken Sicherheitskultur (/IAE 09b/ Appendix I).
- Verschiedene Faktoren der Resilienz können nicht direkt oder gar nicht auf der Ebene eines einzelnen Arbeitsvorhabens realisiert werden (siehe auch Abschnitt 2.3). Das gilt insbesondere für die Erhaltung eines zahlenmäßig ausreichenden, qualifizierten und motivierten Bestandes an Personal im Unternehmen. Dazu sollte das Unternehmen eine Gesamtstrategie verfolgen, die von den innerhalb eines längeren Betrachtungszeitraums anstehenden Arbeitsvorhaben ausgeht und die idealerweise zu dem Ergebnis führt, dass für alle sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben innerhalb des Zeitraums genug qualifiziertes Personal zur Verfügung steht. Zu einer solchen Gesamtstrategie

können Beschäftigungsgarantien für mittel- und längerfristige Zeiträume, Aus- und Umschulungsangebote für anstehende Arbeiten oder auch Angebote in Form von Abfindungen, Vorruhestandregelungen usw. gehören, um freie Arbeitsplätze für jüngere Mitarbeiter zur Verfügung zu haben (/HÄS 11/, S. 138 ff.). Stehen im Unternehmen ausreichend viele, qualifizierte und längerfristig beschäftigte Mitarbeiter zur Verfügung, kann das Arbeitsvorhaben aller Voraussicht nach personell besetzt werden, sobald es ansteht. Dagegen ist ein einzelnes Arbeitsvorhaben von einigen Wochen oder Monaten Dauer und Bedarf an einer kleinen Gruppe von Personen eine temporäre Aufgabe, die für sich allein keiner größeren Zahl von Mitarbeitern eine längerfristige Perspektive bieten kann. Dem einzelnen Arbeitsvorhaben muss eine größere Anzahl ähnlicher Vorhaben vorausgegangen sein und nachfolgen, um dem benötigten Personal eine realistische, längerfristige Beschäftigungsperspektive zu bieten und zum Verbleib im Unternehmen zu motivieren.

- Aus den Ansätzen zu Resilienz und Management unerwarteter Situationen ergeben sich Maßnahmen in Gestalt der Führung und der Motivierung von Mitarbeitern innerhalb eines Arbeitsvorhabens (vgl. Abschnitt 2.3.4).
- Leiter der Arbeiten vor Ort sollten regelmäßig während der Ausführung der Arbeiten mit den Mitarbeitern und den (untergeordneten) Führungskräften Rücksprache halten, um die Sicherheit und Qualität zu gewährleisten und die Bedürfnisse der Mitarbeiter einschätzen zu können (/LAY 11/, S. 97).
- Wie im vorigen Abschnitt 2.3 beschrieben, kann ein bevorstehende bzw. in Gang befindliche Stilllegung Auswirkungen auf die Motivation und Arbeitsmoral des Personals haben (/BLA 06/). Unternehmen besitzen aber auch Möglichkeiten, sich und ihre Mitarbeiter darauf vorzubereiten: Dazu gehören eine möglichst transparente, wahrheitsgemäße und frühzeitige Kommunikation anstehender Veränderungen, eine realistische Personalbedarfs- und Personalentwicklungsplanung sowie eine Schulung v. a. der Führungskräfte im Bereich der Mitarbeiterbetreuung und der Mitarbeitermotivation. Solche informationspolitischen, personalpolitischen und qualifikatorischen Schritte müssen, damit sie in den einzelnen Arbeitsvorhaben zur Stärkung des sicherheitsgerichteten Handelns beitragen können, diesen vorangehen und möglichst systematisch erfolgen, um den Mitarbeitern zu signalisieren, dass das Unternehmen ihre Besorgnisse und Belange wichtig nimmt.
- Bei Arbeitsvorhaben im Rahmen der Stilllegung sind auf optimale Umgebungsbedingungen zu achten (eine allgemeine Sauberkeit des Arbeitsplatzes, geräuscharme

Ausrüstung, angemessene Temperatur in der Schutzausrüstung u. A.) (/LEE 19/, S. 520; /IAE 13/, Appendix IX).

- Die Auswirkungen von getroffenen technischen Vorkehrungen sind wiederum in Verbindung mit den Faktoren Mensch und Organisation zu betrachten, wenn es um die Analyse von menschlichen Fehlern, ihrer Ursachen und der Vorbeuge geht. Man denke z. B. an fehlerträchtige Handeingriffe, die durch Automatisierung, also eine technische Vorkehrung, als Fehlerquelle beseitigt werden, aber auch neue Fehlerquellen z. B. bei Wartung und Instandhaltung oder Handeingriffe nach Ausfall der Automatik eröffnen. U. U. können auch organisatorische Änderungen erforderlich werden, wenn die Wartung und Instandhaltung der Automatik den Einsatz von Fremdpersonal erfordert, dessen Einsatz die Anlage zu planen, zu kontrollieren und mit anderen Arbeiten an der Komponente mit der nachgerüsteten Automatik zu koordinieren hat. Diese neu hinzukommenden organisatorischen Festlegungen und Abläufe können ihrerseits mehr oder minder fehleranfällig sein.

In /LAY 11/ werden Vorkehrungen dargestellt, die es ermöglichen sollen, sich an mögliche fehlentwickelte Situationen anzupassen. Die Beispiele wurden mit erfahrenen Projektmanagern und Baustellenbetreuern entwickelt (/LAY 11/, S. 98-99):

- Innehalten und bewerten der Situation (z. B. bewerte den Arbeitsplan neu und überlege, wo zusätzliche Hilfe benötigt wird und Problemstellungen auftreten können).
- Verbessere die Organisation vor Ort (z. B. prüfe und überarbeite Schichtpläne, Prozeduren, Instruktionen, Verantwortlichkeiten usw.).
- Führe eine schnelle Risikobewertung durch (z. B. Diskussion zwischen verschiedenen Führungskräften und Experten über die Risiken und abmildernde Maßnahmen und darüber, wer die Verantwortung für die Übernahme des Risikos trägt).
- Nutze Human-Performance-Tools (z. B. bewerte, welche Methoden genutzt werden können, die gerade nicht genutzt werden und inwieweit eine Schulung für den Einsatz der Methoden notwendig ist).
- Binde Spezialisten ein (z. B., um den Umgang mit Human-Performance-Tools zu trainieren).
- Kommuniziere mit den höheren Hierarchieebenen (z. B. frage nach Unterstützung).

- Fordere geschäftliche Hilfe an (z. B. eine Person auf die Anlage holen, die sich um die geschäftlichen Aspekte bei komplexen Tätigkeiten kümmert, damit der Projektmanager mehr Zeit für die Verwaltung der Tätigkeiten hat).
- Fordere logistische Hilfe an (z. B. jemanden der bei Bauelementen, Personen und Werkzeugen hilft, besonders bei dringenden Arbeiten).
- Sorge für ausreichende Ressourcen und Reserven an Personal, um Engpässe überwinden zu können (z. B. Mitarbeiter vorhalten, die in vielen Bereichen einsetzbar sind und die an die jeweiligen Arbeitsplätze reisen können, an denen Hilfe benötigt wird).

Die Recherche des Standes von Wissenschaft und Technik hat auch aktuell laufende, einschlägige Aktivitäten in internationalen Organisationen berücksichtigt. Das Ergebnis dieses Teils der Recherche ist wie folgt zusammenzufassen: Zur Unterstützung der Aufsichtsbehörden, Gutachter und Betreiber erarbeitet die OECD-NEA-CSNI Working Group „Human an Organizational Factors (WGHOFF)“ derzeit ein Dokument mit dem Titel „Organisational Capabilities for Decommissioning“: Das Dokument behandelt Herausforderungen und bestmögliche Vorkehrungen auf dem Gebiet der menschlichen, technischen und organisatorischen Faktoren in Unternehmen, deren Anlagen sich nach endgültiger Abschaltung vor oder in der Phase der Stilllegung befinden. Die Arbeiten laufen noch. Der hier berichtete, aktuelle Stand steht deshalb unter dem Vorbehalt möglicher Änderungen.

Das Dokument wird sich auf Themen konzentrieren, denen die WGHOFF eine besondere Bedeutung zuweist. Dabei handelt es sich nach dem derzeitigen Stand der Überlegungen um die

- systematische Bestimmung der Herausforderungen und bestmöglichen Vorkehrungen menschlich-technisch-organisatorischer Art mit Hilfe einer Methode,
- Qualifikation des Personals für Aufgaben in der Stilllegung,
- Führung des Eigen- und Fremdpersonals bei den Aufgaben und unter den Rahmenbedingungen, die die Stilllegung auszeichnen,
- Aufrechterhaltung einer starken Sicherheitskultur unter angemessener Berücksichtigung des Strahlenschutzes bei Stilllegungsaufgaben,
- Motivation des Personals, dessen Berufs- und Karriereperspektiven im Unternehmen nach dem definitiven Ende des Leistungsbetriebs durch den veränderten Bedarf an

Personal und Qualifikationen für die anstehenden Aufgaben in Frage gestellt sein können,

- Organisation der Planung, Lenkung und Durchführung von Aufgaben in der Stilllegung (wie z. B. die Zerlegung eines Reaktordruckbehälters) in Form zeitlich befristeter Projekten und die damit verbundenen Fragen der angemessenen Ausstattung des Projekts mit Personal und Ressourcen, der erforderlichen Schnittstellen zu anderen Projekten bzw. zur Aufbau- und Ablauforganisation der Anlage bzw. des Unternehmens und einer effektiven Organisation der sicherheitsrelevanten Arbeiten im Projekt.

Diese Punkte sollen in Bezug auf ihren Beitrag zur nuklearen bzw. radiologischen Sicherheit dargestellt werden. Das Dokument soll zu den aufgeführten Punkten auch praxisgerechte Vorgehensweisen beschreiben. Der Bereich ergonomisch-technischer Faktoren ist auf dem derzeitigen Stand nicht als eigenständiges Themenfeld vorgesehen, soll aber in geeigneter Form in die Endfassung eingehen. Die Methodenweiterentwicklung des vorliegenden Projekts konnte die Stoffsammlungen nutzen, die in der WGHOFF bisher zu den aufgeführten Punkten (Qualifizierung, Führung, Sicherheitskultur, Motivierung, Projektmanagement) erstellt worden waren. Es haben sich erhebliche Überschneidungen mit dem Erkenntnisstand aus dem Vorgängerprojekt (/GRS 10/) gezeigt.

Gesichtet wurden zudem insbesondere folgende Regeln und Richtlinien: IAEA GSR Part 2 /IAE 16a/, IAEA GSR Part 6 /IAE 14/, IAEA Safety Series Report No. 77 /IAE 13/, IAEA Nuclear Energy Series NW-T-2.8 /IAE 16b/, die „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ /BMU 15/ sowie die Regeln KTA 1402 /KTA 17/ und KTA 1301.2 /KTA 14/. Die in den Dokumenten enthaltenen Anforderungen gehen auf Vorkehrungen zum Schutz des Personals gegen ionisierende Strahlung ein. Diese Anforderungen sind aber allgemein gehalten und beziehen sich im Wesentlichen auf

- Personalschulung, bei Bedarf auch an Modellen oder Attrappen (sog. „mock-ups“),
- Planung der Arbeitsvorhaben inklusive einer geeigneten Aufgabenteilung zwischen Eigen- und Fremdpersonal, um Kenntnis der Anlage auf Seiten des Eigenpersonals und Spezialwissen des Fremdpersonals auf bestmögliche Weise zusammenzuführen,
- Kontroll- und Freigabeschritte und Einweisung der Ausführenden vor dem Beginn der Arbeiten,
- Unterstützung der Ausführenden durch Prozeduren,

- Begrenzung der Aufenthaltsdauer, Einhaltung von Abständen zu und Abschirmungen radioaktiv kontaminierter oder aktivierter Komponenten oder Reststoffen (wie z. B. Abfälle),
- klare Festlegung der Weisungs- und Entscheidungsbefugnisse bzw. der Pflichten zur Berichterstattung und zu einem sicherheitsgerichteten Verhalten auch für den Fall, dass Arbeiten nicht wie geplant ausführbar sein sollten,
- systematisches Lernen aus der Erfahrung.

Vorkehrungen sind auf der Grundlage einer systematischen Analyse und Bewertung der Risiken zu bestimmen, die mit einem Arbeitsvorhaben insbesondere im Hinblick auf Strahlenschutz und Arbeitssicherheit verbunden sind. Auch hier hat sich eine erhebliche Überschneidung mit dem Erkenntnisstand aus dem Vorgängerprojekt (/GRS 10/) gezeigt.

2.4.2 Zusammenstellung von Vorkehrungen

In Anlehnung an den Bericht /GRS 10/ werden die Erkenntnisse zu Vorkehrungen, die einem fehlerhaften Handeln entgegenwirken sollen, verschiedenen Bereichen zugeordnet. Diese sind:

- Führung des Eigen- und Fremdpersonals,
- Prozessorganisation,
- Prozessmanagement,
- Aufgabendesign, Prozeduren und Listen,
- personelle Vorkehrungen,
- Einweisung und Schulung des Personals,
- Ressourcen und Mittel sowie
- technische Randbedingungen der Aufgabenausführung.

Im Folgenden werden die oben genannten Bereiche im Einzelnen erläutert, insbesondere in Bezug auf die Stilllegung von Kernkraftwerken. Die bereits in /GRS 10/ entwickelten Vorkehrungen wurden im Wesentlichen übernommen und um die Erkenntnisse aus Abschnitt 2.4.1 ergänzt bzw. angepasst.

Vorkehrungen auf der Ebene der Führung

- Auch in der Stilllegung ist von der Anlagenleitung und den Führungskräften der Vorrang der Sicherheit zu formulieren und zu dokumentieren. Dies muss sowohl gegenüber dem Eigen- als auch dem Fremdpersonal sowohl in Worten als auch durch ihr Verhalten unmissverständlich und glaubwürdig zum Ausdruck kommen. Alle Personen, die Stilllegungsmaßnahmen ausführen, sollen die Möglichkeit haben, die Anlagenleitung und die Führungskräfte über alle möglichen Sicherheitsbedenken zu informieren. Des Weiteren sollten Personen unterstützt werden, die entscheiden, aus Sicherheitsgründen Stilllegungsarbeiten auszusetzen. Die Führungskräfte sollten aktiv nach Informationen, Rat und sonstiger Unterstützungsmaßnahmen, die von Untergebenen benötigt werden, suchen.
- Die Führungskräfte des Fremdpersonals sind ebenfalls angehalten, die Priorität der Sicherheit klar herauszustellen und durch vorbildliches Verhalten und eindeutige Stellungnahme ihren Mitarbeitern zu vermitteln.

Vorkehrungen auf der Ebene der Prozessorganisation

- Arbeitsvorhaben sollen auch für den Bereich der Stilllegung als Prozess organisiert sein.
- Die Prozessorganisation muss, was Art und Abfolge der Aufgaben betrifft, das Verfahrensschema der Instandhaltungsrichtlinie einhalten.

Vorkehrungen auf der Ebene des Prozessmanagements

- Der Prozess der Planung und Durchführung eines Arbeitsvorhabens ist einer qualifizierten Führung mit klar bestimmten Zuständigkeiten, Rechten und Pflichten zu unterstellen. Es sollten also klare Festlegungen der Weisungs- und Entscheidungsbefugnisse sowie die Pflichten der Berichterstattung (insbesondere für den Fall, dass Arbeiten nicht wie geplant ausführbar sein sollten) existieren. Es ist die Aufgabe des Betreibers, die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass Anweisungen an Untergebene, Überwachung der angewiesenen Arbeiten und Reaktionen auf eventuelle Abweichungen vom vorgesehenen Prozessablauf effektiv erfolgen können.
- Es muss für jede Aufgabe im Prozess der Planung und Durchführung eines Arbeitsvorhabens und zu jeder Zeitspanne eindeutig zuordenbar sein, wer als Führungskraft zuständig ist, Weisung erteilen darf und anstehende Entscheidungen zu treffen hat.

- Es ist sicherzustellen, dass jedem Mitarbeiter, der im Prozess der Planung und Durchführung eines Arbeitsvorhabens auf Weisung handelt, klar ist, von wem er Weisungen entgegenzunehmen hat.
- Planung der Arbeitsvorhaben inklusive einer geeigneten Aufgabenteilung zwischen Eigen- und Fremdpersonal, um Kenntnis der Anlage auf Seiten des Eigenpersonals und Spezialwissen des Fremdpersonals auf bestmögliche Weise zusammenzuführen.
- Die Planungen zu Stilllegungsmaßnahmen sollten bereits während der Laufzeit der Anlagen beginnen. Bei der Planung sind alle relevanten Änderungen der Anlage, die später die Stilllegungsmaßnahmen betreffen, zu dokumentiert (z. B. Unfälle, Veränderung der radiologischen Bedingungen usw.).
- Analoges gilt für die Festlegungen zu Projekten, wenn ein Arbeitsvorhaben als ein solches organisiert sein sollte.
- Arbeitsvorhaben sind demnach Prozesse bzw. Projekte im Sinne des Regelwerks und haben die darin enthaltenen Anforderungen zu erfüllen.

Vorkehrungen zu Aufgabendesign, Prozeduren und Listen

- Durchzuführende Handlungen und Handlungsabfolgen an der Anlage sollen detailliert festgelegt und schriftlich formuliert sein, so dass die handelnden Personen als auch die Führungskräfte eine genaue Referenz haben, welche Arbeiten ihnen obliegen.
- Arbeiten sind, soweit erforderlich, durch den Gebrauch von schriftlichen Prozeduren zu unterstützen.
- Prozeduren sollen einem Review und Genehmigungsprozess durch die für Sicherheit zuständige Abteilung des Betreibers durchlaufen.
- Regelmäßige Überprüfung und Überarbeitung von Schichtplänen, Prozeduren, Instruktionen und Verantwortlichkeiten usw.
- Zur Unterstützung der Identifikation sicherheitsrelevanter Arbeitsvorhaben sollte während der Stilllegung eine aktuelle Liste vorhanden sein (beim Betreiber), die Strukturen, Systeme und Komponenten beinhaltet, die für die Sicherheit der Anlage (noch) relevant sind.
- Qualitätssicherungsaufgaben sollten genau beschrieben werden, was Art des Prüfings, Prüfverfahren und Bewertungskriterien für das Prüfergebnis betrifft.

- Die Prozeduren und Listen sollen unter anderem der Gefahr entgegenwirken, dass aus dem Gedächtnis fehlerhaft gehandelt wird (zum Beispiel Auslassungs- und/oder Ausführungsfehler). Die Unterlagen unterstützen die Anweisungs- und Kontrollaufgaben der Führungskräfte und sind eine Grundlage für die Einweisung und Schulungen des Personals.

Personelle Vorkehrungen

- In allen Phasen und zeitlichen Abschnitten der Stilllegung ist Personal in ausreichender Zahl vorzusehen, dass die erforderlichen Qualifikationen und Kenntnisse aufweisen.
- Darüber hinaus müssen Vorkehrungen getroffen werden, um das institutionelle Wissen über die Anlage zu erhalten und zugänglich zu machen und, soweit es möglich ist, dass „Schlüsselpersonal“ zu erhalten. Hier sind unter anderem Strategien wie Beschäftigungsgarantien für mittel- und langfristige Zeiträume und Aus- und Umschulungsangebote für anstehende Arbeiten zu nennen.
- Es sollte möglichst transparent, wahrheitsgemäß und frühzeitig anstehende Veränderungen kommuniziert werden (insbesondere solche, die sich direkt oder indirekt auf das betrachtete Arbeitsvorhaben auswirken können).

Vorkehrungen zur Einweisung und Schulung des Personals

- Eigen- und Fremdpersonal sowie deren Führungskräfte sollen in die anstehenden Aufgaben eingewiesen werden.
- Führungskräfte sollten im Bereich der Mitarbeiterbetreuung und Mitarbeitermotivierung geschult werden.
- Schulung in den relevanten Human-Performance-Tools
- Stehen Handlungen an, die erstmalig oder selten auftreten, auch für erfahrenes Eigen- oder Fremdpersonal schwierig sind und (oder) schnell ausgeführt werden müssen, um zum Beispiel die Strahlenexposition zu minimieren, sollen diese Arbeiten vor der Ausführung an genauen Modellen oder Attrappen (sog. „mock-ups“) trainiert werden.
- Um sich mit den Aufgaben vertraut machen zu können, sollten die Ausführenden die Arbeitsbeschreibungen bzw. Prozeduren zeitig vor dem Termin der Einweisung in die Arbeiten erhalten. Dies hilft auch, eventuelle Unklarheiten frühzeitig zu erkennen und aufzuklären.

- Einweisungen und Training verfestigen das Wissen zu korrekten Vorgehensweisen und wirken somit Fehlern entgegen. Eine Einweisung am Ort der Ausführung erhöht die Anschaulichkeit der Erläuterungen und trägt dazu bei, Verwechslungen mit Anlagenteilen zu vermeiden, an denen nicht zu arbeiten ist.

Vorkehrungen im Bereich der Ressourcen und Mittel für die Aufgabenerfüllung

- Die eingeplante Ausführungszeit sollte für alle Arbeiten großzügig bemessen sein, sofern es die technischen Rahmenbedingungen der Aufgabenerfüllung mit eventuell engen Zeitintervallen für die Bearbeitung der Aufgaben erlauben. Als Richtwert dient, für die Erfüllung so viel Zeit vorzusehen, dass das Personal die Aufgabe auch dann erfolgreich ausführen kann, wenn plausible Fehler auftreten, die es erkennen und beheben kann.
- Der Arbeitseinsatz sollte, wenn es die technischen Rahmenbedingungen der Aufgabe erlauben, durch Pausen unterbrochen werden. Wenn möglich, soll es mehrere kürzere Pausen statt einer einzigen, längeren Pause geben, weil letztere einen geringeren Erholungswert besitzt als mehrere kürzere Pausen, auch wenn sie gleich lange dauert wie die zusammengezählten Erholungszeiten der kürzeren Pausen.
- Die Dauer eines Arbeitseinsatzes soll so festgelegt sein, dass Arbeitseinsätze enden, bevor die Ermüdung ein Ausmaß erreicht, das die korrekte Aufgabenerfüllung infrage stellt.
- Für die Dauer eines Arbeitseinsatzes soll ausreichend zahlreiches und qualifiziertes Personal bereitstehen, um Mitarbeiter rechtzeitig bzw. zügig ersetzen zu können, die nach eigenem Bekunden und (oder) nach Einschätzung der zuständigen Führungskräfte zu Beginn oder im Verlauf des Arbeitseinsatzes nicht oder nicht mehr in der Lage sind, ihre Aufgaben korrekt zu erfüllen (z. B. Mitarbeiter vorhalten, die in mehreren Bereichen einsetzbar sind an denen Hilfe benötigt wird). Die Ablösung eines Mitarbeiters darf diesem nicht als Versagen oder Drückebergerei angelastet werden.
- Jeder Mitarbeiter soll, sofern erforderlich bzw. praktikabel, für seine Aufgaben eine Aufgabenbeschreibung erhalten, die er an den Ort der Arbeiten mitnimmt. Zu dieser Aufgabenbeschreibung haben alle Unterlagen zu gehören, die er für die Ausführung der angewiesenen Aufgaben benötigt.
- Komponenten sollen sowohl in den Unterlagen als auch vor Ort eine eindeutige, vor Ort auch deutlich sichtbare Kennzeichnung haben, um die richtige Zuordnung zwischen Anweisungen in den Unterlagen und Handlungsobjekt zu unterstützen.

- Die benötigte Ausrüstung soll rechtzeitig vor Beginn der Arbeiten bereitstehen, um Zeitdruck durch Warten auf die Bereitstellung zu vermeiden.
- Der Zustand der benötigten Ausrüstung ist vor dem Arbeitseinsatz zu überprüfen, um zu erkennen, ob sie vollständig ist, in allem Punkten den Anforderungen entspricht und (oder) keinen Teil enthält, der vor Ort nicht gebraucht wird oder nicht benutzt werden darf. Hierbei ist insbesondere darauf zu achten, dass die verwendeten Arbeitsmittel für Abbautätigkeiten (zum Beispiel spezielle Sägen etc.) auch regelmäßig gewartet werden, um im erforderlichen ordnungsgemäßen Zustand zu sein.
- Qualitätsprüfungen sollen zeitig stattfinden, um eventuell erforderlichen Ersatz mit der nachgewiesenen erforderlichen Qualität rechtzeitig vor Beginn der Arbeiten zur Hand zu haben.
- Arbeitsorte und Arbeitswege sollen möglichst frei von allen Objekten sein, die nicht für die anstehenden Aufgaben erforderlich sind und die den Raum für Arbeits- und (oder) Transportbewegungen einschränken. Dazu gehören zum Beispiel Gerüste, abgestellte Geräte oder gelagerte Materialien.
- Die Ausführenden sollen soweit möglich nicht gleichzeitig Unterlagen, Schlüssel und Hilfsmittel für mehrere Aufgaben erhalten, um deren Verwechslung bei der Durchführung einer anstehenden Arbeit zu unterbinden.
- Vor und unmittelbar nach Arbeitseinsätzen soll ein Inventar erstellt werden, das die Objekte verzeichnet, die das Personal an dem Ort einer sicherheitsrelevanten Aufgabe mitnimmt und von dort wieder zurückbringt. Die Liste ist auf Diskrepanzen zu prüfen. Fehlen Objekte, wie zum Beispiel Werkzeuge oder Helme, die der Ausführende nach Beendigung seiner Arbeit zurückzubringen hätte, ist darüber zu entscheiden, wie und wo das vermisste Objekt zu suchen und wie es zu bergen ist. Ad-hoc-Aktionen haben zu unterbleiben, weil Suche und Bergung des Gegenstandes eine Aufgabe sein können, die besonderer Vorkehrungen auf dem Gebiet der Sicherheit bedarf.
- Der Informationsfluss über Änderungen an der Anlage soll so gestaltet sein, dass insbesondere alle vorbereitenden Arbeiten und alle Freigaben mit der Kenntnis des aktuellen Ist-Zustands der Anlage stattfinden können.
- Alle sicherheitsrelevanten Erfahrungen zum Arbeitsablauf sollen systematisch gesammelt, ausgewertet und in spätere Arbeitsvorhaben genutzt werden, um denkbaren Fehlern durch Eigen- und Fremdpersonal vorzubeugen.

Vorkehrungen im Bereich der technischen Rahmenbedingungen der Aufgabenerfüllung

- Die Anlage soll soweit möglich so ausgelegt sein, dass absehbare Arbeiten mit keinen suboptimalen Beanspruchungen einhergehen. Sicherheitsrelevante Anlagenteile sollten auch in der Stilllegung nach Möglichkeit nachhaltig gegen unabsichtliche Beschädigung, Bedienung oder sonstige unzulässige Zustandsänderungen, Verwechslung und Zweckentfremdung geschützt sein. Sofortige sicherheitsrelevante Auswirkungen denkbarer Fehler sollten durch Freischaltungen vermieden werden.
- Lassen sich dauerhafte Vorkehrungen nicht verwirklichen, sollen über erforderliche Freischaltungen hinaus temporäre Abschirmungen gegen unabsichtliche Beschädigung, Bedienung oder sonstige unzulässige Zustandsänderungen, Verwechslung und Zweckentfremdung vorgenommen werden.
- Dauerhaften Schutz gegen Verwechslungen insbesondere bieten Formkodierungen und Zugangshindernisse:
 - Die Formkodierung besteht darin, einem Objekt eine Form zu geben, die seine Verwendung idealerweise auf eine einzige Möglichkeit einschränkt. Beispiele sind Stecker, die nur in eine Buchse passen.
 - Zugangshindernisse sind zum Beispiel Schlösser, die man nur mit einem Schlüssel öffnen kann.

2.5 Zusammenfassung

Als eine Erkenntnis aus der Recherche des Standes von Wissenschaft und Technik in Abschnitt 2.2 ergab sich, dass die Definition der Sicherheitsrelevanz, wie sie in /GRS 10/ verwendet wird, nicht ohne Anpassungen auf Arbeitsvorhaben in der Stilllegung anwendbar ist. Hierzu wurde der relevante Stand von Wissenschaft und Technik, insbesondere aus dem nationalen kerntechnischen Regelwerk, aufgeführt. Die Anpassungen der Definition der Sicherheitsrelevanz für die Anwendung auf Arbeitsvorhaben in der Stilllegung werden detailliert in Kapitel 3 dargelegt.

In Abschnitt 2.3 konnte auf Basis des wissenschaftlich-technischen Erkenntnisstandes ermittelt werden, dass bezüglich der Fehlerklassifikation kein Bedarf einer Anpassung besteht. Diese Klassifikation unterscheidet Unterlassungs-, Ausführungs- und Verwechslungsfehler. Die Klassifikation soll ein systematisches Ermitteln von Fehlermöglichkeiten

unterstützen. Auch bei der Recherche zu Fehlerursachen ergab sich kein wesentlicher Bedarf einer Anpassung gegenüber /GRS 10/. Es wurden lediglich einige leistungsbestimmende Faktoren ergänzt bzw. angepasst und den Kategorien Mensch, Technik und Organisation zugeordnet. Die zusammengestellte Liste (Abschnitt 2.3.4) unterstützt ein systematisches Ermitteln möglicher leistungsbestimmender Faktoren. Zudem soll die hier beschriebene Betriebserfahrung zu Fehlerursachen bzw. Fehlermechanismen bei menschlichem Handeln dabei unterstützen, die Plausibilität eines Fehlers zu beurteilen.

In Abschnitt 2.4 werden Fehlervorkehrungen behandelt, die darauf abzielen, das Auftreten von Fehlern zu minimieren. Auf Basis des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik konnte auch hier ermittelt werden, dass es eine erhebliche Überschneidung mit den Erkenntnissen aus dem Projekt /GRS 10/ gibt. So wurden auch hier die Erkenntnisse aus /GRS 10/ als Grundlage verwendet, welche mit den neuen Erkenntnissen ergänzt wurden.

3 Anpassung der Methode

3.1 Einführung

Die Methode der GRS zu Vorkehrungen gegen Fehler bei sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben /GRS 10/ wurde für die Anwendung auf Instandhaltungen, Änderungen, Nach- und Umrüstungen in der Betriebsphase entwickelt. In diesem Kapitel wird dargestellt, wie die Methode auf die veränderten Gegebenheiten in der Nachbetriebsphase und in der Stilllegung angepasst wurde.

Die GRS-Methode /GRS 10/, die ursprünglich für Arbeitsvorhaben im Betrieb entwickelt wurde, kann mit den in den Abschnitten dieses Kapitels aufgeführten Anpassungen auf alle Arbeitsvorhaben, die Arbeitsausführungen enthalten, angewendet werden. Die Methode kann bei der Planung von Arbeitsvorhaben und bei der Vorbereitung von bereits geplanten Arbeitsvorhaben angewandt werden und ermöglicht, wie auch in /GRS 10/, die systematische Bestimmung sicherheitsrelevanter Personalhandlungen bei der Arbeitsausführung, die Identifikation denkbarer Fehler und die Ermittlung geeigneter Fehlervorkehrungen.

In Abschnitt 3.2 wird der Begriff der Sicherheitsrelevanz, der ein wesentliches Kriterium für die Auswahl von im Detail zu untersuchenden Arbeitsvorhaben darstellt, aufbauend auf dem in Abschnitt 2.2 dargestellten relevanten Stand von Wissenschaft und Technik auf die veränderten Gegebenheiten in der Nachbetriebsphase und in der Stilllegung angepasst.

In Abschnitt 3.3 wird dargelegt, dass die Instandhaltungsrichtlinie /BMI 78/, die bei der ursprünglichen Methode /GRS 10/ als Grundlage für die Zerlegung des Arbeitsvorhabens in Aufgaben und Teilaufgaben verwendet wurde, auch für die Zerlegung von Arbeitsvorhaben in der Nachbetriebsphase und in der Stilllegung angewandt werden kann.

In Abschnitt 3.4 wird auf die Anpassungen eingegangen, die sich für die Bestimmung von Fehlervorkehrungen bei sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben in der Nachbetriebsphase und in der Stilllegung ergeben.

In Abschnitt 3.5 wird die auf den Nachbetrieb und die Stilllegung angepasste Methode noch einmal zusammenfassend dargestellt.

3.2 Anpassungen zur Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben

Die in diesem Projekt angepasste Methode zur Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen in sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben für Anlagen im Nachbetrieb und in der Stilllegung verwendet den Begriff der Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben und Personalhandlungen. Auf Basis des in Abschnitt 2.2 aufgeführten relevanten Standes von Wissenschaft und Technik wurde eine neue Bewertung der Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben entwickelt, die für die angepasste Methode verwendet wird. Für die Bewertung der Sicherheitsrelevanz eines Arbeitsvorhabens im Nachbetrieb und in der Stilllegung wird direkt auf die Einhaltung der Schutzziele und radiologischen Sicherheitsziele zurückgegriffen. Bei der Bewertung der Sicherheitsrelevanz eines Arbeitsvorhabens bekommen somit auch radiologische Aspekte einen hohen Stellenwert.

Ein Arbeitsvorhaben im Nachbetrieb und in der Stilllegung wird als sicherheitsrelevant bewertet, wenn es eine oder mehrere Personalhandlungen beinhaltet, bei der bzw. denen

- es auf Grund einer menschlichen Fehlhandlung zur Anforderung oder Beeinträchtigung von Komponenten kommen kann, die für die Einhaltung der relevanten Schutzziele und radiologischen Sicherheitsziele benötigt werden (sicherheitsrelevante Komponenten) (Kriterium S1)

oder

- es auf Grund einer menschlichen Fehlhandlung zu einer Beeinträchtigung von Strahlenschutzmaßnahmen kommen kann, die im Sinne der Dosisreduzierung von Personen oder zur Vermeidung einer Weiterverbreitung von Radionukliden festgelegt wurden (Kriterium S2).

Derartige menschlichen Fehlhandlungen und Fehlerkonsequenzen werden in dem Bericht ebenfalls als sicherheitsrelevant bezeichnet. Bezüglich des ersten Kriteriums S1 (Betrachtung der Komponenten) sei darauf hingewiesen, dass eine Beeinträchtigung der Komponente direkt oder indirekt über Schnittstellen zu anderen Komponenten erfolgen kann. Die Bestimmung der sicherheitsrelevanten Komponenten erfolgt durch den Anwender der Methode auf Basis der relevanten technischen Dokumente und den zu unterstellenden Ereignissen. Ein wesentliches Kriterium für die noch zu unterstellenden Ereignisse ist das Gefährdungspotenzial der Anlage. Die Bestimmung der sicherheitsrelevanten Strahlenschutzmaßnahmen erfolgt ebenfalls durch den Anwender unter Berücksichtigung der relevanten technischen Dokumente sowie des radiologischen Ausmaßes der Fehlerkonsequenzen.

3.3 Anpassungen zur Zerlegung von Arbeitsvorhaben in Aufgaben unter Verwendung der Instandhaltungsrichtlinie auf Arbeitsvorhaben im Nachbetrieb und in der Stilllegung

Die Richtlinie zum Vorgehen bei der Vorbereitung und Durchführung von Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten in Kernkraftwerken (Instandhaltungsrichtlinie) /BMI 78/ ist gemäß Stilllegungsleitfaden /BMU 16/ auch in der Stilllegung allgemein gültig und somit vollumfänglich für das Stilllegungsverfahren anzuwenden. Die Instandhaltungsrichtlinie enthält im Wesentlichen ein Verfahrensschema, das für bestimmte Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten anzuwenden ist. Das Schema zerlegt die Arbeiten in einzelne Schritte, für die /BMI 78/ spezifische Vorgaben auflistet.

In /BMI 78/ sind spezifische Arbeiten aufgeführt, die in den Anwendungsbereich des Verfahrens fallen. Nachfolgend werden einige dieser aufgelisteten Arbeiten exemplarisch aufgeführt:

- Arbeiten an sicherheitstechnisch wichtigen Systemen oder Anlageteilen,
- Arbeiten, bei denen die Gefahr einer erhöhten Strahlenexposition (auch infolge Kontamination und Inkorporation) zu besorgen ist,
- Arbeiten an Systemen oder Anlageteilen, die radioaktive Medien führen, sofern eine Freisetzung radioaktiver Stoffe während der Arbeiten zu besorgen ist,
- Arbeiten an Systemen oder Anlageteilen, in denen Medien unter Druck stehen oder die heiße Medien führen, sofern eine Freisetzung dieser Medien während der Arbeiten zu besorgen ist,
- Arbeiten an Systemen oder Anlageteilen, die gefährliche Arbeitsstoffe enthalten,
- Schweiß-, Brenn- und Schleifarbeiten an Systemen oder Anlageteilen,
- Arbeiten an Einrichtungen der Anlagensicherung.

Auf Basis dieser Liste wird für viele der in der Stilllegung neu stattfindenden Arbeiten (bspw. Dekontaminationsarbeiten oder Zerlegearbeiten) auch das Verfahrensschema der Instandhaltungsrichtlinie anzuwenden sein. Insgesamt heißt es in /BMI 78/, dass das Verfahren gemäß Abschnitt 5 der Richtlinie auf Instandhaltungsarbeiten (inkl. wiederkehrende Prüfungen) oder Änderungsarbeiten an Systemen oder einzelnen Anlageteile, falls eine Gefährdung von Personen oder eine Beeinträchtigung der Anlagensicherheit nicht auszuschließen ist, anzuwenden ist.

Die Methode der GRS zu Vorkehrungen gegen Fehler bei sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben ist auch für den Nachbetrieb und die Stilllegung (wie bereits für den Betrieb /GRS 10/) mit der Instandhaltungsrichtlinie /BMI 78/ kompatibel und kann ebenso für die Zerlegung von Arbeitsvorhaben in Aufgaben im Nachbetrieb und in der Stilllegung angewandt werden.

3.4 Anpassung an Fehlervorkehrungen im Nachbetrieb und in der Stilllegung

Die Methode deckt mit ihren generisch formulierten Vorkehrungen alle Arbeitsvorhaben in den Phasen des Nachbetriebs und der Stilllegung ab. Die Recherche des Standes von Wissenschaft und Technik hat lediglich kleinere Anpassungen und Ergänzungen der generisch festgelegten Vorkehrungen ergeben (siehe Abschnitt 2.4).

3.5 Zusammenfassung und Überblick über die aktualisierte Methode zur Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen in sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben für Anlagen im Nachbetrieb und in der Stilllegung

Im vorliegenden Projekt ist die Methode, mit der mögliche Fehler bei sicherheitsrelevanten Instandhaltungen, Änderungen, Nach- und Umrüstungen einer Anlage analysiert sowie wirksame Vorkehrungen gegen solche Fehler bestimmt werden können (/GRS 10/, Kapitel 6), auf Arbeitsvorhaben übertragen worden, die nach endgültiger Abschaltung einer Anlage anstehen.

Eine kritische Sichtung der Methode /GRS 10/ und des Standes von Wissenschaft und Technik hat zu dem Ergebnis geführt, dass diese Methode mit gewissen Anpassungen auch auf Arbeitsvorhaben im Nachbetrieb und in der Stilllegung anwendbar ist, denn sie erfasst Aufgaben, Handlungen, leistungsbestimmende Faktoren, Fehlermöglichkeiten und Vorkehrungen mit umfassenden und generischen Kategorien, die im Prinzip auf jedes Arbeitsvorhaben anwendbar sind (zu diesen Kategorien siehe /HAC 14/, Kapitel 2 und 3). Die Anlehnung an die Instandhaltungsrichtlinie /BMI 78/ für die Zerlegung von Arbeitsvorhaben in Aufgaben kann ohne Einschränkungen auf alle Arbeitsvorhaben im Nachbetrieb und in der Stilllegung übertragen werden.

Insgesamt sind die folgenden Anpassungen der Methode aus dem Vorgängerprojekt /GRS 10/ erforderlich:

- Der Anwendungsbereich wird von sicherheitstechnisch bedeutsamen Instandhaltungen, Änderungen, Nach- und Umrüstungen auf sicherheitsrelevante Arbeitsvorhaben verallgemeinert. Der Begriff Arbeitsvorhaben umfasst sowohl Instandhaltungen, Änderungen, Nach- und Umrüstungen als auch Entsorgungs- und Abbauarbeiten.
- Der Begriff „sicherheitsrelevant“ ersetzt die Formulierung „sicherheitstechnisch bedeutsam“, um den expliziten Bezug nur auf die Sicherheitstechnik zu vermeiden. Eine detaillierte Darlegung der Bewertung der Sicherheitsrelevanz von Arbeitsvorhaben und Personalhandlungen findet sich in Abschnitt 2.2.
- Bei den leistungsbestimmenden Faktoren und den Fehlervorkehrungen wurden Anpassungen und Ergänzungen zu den im Projekt /GRS 10/ ermittelten Punkten gemacht (siehe Abschnitt 2.3.4 und 2.4.2).

Mit diesen Anpassungen kann die Dokumentation der Methode aus dem Projekt /GRS 10/ weiterhin genutzt werden.

Die Methode zur Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen in sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben für Anlagen im Nachbetrieb und in der Stilllegung gliedert sich in die folgenden zwei Teile:

- Erfassung von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben und
- Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen bei Personalhandlungen.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der beiden Teile der Methode detaillierter beschrieben.

3.5.1 Erfassung von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben

Der erste Schritt der Methode wird angewandt, um Arbeitsvorhaben zu bestimmen, die gemäß Abschnitt 3.2 als sicherheitsrelevant definiert werden. In Abb. 3.1 findet sich eine Übersicht über die Methode, welche die systematische Vorgehensweise illustriert. Es sind zwei Stränge vorgesehen. Der linke Strang behandelt die sogenannte Komponentenbetrachtung und orientiert sich an der in /GRS 10/ dargestellten Methode für Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten im Betrieb mit den in den vorherigen Abschnitten dargestellten Besonderheiten zur Übertragbarkeit auf den Nachbetrieb und die Stilllegung. Der rechte Strang der Methode behandelt die sogenannte Strahlenschutz betrachtung. Im

Folgenden werden die einzelnen Schritte der Methode zur Erfassung von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben dargestellt. An vielen Stellen wird auch auf die detaillierteren Informationen in /GRS 10/ verwiesen.

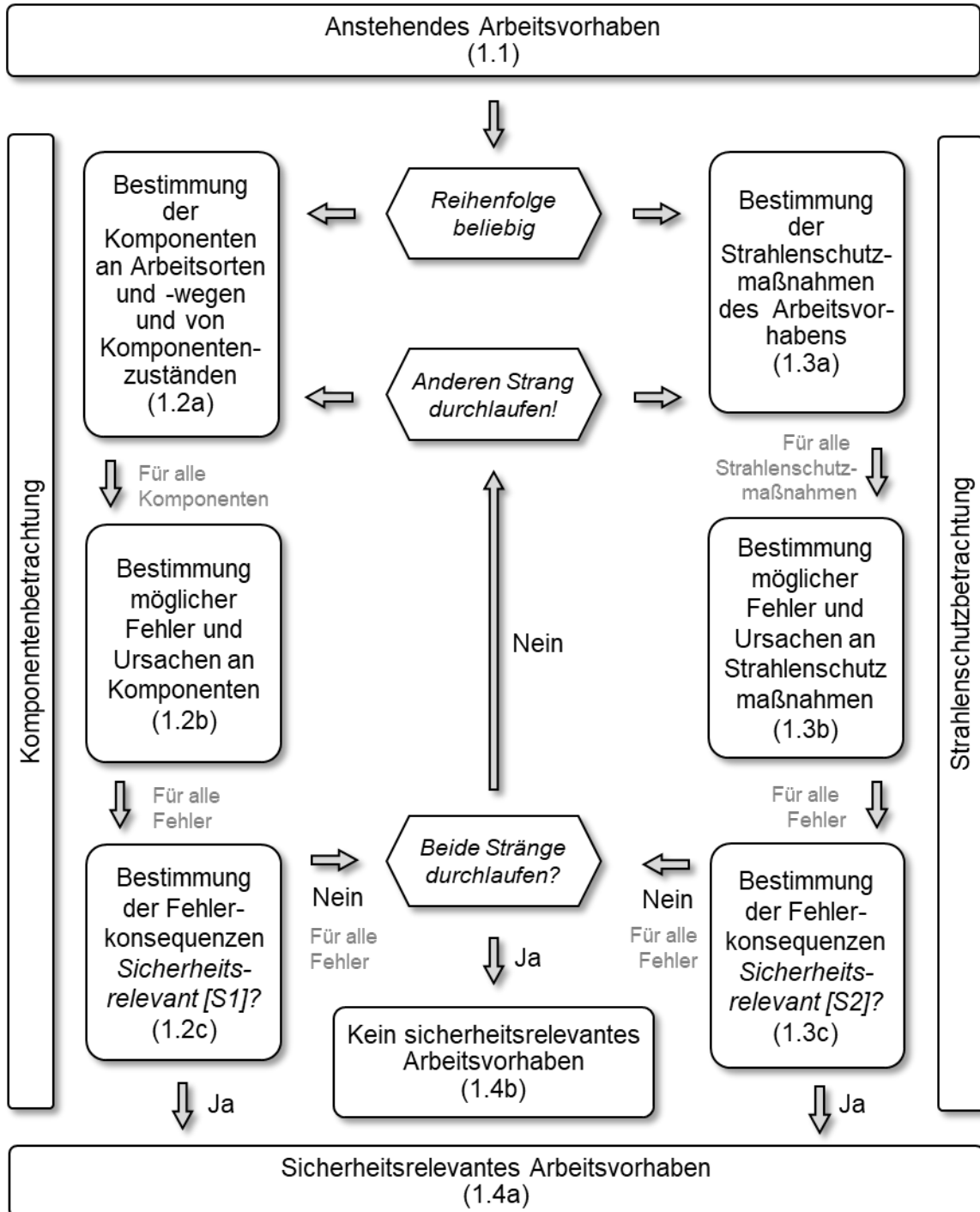


Abb. 3.1 Teil 1 der Methode: Erfassung von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben
 Die Methode gliedert sich in einen linken bzw. rechten Strang mit den Schritten 1.2a bis 1.2c bzw. 1.3a bis 1.3c (siehe Abschnitt 3.5.1) und bewertet die Sicherheitsrelevanz eines anstehenden Arbeitsvorhabens anhand der Kriterien S1 und S2 (gemäß Abschnitt 3.2).

Anstehendes Arbeitsvorhaben (1.1)

Der Anwendungsbereich der Methode erstreckt sich auf alle Instandhaltung-, Änderungs-, Entsorgungs- und Abbauarbeiten im Nachbetrieb und in der Stilllegung, die nicht unverzüglich durchgeführt werden müssen, um Gefahren für Menschen, Umwelt und Anlage abzuwenden bzw. Störungen, Störfälle und Notfälle einschließlich ihrer Folgen zu bewältigen. Diese Ausnahmeregelung steht in Einklang mit derjenigen der „Richtlinie für die Vorbereitung und Durchführung von Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten in Kernkraftwerken“ (/BMI 78/). Details sind in Abschnitt 5.1.2 von /GRS 10/ zu finden.

Für die Bewertung der Sicherheitsrelevanz eines Arbeitsvorhabens ist einer der beiden Stränge der Methode (Abb. 3.1) prioritär auszuwählen, die Reihenfolge ist jedoch beliebig. Für Arbeitsvorhaben, für die keine Strahlenschutzmaßnahmen notwendig sind, kann die Methode auf den linken Strang reduziert werden. Die Zerlegung in die beiden Stränge wurde gewählt, um dem Anwender eine schnelle Identifizierung von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben zu ermöglichen. Es ist trotzdem zu empfehlen die beiden Stränge von Schritt 1 der Methode zu durchlaufen, auch wenn bereits nach dem Durchlaufen eines ersten Strangs ein sicherheitsrelevantes Arbeitsvorhaben identifiziert wurde. Die zusammengetragenen Informationen sind für Schritt 2 zur Bewertung von Fehlern und Fehlerursachen noch weiter verwendbar und der Anwender hat so bereits erste Anhaltspunkte zu möglichen Fehlern in beiden Bereichen, der Komponenten- und der Strahlenschutz-betrachtung.

Im Folgenden wird mit der Darstellung für den linken Strang der Methode begonnen.

Bestimmung der Komponenten an Arbeitsorten und -wegen und von Komponentenzuständen (1.2a)

In diesem Schritt sind durch den Anwender für den Arbeitsort und den Arbeitsweg alle Komponenten,

- deren Zustand das Personal im Zuge des anstehenden Arbeitsvorhabens verändern muss,
- die in der Anlage im Zuge des Arbeitsvorhabens neu errichtet werden,
- deren Zustand das Personal nicht verändern soll, bei denen aber unterstellt werden kann, dass sie das Personal durch fehlerhaftes Handeln unabsichtlich beschädigt oder betätigt (dies schließt auch eine Beschädigung von Komponenten ein, die zu einem nicht erwünschten Austritt von Radionukliden führen könnte),

zu bestimmen. Weitere Details zu diesem Schritt finden sich in Abschnitt 5.1.3 von /GRS 10/.

Der folgende Schritt 1.2b ist für alle in Schritt 1.2a identifizierten Komponenten durchzuführen.

Bestimmung möglicher Fehler und Ursachen an Komponenten (1.2b)

In diesem Schritt sind potenziell mögliche menschliche Fehlhandlungen, die zu unzulässigen Komponentenzuständen führen, zu bestimmen. Insbesondere sind im Rahmen einer Grobbewertung

- relevante leistungsbestimmende Faktoren für die Durchführung der Arbeiten im Rahmen des Arbeitsvorhabens,
- mögliche Fehlerursachen und
- Beeinträchtigungen an Komponenten, die als Folge menschlicher Fehlhandlungen zu unterstellten sind,

durch den Anwender der Methode zu bestimmen. Für die detaillierte Vorgehensweise wird an dieser Stelle auf Abschnitt 5.1.3 von /GRS 10/ verwiesen. Eine Auflistung leistungsbestimmender Faktoren sowie möglicher Fehlerursachen findet sich in Abschnitt 2.3 dieses Berichtes.

Der Schritt beinhaltet auch die Bewertung der Plausibilität der Ursache und Auswirkung von Fehlhandlungen bei der Durchführung der Tätigkeiten, die im Rahmen des Arbeitsvorhabens durchgeführt werden. Details zur Plausibilität dieser Handlungsfehler sind in Abschnitt 5.1.3.5 von /GRS 10/ zu finden. Hiernach wird ein möglicher Fehler als plausibel angesehen, wenn

- entsprechende und (oder) übertragbare Fälle in der Betriebserfahrung vorliegen,
- Ausführende mit ihren Erfahrungen aus gleichen oder vergleichbaren Arbeiten spontan oder bei Befragung auf diese Möglichkeiten hinweisen oder
- Sichtprüfungen klar erkennen lassen, dass mit Beschädigungen und (oder) Betätigungen der beschriebenen Art zu rechnen ist.

Das Ergebnis des Schrittes ist für jede in 1.2a bestimmte Komponente eine Zusammenstellung aller plausiblen menschlichen Fehler und deren leistungsbestimmende Faktoren.

Der folgende Schritt 1.2c ist für alle Fehler durchzuführen.

Bestimmung der Fehlerkonsequenzen (1.2c)

In diesem Schritt werden die Fehlerkonsequenzen (in /GRS 10/ als Fehlerfolgen bezeichnet) der im vorherigen Schritt zusammengestellten Fehler an den relevanten Komponenten bestimmt und deren Sicherheitsrelevanz bewertet. Hierzu sind

- die Konsequenzen der unterstellten Beeinträchtigungen und
- die Sicherheitsrelevanz der Konsequenzen

durch den Anwender zu bestimmen. Details zur Bestimmung der Konsequenzen der unterstellten Beeinträchtigung finden sich in den Abschnitten 5.1.3.6 und 5.1.3.7 von /GRS 10/.

Die Methode unterscheidet gemäß /GRS 10/ drei Arten der Fehlerkonsequenzen. Im Folgenden sind diese unter Anwendung des Kriteriums S1 (s. Abschnitt 3.2) zur Bewertung der Sicherheitsrelevanz eines Arbeitsvorhabens für die veränderten Gegebenheiten im

Nachbetrieb und in der Stilllegung angepasst aufgeführt. Eine unterstellte, fehlerhafte Zustandsänderung

- ist ein auslösendes Ereignis, das Eingriffe durch Komponenten, die zur Einhaltung der Schutzziele und radiologischen Sicherheitsziele benötigt werden, erfordert,
- tritt bei Arbeiten an Komponenten, die zur Einhaltung der Schutzziele und radiologischen Sicherheitsziele benötigt werden, auf und beeinträchtigt deren Funktion oder
- findet an sonstigen Komponenten statt und beeinträchtigt über Schnittstellen Komponenten, die zur Einhaltung der Schutzziele und radiologischen Sicherheitsziele benötigt werden.

Alle derartigen Konsequenzen sind anhand der Unterlagen über die baulichen und technischen Einrichtungen der Anlage und des Arbeitsvorhabens durch den Anwender zu ermitteln. Für jede Konsequenz eines denkbaren Fehlers ist die Sicherheitsrelevanz gemäß Kriterium S1 (siehe Abschnitt 3.2) zu bewerten.

Ein gesamtes Arbeitsvorhaben wird dann als sicherheitsrelevant bezeichnet, wenn mindestens eine Fehlerkonsequenz identifiziert wurde, die als sicherheitsrelevant bewertet wurde. Ist dies in diesem Schritt für eine Fehlerkonsequenz geschehen, so ist die Frage der Sicherheitsrelevanz (siehe Abb. 3.1) mit „Ja“ zu beantworten und der nachfolgende Schritt ist 1.4a. Nur wenn die Konsequenzen aller Fehler an allen Komponenten als nicht sicherheitsrelevant eingestuft wurden, so ist die Frage mit „Nein“ zu beantworten. Je nach gewählter Reihenfolge ist die Methode in Folge mit dem rechten Strang (Schritte 1.3a bis 1.3c) oder mit der Einstufung des Arbeitsvorhabens als nicht sicherheitsrelevant fortzusetzen.

Das Ergebnis des Schrittes ist eine Zusammenstellung aller Konsequenzen der durch das Screening ermittelten Fehler an den relevanten Komponenten, einer zugeordneten Bewertung der Sicherheitsrelevanz der einzelnen Konsequenzen sowie einer abschließenden Bewertung der Sicherheitsrelevanz des Arbeitsvorhabens gemäß Kriterium S1.

Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei der Durchführung des rechten Strangs der Methode (Schritte 1.3a bis 1.3c) dargestellt.

Bestimmung der Strahlenschutzmaßnahmen des Arbeitsvorhabens (1.3a)

In diesem Schritt sind durch den Anwender für den Arbeitsort und den Arbeitsweg alle Strahlenschutzmaßnahmen,

durch den Anwender der Methode zu bestimmen. Die Bestimmung erfolgt auf Basis der Unterlagen über die baulichen, technischen und administrativen Strahlenschutzmaßnahmen, die relevant für das Arbeitsvorhaben sind.

Der folgende Schritt 1.3b ist für alle identifizierten Strahlenschutzmaßnahmen durchzuführen.

Bestimmung möglicher Fehler und Ursachen an Strahlenschutzmaßnahmen (1.3b)

In diesem Schritt sind potenziell mögliche menschliche Fehlhandlungen, die zu einer Beeinträchtigung der Wirksamkeit von Strahlenschutzmaßnahmen führen, im Rahmen einer Grobbewertung zu bestimmen. Insbesondere sind

- relevante leistungsbestimmende Faktoren für die Durchführung der Arbeiten im Rahmen des Arbeitsvorhabens,
- mögliche Fehlerursachen und
- Beeinträchtigungen an Strahlenschutzmaßnahmen, die als Folge menschlicher Fehlhandlungen zu unterstellten sind

durch den Anwender der Methode zu bestimmen. Für die detaillierte Vorgehensweise wird an dieser Stelle auf Abschnitt 5.1.3 von /GRS 10/ verwiesen. Eine Auflistung leistungsbestimmender Faktoren sowie möglicher Fehlerursachen findet sich in Abschnitt 2.3 dieses Berichtes.

Der Schritt beinhaltet auch die Bewertung der Plausibilität der Ursache und Auswirkung von Fehlhandlungen bei der Durchführung der Tätigkeiten, die im Rahmen des Arbeitsvorhabens durchgeführt werden. Details zur Plausibilität dieser Handlungsfehler sind in Abschnitt 5.1.3.5 von /GRS 10/ zu finden. Hiernach wird eine Beeinträchtigung als plausibel angesehen, wenn

- entsprechende und (oder) übertragbare Fälle in der Betriebserfahrung vorliegen,
- Ausführende mit ihren Erfahrungen aus gleichen oder vergleichbaren Arbeiten spontan oder bei Befragung auf diese Möglichkeiten hinweisen oder

- Sichtprüfungen klar erkennen lassen, dass mit Beschädigungen und (oder) Betätigungen der beschriebenen Art zu rechnen ist.

Das Ergebnis des Schrittes ist für jede in 1.3a bestimmte Strahlenschutzmaßnahme eine Zusammenstellung aller plausiblen menschlichen Fehler und deren Ursache.

Der folgende Schritt 1.3c ist für alle Fehler durchzuführen.

Bestimmung der Fehlerkonsequenzen (1.3c)

In diesem Schritt werden die Fehlerkonsequenzen (in /GRS 10/ als Fehlerfolgen bezeichnet) der im vorherigen Schritt zusammengestellten Fehler an den relevanten Strahlenschutzmaßnahmen bestimmt und deren Sicherheitsrelevanz bewertet. Hierzu sind

- die Konsequenzen der unterstellten Beeinträchtigungen und
- die Sicherheitsrelevanz der Konsequenzen

durch den Anwender zu bestimmen. Details zur Bestimmung der Konsequenzen der unterstellten Beeinträchtigung können aus der Anwendung des Schrittes 1.2c übertragen werden und finden sich in den Abschnitten 5.1.3.6 und 5.1.3.7 von /GRS 10/.

Alle Konsequenzen sind anhand der Unterlagen über bauliche, technische und administrativen Strahlenschutzmaßnahmen, die für das betrachtete Arbeitsvorhaben relevant sind, sowie Unterlagen über den radiologischen Zustand im Arbeitsbereich durch den Anwender zu ermitteln. Für jede Konsequenz eines denkbaren Fehlers ist die Sicherheitsrelevanz gemäß Kriterium S2 (siehe Abschnitt 3.2) zu bewerten.

Ein gesamtes Arbeitsvorhaben wird dann als sicherheitsrelevant bezeichnet, wenn mindestens eine Fehlerkonsequenz identifiziert wurde, die als sicherheitsrelevant bewertet wurde. Ist dies in diesem Schritt für eine Fehlerkonsequenz geschehen, so ist die Frage der Sicherheitsrelevanz (siehe Abb. 3.1) mit „Ja“ zu beantworten und der nachfolgende Schritt ist 1.4a. Nur wenn die Konsequenzen aller Fehler bezüglich aller Strahlenschutzmaßnahmen als nicht sicherheitsrelevant eingestuft wurden, so ist die Frage mit „Nein“ zu beantworten. Je nach gewählter Reihenfolge ist die Methode in Folge mit dem linken Strang (Schritte 1.2a bis 1.2c) oder mit der Einstufung des Arbeitsvorhabens als nicht sicherheitsrelevant fortzusetzen.

Das Ergebnis des Schrittes ist eine Zusammenstellung aller Konsequenzen von Fehlhandlungen an den relevanten Strahlenschutzmaßnahmen, einer zugeordneten Bewertung der Sicherheitsrelevanz der einzelnen Konsequenzen sowie einer abschließenden Bewertung der Sicherheitsrelevanz des Arbeitsvorhabens gemäß Kriterium S2.

Sicherheitsrelevantes Arbeitsvorhaben (1.4a)

Über die Methode wurde ein sicherheitsrelevantes Arbeitsvorhaben identifiziert. Sollte die Identifizierung nach dem Durchlaufen des ersten Strangs stattgefunden haben, so ist es trotzdem empfehlenswert, aber nicht notwendig auch den zweiten Strang zu durchlaufen. Auf Arbeitsvorhaben, die als sicherheitsrelevant identifiziert wurden, ist im Anschluss der zweite Schritt des Bewertungs- und Analyseverfahrens (Fehler- und Ursachenbewertung bei Personalhandlungen) anzuwenden. Die Beschreibung des zweiten Schrittes erfolgt in Abschnitt 3.5.2.

Kein sicherheitsrelevantes Arbeitsvorhaben (1.4b)

Das Arbeitsvorhaben wurde als nicht sicherheitsrelevant identifiziert. Es sind somit keine detaillierten Untersuchungen notwendig.

3.5.2 Detaillierte Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen bei Personalhandlungen

Der zweite Teil der Methode wird angewendet, um das im ersten Teil der Methode (Abschnitt 3.5.1 und Abb. 3.1) identifizierte Arbeitsvorhaben in einzelne Personalhandlungen zu zerlegen und für diese detailliert Fehler und Fehlerkonsequenzen zu bestimmen. Insofern entspricht Teil 2 im Wesentlichen der Vorgehensweise in Teil 1 der Methode, die Fehleranalyse erfolgt jedoch detaillierter. Die Detailuntersuchung fasst die zuvor getrennt voneinander geführten Betrachtungen der relevanten Komponenten und Strahlenschutzmaßnahmen zusammen.

Der Methode entsprechend ist ein sicherheitsrelevantes Arbeitsvorhaben in Aufgaben zu zerlegen. Diese Aufgaben erfassen den Ablauf der Aufgabenerfüllung vom Beginn der Planung des Arbeitsvorhabens bis zu dessen Abschluss. Abb. 3.2 veranschaulicht das Vorgehen bei der detaillierten Analyse eines sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhabens.

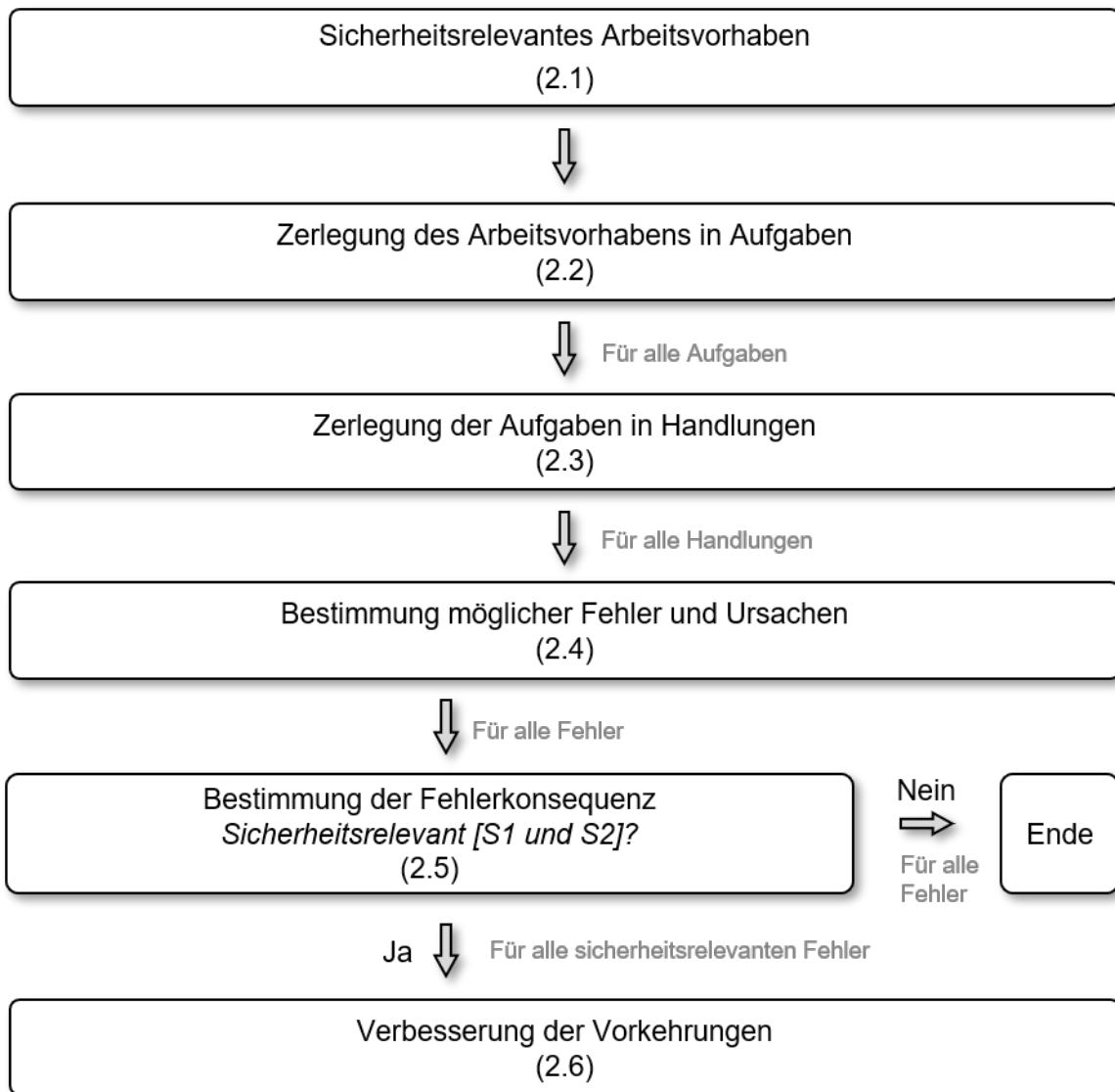


Abb. 3.2 Teil 2 der Methode: Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen bei Personalhandlungen von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben

Die einzelnen Schritte zur Zerlegung des sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhabens in Aufgaben und Handlungen, zur Bestimmung der Fehler, deren Konsequenzen und zur Verbesserung der Vorkehrungen sind in Abschnitt 3.5.2 näher erläutert.

Sicherheitsrelevantes Arbeitsvorhaben (2.1)

Der Anwendungsbereich von Teil 2 der Methode zur Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen in sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben für Anlagen im Nachbetrieb und in der Stilllegung erstreckt sich auf alle identifizierten sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben.

Zerlegung des Arbeitsvorhabens in Aufgaben (2.2)

In diesem Schritt wird das sicherheitsrelevante Arbeitsvorhaben in einzelne Aufgaben zerlegt. Die Aufgabenbezeichnungen entstammen der Instandhaltungsrichtlinie. Zur Anwendung der Instandhaltungsrichtlinie auf Arbeitsvorhaben in der Stilllegung sei auf Abschnitt 3.3 dieses Berichtes verwiesen.

Die Methode sieht eine Zerlegung in die folgenden Aufgaben vor

- die Sichtung der Gesamtaufgabe
- die technische Klärung
- die Arbeitsvorbereitung
- die grundsätzliche Arbeitserlaubnis,
- die Durchführung der Maßnahmen für die Arbeitssicherheit (u.a. Strahlenschutz)
- die Arbeitsfreigabe durch die zuständige Person,
- die Arbeitsfreigabe vor Ort (u.a. Arbeitsfreigabe durch den Strahlenschutz),
- die Durchführung der freigegebenen Arbeiten,
- die Fertigmeldung der freigegebenen Arbeiten,
- die Aufhebung der Maßnahmen zur Arbeitssicherheit,
- den Nachweis der Funktionsfähigkeit in dem Umfang, der in Nachbetrieb oder Stilllegung erforderlich ist,
- die Herstellung der Betriebsbereitschaft in dem Umfang, der in Nachbetrieb oder Stilllegung erforderlich ist.

Diese generische Zusammenstellung entspricht bis auf die Bezüge zum Nachbetrieb und zur Stilllegung und bis auf kleinere Erweiterungen um Schritte aus der Instandhaltungsrichtlinie sowie redaktionelle Änderungen im Wesentlichen der Liste aus dem Vorhaben /GRS 10/. Weitere Details zu den einzelnen Aufgaben sind in Abschnitt 6.1.2.1 von /GRS 10/ zu finden.

Das Ergebnis dieses Schrittes ist eine Zusammenstellung der Aufgaben und Teilaufgaben des zu untersuchenden sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhabens.

Der folgende Schritt 2.3 ist für alle Aufgaben durchzuführen.

Zerlegung der Aufgaben in Handlungen (2.3)

Dieser Schritt des Verfahrens zerlegt die im vorangegangenen Schritt ermittelten Aufgaben und Teilaufgaben des sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhabens in einzelne Handlungen. Hierzu sind durch den Anwender

- Führungs- und Ausführungsarbeiten zu bestimmen,
- Handlungen zu beschreiben,
- leistungsbeeinflussende Faktoren zu ermitteln und
- es ist der Handlungsablauf darzustellen.

Details zu leistungsbestimmenden Faktoren finden sich in Abschnitt 2.3. Details zur Bestimmung von Führungs- und Ausführungsarbeiten, zur Beschreibung von Handlungen und zur Darstellung des Handlungsablaufes sind in Abschnitt 6.1.2.2 von /GRS 10/ zu finden. Insbesondere Abschnitt 6.1.2.2.3 von /GRS 10/ gibt einen Überblick über Informationsquellen für die Bestimmung der Handlungen und des Handlungsablaufes.

Das Ergebnis dieses Schrittes ist eine Zusammenstellung der Handlungen.

Der folgende Schritt 2.4 ist für alle Handlungen durchzuführen.

Bestimmung möglicher Fehler und ihrer Ursachen (2.4)

In diesem Schritt sind potenziell mögliche menschliche Fehlhandlungen zu bestimmen. Die Analyse besteht darin, Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zu untersuchen, die von leistungsbestimmenden Faktoren über das korrekte bzw. fehlerhafte Handeln zu den Folgen für die Sicherheit und zu den Möglichkeiten reichen, eventuelle Fehler beim Handeln zu erkennen und zu beheben. Das Analyseverfahren muss den Anwender dabei unterstützen, Ursachen, Folgen, Erkennung und Behebung möglicher Fehler bei unterschiedlichsten Arbeitsvorhaben mit allen ihren Teilen von der „Sichtung der Gesamtaufgabe...“ bis zur „Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft“ herauszuarbeiten. Dazu enthält das Verfahren umfassende Systematiken der Ursachenarten, Fehlerarten sowie der Möglichkeiten, Fehler zu erkennen und zu beheben.

Insbesondere sind durch den Anwender

- die Systematik der Ursachenarten,
- die grundlegenden Arten denkbarer Fehler und
- die Plausibilität der Fehlerarten

zu bestimmen. Details zu grundlegenden Arten denkbarer Fehler sind in Abschnitt 2.3 dieses Berichtes zu finden. Details zur Plausibilität sind in Schritt 1.2b und 1.3b von Teil 1 der Methode und in Abschnitt 5.1.3.5 von /GRS 10/ zu finden. Weitere Details zur Systematik der Ursachenarten und denkbaren Fehlern finden sich in Abschnitt 6.1.2.3 von /GRS 10/.

Das Ergebnis des Schrittes ist für jede in Schritt 2.3 bestimmte Handlung eine Zusammenstellung aller plausiblen menschlichen Fehler und deren Ursache.

Der folgende Schritt 2.5 ist für alle Fehler durchzuführen.

Bestimmung der Fehlerkonsequenz (2.5)

In diesem Schritt werden die Fehlerkonsequenzen (in /GRS 10/ als Fehlerfolgen bezeichnet) der im vorherigen Schritt zusammengestellten Fehler bestimmt und deren Sicherheitsrelevanz bewertet. Hierzu sind durch den Anwender

- die Systematiken der Fehlerkonsequenzen zu bestimmen,
- die Möglichkeiten der Fehlererkennung und der Fehlerbehebung zu bestimmen,
- die Fehlerkonsequenzen zu bestimmen,
- die weiteren Fehlermöglichkeiten zu berücksichtigen, die ein Fehler verursachen kann,
- die Fehlererkennung und Behebung miteinzubeziehen,
- bereits geplante Vorkehrungen miteinzubeziehen und
- die Sicherheitsrelevanz der Konsequenzen zu bewerten.

Details zur Systematik der Fehlerkonsequenzen finden sich in Abschnitt 6.1.2.3.3 von /GRS 10/. Details zu Möglichkeiten der Fehlererkennung und der Fehlerbehebung finden sich in Abschnitt 6.1.2.3.3 von /GRS 10/. Details zur Bestimmung der Konsequenzen der unterstellten Beeinträchtigung können aus der Anwendung der Schrittes 1.2c und 1.3c übertragen werden und finden sich in den Abschnitten 5.1.3.6 und 5.1.3.7 von /GRS 10/. Details zu Fehlererkennung und -behebung finden sich in Abschnitt 6.1.2.3.4 von

/GRS 10/. Die Bewertung der Sicherheitsrelevanz ist anhand der beiden Kriterien S1 und S2 aus Abschnitt 3.2 durchzuführen.

Das Ergebnis des Schrittes ist eine Zusammenstellung aller Konsequenzen von Fehlhandlungen einer zugeordneten Bewertung der Sicherheitsrelevanz der einzelnen Konsequenzen sowie einer abschließenden Bewertung der Sicherheitsrelevanz der zugrundeliegenden Fehler gemäß den beiden Kriterien S1 und S2.

Der folgende Schritt 2.6 ist für alle sicherheitsrelevanten Fehler durchzuführen.

Verbesserung der Vorkehrungen (2.6)

Die angepasste Methode (siehe Abschnitt 2.4.2) sieht Vorkehrungen in den Bereichen

- Führung des Eigen- und Fremdpersonals,
- Prozessorganisation,
- Prozessmanagement,
- Aufgabendesign, Prozeduren und Listen,
- personelle Vorkehrungen,
- Einweisung und Schulung des Personals,
- Ressourcen und Mittel sowie
- technische Randbedingungen der Aufgabenausführung

vor. Zu jedem dieser Bereiche sind jeweils mehrere, konkrete Vorkehrungen aufgeführt und beschrieben. Diese Vorkehrungen berücksichtigen Anforderungen des Regelwerks und Erkenntnisse aus sonstigen wissenschaftlich-technischen Quellen bis zum Jahr 2010 und die Erkenntnisse aus Abschnitt 2.4.1. Folglich waren zum einen die 2010 zugrunde gelegten Regelwerksanforderungen mit denjenigen einschlägiger Regeln und Richtlinien neueren Datums im erforderlichen Umfang zu aktualisieren. Zum anderen war zu prüfen, inwieweit der Erkenntnisfortschritt der letzten zehn Jahre es erfordert, den 2010 aufgebauten Bestand an Vorkehrungen zu erweitern.

Aus der Sichtung des Standes von Wissenschaft und Technik (siehe Abschnitt 2.4) ergaben sich lediglich Anpassungen und Ergänzungen zu dem Bestand der Vorkehrungen aus dem Vorgängerprojekt /GRS 10/. Diese Vorkehrungen decken auch die Anforderungen des

aktuellen Regelwerkes an Organisation und Führung, Qualifikation und Schulung des Personals, die Planung der Aufgaben insbesondere im Hinblick auf den bestmöglichen Schutz der Ausführenden, die Bereitstellung erforderlicher Ressourcen einschließlich der Mittel, die Arbeits-, Brand- und Strahlenschutz erfordern, sowie die Durchführung von Projekten ab.

4 Anwendung der Methode auf Arbeitsvorhaben in einer Referenzanlage

4.1 Einführung

Die angepasste Methode der GRS zur Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen in sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben für Anlagen im Nachbetrieb und in der Stilllegung wird in diesem Kapitel beispielhaft auf ein Arbeitsvorhaben in einer Referenzanlage angewendet. Die GRS hatte die Möglichkeit, aus den zum damaligen Zeitpunkt anstehenden Arbeitsvorhaben anhand der Methode ein sicherheitsrelevantes Arbeitsvorhaben auszuwählen. Es wurde eine sogenannte Alpha-Baustelle ausgewählt, da Arbeiten mit potenzieller Alphakontamination besondere Gegebenheiten und Strahlenschutzmaßnahmen erfordern. In Abschnitt 4.2 sind diese Besonderheiten bei derartigen Abbaumaßnahmen dargelegt. Die Vorgehensweise nach Teil 1 der Methode (s. Abschnitt 3.5.1) zur Bestimmung der Sicherheitsrelevanz eines Arbeitsvorhabens ist in Abschnitt 4.2.1 dargestellt. Im Rahmen eines Besuches bei der Referenzanlage wurden zu den anstehenden Arbeiten eine Besprechung und eine Besichtigung der Baustelle durchgeführt. Im Nachgang wurde durch die GRS und mit Unterstützung der Referenzanlage und der Aufsichtsbehörde in Form weiterer Besprechungen der zweite Teil der Methode angewandt. Die Vorgehensweise ist in Abschnitt 4.2.2 beschrieben. Bei den Gesprächen mit der Referenzanlage haben sich auch allgemeine Aspekte und Vorkehrungen aus der Stilllegungspraxis ergeben. Diese sind in Abschnitt 4.2.3 aufgeführt. Abschließend wird in Abschnitt 4.3 ein kurzes Fazit gezogen.

4.2 Fallstudie: Arbeitsvorhaben auf einer Alpha-Baustelle

Im Rahmen der Untersuchung wurde eine Alpha-Baustelle als Fallstudie ausgewählt. Als „Alpha-Baustellen“ bezeichnet man Baustellen, die Komponenten enthalten, bei denen eine Kontamination mit Reststoffen nachgewiesen wurde, die Alphastrahlung emittiert. Aufgrund der vorhandenen alpha-strahlenden Radionuklide sind Strahlenschutzmaßnahmen zu ergreifen, insbesondere um die Inkorporation dieser Nuklide zu verhindern.

Bei Alphastrahlung handelt es sich um eine ionisierende Teilchenstrahlung. Die Teilchen, auch Alphateilchen genannt, bestehen aus zwei Neutronen und zwei Protonen und sind mit dem Kern des Heliumatoms identisch. Alphateilchen werden bereits durch wenige Zentimeter Luft absorbiert und können weder ein Blatt Papier noch die Haut des Menschen

durchdringen. Daher wirken Alphastrahler auf den Organismus hauptsächlich, wenn es zur Inkorporation dieser kommt, indem sie zum Beispiel eingeatmet werden oder durch offene Wunden in den Organismus gelangen.

Weitere Besonderheiten zu den Arbeiten in „Alpha-Baustellen“ konnten im Rahmen einer Begehung und im Rahmen von Diskussionen mit Verantwortlichen der Referenzanlage und der Aufsichtsbehörde näher geklärt werden. Da bei Alpha-Baustellen die Gefahr einer Alphakontamination und Alphainkorporation des dort tätigen Personals besteht, wird ein umfängliches Konzept mit Strahlenschutzmaßnahmen sowie zur dosimetrischen Überwachung des Personals angewendet, insbesondere zum Inkorporationsschutz. Das Konzept zur dosimetrischen Überwachung des Personals dient dem Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte. Bei dem vor Ort tätigen Personal, wie zum Beispiel Monteuren, werden routinemäßig neben Body-Counter-Messungen noch Ausscheidungsanalysen in einem regelmäßigen Intervall durchgeführt, abhängig von der Tätigkeit und der Höhe der Kontamination.

Nachfolgende Analyse erhebt nicht den Anspruch einer vollständigen Analyse einer „Alpha-Baustelle“, da im Rahmen dieses Vorhaben keine vollständige Analyse mit allen Aspekten, die diese umfassen möglich war. Die folgende Analyse soll jedoch die Anwendung der in Kapitel 3 beschriebenen Methode beispielhaft illustrieren.

4.2.1 Anwendung von Teil 1 der Methode auf die Fallstudie

In einem Vorgespräch mit der für die Referenzanlage zuständigen Aufsichtsbehörde wurden der GRS die in der Stilllegung der Anlage zum damaligen Zeitpunkt und innerhalb der Projektlaufzeit des Vorhabens anstehenden Arbeitsvorhaben vorgestellt. Das in diesem Vorhaben näher analysierte Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“ wurde aus diesen mittels Teil 1 der entwickelten Methode ausgewählt, da es gemäß Abschnitt 3.5.1 sicherheitsrelevante Personalhandlungen enthält.

In Abb. 3.1 und Abschnitt 3.5.1 wird die Vorgehensweise von Teil 1 der Methode (Erfassung von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben) vorgestellt. Für die Fallstudie wurde aus Teil 1 der Methode nur die Strahlenschutzbetrachtung (rechter Strang in Abb. 3.1) durchlaufen, da sich hieraus bereits ergab, dass das Arbeitsvorhaben als sicherheitsrelevant bewertet wird. Alle aufgeführten Erkenntnisse basieren auf Beobachtungen bei der Anlagenbegehung sowie auf den Besprechungen mit dem Betreiber. Im Folgenden sind die

wesentlichen Punkte und Erkenntnisse aufgeführt, die notwendig sind, um die Bewertung der Sicherheitsrelevanz des Arbeitsvorhabens durchzuführen.

Bestimmung der Strahlenschutzmaßnahmen des Arbeitsvorhabens. (1.3a)

Für das Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“ wurden eine Reihe von Strahlenschutzmaßnahmen getroffen. Diese sind unter anderem:

- Baustelleneinrichtung (Zeltbau, Absaugung, Schleuse, u.a.)
- persönliche Schutzausrüstung (PSA),
- Inkorporationsanalysen von Tätigen vor Ort,
- Zulassungsbeschränkungen zur Baustelle.

Die Auflistung und die hierauf basierende Analyse beziehen sich lediglich auf die bei Besichtigung der Baustelle und durch Besprechungen ermittelten Erkenntnisse. Eine vollständige Prüfung der Unterlagen ist nicht durchgeführt worden.

Bestimmung möglicher Fehler und Ursachen an Strahlenschutzmaßnahmen. (1.3b)

Aus der Betriebserfahrung ist bekannt, dass es beim An- und/oder Ablegen der Schutzausrüstung zu Ausführungsfehlern kommen kann. Beitragende Faktoren können beim An- und/oder Ablegen eine zu schnelle Ausführung sein.

Weitere (plausible) Fehler werden in der Anwendung von Teil 2 der Methode (siehe Abschnitt 4.2.2) betrachtet.

Bestimmung der Fehlerkonsequenzen Sicherheitsrelevant [S2]? (1.3c)

Das fehlerhafte An- und/oder Ablegen der Schutzausrüstung kann zu Kontamination und Inkorporation von Radionukliden führen. Damit könnte es zu einer Erhöhung der Personendosis kommen. Mit dem Ziel, im Sinne des radiologischen Sicherheitszieles die Personendosis so gering wie möglich zu halten sowie eine Verschleppung von Radionukliden zu vermeiden ist, wird dieses Arbeitsvorhaben somit nach Kriterium S2 als sicherheitsrelevant eingestuft.

Im zweiten Teil der Methode wird dieses Arbeitsvorhaben nun im Detail untersucht.

4.2.2 Anwendung von Teil 2 der Methode auf die Fallstudie

Im Folgenden wird Teil 2 der Methode zur Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen bei Personalhandlungen auf die untersuchte Fallstudie, das Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“, angewandt. Alle Erkenntnisse beruhen auf dem Besuch der Referenzanlage (Besichtigung der Baustelle und Besprechung der Tätigkeiten und deren Rahmenbedingungen) sowie den anschließenden Besprechungen mit dem Betreiber und der Aufsichtsbehörde. Des Weiteren wurden im Rahmen der Besprechung und der Besichtigung auch Erkenntnisse zusammengetragen, die auf allgemeine Arbeitsvorhaben in der Stilllegung zutreffen. Diese sind gesondert in Abschnitt 4.2.3 „Allgemeine Erkenntnisse zu menschlichen Fehlhandlungen und Vorkehrungen bei Arbeitsvorhaben in der Stilllegung“ zusammengefasst.

Abschnitt 4.2.2 ist strukturiert in die einzelnen Schritte von Teil 2 der Methode (s. Abb. 3.2). Diese sind im Folgenden durch fett gedruckte Zwischenüberschriften markiert.

Schritt 2.1: Sicherheitsrelevantes Arbeitsvorhaben

Das Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“ wurde gemäß Teil 1 der Methode als sicherheitsrelevant bewertet (s. Abschnitt 4.2.1).

Schritt 2.2: Zerlegung des Arbeitsvorhabens in Aufgaben

In diesem Schritt wird das Arbeitsvorhaben in Aufgaben und Teilaufgaben zerlegt. Zur Anwendung der Methode werden hier, gemäß Abschnitt 3.5.2, als erste Gliederung der Aufgaben, die Schritte des Verfahrensschemas aus der Instandhaltungsrichtlinie /BMI 78/ verwendet. Für die Zerlegung in Teilaufgaben sind detaillierte Kenntnisse der durchzuführenden Arbeiten notwendig. Der GRS lagen die Informationen nur exemplarisch vor, so dass eine weitere Unterteilung der Aufgaben in Teilaufgaben nur an einigen Stellen vorgenommen werden konnte. Die folgenden Aufgaben (gemäß /BMI 78/) und Teilaufgaben (gemäß den zur Verfügung stehenden Informationen) wurden im Rahmen dieses Projektes betrachtet:

- Aufgabe 1: Sichtung der Gesamtaufgabe (/BMU 78/, Bild 1, Schritt 04)
- Aufgabe 2: Technische Klärung (/BMU 78/, Bild 1, Schritt 05)
- Aufgabe 3: Arbeitsvorbereitung (/BMU 78/, Bild 1, Schritt 06)
 - Teilaufgabe 3.1: Einrichten der Alpha-Baustelle

- Aufgabe 4: Durchführung der Arbeit (/BMU 78/, Bild 1, Schritt 11)
 - Teilaufgabe 4.1: Arbeitswege
 - Teilaufgabe 4.2: Zutrittsbedingungen für Alpha-Baustelle
 - Teilaufgabe 4.3: Einweisung der Mitarbeiter vor Ort
 - Teilaufgabe 4.4: Anlegen der persönlichen Schutzausrüstung
 - Teilaufgabe 4.5: Durchführung der Abbauarbeiten
 - Teilaufgabe 4.6: Ablegen der persönlichen Schutzausrüstung
- Aufgabe 5: Aufhebung der Maßnahmen (/BMU 78/, Bild 1, Schritt 13)
 - Teilaufgabe 5.1: Aufheben der Alpha-Baustelle

Aus den aufgeführten Aufgaben und Teilaufgaben konnten auf Grund der zur Verfügung stehenden Informationen nur teilweise spezifische Handlungen abgeleitet werden. Für drei Teilaufgaben wurde eine strukturierte Fehleranalyse gemäß Teil 2 der Methode durchgeführt. Aufbauend auf den ermittelten potenziellen Fehlern wurden Vorkehrungen gegen das Eintreten ermittelt. Für alle weiteren Aufgaben bzw. Teilaufgaben wurde zwar keine Detailanalyse durchgeführt werden, es konnten jedoch Erkenntnisse und Vorkehrungen aus den Erfahrungen des Betreibers gewonnen werden, die ebenfalls aufgeführt sind.

Teilaufgaben und Aufgaben sind im Folgenden durch kursive und fett gedruckte Zwischenüberschriften markiert.

Schritt 2.3 bis Schritt 2.6: Zerlegung der Aufgabe in Handlungen, Bestimmung möglicher Fehler und Ursachen, Bestimmung der Fehlerkonsequenz und Verbesserung der Vorkehrungen

Im Folgenden werden für alle Aufgaben und Teilaufgaben die erfassten Informationen und Erkenntnisse aus den Schritten 2.3 bis 2.6 der Methode zur Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen bei Personalhandlungen (Abschnitt 3.5.2) aufgeführt.

Aufgabe 1: Sichtung der Gesamtaufgabe

Im Folgenden werden die Vorkehrungen zur Vermeidung von menschlichen Fehlhandlungen in Aufgabe 1, die auf Basis des Besuches und der Besprechungen aufgenommen wurden, zusammengestellt.

Der Betreiber hat die Stilllegung der Anlage als ein Projekt unter einheitlicher Leitung organisiert, das Projekt ist in Teilprojekte unter Teilprojektleitern gegliedert. Die Bündelung der Stilllegungsaufgaben unter einheitlicher Leitung ist eine Vorkehrung zur Unterstützung eines koordinierten Vorgehens bei der Durchführung der einzelnen Stilllegungsaufgaben.

Zur Leitungsebene des Projekts gehört eine Person mit Zuständigkeit und Projektverantwortung für Aufgaben des Strahlenschutzes in der Stilllegung. Diese organisatorische Vorkehrung trägt der Sicherheitsrelevanz des Strahlenschutzes in der Stilllegung Rechnung und unterstützt von der Leitungsebene abwärts die erforderliche Berücksichtigung und Koordination der Strahlenschutzaufgaben in der Stilllegung.

Soweit möglich, wird Eigenpersonal nach eventuell erforderlicher Ausbildung für die Planung und Überwachung von Stilllegungsaufgaben eingesetzt und für die Ausführung der Arbeiten (wie z. B. die Zerlegung von Komponenten) werden vorwiegend Fremdfirmen beauftragt, deren Mitarbeiter für die auszuführenden Aufgaben qualifiziert sind. Planungsrelevantes Wissen der Fremdfirmen wird genutzt. Zudem kommen in der Stilllegung soweit als möglich bewährte Methoden und Praktiken aus der Industrie zum Einsatz. Diese Vorkehrung trägt zur Sicherheit bei, indem die anlagenspezifischen Kenntnisse des Eigenpersonals und die Qualifikation des Fremdpersonals zusammengeführt werden.

Mit der System- und Komponentenübergabe geht eine Komponente aus der Zuständigkeit der Organisationseinheit für den Restbetrieb in die Zuständigkeit der Organisationseinheit Abbau über. Der Abbau setzt verschiedene Freigaben voraus (Freigabe zum Abbau, Abbaubereichsfreigabe). Bei diesen Freigaben arbeiten die Organisationseinheit Restbetrieb, Abbau und Strahlenschutz eng zusammen. Sie führen unter optionaler Beteiligung der Aufsichtsbehörde und (oder) von Gutachtern eine Ortsbegehung durch. Die Übergabe einer Komponente an die Organisationseinheit Abbau setzt eine Beurteilung im Hinblick auf die Erfordernisse des Restbetriebs sowie des Arbeits-, Brand- und Strahlenschutzes sowie eine Sichtung und Prüfung der Dokumente voraus, die für den Abbau der Komponente bereits erstellt worden sind (sogenannte Arbeitsmappen).

Fazit für Aufgabe 1 des im vorliegenden Projekt betrachteten Arbeitsvorhabens: Das Arbeitsvorhaben ist organisatorisch in eine umfassende Struktur eingebunden, die gute Voraussetzungen dafür bietet, das Arbeitsvorhaben mit anderen Arbeitsvorhaben zu koordinieren, Erfordernisse insbesondere des Strahlenschutzes zu berücksichtigen und ein leistungsfähiges Team für die Aufgaben von der Planung bis zur Durchführung zusammenzustellen. Das Vorgehen bei der Übergabe der Komponente an die Organisationseinheit

Abbau trägt dazu bei, Fehler zu vermeiden, eine Komponente vorzeitig mit eventuellen nachteiligen Folgen für die Sicherheit abzubauen. Im Zuge der Komponentenübergabe an die Organisationseinheit Abbau wurden auch Erfordernisse des Arbeits-, Brand- und Strahlenschutzes geklärt. Diese Erkenntnisse unterstützen die entsprechenden konkreten Planungen im betrachteten Arbeitsvorhaben.

Aufgabe 2: Technische Klärung

Der Abbau erfolgt raumweise und beginnt, wo immer möglich, mit den stark oder stärker kontaminierten oder aktivierten Komponenten. Es erfolgt eine Ermittlung und vor Ort eine Kennzeichnung der Komponenten im Raum, die nicht abgebaut werden dürfen. Sind Teile von Komponenten wie z. B. Abschnitte einer Rohrleitung abzubauen, wird ermittelt und vor Ort gekennzeichnet, wo der abzubauen Teil endet. Bei der Kennzeichnung wird zwischen drei Komponenten unterschieden: Komponenten, die abgebaut werden dürfen, sprich für welche die so genannte Abbaubereichsfreigabe bereits vorliegt, abzubauen Komponenten, die aber noch keine Abbaubereichsfreigabe haben, und Komponenten, die noch verwendet werden. Diese drei Komponentengruppen werden unterschiedlich gekennzeichnet, die Kennzeichnung nimmt das damit beauftragte Anlagenpersonal vor. Außerdem gibt es eine Kennzeichnung hinsichtlich der radiologischen Bedingungen. Des Weiteren gibt es unabhängige Kontrollen der Kennzeichnungen. Diese unabhängigen Kontrollen beugen Auslassungs- bzw. Verwechslungsfehlern bei der Kennzeichnung vor. Dies sind wichtige Vorkehrungen gegen Verwechslungs- und (oder) Ausführungsfehler, um Schädigung oder Zerstörung von weiterhin benötigten und auch für die Sicherheit weiterhin wichtige Komponenten vorzubeugen.

Die Planung beim raumweisen Abbau ist anfangs hauptsächlich wissensbasiert und erfordert teilweise anlagenspezifische Kenntnisse. Deshalb ist der Einsatz von Eigenpersonal für Planungsaufgaben eine wichtige Vorkehrung zur Unterstützung korrekter Planungen. Die Planung der Arbeiten wird im Betriebsführungssystem unterstützt (Erstellung der Dokumente, Einspeichern von Informationen zur Bearbeitung und Erledigung von Arbeiten) und stellt die Einhaltung der Prozesse und erforderlichen Schritte und Freigaben sicher. Softwarebasierte Planung und Dokumentation des Arbeitsfortschrittes sind ein Mittel zur Stärkung der Übersicht bei der Planung bzw. Verfolgung der Arbeitsfortschritte und dient somit der Minderung zugehöriger Fehlerpotentiale.

Es sind eine Bewertung von Rückwirkungen durch Abbauarbeiten auf verbleibende Systeme des Restbetriebs und die Implementierung entsprechender Schutzmaßnahmen vorzunehmen.

Mitarbeiter des Eigenpersonals koordinieren die Arbeiten und das Personal vor Ort. Hierbei werden insbesondere Beeinträchtigungen durch zeitgleich stattfindende Arbeitsvorhaben berücksichtigt.

Die kontaminierten oder aktivierten Komponenten werden sofern möglich in Abhängigkeit von ihren radiologischen Eigenschaften getrennt voneinander abgebaut, um Fehlern durch Verwechslung der Komponenten mit ihren evtl. unterschiedlichen Erfordernissen an den Strahlenschutz bzw. der Abbauprodukte (z. B. bei der Pufferlagerung oder Weiterbehandlung) vorzubeugen.

Für Arbeitsvorhaben ist eine zeitlich versetzte Durchführung vorgesehen, wenn die Arbeitssorte so liegen und ausgelegt sind, dass denkbare Fehler in einem Arbeitsvorhaben mit negativen Folgen für gleichzeitige Arbeitsvorhaben verbunden sein können (z. B. Absturz von Arbeitsmaterial von Gerüsten oder Gitterroste auf darunter liegende Raumbereiche, Seilsägearbeiten oder Kranarbeiten im Bereich von Turbinen oder Kondensatoren). Diese Arbeitsschutzvorkehrung ist auch unter Strahlenschutzaspekten relevant. Wechselwirkungen mit negativen Auswirkungen beim Ausschleusen von alphaspezifischen Elementen mit sonstigen Tätigkeiten (zum Beispiel Abbautätigkeiten) werden durch zeitliche Entzerrung vermieden.

Es werden Unterlagen erstellt, um die Durchführung des Arbeitsvorhabens zu unterstützen. So wird zum Beispiel für jedes Teilvorhaben eine Arbeitsmappe erstellt. In dieser sind alle Vorgaben und Informationen zur Durchführung der Abbaumaßnahmen enthalten. Die Erstellung und/oder Aktualisierung abbauspezifischer Unterlagen werden von den Fachabteilungen unterstützt.

Eine Arbeitsmappe kann mehrere Abbaubereiche umfassen. Für jeden Abbaubereich findet eine technische Klärung durch die Fachabteilungen Arbeits-, Brand- und Strahlenschutz statt.

Vor Ort sind gut gekennzeichnete Informationsstände eingerichtet, die alle relevanten Vorgaben, Informationen, Unterlagen sowie Sicherheitsdatenblätter, wichtige Telefonnummern, Ansprechpartner und Informationen zur Sicherheitskultur enthalten. Dadurch stehen

alle Informationen immer griffbereit zur Verfügung. Die Zielgruppe umfasst zum einen das aufsichtführende Personal als auch alle an der Ausführung beteiligten Mitarbeiter, also zum Beispiel Monteure und Hilfskräfte. Gleichzeitig dienen die Informationsstände auch als Treffpunkt für Arbeitsvorbesprechungen im Abbaubereich.

Im Rahmen der Organisationseinheit Abbau werden die Erfahrungen aus der Durchführung der Abbauaufgaben systematisch ausgewertet. Das Personal wird aktiv ermutigt, gemachte Erfahrungen zu teilen. Die gemachten Erfahrungen fließen in die Wissensvermittlung ein (Lernen aus Erfahrung), um das Personal für Sicherheit, Fehlermöglichkeiten und Vorkehrungen zu sensibilisieren. Dies findet unter anderem wie folgt statt: (1) Die Mitarbeiter werden durch internen Erfahrungsrückfluss zu spezifischen, relevanten Themen sensibilisiert (bspw. themenspezifische Belehrungen, monatliches Awareness-Training zu unterschiedlichen Themen der Sicherheitskultur, infolge von Arbeitsunfällen bzw. Beinahe-Unfällen, Themenauswahl auch, wenn zuvor etwas aufgefallen ist, z. B. falsches Tragen oder Nichttragen von Schutzkleidung). (2) Die Organisationseinheit Abbau lädt die Verantwortlichen für die Durchführung der Arbeit (VdA) der verschiedenen Fremdfirmen regelmäßig zu einem Gespräch über aktuelle und relevante Themen ein. (3) Regelmäßig gibt es auch Treffen für den Erfahrungsaustausch zwischen dem Leiter der Arbeitssicherheit der Anlage und den Geschäftsführern (Bauleitern, ...) der Fremdfirmen. (4) Darüber hinaus findet unternehmensintern ein standortübergreifender Erfahrungsaustausch statt. (5) Die auf Wunsch anonyme Meldung von Beinahe-Unfällen wird unterstützt.

Die Fremdfirma erhält vorab eine Beschreibung des Konzepts und des Vorgehens beim Abbau der betroffenen Komponenten. Diese Vorkehrungen tragen zur Vermeidung von Fehlern bei.

Fremdpersonal wird vor allem für die Demontage von Anlagenteilen im Kontrollbereich eingesetzt.

Die Anlage hat besondere Vorkehrungen für die Unterweisung und Einweisung des Fremdpersonals eingeführt: Benennung von Eigenpersonal, das sich als geschickte Wissensvermittler bewährt hat, Belehrung und Einweisung des Fremdpersonals auf einem sprachlichen Niveau, das dem Fremdpersonals ein gutes Verständnis ermöglicht und die Benennung zweisprachiger Aufsichtführender vor Ort, falls das Fremdpersonal über eingeschränkten Deutschkenntnissen verfügt.

Aufgabe 3: Arbeitsvorbereitung

Teilaufgabe 3.1: Einrichten der Alpha-Baustelle

Diese Teilaufgabe hat zum Zweck bei der Errichtung der Baustelle die spezifischen radiologischen Aspekte einer Abbautätigkeit bei Vorliegen alpha-strahlender Nuklide in relevanter Höhe zu berücksichtigen. Das Ziel ist es, durch Strahlenschutzmaßnahmen eventuelle radiologische Konsequenzen so gering wie möglich zu halten. Alpha-Strahlung wird durch wenige Zentimeter Luft abgeschirmt und kann weder die menschliche Haut noch andere Strukturen durchdringen. Hierdurch ist Alpha-Strahlung in Komponenten (bspw. Rohren) nicht einfach von außen detektierbar. Es ist somit vorab zu ermitteln und festzustellen, ob eine Kontamination mit Alpha-Strahlern vorliegt, zum Beispiel durch Probennahmen im Rahmen der radiologischen Charakterisierung der Anlage. Die größte Gefahr geht von Aerosolen aus, die alpha-strahlende Radionuklide enthalten. Eine Inkorporation dieser Aerosole ist durch entsprechende Maßnahmen zu verhindern. Auf Grund dieser spezifischen Aspekte sind auch spezifische Strahlenschutzmaßnahmen notwendig.

Bezüglich dieser Teilaufgabe konnte in den Gesprächen mit dem Betreiber der Referenzanlage nur exemplarisch auf einige Vorkehrungen eingegangen werden, die bei der Errichtung der Alpha-Baustelle vorgenommen werden. Es werden nur die Erkenntnisse und Informationen aufgeführt, die hierbei gewonnen wurden.

Der Betreiber der Referenzanlage hat hierfür unter anderem die folgenden Vorkehrungen vorgesehen:

- Die Baustelle wird komplett eingehaust (Einhausung als Kontaminationszone), um zu verhindern, dass Aerosole oder Materialien mit kontaminierten Bestandteilen nach außen gelangen.
- Es wird ein Schleusen-Bereich für das Ablegen der PSA eingerichtet.
- In der Einhausung wird ein Unterdruck hergestellt und aufrechterhalten, so dass der Luftstrom immer von außen ins Zelt gerichtet ist.
- Die aus der Einhausung abgesaugt Luft wird gefiltert. In der Absaugevorrichtung sind zwei Filter verbaut (Redundanz), die kontaminierte Partikel zurückhalten.
- Die Abluft wird in manchen Fällen nicht in die Raumluft der Anlage geführt, sondern in die Gebäudeabluft und somit über den Kamin nach außen. Somit ist sichergestellt, dass keine Freisetzung in andere Raumbereiche stattfindet.

- Sonstige Lüftungen, die sich in dem Raumbereich der Alpha-Baustelle befinden, sind ausgebaut bzw. verschlossen, so dass ein Austrag radioaktiver Partikel auf diesem Weg auszuschließen ist.
- Bei einem Ausfall der mobilen Lüfter in der Einhausung wird die Arbeit unverzüglich eingestellt.
- Es gibt Echtzeit- und Online-Messungen der Aktivitätskonzentration in der Raumluft für Alpha- sowie Beta- und Gamma-Strahlung in der Alpha-Baustelle, die aber erst bei einer höheren Freisetzung anschlagen würden.
- Da die Nachweisgrenze für die Echtzeit- und Online-Messung relativ hoch ist erfolgt zusätzliche eine Langzeitmessung, um auch geringere Freisetzungen nachweisen zu können.
- Zur Kontaminationsüberwachung werden Wischtestkontrollen in der Baustelle und an den Komponenten durchgeführt.
- Die Aufsichtführenden vor Ort und Mitarbeiter des Strahlenschutzes überprüfen, dass die Einhausung der Baustelle mit der erforderlichen Folie sachgerecht erfolgt ist. Die Einhausung wird nach Vorgaben des Strahlenschutzes errichtet und vom Strahlenschutz abgenommen. Während der Tätigkeiten auf der Alpha-Baustelle werden die baulichen Strahlenschutzmaßnahmen regelmäßig durch Mitarbeiter des Strahlenschutzes vor Ort kontrolliert.
- Die Überprüfung der oben genannten Punkte erfolgt mittels einer Checkliste.

Aufgabe 4: Durchführung der Arbeiten

Teilaufgabe 4.1: Arbeitswege

Diese Teilaufgabe hat zum Zweck die potenziellen Gefahren auf den Arbeitswegen zur Baustelle sowie Gefahren in der unmittelbaren Umgebung der Baustelle zu bestimmen. Das Ziel ist es, durch geeignete Maßnahmen die Arbeitswege und die unmittelbare Umgebung der Baustelle gegen ungewollte Einwirkungen zu sichern.

Im Rahmen des Projektes sind nicht die konkreten Arbeitswege in der Referenzanlage begangen worden. Daher werden nur allgemeine Eindrücke über die Wege in unmittelbarer

Umgebung zu Baustelle wiedergegeben und somit kann nur exemplarisch auf einige Vorkehrungen eingegangen werden. Es werden nur die Erkenntnisse und Informationen aufgeführt, die hierbei gewonnen wurden.

Der Weg in unmittelbarer Nähe zur Baustelle führt an Teilen von Komponenten vorbei (Rohrleitungen, Kabel). Der Raumbereich vor der Einhausung dient u. a. als Ort, an dem ein Mitarbeiter des Strahlenschutzes die Ausführenden einkleidet. Von diesem Raumbereich aus ist die Baustelle durch eine temporäre Schleuse erreichbar. Die Schleuse trennt den Raumbereich vor der Baustelle durch zwei Plane von der komplett eingehausten Baustelle. Zusätzlich wird die Zone außerhalb der Einhausung durch eine Kette eindeutig markiert.

Nebeneffekte des Handelns durch unabsichtlichen Druck auf oder Stoß gegen Komponenten oder abgestellte Güter an den betrachteten Wegen sind unplausibel, da die Wege klar gekennzeichnet sind, ausreichend dimensioniert sind und sonstige Arbeitsbereiche am Weg durch stabile, hüfthohe Barrieren abgegrenzt sind. Dadurch ist ein ausreichender Abstand zu Komponenten bzw. abgestellten Gegenständen sichergestellt, der unabsichtliche Berührungen ganz oder weitgehend ausschließt.

Teilaufgabe 4.2: Zutrittsbedingungen für Alpha-Baustellen

In dieser Teilaufgabe werden die Zutrittsberechtigungen der Durchführenden vor Ort überprüft. Es ist sicherzustellen, dass alle notwendigen Bedingungen überprüft werden, aktuell und umgesetzt sind, sofern ein Mitarbeiter die Baustelle betreten möchte. In der Referenzanlage waren dies insbesondere die folgenden Bedingungen.

Alle Mitarbeiter, die die Alpha-Baustelle betreten wollen, müssen zwingend folgende Kriterien erfüllen:

- Es muss eine gültige Body-Counter-Messung vorliegen.
- Der Mitarbeiter muss an der Unterweisung für Alpha-Baustellen teilgenommen haben. Die Teilnahme ist regelmäßig zu aktualisieren.
- Der Mitarbeiter nimmt an einem für Tätigkeiten auf Alpha-Baustellen spezifischen Überwachungsverfahren teil und der damit verbundenen regelmäßigen Aufgaben, wie zum Beispiel die regelmäßige Abgabe von Ausscheidungsproben.
- Der Mitarbeiter muss an einer hierfür eingerichteten Übungsstrecke das An- und Ablegen der Schutzausrüstung trainiert haben.

Zerlegung der Aufgabe in Handlungen (2.3)

Eine wesentliche Handlung in dieser Teilaufgabe ist die Überprüfung der Zutrittsberechtigung vor Ort. Um menschliche Fehlhandlungen hierbei zu vermeiden, hat der Betreiber einige Vorkehrungen getroffen. Diese sind unter anderem das Tragen von Ausweisen mit Namen und Fotos, das Kontrollieren der Zutrittsbedingungen anhand einer Liste, die alle notwendigen Informationen enthält. Die Liste wird täglich aktualisiert und dem Überprüfenden neu zur Verfügung gestellt. Die Kontrolle erfolgt durch einen Mitarbeiter des Strahlenschutzes, der für die Aufgaben geschult wurde.

Im Folgenden werden die Schritte 2.4 bis 2.6 des zweiten Teils der Methode illustrativ auf die Überprüfung der Zutrittsbedingungen vor Ort angewandt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Vorkehrungen des Betreibers noch nicht umgesetzt sind. Die Handlung der Überprüfung der Zutrittsbedingungen wird auf leistungsbestimmende Faktoren, mögliche Fehlerursachen, daraus resultierenden menschliche Fehlhandlungen und Erkenntnisse zu Vorkehrungen untersucht. Die unterstellten Fehler und Vorkehrungen wurden generisch für die oben definierte Handlung ermittelt. Sie sind damit unabhängig von der spezifischen Situation in der Referenzanlage. Im Anschluss werden Maßnahmen zur Vorkehrung, die der Betreiber der Referenzanlage implementiert hat, aufgeführt.

Bestimmung möglicher Fehler und Ursachen (2.4)

Bei der Überprüfung der Zutrittsberechtigungen können bestimmte Faktoren und Ursachen dazu beitragen, dass sich bei der Durchführung der Tätigkeiten menschliche Fehler ergeben. Der Abschnitt 2.3 dieses Berichtes beinhalten die hierfür notwendige Theorie zu leistungsbestimmenden Faktoren, sowie zu Fehlern und Ursachenarten. Aus der Kombination der unterstellten Faktoren und Ursachen für die hier untersuchte Handlung wurden die folgenden denkbaren Fehler unterstellt.

- Stress und Zeitdruck können dazu führen, dass es zu Ausführungs- oder Auslassungsfehler kommen kann.
- Aufgrund einer ungünstigen Ergonomie der Arbeits- und Hilfsmittel (bspw. unübersichtliche Darstellung einer Liste oder Anweisung) werden nicht alle Zutrittsberechtigungen so überprüft, wie dies notwendig wäre.
- Sollten Erfahrungswerte bei der Durchführung der Handlung notwendig sein, so ist ein entsprechender Wissenserhalt bzw. Übertrag des Wissens auch bei einem Ausfall oder Wechsel des Personals notwendig.

- Insbesondere bei länger anhaltenden Baustellen und festen Mitarbeitern könnte ein Mitarbeiter aus Routine dazu neigen, einen Kollegen nur aufgrund des bekannten Gesichtes die Baustelle betreten zu lassen und die Zutrittsberechtigungen nicht zu überprüfen.
- Der Mitarbeiter, der die Arbeiten überprüft, weiß nicht, welche Zutrittsbedingungen die Durchführenden erfüllen müssen.
- Die zum Abgleich bei der Überprüfung der Zutrittsbedingungen notwendigen Hilfsmittel sind ungünstig dargestellt, so dass es Grund von Schwierigkeiten bei der Lesbarkeit nicht erkannt wird, dass ein Mitarbeiter die Zutrittsbedingungen nicht erfüllt.
- Einige Zutrittsbedingungen laufen nach einer gewissen Zeit ab. Sollte diese Information dem Mitarbeiter, der den Zutritt prüft, nicht aktuell vorliegen, so kann es sein, dass dieser einem Mitarbeiter Zutritt gewährleistet, dessen Zutrittsbedingungen abgelaufen sind.
- Bei der Überprüfung eines Mitarbeiters, kommt es auf Grund von einem ähnlichen oder gleichen Namen zu einer Verwechslung.
- Sollte die Handlung ohne Hilfsmittel (aus dem Gedächtnis) durchgeführt werden, kann es aufgrund eines Personalwechsel bei dem überprüfenden Mitarbeiter zum Fehlen notwendigen Wissens kommen.
- Einer der Arbeitsdurchführenden betritt ohne Anmeldung die Baustelle (evtl. auch nur kurzzeitig, da er etwas vergessen hat).
- Eine unbefugte Person betritt die Baustelle wissentlich oder unwissentlich während der Arbeiten oder außerhalb der Arbeiten.

Bestimmung der Fehlerkonsequenz (2.5)

Alle oben beschriebenen Fehler bergen die Konsequenz, dass eine Person, bei der nicht sichergestellt ist, dass sie die Zutrittsbedingungen für die Alpha-Baustelle besitzt, die Baustelle betritt. Somit ist eine wichtige Barriere verletzt. Letztendlich können Fehler zu radiologischen Konsequenzen führen. Aus den oben aufgeführten möglichen Fehlern kann resultieren, dass ein einzelner Mitarbeiter eine vermeidbare Exposition erfährt oder dass Inkorporation unentdeckt bleiben.

Verbesserung der Vorkehrungen (2.6)

Aus den oben beschriebenen generischen Fehlern sind folgende Empfehlungen an Vorkehrungen gegenüber diesen Fehlern abzuleiten:

- Verwendung einer dokumentierten, einheitlichen und vorgeschriebene Vorgehensweise,
- Verwendung von gut lesbaren, ergonomisch gut gestalteten Arbeits- und Hilfsmitteln,
- regelmäßige (in sinnvollen Abständen) Aktualisierung der Zutrittsberechtigungen,
- Sicherstellen der Verwendung von aktuellen Arbeits- und Hilfsmitteln,
- Überprüfbarkeit der Aktualität der verwendeten Arbeits- und Hilfsmittel durch den Anwender,
- Möglichkeit des eindeutigen Abgleichs zwischen zutrittsverlangender Person und der dokumentierten Person,
- Sicherstellen der Verfügbarkeit von Personal mit den notwendigen Kenntnissen für die jeweilige Aufgabe, damit ausgefallene Mitarbeiter ersetzt werden können,
- Sicherstellen, dass die Arbeitsdurchführenden die Wichtigkeit der Zutrittsberechtigungen und radiologischen Gefahren verinnerlicht haben,
- Hinweise, Aufsteller, Verschlüsse oder Barrieren, die auf die Gefahren der Baustelle hinweisen und ein unbefugtes Betreten ohne Schutzausrüstung verhindern.

Der Betreiber der Referenzanlage hat unter anderem folgende Vorkehrungen für die hier betrachtete Teilaufgabe (Zutrittsbedingungen für Alpha-Baustellen) implementiert:

- Die Überprüfung der Zutrittsberechtigung erfolgt über einen Mitarbeiter des Strahlenschutzes, der das notwendige Wissen und Verständnis für die spezifischen Herausforderungen bei Alpha-Baustellen kennt.
- Die Daten, die für die Zutrittsberechtigung erforderlich sind, werden elektronisch gespeichert und täglich aktualisiert.
- Aus den Daten wird für die Überprüfung vor Ort täglich eine neue, aktuelle Liste ausgedruckt.
- Die Überprüfung der Personalien erfolgt mittels eines Ausweises, der neben dem Namen auch eine Personalnummer enthält.

- Alle Mitarbeiter, die die Zutrittskontrollen durchführen, werden hinsichtlich der Bedeutung der Zutrittskontrolle geschult.
- Es wird ausreichend Personal vorgehalten, die die Zutrittskontrollen durchführen können.

Teilaufgabe 4.3: Einweisung der Mitarbeiter

Diese Teilaufgabe hat zum Zweck die Mitarbeiter in ihre Aufgaben und in die spezifischen Gegebenheiten der Baustelle einzuweisen. Ziel ist es, unter anderem die Mitarbeiter über Gefahren aufzuklären und diese für die Gefahren zu sensibilisieren, Informationen über die Kontamination von Anlagenteilen bzw. Komponenten zu vermitteln sowie aufgabenspezifische Details zu vermitteln. Dies erfolgt zum einen als allgemeine Einweisung in Alpha-Baustellen sowie zum anderen als eine Einweisung vor Ort.

Bezüglich dieser Teilaufgabe konnte in den Gesprächen mit dem Betreiber der Referenzanlage nur exemplarisch auf einige Vorkehrungen eingegangen werden, die bei der Einweisung der Mitarbeiter vorgenommen werden. Es werden nur die Erkenntnisse und Informationen aufgeführt, die hierbei gewonnen wurden.

Der Betreiber der Referenzanlage hat hierfür unter anderem die folgenden Vorkehrungen vorgesehen:

- Unterweisung und Einweisung des Fremdpersonals auf einem sprachlichen Niveau, das dem Fremdpersonal ein gutes Verständnis ermöglicht
- Benennung zweisprachiger Aufsichtführender vor Ort, falls Fremdpersonal mit eingeschränkten Deutschkenntnissen zum Einsatz kommt
- Die Wissensvermittlung erfolgt im direkten Austausch mit einer oder zwei zu schulenden Personen und durch Eigenpersonal, welches didaktisch geschickt ist und auch langfristig in dieser Aufgabe Erfahrung sammeln soll. Hierdurch ist es möglich, individuell auf die zu schulenden Personen einzugehen. Poster mit Lehrinhalten dienen dabei als Unterstützung. Eine Schulung ist erst dann abgeschlossen, wenn die schulende Person den Eindruck gewonnen hat, dass die Inhalte verstanden wurden.
- In der Unterweisung wird auf die Sicherheitskultur und die Anwendung der Werkzeuge des Professionellen Handelns explizit eingegangen.

- Bei der regelmäßigen Probenabgabe zur Ausscheidungsanalyse besteht die Gelegenheit für die Klärung von Fragen und zur Nachschulung. Hierbei wurde die Erfahrung gemacht, dass die Personen proaktiv spezifische Fragen stellen.
- Die Mitarbeiter haben jederzeit die Möglichkeit sich mit Fragen oder Bedenken direkt an die zuständigen Strahlenschutzmitarbeiter zu wenden.

Teilaufgabe 4.4: Anlegen der persönlichen Schutzausrüstung

In dieser Teilaufgabe wird die PSA vor Ort angelegt. Durch ein korrektes Anlegen der PSA soll sichergestellt werden, dass keine kontaminierten Partikel die PSA durchdringen.

Zerlegung der Aufgaben in Handlungen (2.3)

Die wesentlichen Handlungen in dieser Teilaufgabe sind das Ankleiden der PSA sowie die Überprüfung, dass die PSA korrekt angelegt wurde. Um menschliche Fehlhandlungen hierbei zu vermeiden, hat der Betreiber einige Vorkehrungen getroffen. Diese sind unter anderem, dass ein Mitarbeiter des Strahlenschutzes den Ankleidevorgang unterstützt (u. a. Anlegen von Überhandschuhen, Abdichten des Spaltes zwischen Überhandschuhen und Overall mittels Klebeband, Überstreifen einer Haube über den Helm, Befestigung dieser Haube am Overall mittels Klebeband), der Mitarbeiter des Strahlenschutzes die Geschwindigkeit des Ankleideprozesses aufprägt, der Mitarbeiter des Strahlenschutzes die korrekte Trageweise der PSA überprüft, unterschiedliche ergonomische Varianten der PSA zur Verfügung stehen und eine Teststrecke zum Üben des Ankleidens genutzt wird. Des Weiteren ist ein Spiegel zur Selbstkontrolle der korrekten Trageweise der PSA (insbesondere der Maske) vorhanden.

Im Folgenden werden die Schritte 2.4 bis 2.6 des zweiten Teils der Methode illustrativ auf das Anlegen der PSA angewandt. Hierbei wird zunächst davon ausgegangen, dass die Vorkehrungen des Betreibers noch nicht umgesetzt sind. Die Handlungen zum Anlegen der PSA werden auf leistungsbestimmende Faktoren, mögliche Fehlerursachen, daraus resultierende menschliche Fehlhandlungen und Erkenntnisse zu Vorkehrungen untersucht. Die unterstellten Fehler und Vorkehrungen wurden generisch für die oben definierte Handlung ermittelt. Sie sind damit unabhängig von der spezifischen Situation in der Referenzanlage. Im Anschluss werden Maßnahmen zur Vorkehrung, die der Betreiber der Referenzanlage implementiert hat, aufgeführt.

Bestimmung möglicher Fehler und Ursachen (2.4)

Beim Anlegen der PSA können bestimmte Faktoren und Ursachen dazu beitragen, dass sich bei der Durchführung der Tätigkeiten menschliche Fehler ergeben. Der Abschnitt 2.3 dieses Berichtes beinhalten die hierfür notwendige Theorie zu leistungsbestimmenden Faktoren sowie zu Fehlern und Ursachenarten. Aus der Kombination der unterstellten Faktoren und Ursachen für die hier untersuchten Handlungen wurden denkbare Fehler unterstellt. Denkbar sind Ausführungs- und Auslassungsfehler beim Anlegen der PSA welche hier unter anderem durch zu hastiges Ankleiden (zum Beispiel verursacht durch Zeitdruck), durch ungünstige ergonomische Bedingungen (der PSA sowie des Ankleideortes) oder aber auch durch mangelnde Übung beim Ankleiden begünstigt werden können. Im Folgenden werden folgende denkbare Fehler unterstellt:

- Beim Anlegen der Schutzausrüstung kann es aufgrund ungünstiger ergonomischer Gegebenheiten zu Ausführungsfehlern beim Anlegen von Elementen der Schutzausrüstung kommen. So sind das Anlegen einzelner Elemente der Schutzausrüstung für eine Person ohne Hilfsmittel oder Hilfestellung nur schwer auszuführen. Auch können bereits angelegte Elemente der PSA das Anlegen weiterer Elemente der PSA erschweren.
- Des Weiteren kann ein zu hastiges Ankleiden einen Ausführungsfehler begünstigen. Dies kann zum Beispiel durch ein zu geringes Zeitbudget (Stress) für diese Teilaufgabe begünstigt werden.
- Die einzelnen Elemente können in der falschen Reihenfolge angelegt werden (Ausführungsfehler) mit dem Ergebnis, dass am Ende des Anlegens der PSA es zu einer falschen Trageweise der PSA kommt. Stress und mangelnde Übung sind hier unter anderem ebenfalls relevante leistungsbestimmende Faktoren.
- Das Auslassen von einem Element der PSA oder einem notwendigen Schritt ist denkbar. Dies kann u. a. durch ein zu geringes Zeitbudget für diese Teilaufgabe begünstigt werden sowie durch mangelnde Übung.
- Die Selbstkontrolle der richtigen Trageweise kann aufgrund ergonomischer Bedingungen erschwert sein. So können Teile der PSA, ohne Hilfsmittel oder durch eine andere Person, nur schwer zu kontrollieren sein.
- Ungünstige Bedingungen am Ankleideort können sich fehlerbegünstigend auswirken. Unter anderem unzureichende Lichtverhältnisse oder beengte räumliche Verhältnisse am Ankleideort erschweren das Ankleiden der PSA sowie die Kontrolle der korrekten Trageweise.

- Die verwendete PSA kann nicht die erforderliche Qualität aufweisen bzw. weist zum Beispiel aufgrund von Abnutzung nicht mehr die erforderliche Qualität auf.
- Die PSA ist ergonomisch ungünstig für einzelne Mitarbeiter.

Bestimmung der Fehlerkonsequenzen (2.5)

Das Personal, welches im Alpha-Bereich tätig ist, ist unzureichend gegen Kontamination und Inkorporation geschützt. Daraus kann ein einzelner Mitarbeiter eine Inkorporation mit hoher Folgedosis erfahren.

Verbesserung der Vorkehrungen (2.6)

- Sicherstellung das für die Teilaufgabe ausreichend Zeit inklusiver eines Zeitpuffers zur Verfügung steht
- Ausreichende Einübung des Anlegens der PSA, u. a. in Form von Trockenübungen
- Der Ankleideort sollte für das Anlegen der PSA optimiert werden (unter anderem ausreichende Lichtverhältnisse und ausreichend Platz)
- Verwendung von Hilfsmitteln und/oder Unterstützung durch eine fachkundige Person beim Anlegen und der Kontrolle der PSA
- Regelmäßige Qualitätskontrolle der PSA

Der Betreiber der Referenzanlage hat unter anderem folgende Vorkehrungen für die hier betrachtete Teilaufgabe implementiert:

- Ein Mitarbeiter des Strahlenschutzes unterstützt den Ankleidevorgang insbesondere bei Elementen der PSA, die alleine nicht oder nur schwer durchzuführen sind (u. a. Anlegen von Überhandschuhen, Abdichten des Spaltes zwischen Überhandschuhen und Overall mittels Klebeband, Überstreifen einer Haube über den Helm, Befestigung dieser Haube am Overall mittels Klebeband).
- Der Mitarbeiter des Strahlenschutzes prägt die Geschwindigkeit des Ankleideprozesses auf.
- Der Mitarbeiter des Strahlenschutzes prüft die korrekte Trageweise der PSA. Zur Selbstkontrolle steht ein Spiegel zur Verfügung.
- Zum Einüben des Anlegens der PSA wird eine Übungsstrecke (Mock-up) genutzt.

Teilaufgabe 4.5: Durchführung der Abbauarbeiten

Arbeitsschritte innerhalb der Einhausung waren nicht Gegenstand der Analyse.

Während der Arbeiten findet eine regelmäßige Kontrolle durch den Strahlenschützer statt. Hierbei wird überprüft, dass die PSA auch im Verlauf der Tätigkeiten durchgängig korrekt getragen wird und dass sich durch die Tätigkeiten keine Beeinträchtigungen oder Beschädigungen der PSA oder anderen Schutzmaßnahmen (zum Beispiel der Einhausung) ergeben haben. Es werden regelmäßig Wischtests durchgeführt. Weitere Anlassbezogene radiologische Überprüfungen mittels Wischtests werden auf Verdacht (zum Beispiel auf Vorliegen höherer Kontamination im Abbaubereich) durchgeführt und bei Bedarf Dekontaminationsmaßnahmen veranlasst. Hierdurch können auch die Tätigkeit bis zu deren Abschluss eingeschränkt oder unterbrochen werden. Ebenso können auch anlassbezogene Handproben der Luftaktivität durchgeführt werden.

Teilaufgabe 4.6: Ablegen der persönlichen Schutzausrüstung

In dieser Teilaufgabe wird die PSA abgelegt. Das Ablegen der PSA hat so zu erfolgen, dass möglichst keine Kontamination von Personen und Raumbereichen stattfindet und dass es zu keiner Inkorporation von Radionukliden kommen kann, die sich während der Arbeiten auf der PSA abgelagert haben könnten.

Zerlegung der Aufgabe in Handlungen (2.3)

Die wesentlichen Handlungen in dieser Teilaufgabe sind das Ablegen der PSA, so dass möglichst keine Kontamination von Personen und Raumbereichen stattfindet und dass es zu keiner Inkorporation von Radionukliden kommen kann. Um menschliche Fehlhandlungen hierbei zu vermeiden, hat der Betreiber einige Vorkehrungen getroffen. Diese sind unter anderem, dass ein Mitarbeiter des Strahlenschutzes das Ablegen der PSA unterstützt und somit der Strahlenschutzmitarbeiter die Geschwindigkeit des Ablegens der PSA aufprägen kann.

Im Folgenden werden die Schritte 2.4 bis 2.6 des zweiten Teils der Methode illustrativ auf das Ablegen der PSA angewandt. Hierbei wird zunächst davon ausgegangen, dass die Vorkehrungen des Betreibers noch nicht umgesetzt sind. Die Handlungen zum Ablegen der PSA werden auf leistungsbestimmende Faktoren, mögliche Fehlerursachen, daraus resultierende menschliche Fehlhandlungen und Erkenntnisse zu Vorkehrungen untersucht. Die unterstellten Fehler und Vorkehrungen wurden generisch für die oben definierte

Handlung ermittelt. Sie sind damit unabhängig von der spezifischen Situation in der Referenzanlage. Im Anschluss werden Maßnahmen zur Vorkehrung, die der Betreiber der Referenzanlage implementiert hat, aufgeführt.

Bestimmung möglicher Fehler und Ursachen (2.4)

Beim Ablegen der PSA können bestimmte Faktoren und Ursachen dazu beitragen, dass sich bei der Durchführung der Tätigkeiten menschliche Fehler ergeben. Der Abschnitt 2.3 dieses Berichtes beinhalten die hierfür notwendige Theorie zu leistungsbestimmenden Faktoren sowie zu Fehlern und Ursachenarten. Aus der Kombination der unterstellten Faktoren und Ursachen für die hier untersuchten Handlungen wurden denkbare Fehler unterstellt. Denkbar sind:

- Auslassungsfehler können darin bestehen, dass das Säubern der PSA oder die Rückhaltung radioaktiver Partikel unterbleiben. Dies kann durch Zeitdruck, sprich durch knapp bemessene Zeitfenster für das Säubern und Ablegen der Schutzausrüstung, begünstigt werden. Zeitdruck kann z. B. entstehen, wenn die Personen pünktlich für eine nachfolgende Aufgaben bereitstehen müssen oder einen pünktlichen Dienstschluss anstreben.
- Das Säubern der PSA könnte aber auch nur unvollständig durchgeführt werden und die Rückhaltung radioaktiver Partikel nur unvollständig erfolgen (Ausführungsfehler). Dies kann durch ergonomische Faktoren begünstigt werden, sprich wenn es eigenständig nur schwer möglich, alle Bereiche des eigenen Körpers mit Händen oder mit Gegenständen zu erreichen.
- Bei Ausführungsfehlern sind auch an die folgenden Möglichkeiten zu denken: Die PSA könnte so abgelegt werden, dass Personen oder nicht zu kontaminierende Dinge bzw. Räumlichkeiten kontaminiert werden. Beispiele dafür sind, eine kontaminierte Atemschutzmaske mit bloßen Händen anzufassen, nachdem die Person ihre Handschuhe abgestreift hat, oder das Abstreifen der Atemschutzmaske in der Weise das kontaminiertes Material auf das Gesicht gelangen kann oder die Ablage der Atemschutzmaske in einem Behälter oder auf einer Stellfläche, der dafür nicht vorgesehen sind. Auch könnten die einzelnen Elemente der PSA in der falschen Reihenfolge abgelegt werden.
- Ungünstige ergonomische Auslegung der Umkleidezone können sich fehlerbegünstigend auswirken. Hier sind zum Beispiel ungünstiger Beleuchtung, räumlicher Enge oder ein hoher Geräuschpegel zu nennen.

Bestimmung der Fehlerkonsequenzen (2.5)

Diese Konsequenzen bestehen darin, dass Personen und Räumlichkeiten kontaminiert werden können und dass es zu keiner Inkorporation von Radionukliden kommen kann.

Verbesserung der Vorsorge (2.6)

- Es werden ausreichend lange Zeitbudgets für das Säubern und Ablegen der Schutzausrüstung und die Kontrolle der Personen auf Kontamination eingeplant und eingehalten.
- Das Säubern der Schutzausrüstung wird zumindest für die Bereiche, die der Träger selbst nicht erreichen kann, unterstützt.
- Die Umkleidezone ist in geeigneter Weise zu dimensionieren, zu beleuchten, gegen Geräusche abzuschirmen, mit rutschfesten Böden auszustatten u.a.
- Das einzuhaltende Vorgehen beim Ablegen der Schutzausrüstung wird genau erläutert, trainiert und durch eine zweite Person kontrolliert.
- Es gibt eindeutige Kennzeichnung der Orte (z. B. Container mit klarer Beschriftung oder Abbildung der zu deponierenden Teile), wo abgelegte Teile der PSA in der Umkleidezone zu deponieren sind.

Der Betreiber hat zu den betreffenden Handlungen insbesondere folgende Vorkehrungen implementiert:

- Falls eine erhöhte Kontamination in der Baustelle festgestellt wurde, wird die PSA gesäubert oder ggf. wird verbleibende Kontamination auf der PSA fixiert. Im Bedarfsfall kann eine Kontrolle der Person mittels eines Kontaminationsmonitors im Schleusenbereich durchgeführt werden.
- Ein Strahlenschutzmitarbeiter unterstützt beim Ablegen der PSA.
- Die Mitarbeiter des Strahlenschutzes tragen selbst eine PSA.
- Die Umkleidezone befindet sich in einer Doppelschleuse.
- Die einzelnen Teile der Schutzausrüstung sind in einer bestimmten Reihenfolge abzulegen.
- Das Ablegen der Atemschutzmaske darf erst nach Freigabe und im Beisein des Strahlenschutzmitarbeiters erfolgen.

- Das korrekte Ablegen der PSA (insbesondere der Atemschutzmaske) wird in einer Trainingseinrichtung (der „Teststrecke“) eingeübt.
- Mitarbeiter des Strahlenschutzes überprüfen eventuelle Kontaminationen der Personen, die auf der Alpha-Baustelle gearbeitet haben.
- Für die Ausführung der Handlungen wird ausreichend Zeit eingeplant und die Arbeit auf der Baustelle entsprechend rechtzeitig beendet.

Aufgabe 5: Aufhebung der Maßnahmen

Teilaufgabe 5.1: Aufheben der Alpha-Baustelle

Zu dieser Teilaufgabe gehören Handlungen in den Bereichen: (1) Kontrolle der Baustelle und der auf ihr befindlichen Dinge auf Kontaminationen, (2) Dekontamination kontaminierter Flächen und Dinge, (3) Einschluss kontaminierter Dinge und Abfälle, die im Baustellenbereich nicht dekontaminiert werden können, (4) Abbau und Vorbereitung des Abtransports der zur Baustelle gehörigen, wiederzuverwenden oder zu entsorgenden Dinge wie z. B. Gerüste, Geräte, usw. bzw. Abfälle.

Der Betreiber hat dazu u. a. folgende Vorkehrungen im Bereich des Strahlenschutzes implementiert:

- Es finden umfangreiche Wischtests und erforderliche Dekontaminationsmaßnahmen statt.
- Es werden Aerosol-Proben genommen, um sicherzustellen, dass die Messwerte unterhalb des kritischen Grenzwertes liegen. Dazu muss eine bestimmte Luftmenge durch den Messfilter strömen, sprich hierzu muss die Messung eine entsprechende Zeitdauer durchgeführt werden.
- Die Folien für die Einhausung der Baustelle wird auf Kontaminationen untersucht und danach entsorgt.

4.2.3 Allgemeine Erkenntnisse zu menschlichen Fehlhandlungen und Vorkahrungen bei Arbeitsvorhaben in der Stilllegung

Anlagenbegehung und Diskussion mit dem Betreiber haben neben den Informationen, die in der Fallstudie beschrieben wurden, weitere allgemeine Erkenntnisse ergeben, die im Folgenden beschrieben werden.

Informationen zu Lehre und Wissensvermittlung:

- Die Wissensvermittlung erfolgt im direkten Austausch mit einer oder zwei zu schulenden Personen (und nicht mehr als Frontalunterricht). Die Schulung wird durch Eigenpersonal durchgeführt, welches für diese Aufgaben didaktisch geschult wurde und auch langfristig in dieser Aufgabe Erfahrung sammeln soll. Durch die kleine Gruppengröße ist es möglich, individuell auf die zu schulenden Personen einzugehen. Poster mit Lehrinhalten dienen dabei als Unterstützung. Eine Schulung ist erst dann abgeschlossen, wenn die schulende Person den Eindruck gewonnen hat, dass die Inhalte verstanden wurden.

Informationen (hauptsächlich) zu leistungsbestimmenden Faktoren:

- Der Betreiber hält bei der PSA unterschiedliche Varianten bereit, um auf individuelle Wünsche bzw. Präferenzen der Mitarbeiter eingehen zu können. So gibt es zum Beispiel unterschiedliche Varianten des Atemschutzes.
- Bei den Atemschutzmasken wird auf ein möglichst großes Sichtfeld geachtet.
- Mit Überschuhen ist die Gefahr des Stolperns etwas erhöht. Daher gibt es für manche Tätigkeiten eindeutig markierte Schuhe, die in einer Kontaminationszone getragen werden und auch dort verbleiben. Diese Maßnahme dient der Verbesserung der Arbeitssicherheit.

Informationen zum Ausschleusen von Alphakontaminierten Elementen/Komponenten und allgemein zur Logistik von Reststoffen:

- Alles was eine Kontaminationszone verlässt muss, zumindest von außen, kontaminationsfrei sein. Dazu muss es ggf. verpackt werden.
- Bei der Planung sind mögliche Herausforderungen durch die Menge der Reststoffe zu berücksichtigen. Als eine Abhilfe sieht der Betreiber die Einplanung und Bereitstellung von ausreichenden Puffer- und Lagerflächen sowie anlageninternen und temporären Einrichtungen zu Behandlung von Reststoffen vor.

- Freiwerdender oder frei gewordener Raum dient nach Beantragung und Genehmigung durch die Behörde dazu, Reststoffe aus dem Abbau zu lagern. Vor Ort informieren Pläne über die Lage der Stellplätze sowie über die zulässige Nutzlast der Böden. Die zulässige Nutzlast ist auf den Plänen farblich gekennzeichnet, was das Ablesen dieser erleichtert. Regelmäßige Begehungen dienen dazu, die Bezeichnungen und Belegungen der Flächen zu überprüfen. Die Ausnutzung der zulässigen Nutzlasten werden zusätzlich softwarebasiert überprüft. Das Gewicht der Boxen ist digital hinterlegt und wird mit den zulässigen Nutzlasten am Standort der Boxen abgeglichen. Wird die zulässige Nutzlast überschritten, erfolgt eine Meldung.
- Reststoffe werden vor Ort (u. a. mit Formblättern an Transportboxen) und zentral (z. B. durch einen Barcode und digital hinterlegten Informationen zu Inhalt, radiologischen Daten und dem Stellplatz) gekennzeichnet. Die Kennzeichnung dient dem Betreiber zur Steuerung der weiteren Prozesse und beugt der Verwechslung von Reststoffen vor.

Informationen in den Bereichen menschliche Faktoren (HF) und Sicherheitskultur:

- Menschliche Faktoren und Sicherheitskultur spielen eine wichtige Rolle. Die Organisationseinheit Abbau nutzt einen HF-Werkzeugkasten und setzt Botschafter für die Sicherheitskultur ein. Diese Sicherheitskulturbotschafter sind vor Ort tätig.
- Bei den Arbeiten kommt insbesondere ein Verfahren zum Einsatz, bei dem die Arbeiten zu unterbrechen sind, wenn sich Unklarheiten ergeben.
- Führungskräfte sprechen Mitarbeiter vor Ort gezielt an, um sich über Probleme oder Verbesserungsvorschläge zu informieren. Diese werden genutzt, um Verbesserungen vorzunehmen.
- Sensibilisierung von Mitarbeitern für Gefahren, da mangelnde Aufmerksamkeit sich als eine wichtige Fehlerquelle herausgestellt hat.

4.3 Zusammenfassung

Die in Kapitel 3 angepasste Methode der GRS zur Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen in sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben für Anlagen im Nachbetrieb und in der Stilllegung konnte in diesem Kapitel beispielhaft auf das Arbeitsvorhaben „Alpha-Bau-stelle“ angewandt werden. Im Rahmen des Vorhabens wurde die Methode hierzu illustrativ an einigen Teilaufgaben des Arbeitsvorhabens angewandt. Die dargestellten Erkenntnisse

beruhen im Wesentlichen auf dem Besuch der Referenzanlage (Besichtigung der Baustelle und Besprechung der Tätigkeiten und deren Rahmenbedingungen) sowie den anschließenden Besprechungen mit dem Betreiber und der Aufsichtsbehörde.

Auf das Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“ wurde in Abschnitt 4.2.1 zunächst der Teil 1 der Methode angewandt, um zu ermitteln, ob es sich bei diesem um ein sicherheitsrelevantes Arbeitsvorhaben gemäß der in diesem Bericht entwickelten Definition (Abschnitt 3.2) handelt. Aus der Strahlenschutz Betrachtung von Teil 1 der Methode (rechter Strang aus Abb. 3.1) ergab sich, dass das Arbeitsvorhaben als sicherheitsrelevant zu bewerten ist, da aus der Betriebserfahrung bekannt ist, dass es beim An- und Ablegen der PSA zu Ausführungsfehlern kommen kann. Dies kann insbesondere dazu führen, dass es zur Kontamination und/oder Inkorporation von Radionukliden kommen kann. Eine Inkorporation von Radionukliden durch einen Mitarbeiter kann zu hohen Folgedosen führen. Somit wurde das Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“, im Sinne des radiologischen Sicherheitszieles, die Personendosis so gering wie möglich zu halten, nach Kriterium S2 als sicherheitsrelevant eingestuft.

Im Abschnitt 4.2.2 wurde Teil 2 der Methode (siehe auch Abb. 3.2) zur Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen bei Personalhandlungen auf das Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“ angewandt. Dazu wurde zunächst das Arbeitsvorhaben in Aufgaben und Teilaufgaben zerlegt. Im Rahmen der verfügbaren Informationen wurde illustrativ für die drei Teilaufgaben „Zutrittsbedingungen für Alpha-Baustellen“, „Anlegen der persönlichen Schutzausrüstung“ und „Ablegen der persönlichen Schutzausrüstung“ durchgeführt. Die Teilaufgaben wurden in Handlungen zerlegt. Für diese wurden mögliche Fehler und Ursachen sowie die Fehlerkonsequenzen bestimmt. Des Weiteren wurden Verbesserungen zu Vorkehrungen vor Fehlern ermittelt. Dies geschah unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Abschnitten 2.3.2, 2.3.4 und 2.4.2. Da der Betreiber der Referenzanlage bereits Vorkehrungen umgesetzt hat, wurde zur besseren Illustration der Vorgehensweise bei der Ermittlung der Fehler, Fehlerursachen und Vorkehrungen davon ausgegangen, dass die Vorkehrungen des Betreibers noch nicht umgesetzt sind. Anschließend sind jeweils die Vorkehrungen des Betreibers zu den drei Teilaufgaben aufgeführt. Für alle weiteren Aufgaben und Teilaufgaben wurden die Erkenntnisse und Vorkehrungen, die der Betreiber der Referenzanlage umgesetzt hat, ebenfalls aufgeführt.

In Abschnitt 4.2.3 wurden allgemein gewonnenen Erkenntnisse (die nicht allein dem Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“ zugeordnet werden können) zu menschlichen Fehlhandlungen und Vorkehrungen bei Arbeitsvorhaben im Nachbetrieb und in der Stilllegung,

die während des Besuchs der Referenzanlage sowie den anschließenden Besprechungen mit dem Betreiber und der Aufsichtsbehörde gemacht wurden, aufgelistet. Dazu gehören Informationen zu Lehre und Wissensvermittlung, Informationen zu leistungsbestimmenden Faktoren, Informationen zum Ausschleusen von kontaminierten Elementen/Komponenten und zur Logistik von Reststoffen sowie Informationen zum Bereich menschliche Faktoren und Sicherheitskultur.

5 Zusammenfassung

Die Ziele dieses Forschungsvorhaben bestanden darin, die von der GRS für in Betrieb befindliche Anlagen entwickelte „Methode zur Erfassung sicherheitsrelevanter Instandhaltungen, Änderungen, Nach- und Umrüstungen und zur Bestimmung denkbarer Fehler, sicherheitstechnischen Folgen und möglicher Vorkehrungen“ /GRS 10/ auf die spezifischen Aspekte in kerntechnischen Anlagen während des Nachbetriebs und der Stilllegung anzupassen sowie die angepasste Methode illustrativ auf eine Fallstudie anzuwenden.

Dazu wurde in Kapitel 2 der relevante Stand von Wissenschaft und Technik analysiert. Aus diesem ergab sich, dass die Definition der Sicherheitsrelevanz angepasst werden musste, da die bisherige Definition nicht auf die Stilllegung übertragbar ist. Zusätzlich wurde in die Definition der Sicherheitsrelevanz, neben dem Aspekt der nuklearen Sicherheit der Anlage, auch der Aspekt des Schutzes von Menschen und der Umwelt vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung aufgenommen. Bezüglich der in /GRS 10/ ermittelten Fehlerklassifikation (Unterlassungs-, Ausführungs- und Verwechslungsfehler (Abschnitt 2.3.2)) hat sich kein Änderungsbedarf ergeben. Bei den Fehlerursachen bzw. leistungsbestimmenden Faktoren ergaben sich lediglich Ergänzungen und Anpassungen aus der Recherche des wissenschaftlichen-technischen Erkenntnisstandes (Abschnitt 2.3.3). Das Gleiche gilt für Vorkehrungen gegenüber Fehlern (Abschnitt 2.4.1). Die ermittelten Fehlerklassen, leistungsbestimmenden Faktoren und Vorkehrungen wurden in Form einer Liste zusammengestellt und unterstützen die Anwendung der Methode.

Für die Anwendung der Methode aus /GRS 10/ auf Arbeitsvorhaben im Nachbetrieb und in der Stilllegung wurden einige Anpassungen der Methode durchgeführt. Diese sind in Kapitel 3 dargestellt. Die Anpassungen basieren auf den Erkenntnissen aus Kapitel 2. Die wesentlichsten Anpassungen betreffen die Erweiterung der Definition von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben.

Ein Arbeitsvorhaben im Nachbetrieb und in der Stilllegung wird als sicherheitsrelevant bewertet, wenn es eine oder mehrere Personalhandlungen beinhaltet, bei der bzw. denen

- es auf Grund einer menschlichen Fehlhandlung zur Anforderung oder Beeinträchtigung von Komponenten, die für die Einhaltung der relevanten Schutzziele und radiologischen Sicherheitsziele benötigt werden (sicherheitsrelevante Komponenten), kommen kann (Kriterium S1)

oder

- es auf Grund einer menschlichen Fehlhandlung zu einer Beeinträchtigung von Strahlenschutzmaßnahmen kommen kann, die im Sinne der Dosisreduzierung von Personen oder zur Vermeidung einer Weiterverbreitung von Radionukliden festgelegt wurden (Kriterium S2).

Bei den leistungsbestimmenden Faktoren und den Fehlervorkehrungen wurden lediglich kleinere Anpassungen und Ergänzungen gegenüber dem Vorgängerprojekt /GRS 10/ vorgenommen.

In Abschnitt 3.5 wird die Methode zur Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen in sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben für Anlagen im Nachbetrieb und in der Stilllegung beschrieben. Im ersten Teil der Methode (Abschnitt 3.5.1) werden Arbeitsvorhaben bestimmt, die gemäß der obigen Definition als sicherheitsrelevant definiert werden. Abbildung 3.1 gibt eine illustrative Übersicht über die systematische Vorgehensweise, die zwei Stränge vorsieht. Der eine Strang (links in Abb. 3.1) behandelt die sogenannte Komponentenbetrachtung und orientiert sich an der in /GRS 10/ dargestellten Methode. Der zweite Strang (rechts in Abb. 3.2) behandelt die sogenannte Strahlenschutzbetrachtung. Ziel ist es, dem Anwender eine schnelle Identifizierung von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben (nach Kriterium S1 oder S2) zu ermöglichen. Im zweiten Teil der Methode (Abschnitt 3.5.2) wird ein im ersten Teil der Methode identifiziertes Arbeitsvorhaben in einzelne Personalhandlungen zerlegt. Für alle Personalhandlungen sollen Fehler, leistungsbestimmende Faktoren, Fehlerkonsequenzen sowie Fehlervorkehrungen ermittelt werden. Abbildung 3.2 veranschaulicht das Vorgehen.

In Kapitel 4 wurde die angepasste Methode auf das Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“ illustrativ angewendet. Die gewonnenen Erkenntnisse beruhen auf dem Besuch der Referenzanlage sowie den anschließenden Besprechungen mit dem Betreiber und der Aufsichtsbehörde. Gemäß dem ersten Teil der Methode wurde zunächst ermittelt, ob es sich bei dem Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“ um ein sicherheitsrelevantes Arbeitsvorhaben

handelt. Nach Durchlaufen des rechten Stranges (Abb. 3.1; Strahlenschutzbetrachtung) konnte das Arbeitsvorhaben bereits als sicherheitsrelevant bewertet werden. Beim An- und Ablegen der persönlichen Schutzausrüstung kann es zu Ausführungsfehlern kommen, wie aus der Betriebserfahrung bekannt ist. Dies kann u. a. zu einer Kontamination und/oder Inkorporation von Radionukliden führen, mit der Folge einer hohen Personendosis für den betroffenen Mitarbeiter. Daraus ergab sich, dass das Arbeitsvorhaben nach Kriterium S2 als sicherheitsrelevant eingestuft wurde. In Teil 2 der Methode wurde, soweit möglich, das Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“ in Aufgaben und Teilaufgaben zerlegt. Für drei Teilaufgaben („Zutrittsbedingungen für Alpha-Baustellen“, „Anlegen der persönlichen Schutzausrüstung“ und „Ablegen der persönlichen Schutzausrüstung“) wurde eine detaillierte Analyse durchgeführt. Hierbei wurden einzelne Handlungen und für diese mögliche Fehler, Fehlerursachen, Fehlerkonsequenzen und Fehlervorkehrungen bestimmt. Zu den oben genannten drei Teilaufgaben sowie den anderen Aufgaben und Teilaufgaben des Arbeitsvorhabens wurden die Erkenntnisse und Vorkehrungen aus den Erfahrungen des Betreibers ebenfalls dokumentiert. Erkenntnisse, die keinen direkten oder übergeordneten Bezug zum Arbeitsvorhaben „Alpha-Baustelle“ haben, wurden separat in Abschnitt 4.2.3 aufgeführt.

Insgesamt eröffnet die Anwendung der in diesem Bericht dargestellten Methode die Möglichkeit auch während des Nachbetriebs und der Stilllegung kerntechnischer Anlagen, möglichst frühzeitig und proaktiv, potenzielle Herausforderungen bei Arbeitsvorhaben zu identifizieren und entsprechende Vorkehrungen abzuleiten.

Literaturverzeichnis

- /BLA 06/ Blau, G.: A process model for understanding victim responses to worksite/function closure. Human Resource Management Review, 16, 12-28, 2006
- /BMI 78/ Bundesminister des Inneren: Richtlinie für die Methode zur Vorbereitung und Durchführung von Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten in Kernkraftwerken, Bek. d. BMI, 1.6.1978
- /BMU 16/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 des Atomgesetzes, RS-Handbuch 3-73, Stand 07/16, BAnz AT 19.07.2016 B7, vom 23. Juni 2016
- /BMU 15/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke, vom 22. November 2012, Neufassung vom 3. März 2015, BAnz AT 30.03.2015 B2.
- /BMU 14/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Merkpostenliste für die Durchführung einer Bewertung des aktuellen Sicherheitsstatus der Anlage für die Nachbetriebsphase, RS-Handbuch 3-22, vom 02. Oktober 2014
- /BMU 05/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei Tätigkeiten der Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und des Abbaus in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen: Teil 2: Die Strahlenschutzmaßnahmen während des Betriebs und der Stilllegung einer Anlage oder Einrichtung – IWRS II, vom 17. Januar 2005 (GMBI 2005 S. 258)

- /BMU 59/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG), RS-Handbuch 1A-3, Stand 07/18, Neufassung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I 1985, Nr. 41, S. 1565, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes vom 10. Juli 2018 (BGBl. I S. 1122), vom 23. Dezember 1959
- /DUD 20/ Duden, Wörterbuch, Eintrag zu „Arbeitsvorhaben“, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Arbeitsvorhaben>, zuletzt abgerufen am 28.07.2020
- /ESK 15/ Entsorgungskommission (ESK): Empfehlung der Entsorgungskommission, Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen, vom 16. März 2015
- /GAB 20/ Gabler Wirtschaftslexikon, Definition von „Resilienz“, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/resilienz-52429/version-275567>, zuletzt abgerufen am 26.08.2020
- /GRS 17/ Gesellschaft für Reaktor- und Anlagensicherheit (GRS) gGmbH: Sicherheitstechnisch relevante Fehlermechanismen in der Nachbetriebsphase, GRS-453, Köln, 2017
- /GRS 10/ Gesellschaft für Reaktor- und Anlagensicherheit (GRS) gGmbH: Verbesserung der Bewertungsbasis für Aspekte des Sicherheitsmanagements und der Schnittstellen zur Sicherheitstechnik sowie für Personalhandlungen – AP 2: Vorsorge gegen Fehler bei sicherheitsrelevanten Prozessen, GRS-A-3566, Köln, 2010
- /HAC 14/ Hacker, W., Sachse, P.: Allgemeine Arbeitspsychologie, 3. Auflage, Hogrefe Verlag, Göttingen, 2014
- /HÄS 11/ Häsänen, L., Hellgren, J., Hansson, M.: Goal Setting and plant closure: When bad things turn good. Economic and Industrial Democracy, 32(1), 135-156, 2011

- /HOL 20/ Hollnagel, E., „Safety-I and Safety-II“, <https://erikhollnagel.com/ideas/safety-i%20and%20safety-ii.html>, Webseite zuletzt abgerufen am 17.08.2020
- /IAE 16a/ International Atomic Energy Agency: Leadership and Management for Safety, General Safety Requirements Part 2, 2016
- /IAE 16b/ International Atomic Energy Agency: Managing the Unexpected in Decommissioning, Nuclear Energy Series, No. NW-T-2.8, 2016
- /IAE 14/ International Atomic Energy Agency: Decommissioning of Facilities, General Safety Requirements Part 6, No. GSR Part 6, 2014
- /IAE 13/ International Atomic Energy Agency: Safety Assessment for Decommissioning, Safety Reports Series No. 77, 2013
- /IAE 09a/ International Atomic Energy Agency: Predisposal Management of Radioactive Waste, General Safety Requirements Part 5, No. GSR Part 5, 2009
- /IAE 09b/ International Atomic Energy Agency: The Management System for Nuclear Installations, IAEA Safety Standard Series GS-G-3.5, 2009
- /KTA 17/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA): KTA-Regel 1402: Integriertes Managementsystem zum sicheren Betrieb von Kernkraftwerken, Fassung 2017-11
- /KTA 14/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA): KTA-Regel 1401.2: Berücksichtigung des Strahlenschutzes der Arbeitskräfte bei Auslegung und Betrieb von Kernkraftwerken, Teil 2: Betrieb, Fassung 2014-11
- /LAY 11/ Lay, E.: Practices for Noticing and Dealing with the Critical. A Case Study from Maintenance of Power Plants. In E. Hollnagel, J. Páris, D. D. Woods, & J. Wreathall (Hrsg.), Resilience Engineering in Practice (S. 87-100). Farnham: Ashgate, 2011
- /LEE 19/ Lee, B. S.: Development of Performance Shaping Factors for Human Error Reduction during Reactor Decommissioning Activities through the Task Analysis Method, aus International Journal for Nuclear Power atw Vol 64., Issue 11/12, S. 515-520, November/Dezember 2019

- /OEC 19/ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) - Nuclear Energy Agency (NEA): Country-Specific Safety Culture Forum: Finland, NEA No. 7488, 2019, <https://www.oecd-nea.org/hans/pubs/2019/7488-csscf-finland.pdf>, Webseite zuletzt abgerufen am 17.08.2020
- /OEC 18/ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) - Nuclear Energy Agency (NEA): Country-Specific Safety Culture Forum: Sweden, NEA No. 7420, 2018, <https://www.oecd-nea.org/hans/pubs/2018/7420-cssc-sweden.pdf>, Webseite zuletzt abgerufen am 17.08.2020
- /RAD 12/ Radke-Schaub, P. et al.: Human Factors: Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen, 2. Auflage, Berlin: Springer-Verlag, 2012
- /REA 08/ Reason, J.: The Human Contribution, Boca Raton: CRC Press, 2008
- /RIC 17/ Richter, P., Hacker, W.: Belastung und Beanspruchung, 5. Auflage, Heidelberg: Asanger Verlag, 2017
- /SCH 19/ Schaper, Psychologie der Arbeitssicherheit, in: Nerdinger, F., et al. (Herausgeber): Arbeits- und Organisationspsychologie, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2014, S. 541-579
- /SHA 12/ Sharit, J.: Human Error and Human Reliability Analysis, in: Salvendy, G. (Editor): Handbook of Human Factors and Ergonomics, 4. Auflage, New York: Wiley, 2012
- /WEI 07/ Weick, K. E., Sutcliffe, K.M.: Managing the Unexpected, San Francisco, Wiley, 2007
- /WRE 06/ Wreathall, J.: Properties of Resilient Organizations: An Initial View. In E. Hollnagel, D. D. Woods, & N. Leveson (Hrsg.), Resilience Engineering: Concepts and Precepts (S. 275-285). Farnham: Ashgate, 2006

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1	Teil 1 der Methode: Erfassung von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben.....	42
Abb. 3.2	Teil 2 der Methode: Ermittlung von möglichen Fehlern und Vorkehrungen bei Personalhandlungen von sicherheitsrelevanten Arbeitsvorhaben	50

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

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

Boltzmannstraße 14
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