

**Untersuchungen zur
Operationalisierung
vorliegender optimierter
Schutzstrategien in
operationellen Notfallplänen**

Untersuchungen zur Operationalisierung vorliegender optimierter Schutzstrategien in operationellen Notfallplänen

Abschlussbericht

Florian Meinerzhagen
Elena Mühr-Ebert
Thorsten Stahl

September 2019

Anmerkung:

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) unter dem Kennzeichen 3617S62562 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

Anlagenexterner Notfallschutz, Notfallpläne, Operationalisierung, Optimierung, Schutzstrategien

Kurzfassung

In diesem Bericht werden die Untersuchung des grundsätzlichen Konzepts zur Operationalisierung vorgegebener Schutzstrategien unter Berücksichtigung relevanter radiologischer und nichtradiologischer Aspekte sowie ein generischer Algorithmus zur Operationalisierung vorgegebener Schutzstrategien dargestellt.

Hintergrund dieser Untersuchung ist die Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom in deutsches Recht, die mit Änderungen im deutschen Notfallmanagementsystem einherging. Teil dieser Änderungen sind bundeseinheitliche Referenzszenarien, die in Notfallplänen beschrieben und als Teil einer Schutzstrategie in das Notfallmanagementsystem integriert sind. Bezugnehmend auf die einzelnen Referenzszenarien ist die Schutzstrategie auf das jeweilige Szenario zu optimieren und durch Vorgaben hinsichtlich der Bewertung zur Angemessenheit und Entscheidung über Maßnahmen zum Schutz vor den erheblichen nachteiligen Auswirkungen auf Menschen, die Umwelt oder Sachgüter sowie organisatorischer Regelungen zu konkretisieren. In einem Ereignisfall sind die bereits getroffenen und gegebenenfalls noch zu treffenden Maßnahmen in diversen Sachbereichen fortlaufend zu überprüfen und bei Bedarf an die sich entwickelnde Situation anzupassen. Daraus ergibt sich ein zyklischer Prozess aus Informationsbeschaffung und -verarbeitung, Entscheidungsfindung, Umsetzung und Erfolgskontrolle, der hier näher untersucht worden ist, um diesen Prozess zu verstehen, beurteilen und bei Bedarf anpassen zu können.

Für die Analysen wurden der aktuelle Stand in Wissenschaft und Technik recherchiert, die relevanten Elemente von Prozessketten der optimierten Schutzstrategien aus den Diskussionsentwürfen des allgemeinen Notfallplans des Bundes ermittelt und eine Systematik zur Abbildung solcher Prozessketten spezifiziert. Ausgehend von diesen Analysen wurde durch Übertragung und Abstraktion der Ergebnisse der Algorithmus zur Operationalisierung optimierter Schutzstrategien abgeleitet.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen dabei ein mögliches Vorgehen im Bewertungs- und Umsetzungsprozess von Maßnahmen als Teil einer optimierten Schutzstrategien auf und weisen auf mögliche Probleme in solchen Prozessen hin.

Abstract

This report presents the results of an investigation concerning a concept for the operationalisation of specified protection strategies under consideration of radiological and non-radiological aspects as well as a generic algorithm for the operationalisation of specified protection strategies.

The study was performed in the context of the implementation of Directive 2013/59/Euratom into German law, which was accompanied by changes in the German emergency management system. Part of these changes are the introduction of nationwide reference scenarios, which are described in emergency plans and integrated into the emergency management system as part of a protection strategy. With reference to the individual reference scenarios, the protection strategy has to be optimised for each respective scenario. The strategy has to be concretised by specifications regarding the evaluation of the appropriateness and decision on measures to protect against serious adverse consequences to humans, the environment or material assets as well as organisational regulations. In the case of an incident, the measures already taken and, if necessary, those still to be taken in various areas must be continuously reviewed and, if necessary, adapted to the developing situation. This results in a cyclical process of information gathering and processing, decision making, implementation and performance review, which has been examined in detail in order to understand, assess and, if necessary, adapt this process.

For the analyses done, the current state of the art in science and technology was examined, the relevant elements of process chains of the optimised protection strategies were determined from the discussion drafts of the general emergency plan of the Federal Government and a system for mapping such process chains was specified. Based on these analyses, the algorithm for operationalising optimised protection strategies was derived by transferring and abstracting the results.

The results of these investigations show a possible procedure in the evaluation and implementation process of measures as part of an optimised protection strategies and point out possible problems in such processes.

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung	I
	Abstract.....	II
1	Einleitung.....	1
2	Aufarbeitung des für das Vorhaben relevanten Standes von Wissenschaft und Technik.....	3
2.1	Bisherige Arbeiten der GRS.....	3
2.1.1	Aufgaben des GRS-Notfallzentrums und des Teams „Strahlenschutz“	3
2.1.2	Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom und zukünftige Aufgaben des Bundes im Notfallschutz.....	5
2.1.3	Werkzeuge und Methoden	10
2.2	Aspekt der Optimierung im Notfallschutz	10
2.2.1	ALARA-Prinzip	10
2.2.2	Empfehlungen der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP).....	11
2.2.3	Empfehlungen der Internationalen Atomenergie-Organisation	13
2.2.4	Richtlinie 2013/59/Euratom	15
2.2.5	Umsetzung im deutschen Regelwerk.....	16
2.2.6	Erfahrungen anderer Staaten bei der Optimierung von Schutzstrategien	16
2.3	Relevante Informationssysteme	18
2.3.1	Generelle Informationssysteme für radiologische Notfälle	18
2.3.2	Messwerte zur Bestimmung der Umweltradioaktivität.....	20
2.3.3	Anlagenparameter und Anlageninformationen.....	21
2.3.4	Messungen und Dosisrekonstruktionen der Bevölkerung	23
2.3.5	Bedarfsanforderungen für die radiologische Bewältigung.....	24
2.3.6	Weitere Informationssysteme.....	24
3	Analyse und Spezifikation generischer Prozessketten zur Operationalisierung optimierter Schutzstrategien.....	31
3.1	Relevante Elemente der abzubildenden Prozessketten	31

3.1.1	Anforderungen an optimierte Schutzstrategien.....	31
3.1.2	Rollen und Zuständigkeiten innerhalb optimierter Schutzstrategien	35
3.1.3	Anpassung vorliegender Schutzstrategien auf die Referenzszenarien.....	36
3.1.4	In die Prozessbeschreibungen aufzunehmende Elemente	63
3.2	Systematik zur Abbildung von Prozessketten	86
3.2.1	Informationsbeschaffung und -verarbeitung.....	86
3.2.2	Entscheidungsfindung und Anpassung von Entscheidungen	90
3.2.3	Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle	97
4	Algorithmus zur Operationalisierung optimierter Schutzstrategien	103
4.1	Schritt 1: Festlegung von Anforderungen.....	103
4.2	Schritt 2: Definition von Rollen	103
4.3	Schritt 3: Anpassung von Anforderungen auf Szenarien	105
4.4	Schritt 4: Prozessdarstellung für die Minimierung der Exposition	106
5	Zusammenfassung	113
	Abkürzungsverzeichnis	115
	Literaturverzeichnis	121

1 Einleitung

Zur Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom sind auf der Basis bundeseinheitlicher Referenzszenarien Notfallpläne für unterschiedliche Arten nuklearer und radiologischer Notfälle zu erstellen. Für alle Referenzszenarien ist hierfür jeweils eine optimierte Schutzstrategie zu entwickeln und in den Notfallplänen abzubilden. Im Rahmen der jeweiligen Schutzstrategie sollen im Ereignisfall die bereits getroffenen und ggf. noch zu treffenden Schutzmaßnahmen fortlaufend überprüft und ggf. an die sich entwickelnde Situation angepasst werden. Zu diesem Zweck muss die jeweilige Schutzstrategie in der Anwendung auf den jeweiligen Ereignisfall operationalisierbar sein.

Diese Operationalisierung stützt sich im Wesentlichen auf drei untereinander zyklisch verbundene Prozesse:

- Informationsbeschaffung und -verarbeitung; hier insbesondere Lagedarstellung und Lagebewertung,
- Entscheidungsfindung inklusive Anpassung bereits getroffener Entscheidungen sowie
- Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle.

Diese Prozesse berühren sowohl Bereiche, in denen radiologische Fachkompetenz erforderlich ist, als auch Bereiche die keinen direkten Bezug zum Strahlenschutz aufweisen.

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurden grundsätzliche Konzepte zur Operationalisierung vorgegebener Schutzstrategien untersucht, die sowohl alle relevanten radiologischen als auch alle nichtradiologischen Aspekte berücksichtigen und integrieren. Damit soll der wissenschaftliche Kenntnisstand hinsichtlich der Anwendbarkeit vorgegebener optimierter Schutzstrategien in realen Notfallplänen insbesondere für Anwendungsbereiche ohne Berührungspunkte zum Strahlenschutz im Tagesgeschäft erweitert werden.

Zu diesem Zweck wird im Vorhaben ein generischer Algorithmus zur Operationalisierung vorgegebener Schutzstrategien untersucht, der auf alle verfügbaren optimierten Schutzstrategien und Referenzszenarien in Notfallplänen anwendbar sein soll. Dazu werden für alle Referenzszenarien exemplarisch die bereits vorliegenden Schutzstrategien auf generische Notfallpläne abgebildet. Die Entwicklung der Schutzstrategien selbst zählt hingegen nicht zu den Zielen des Vorhabens.

2 Aufarbeitung des für das Vorhaben relevanten Standes von Wissenschaft und Technik

2.1 Bisherige Arbeiten der GRS

2.1.1 Aufgaben des GRS-Notfallzentrums und des Teams „Strahlenschutz“

Die GRS ist mit Inkrafttreten der den Notfallschutz betreffenden Abschnitte des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) seit dem 1. Oktober 2017 eine offizielle und im Gesetz aufgeführte Institution des Notfallmanagementsystems in Deutschland. Sie ist Teil des in § 106 StrlSchG aufgeführten Radiologischen Lagezentrums des Bundes (RLZ), einem Netzwerk aus der Kopfstelle beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), der Zentralstelle des Bundes (ZdB) beim Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und eben dem GRS-Notfallzentrum (für mehr Informationen siehe Abschnitt 2.1.1). Das GRS-Notfallzentrum versteht sich als beratendes Expertenteam für das BMU und bewertet insbesondere die Situation innerhalb einer Anlage auf Basis zur Verfügung stehender Informationen. Bereits vor der Nennung im StrlSchG unterstützte die GRS das BMU bei der Notfallbewertung. So informierte die GRS während des Notfalls in Fukushima am 11. März 2011 das BMU, die Medien und die Öffentlichkeit über Wochen hinweg kontinuierlich über die Entwicklungen am japanischen Kernkraftwerk. Zudem arbeitet die GRS dem BMU regelmäßig in Übungen als beratende Institution zu. Derzeit werden die Vorgaben an das GRS-Notfallzentrum unter Berücksichtigung der neuen gesetzlichen Anforderungen aus dem Strahlenschutzgesetz überarbeitet.

Berichterstellung des GRS-Notfallzentrums für das BMU

Um dem Beratungsauftrag innerhalb des RLZ angemessen nachgehen zu können, stellt das GRS-Notfallzentrum im Ereignisfall oder bei Notfallübungen der Kopfstelle des RLZ beim BMU regelmäßig Berichte zur Verfügung. Der Inhalt dieser Berichte wurde im Vorfeld abgestimmt und ist mittlerweile durch regelmäßige Übungen getestet worden. Der Bericht enthält Informationen

- zum aktuellen Anlagenzustand,
- zur Emission bzw. Freisetzung mit einer Bewertung der
 - bisher beziehungsweise aktuell erfolgenden Freisetzung,

- der prognostizierten Freisetzung und
- des Zeitverlaufs der bisher erfolgten beziehungsweise der prognostizierten Freisetzung.
- Angaben über geplante Maßnahmen zur Beherrschung bzw. Stabilisierung des Anlagenzustandes durch den Betreiber sowie eine Einschätzung der GRS
- zum Anlagenzustand mit Blick
 - auf das auslösende Ereignis,
 - zu Sicherheitsfunktionen,
 - zu den innerhalb der Anlage möglichen und bereits genutzten Maßnahmen,
 - den potentiellen bzw. aktuellen Gefährdungen sowie
 - zu Annahmen der GRS hinsichtlich des möglichen weiteren Vorgehens des Betreibers.
- Falls gewünscht, kann die GRS in Person des deutschen INES-Officer auch eine INES-Einstufung auf Plausibilität prüfen oder selbst begründen.
- Der Bericht der GRS enthält zudem eine chronologische Darstellung des Notfallablaufs.

Um Aussagen über den Anlagenzustand tätigen zu können, sind neben den Informationen des Betreibers auch Messungen im Umfeld einer Anlage (Gamma-Ortsdosisleistung-(ODL-)Messnetz, Kernreaktor-Fernüberwachungssystem (KFÜ), mobile Messeinheiten, weitere Messungen (atmosphärische Radioaktivität, Radioaktivität im Wasser, Boden, in Nahrungs- und Futtermitteln etc.) im Rahmen des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS); siehe Details in Abschnitt 2.3) für die Bewertung des Anlagenzustands heranzuziehen. Die GRS hat für ihre Bewertungen Werkzeuge und Methoden entwickelt, um Aussagen über mögliche und wahrscheinliche Freisetzungen während eines Ereignisses in einem Kernkraftwerk zu tätigen sowie um Rückschlüsse von Freisetzungen auf Anlagenzustände zu ermöglichen. Als Werkzeug zur Abschätzung von möglichen Freisetzungsteilen, die sogenannte Quelltermprognose, wird FaSTPro (Fast Source Term Prognosis) eingesetzt. Zudem gibt es das Programm SIMONA (Schneller Einstieg in

Maßnahmenoptionen für nukleare und radiologische Notfälle) zur Abschätzung von Maßnahmen. Die genannten Werkzeuge werden in Abschnitt 2.1.3 näher beschrieben.

Öffentlichkeitsarbeit in einem Notfall

Ein entscheidender Punkt bei der Bewältigung eines Notfalls ist die Kommunikation mit der Öffentlichkeit. Folgen von Ängsten, Sorgen, Misstrauen und Unsicherheiten, die gerade im Zusammenhang mit Radioaktivität bestehen, sollen durch eine rasche, sachgerechte und widerspruchsfreie Informationspolitik verringert und, sofern möglich, vermieden werden. Der Grundsatz „One message – many voices“ gilt im Rahmen des Notfallmanagementsystems des Bundes und der Länder nach Maßgabe der Regelungen des Entwurfs des allgemeinen Notfallplans des Bundes zu den §§ 105 und 112 StrlSchG für die Information der Bevölkerung und Verhaltensempfehlungen.

Generell verfolgt die GRS als gemeinnützige Forschungs- und Sachverständigenorganisation den Anspruch, der Öffentlichkeit und den Medien als Quelle für unabhängige und kompetente Informationen zu Fragen der nuklearen Sicherheit zur Verfügung zu stehen /GRS 18/. Die GRS veröffentlichte während des Notfalls in Fukushima in Absprache mit dem BMU alle Lageberichte der GRS auch auf ihrer Internetseite. Durch die Einrichtung des neuen RLZ erfolgt derzeit ein Abstimmungsprozess hinsichtlich der Strategien der Information der Öffentlichkeit durch die GRS im Rahmen der gemeinsamen Öffentlichkeitsarbeit des RLZ während eines Notfalls.

2.1.2 Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom und zukünftige Aufgaben des Bundes im Notfallschutz

Wie zu Beginn von Abschnitt 2.1 bereits erwähnt, traten im Oktober 2017 erste Regelungen des StrlSchG in Kraft. Dieses Gesetz ist Teil der Änderungen, die mit der Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom /CEU 14/ in nationales Recht einhergingen. Mit dem StrlSchG erfolgten mehrere zentrale Neuerungen im Notfallschutz. Diese sind im Wesentlichen

- eine durchgängige Strukturierung der Notfallvorsorge in Notfallplänen gemäß §§ 97 bis 101 StrlSchG,
- eine einheitliche Planung im Rahmen der Notfallvorsorge für ein gesamtes Spektrum von Notfällen gemäß § 98 Abs. 2 StrlSchG,

- die Einführung optimierter Schutzstrategien für Referenzszenarien gemäß § 98 Abs. 3 und
- die Einrichtung des RLZ gemäß § 106 StrlSchG.

Durchgängige Strukturierung der Notfallvorsorge in Notfallplänen

Gemäß Artikel 97 (3) und Artikel 98 der europäischen Richtlinie 2013/59/Euratom /CEU 14/ sind Notfallpläne als Teil des Notfallmanagementsystems und der Notfallvorsorge zu erstellen. Im nationalen Recht wird dies durch die §§ 97 bis 101 StrlSchG mit dem allgemeinen Notfallplan (§ 98 StrlSchG) und den besonderen Notfallplänen (§ 99 StrlSchG) des Bundes, den allgemeinen und besonderen Notfallplänen der Länder (§ 100 StrlSchG) und den externen Notfallplänen für ortsfeste Anlagen oder Einrichtungen mit besonderem Gefahrenpotential (§ 101 StrlSchG) umgesetzt. Die Pläne auf Bundesebene werden derzeit erarbeitet. Bis zu deren Fertigstellung gelten die bisher gültigen Dokumente der Anlage 4 des StrlSchG als vorläufige Notfallpläne des Bundes. In den Anlagen 5 und 6 StrlSchG sind umfangreiche Vorgaben an die neu zu erstellen den Notfallpläne festgelegt.

Einheitliche Planung der Notfallvorsorge für ein gesamtes Spektrum von Notfällen.

Gemäß Artikel 97 (2) der europäischen Richtlinie 2013/59/Euratom ist das „[...] Notfallmanagementsystem [...] entsprechend den Ergebnissen einer Bewertung möglicher Notfall-Expositionssituationen ausgelegt [...]“. In Deutschland werden die möglichen Notfall-Expositionssituationen durch bestimmte Referenzszenarien abgedeckt, die als Grundlage für die Planungen der Notfallreaktion dienen (siehe §§ 97 Abs. 1 und 98 Abs. 2 Nr. 1 StrlSchG). Die vorgesehenen Referenzszenarien sind der Tabelle 2.1 zu entnehmen.

Tab. 2.1 Referenzszenarien des Diskussionsentwurfs des allgemeinen Notfallplans des Bundes in der Version 2.5 vom 27.08.2019

Nr.	Szenario	Kurzbeschreibung
S0	Unklare Situation	Meldungen oder Gerüchte deuten auf eine Freisetzung bzw. erhöhte Expositionen hin, ein auslösendes Ereignis konnte bislang jedoch nicht oder nicht eindeutig ausgemacht werden.
S1	Deutsches Kernkraftwerk	Die Katastrophenschutzbehörde wurde durch den Betreiber des Kernkraftwerks alarmiert. Eine Freisetzung droht oder ist eingetreten, deren mögliche radiologische Folgen Schutzmaßnahmen erfordern können.
S2	Kernkraftwerk im grenznahen Ausland	Ein Notfall ausgehend von einem grenznahen Kernkraftwerk (≤ 100 km von der deutschen Grenze) hat sich ereignet, bei dem eine Freisetzung droht oder eingetreten ist, deren mögliche radiologische Folgen Schutzmaßnahmen in Deutschland und für deutsche Bürger im Ausland erfordern können.
S3	Kernkraftwerk im übrigen Europa	Ein Notfall ausgehend von einem Kernkraftwerk in Europa hat sich ereignet, das mehr als 100 km vom deutschen Staatsgebiet entfernt liegt und bei dem eine Freisetzung droht oder eingetreten ist, deren mögliche radiologischen Folgen Schutzmaßnahmen in Deutschland und für deutsche Bürger im Ausland erfordern können.
S4	Kernkraftwerk außerhalb Europas	Ein Notfall ausgehend von einem Kernkraftwerk außerhalb Europas hat sich ereignet, bei dem eine Freisetzung droht oder eingetreten ist, deren mögliche radiologische Folgen Schutzmaßnahmen in Deutschland und für deutsche Bürger im Ausland erfordern können.
S5	Kerntechnische Anlage oder Einrichtung, die kein Kernkraftwerk ist	Ein Notfall ausgehend von einer anderen kerntechnischen Anlage oder Einrichtung als ein Kernkraftwerk vor Brennelementfreiheit wie z. B. Forschungsreaktoren, Urananreicherungsanlagen oder Lager mit abgebrannten Brennelementen hat sich ereignet und eine Freisetzung bzw. erhöhte Exposition droht oder ist eingetreten, deren mögliche radiologische Folgen Schutzmaßnahmen in Deutschland und für deutsche Bürger im Ausland erfordern können.
S6	Terroristische oder anderweitig motivierte Straftat	Eine Straftat mit radioaktiven Stoffen wie bspw. eine sogenannte schmutzige Bombe droht oder ist eingetreten.

Nr.	Szenario	Kurzbeschreibung
S7	Transportunfall	Ein Notfall beim Transport von radioaktiven Stoffen ist eingetreten.
S8	Notfall im Zusammenhang mit dem Umgang mit radioaktiven Stoffen	Ein Notfall beim Umgang mit radioaktiven Stoffen wie hochradioaktiven Strahlungsquellen kann nicht ausgeschlossen werden oder ist eingetreten oder ein Ereignis im Zusammenhang mit vagabundierenden Strahlungsquellen ist eingetreten.
S9	Satellitenabsturz	Ein Absturz eines Satelliten mit radiologisch relevantem Material an Bord droht oder ist eingetreten, dessen radiologische Folgen Schutzmaßnahmen in Deutschland oder für deutsche Bürger im Ausland erfordern können.
S10	Verteidigungs- oder Spannungsfall	<i>Wird zu einem späteren Zeitpunkt ergänzt</i>

Einführung optimierter Schutzstrategien für Referenzszenarien

Gemäß Anhang XI B der europäischen Richtlinie 2013/59/Euratom sollen im Rahmen eines Notfallplans „optimierte Schutzstrategien für möglicherweise exponierte Einzelpersonen der Bevölkerung, für unterschiedliche postulierte Ereignisse und die entsprechenden Szenarien“ berücksichtigt werden. Dies wird mit § 98 Abs. 3 Nr. 1 StrlSchG im deutschen Recht als Vorgabe für den allgemeinen Notfallplan des Bundes berücksichtigt. Das BfS hat entsprechende Schutzstrategien ausgearbeitet. Auf Details wird in Abschnitt 3.1.3 eingegangen.

Einrichtung des RLZ

Die Einrichtung des RLZ ist keine Vorgabe der europäischen Richtlinie 2013/59/Euratom an sich, sondern wird aus den mit der Umsetzung der Artikel 69, 97, 98 und 99 in Verbindung mit Anhang XI der Richtlinie 2013/59/Euratom entstehenden Änderungen für die Organisation und Aufgabenverteilung auf Bundesebene als notwendig erachtet. Die Einrichtung des RLZ wird im deutschen Recht mit § 106 Abs. 1 StrlSchG festgelegt. Wie in Abschnitt 2.1 bereits erwähnt, ist das RLZ ein Netzwerk aus der Kopfstelle beim BMU, dem ZdB im BfS und dem GRS-Notfallzentrum. Das RLZ stellt bei einem überregionalen oder regionalen Notfall das radiologische Lagebild nach § 108 StrlSchG den anderen am Notfallmanagement beteiligten Behörden und Organisationen zur Verfügung. Bei der Verteilung der Informationen wird es dabei von dem Gemeinsamen Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern (GMLZ) im Bundesamt für Bevölkerungsschutz und

Katastrophenhilfe (BBK) unterstützt. Die einzelnen Aufgaben des RLZ werden in § 106 Abs. 2 StrlSchG aufgeführt. Die entsprechenden Produkte des RLZ sind in Tab. 2.2 aufgeführt. Die ersten aufgeführten und blau unterlegten Produkte sind Teil des radiologischen Lagebildes oder werden inhaltlich zumindest in Teilen in das radiologische Lagebild übernommen, welches den Behörden zur Verfügung gestellt wird.

Tab. 2.2 Produkte des RLZ

Produkt	Zuständigkeit innerhalb des RLZ	Empfänger
Analyse der Situation in der Anlage	GRS-Notfallzentrum	RLZ intern
Prognose der radiologischen Situation	ZdB im BfS	Alle Behörden
Diagnostik der radiologischen Situation	ZdB im BfS	Alle Behörden (und Öffentlichkeit)
Bewertung der Angemessenheit von kleinräumigen Maßnahmen aus radiologischer Sicht	ZdB im BfS	Vorrangig Katastrophenschutzbehörden
Bewertung der Angemessenheit von großräumigen Maßnahmen aus radiologischer Sicht	ZdB im BfS	Alle Behörden
Bewertung der Angemessenheit von Maßnahmen aus radiologischer Sicht für Bundesbehörden nach Notfallplan	ZdB im BfS und Kopfstelle im BMU	Bundesressorts
Messstrategien	ZdB im BfS	Alle für Messungen zuständige Organisationen
Pressemitteilungen	Kopfstelle im BMU (aktuelle Diskussion, ob dies vom Presse- und Informationsstab (PI) übernommen wird)	Öffentlichkeit
Leitungstaugliches Lagebild	Kopfstelle im BMU	Leitung BMU + Presse- und Informationsstab (PI)
Formulare für internationale Meldungen	Kopfstelle im BMU	Internationale Partner
Stand der Umsetzung von Maßnahmen	Kopfstelle im BMU	RLZ intern und Internationale Partner

2.1.3 Werkzeuge und Methoden

Die für das GRS-Notfallzentrum relevanten Werkzeuge und Methoden beziehen sich hauptsächlich auf die Ermittlung und Bewertung des Anlagenzustandes und die Quelltermabschätzung.

FastPro

FastPro ist ein von der GRS erstelltes Programm zur Abschätzung des möglichen Quellterms auf Basis der Ergebnisse einer Probabilistischen Sicherheitsanalyse Level 2. Es „beruht auf einem Bayesian Belief Network (BBN). Die Knoten des Netzes sind einzelne Anlagendaten und -zustände, die entweder unmittelbar messbar sind (z. B. Druck im Sicherheitsbehälter), oder die mittelbar aus gemessenen Daten abgeleitet werden (z. B. ein Kühlmittelverlust). Die Verbindungen zwischen Knoten sind probabilistische Beziehungen (z. B. besteht bei einem hohen Druck im Sicherheitsbehälter eine hohe Wahrscheinlichkeit für einen Kühlmittelverlust). Solche Netzwerke können nicht nur kausal und zeitlich „vorwärts“ analysieren, sondern sie können auch aus bestehenden Beobachtungen „rückwärts“ auf Ursachen oder auf nicht beobachtbare Gegebenheiten schließen“. /LÖF 08/

SIMONA

SIMONA ist ein von der GRS erstelltes Programm in der Programmiersprache Visual Basic for Applications (VBA), das mit dem MS-Office Programm Excel® verknüpft ist. Basierend auf Eingaben über das zugrundeliegende Referenzszenario, der Notfallphase und möglicher Ereignisketten werden hiermit Vorschläge für aus radiologischer Sicht angemessene Maßnahmen erstellt. /SOG 15/

2.2 Aspekt der Optimierung im Notfallschutz

2.2.1 ALARA-Prinzip

Das ALARA-Prinzip ("As Low As Reasonably Achievable", so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar) ist internationaler Standard zur Minimierung der Exposition unterhalb des Grenzwertes im betrieblichen Strahlenschutz. Das Gebot der Optimierung, eines der drei Strahlenschutzgrundsätzen neben Rechtfertigung und Dosisbegrenzung, beinhaltet die Reduzierung der Exposition auch unterhalb der gesetzlich vorgegebenen

Grenzwerte oder Richtwerte unter Berücksichtigung gesellschaftlicher und ökonomischer Faktoren. /BFS 19a/ Das ALARA-Prinzip ist in § 8 StrlSchG im deutschen Recht verankert und ist auch Bestandteil der Berichte der Mitgliedsstaaten im Rahmen des Überprüfungsprozesses des Übereinkommens über nukleare Sicherheit („Convention on Nuclear Safety“) /IAEA 94/.

2.2.2 Empfehlungen der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP)

Gemäß /ICRP 09/ ist der Strahlenschutzgrundsatz der Optimierung, nach dem die Wahrscheinlichkeit, dass eine Exposition auftritt, die Zahl der exponierten Personen und die Höhe der individuellen Dosiswerte so niedrig gehalten werden sollen wie es unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Faktoren vernünftigerweise erreichbar ist, auf Notfallexpositionssituationen übertragbar. Jede geplante Schutzstrategie sollte zumindest darauf abzielen, die Exposition unter den Referenzwert zu senken, wobei durch die Optimierung möglichst noch niedrigere Expositionen erreicht werden sollen. /ICRP 09/

Zur Optimierung einer Schutzstrategie, ist es notwendig, die dominanten Expositionswege, die Zeitskala, über die die Dosis empfangen wird, und die potenzielle Wirksamkeit der einzelnen Schutzoptionen zu identifizieren. Die Kenntnis der dominanten Expositionspfade wird die Entscheidungen über die Zuweisung von Ressourcen vorgeben. Die Ressourcenzuteilung sollte in einem angemessenen Verhältnis zu den erwarteten Vorteilen stehen, von denen die vermiedene Dosis eine wichtige Komponente ist. Die Kenntnis der Zeiträume, in denen Expositionen stattfinden, informiert über die verfügbaren Vorlaufzeiten für die Organisation der Durchführung von Schutzmaßnahmen, sobald eine Notfallsituation erkannt wurde. Wenn dringende Maßnahmen zur Verringerung der Exposition erforderlich sind, erleichtern spezifische Rechtsvorschriften eine effiziente Umsetzung der Maßnahmen (z. B. Verwaltung kontaminierter Abfälle). Darüber hinaus ist es wichtig, leicht identifizierbare "Auslöser" als Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung dringender Schutzmaßnahmen zu verwenden. /ICRP 09/

Einige Kombinationen von Schutzmaßnahmen können als weitgehend unabhängig voneinander betrachtet werden, z. B. kommerzielle Lebensmittelbeschränkungen und die Evakuierung von Bevölkerungsgruppen in unmittelbarer Nähe einer Strahlenquelle. Die für die Durchführung dieser Schutzmaßnahmen erforderlichen Maßnahmen und Ressourcen sind sehr unterschiedlich (Busse und Evakuierungszentren für die Evakuierung, Lebensmittelüberwachungsgeräte und Einrichtungen zur Entsorgung oder Verarbeitung

von Lebensmitteln im Falle von Lebensmittelbeschränkungen), und die Auswirkungen (mit Ausnahme von Werten der vermiedenen Dosis), die sich aus der Durchführung dieser Schutzmaßnahmen ergeben, dürften von verschiedenen Bevölkerungsgruppen (Evakuierte; Freiwillige, die Nahrung und Bettwäsche liefern; Busfahrer für die Evakuierung; Landwirte; Lebensmittelhersteller; Agenturen, die für die Überwachung der Lebensmittelproduktion und die Entsorgung von Abfällen im Falle von Lebensmittelbeschränkungen verantwortlich sind) getragen werden. Diese Art von Schutzmaßnahmen kann problemlos separat optimiert werden und die entsprechenden vermiedenen Dosen können als direkte Orientierungshilfe verwendet werden. Andere Schutzmaßnahmen sind dagegen enger miteinander verknüpft und die notwendigen Handlungen zur Umsetzung einer Maßnahme beeinflussen die Umsetzung einer anderen. In diesem Fall besteht das Potenzial für eine signifikante Interaktion zwischen den Erfordernissen (einschließlich der erforderlichen Ressourcen) und dem Nutzen der Optionen, so dass der Prozess der detaillierten Optimierung weniger einfach ist. In diesem Fall müssen die Werte der vermiedenen Dosis der einzelnen Maßnahmen flexibler eingesetzt werden, wobei sowohl der verstärkte Nutzen einer Kombination von Maßnahmen als auch, wie oben erwähnt, die Notwendigkeit der Entwicklung eines Plans, der die Merkmale der Umgebung (z. B. geografische und demografische Gebiete) widerspiegelt, zu berücksichtigen ist. /ICRP 09/

Die für die Umsetzung von Schutzmaßnahmen erforderlichen Ressourcen sind nicht die einzigen Faktoren, die innerhalb einer umfassenden Schutzstrategie zusammenwirken können. Andere solche Faktoren sind individuelle und soziale Beeinträchtigungen, Angst und Beruhigung sowie indirekte wirtschaftliche Folgen. Der Optimierungsprozess umfasst weit mehr als nur die mit der Exposition verbundenen Gesundheitsrisiken. Der Optimierungsprozess muss die Wahrnehmungen und Wünsche derjenigen berücksichtigen, die weiterhin in den betroffenen Gebieten leben und arbeiten werden sowie derjenigen, die diese Gebiete besuchen oder Waren aus diesen Gebieten kaufen. Längerfristig akzeptable Expositionswerte werden durch die tatsächlich erhaltenen Dosiswerte beeinflusst. Die optimierte Schutzstrategie kann auch durch andere – nicht-radiologische – Maßnahmen zur Unterstützung der Betroffenen beeinflusst werden, z. B. durch Entschädigungsmaßnahmen, Gesundheitsüberwachung, Infrastruktur und wirtschaftliche Unterstützung. Es ist wichtig, eine optimierte Schutzstrategie mit den relevanten Interessengruppen zu überprüfen, um sicherzustellen, dass der Plan in Bezug auf diese Faktoren sowie in Bezug auf die Dosis und die erforderlichen Ressourcen optimiert wird. Diese umfassendere Überprüfung der Schutzstrategie kann auf eine Rolle für

zusätzliche Maßnahmen hinweisen, die isoliert betrachtet möglicherweise nicht optimal (oder sogar nicht gerechtfertigt) erscheinen. /ICRP 09/

Wenn eine Notfallexpositionssituation mit der Zeit voranschreitet, kann es ratsam sein, die geografische oder zeitliche Ausdehnung der ersten Schutzmaßnahmen zu erweitern. Andere Schutzmaßnahmen können angemessen sein, wie z. B. Dekontaminationsmaßnahmen. Da die ersten Schutzmaßnahmen einen erheblichen Schutz für die am stärksten gefährdeten Personen erbracht haben, müssen Entscheidungen über die Durchführung anderer, weniger dringender Schutzmaßnahmen die tatsächlichen Umstände der Situation und die Optimierung der allgemeinen Schutzstrategie sorgfältiger berücksichtigen. Daher wird es nicht immer sinnvoll sein, die Umsetzungskriterien für weniger dringende Schutzmaßnahmen im Voraus genau zu definieren. Gegebenenfalls sollten im Voraus die Verfahren festgelegt werden, mit denen die nach diesen Kriterien durchgeführten Schutzmaßnahmen im Notfall gerechtfertigt und optimiert werden, um ihre Akzeptanz durch die Öffentlichkeit während des Notfalls zu erleichtern. Wissenschaftlich fundierte Empfehlungen zur Umsetzung von Schutz- und anderen Maßnahmen müssen von einer Erklärung begleitet werden, die es dem Entscheider ermöglicht, sie zu verstehen, zu berücksichtigen und auch der Öffentlichkeit zu erklären. /ICRP 09/

In Phasen der detaillierten Optimierung der Schutzstrategie sollten die erwarteten verbleibenden Dosen mit dem Referenzwert verglichen werden, um sicherzustellen, dass das Ergebnis der Optimierung unter diesem Niveau bleibt. Die Entwicklung von optimierten Schutzstrategien ist daher ein iterativer Prozess, wobei der Grad der Iteration von dem Grad der detaillierten Optimierung abhängt, der für die Bedeutung der Notfallexpositionssituation und die Notwendigkeit, eine flexible Reaktion im Ereignisfall zu gewährleisten, als angemessen erachtet wird. /ICRP 09/

2.2.3 Empfehlungen der Internationalen Atomenergie-Organisation

Die Schutzstrategie sollte gemäß /IAEA 18a/ mindestens den Zeitraum von der Feststellung des Notfalls bis zur Beendigung des Notfalls umfassen, um die Erreichung aller Ziele der Notfallreaktion nach /IAEA 15a/ zu unterstützen, die im Einzelnen sind:

- Wiedererlangung der Kontrolle über die Situation und Minderung von Auswirkungen,
- Rettung von Leben,

- Vermeidung oder Minimierung schwerer deterministischer Effekte,
- Leistung von erster Hilfe und notärztlicher Behandlung sowie Lenkung der Behandlung strahlungsbedingter Verletzungen,
- Reduzierung des Risikos stochastischer Effekte,
- Unterrichtung der Öffentlichkeit und Aufrechterhaltung öffentlichen Vertrauens,
- Minderung nichtradiologischer Folgen, soweit möglich,
- Schutz von Eigentum und Umwelt, soweit möglich und
- Vorbereitung der Wiederaufnahme normaler gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Aktivität, soweit möglich.

Die Schutzstrategien sollten in der Planungsphase als Rahmen für die Festlegung angemessener Notfallvorkehrungen durch alle Notfallorganisationen herangezogen werden. Sobald der Notfall ausgerufen wurde, ist die zügige Umsetzung der Schutzstrategie von entscheidender Bedeutung, um unter den gegebenen Umständen das bestmögliche Schutzniveau zu gewährleisten, auch wenn nur sehr wenige Informationen verfügbar sind, wie dies möglicherweise während der Phase dringlicher Schutzmaßnahmen der Fall ist. Im Laufe der Entwicklung des Notfalls, insbesondere während der Übergangsphase, werden mehr Informationen über die Umstände, die zu dem Notfall geführt haben, und seine Folgen verfügbar sein. Die Umsetzung der Schutzstrategie sollte kontinuierlich überprüft und die Schutzstrategie auf der Grundlage der herrschenden Bedingungen angepasst werden. /IAEA 18a/

Nicht-radiologische Faktoren werden in der Übergangsphase zu einem immer wichtigeren Entscheidungsfaktor, da die Dosen mit der effektiven Umsetzung der Schutzstrategie tendenziell abnehmen. Bei den Prozessen der Rechtfertigung und Optimierung sollten eine Reihe von Faktoren berücksichtigt werden, z. B.:

- radiologische Lage
- Strahlenschutz
- Timing
- Effizienz
- Ressourcen
- Umweltaspekte

Während einige dieser Faktoren bereits in der Planungsphase betrachtet werden können, können andere (z. B. saisonale und wetterbedingte Bedingungen, das Auftreten gleichzeitiger oder aufeinanderfolgender Ereignisse, die zu einem erheblichen Verlust wesentlicher Infrastrukturen) nicht mit ausreichender Genauigkeit bekannt sein. Die Optimierung der Schutzstrategie sollte in allen Phasen eines Notfalls durchgeführt werden, um die Auswirkungen der Schutzstrategie auf die gesamte radiologische Situation kontinuierlich zu bewerten, einschließlich der Bewertung von (a) der verbleibenden Dosis im Vergleich zu den Referenzwerten, (b) den Auswirkungen auf die Gesellschaft und (c) anderen nicht-radiologischen Auswirkungen. Diese kontinuierliche Neubewertung sollte die Fortschritte bei der Erreichung der Voraussetzungen für die Beendigung des Notfalls aufzeigen und gegebenenfalls zu einer Anpassung der Schutzstrategie führen. /IAEA 18a/

Ziel der Optimierung gemäß /IAEA 18a/ sei es, unter den gegebenen Umständen das beste Schutzniveau zu erreichen; dies sei nicht unbedingt die Option mit der niedrigsten Dosis. Der Optimierungsprozess sollte die Berücksichtigung aller genannter Faktoren im Entscheidungsprozess ermöglichen und ein zukunftsorientierter, iterativer Prozess sein, der die verfügbaren Schutzoptionen untersucht und die zu ergreifenden Maßnahmen anpasst, um das beste Ergebnis zu erzielen. Die Umsetzung einer optimierten Schutzstrategie sollte dazu führen, dass die Expositionswerte unter dem Referenzwert und so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar sind, solange diese Reduzierungen unter Berücksichtigung der genannten Aspekte gerechtfertigt sind. Die Optimierung sollte auch dann angewendet werden, wenn die ursprünglich projizierten Dosen unter dem definierten Referenzwert liegen, aber nur dann, wenn angemessene Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition zur Verfügung stehen. /IAEA 18a/

2.2.4 Richtlinie 2013/59/Euratom

Gemäß Artikel 73 der europäischen Richtlinie 2013/59/Euratom /CEU 14/ sollen optimierte Schutzstrategien für die Bewirtschaftung kontaminierter Gebiete mindestens folgendes umfassen:

- „Ziele, die auch langfristig angestrebte Ergebnisse der Strategie und entsprechende Referenzwerte enthalten [...];
- Abgrenzung der betroffenen Gebiete und Bestimmung der betroffenen Einzelpersonen der Bevölkerung;

- Einschätzung der Notwendigkeit und des Ausmaßes der für die betroffenen Gebiete und die betroffenen Einzelpersonen der Bevölkerung anzuwendenden Schutzmaßnahmen;
- Einschätzung der Notwendigkeit, den Zugang zu den betroffenen Bereichen zu sperren oder zu kontrollieren oder Beschränkungen für die Lebensbedingungen in diesen Bereichen vorzusehen;
- Ermittlung der Exposition unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen und der Mittel, die Einzelpersonen zur Verringerung ihrer eigenen Exposition zur Verfügung stehen.“

2.2.5 Umsetzung im deutschen Regelwerk

Das Optimierungsgebot gemäß § 8 StrlSchG (vgl. Abschnitt 2.2) wird in § 92 Absatz 3 StrlSchG auf Notfallexpositionssituationen übertragen. Als Bezugsgröße gelten der in § 93 festgelegte Referenzwert für den Schutz der Bevölkerung. Die Notfall-Dosiswertverordnung (NDWV) /BMU 18a/, die im November 2018 auf Basis des § 94 Absatz 1 StrlSchG erlassen wurde, legt radiologischen Kriterien für die Angemessenheit der frühen Schutzmaßnahmen „Evakuierung“, „Einnahme von Jodtabletten“ und „Aufenthalt in Gebäuden“ fest. Diese gesetzliche Regelung bildet zusammen mit weiteren Verordnungen gemäß §§ 93, 95 und 96 StrlSchG ein Instrument zur Koordinierung zwischen nationalen Institutionen und auf internationaler Ebene.

2.2.6 Erfahrungen anderer Staaten bei der Optimierung von Schutzstrategien

Nachfolgend werden Erfahrungen anderer Staaten bei der Optimierung von Schutzstrategien aufgeführt. Dabei wird auf die Angaben aus Berichten zum Übereinkommen über nukleare Sicherheit (CNS) Bezug genommen. Die Angaben sind alphabetisch nach den Ländernamen sortiert.

Die armenischen "Strahlenschutznormen" legen generisch optimierte Kriterien für die dringenden Schutzmaßnahmen bei Aufenthalt in Gebäuden, Evakuierung, Jodblockade und dauerhafter Umsiedlung sowie die Dosiskriterien für Einsatzkräfte fest /ARM 19/.

Die radiologischen Auswirkungen auf österreichisches Gebiet wurden unter der Annahme verschiedener Notfallszenarien, darunter auch Notfälle mit Freisetzungen in

der Größenordnung von Fukushima, für verschiedene Wetterbedingungen analysiert und darauf basierend optimierte Schutzstrategien entwickelt /REP 19/.

Die schwedische Strahlenschutzbehörde (SSM) hat optimierte Schutzstrategien für kerntechnische Anlagen in den Notfallvorsorgekategorien („emergency preparedness categories“ der IAEA /IAEA 15a/) 1 und 2 für verschiedene postulierte Ereignisse entwickelt. Diese Schutzstrategien basieren auf identifizierten Gefahren und potenziellen Folgen für jede kerntechnische Anlage, einschließlich allgemeiner Kriterien für Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung, die sich aus den Referenzwerten ableiten sowie operationeller Kriterien und Standardauslöser. Um eine optimierte Schutzstrategie zu unterstützen, hat SSM Entscheidungshilfedigramme entwickelt, die als Orientierungshilfe für Entscheidungen über Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung im Falle eines nuklearen Notfalls in den schwedischen Kernkraftwerken dienen, die die mit solchen Ereignissen verbundenen Unsicherheiten berücksichtigen. Die Entscheidungshilfedigramme basieren auf der Notfallklasse und der wiederkehrenden Bewertung der Situation und führen nach heutigem Kenntnisstand zu einer Handlungsempfehlung. Die Entscheidungshilfedigramme wurden in enger Zusammenarbeit zwischen Strahlenschutzexperten, den für die nukleare Notfallplanung zuständigen Behörden und den endgültigen Entscheider entwickelt. Bei der Entwicklung wurden von SSM entwickelte Methoden aus einer Überprüfung der schwedischen Notfallplanungszonen und -radien verwendet. Die Entwicklung dieser Entscheidungshilfe wird fortgesetzt, um ihre Leistungsfähigkeit im Zusammenhang mit den bevorstehenden neuen Notfallplanungszonen und -radien zu sichern. /UMW 19/

Im Vereinigten Königreich erfolgt die Optimierung von Schutzstrategien anhand einer Reihe verschiedener Kriterien. „Public Health England“ (PHE) hat eine Reihe von postulierten Freisetzungen von Radioaktivität aus einer Reihe von kerntechnischen Anlagen analysiert und die resultierenden potenziellen Dosen für Menschen über verschiedene Expositionspfade und über verschiedene Zeiträume berechnet. Basierend auf dieser Arbeit empfiehlt die PHE, dass Notfallpläne, die auf der getrennten Optimierung

- dringender Schutzmaßnahmen (unter Verwendung des Rahmens von „Emergency Reference Levels“ (Notfallreferenzwerte, ERLs) und „Reference Levels“ (Referenzwerten, RLs)),
- längerfristigen Wiederherstellungsmaßnahmen (unter Verwendung des Rahmens von RLs) und

- Lebensmittel-/Wasserbeschränkungen (unter Verwendung des Rahmens von „Maximum Permitted Levels“ (Grenzwerten, MPLs)/ „Action Levels“ (Auslösekriterien, ALs)

basieren, zu einer umfassenden Schutzstrategie führen, die optimiert ist. /PHE 19/

Der zypriotische Notfallplan „ELECTRA“ beinhaltet eine optimierte Schutzstrategie für die möglicherweise exponierte Öffentlichkeit für verschiedene postulierte Ereignisse und verwandte Szenarien /ZYP 19/.

2.3 Relevante Informationssysteme

Um sinnvolle Bewertungen vornehmen zu können, ist eine angemessene Datengrundlage unumgänglich. Je nach Zeitpunkt innerhalb eines Notfalls kann die Datengrundlage allerdings sehr dürftig sein. Daher ist die Kenntnis vieler möglicher Informationskanäle hilfreich, um neu eingestellte Informationen schnell zur Verfügung zu haben. Diese Informationskanäle können je nach Referenzszenario des allgemeinen Notfallplans unterschiedliche sein und sich auch hinsichtlich ihrer Relevanz unterscheiden. Hier wird eine thematische Aufteilung möglicher Informationssysteme vorgenommen. Diese wird unterteilt in

- generelle Informationssysteme für radiologische Notfälle,
- Messwerte zur Bestimmung der Umweltradioaktivität,
- Anlagenparameter und Anlageninformationen,
- Messungen und Dosisrekonstruktionen der Bevölkerung,
- Bedarfsanforderungen für die Bewältigung,
- weitere weniger Relevante Informationssysteme.

2.3.1 Generelle Informationssysteme für radiologische Notfälle

Das BfS bündelt im internetbasierten und gesicherten Elektronische Lage-Informationssystem (ELAN) die Informationen aus den Radiologischen Lagezentren der Länder für eine schnelle Bereitstellung aller relevanten Informationen bei einer großen Anzahl an involvierten Behörden und Organisationen. ELAN stellt sämtliche Messergebnisse, Dosisabschätzungen und Prognosen in Form von Grafiken und Karten in verständlicher

Form bereit. Dieses Informationssystem spielt bei allen Referenzszenarien eine Rolle.
/BFS 16a/

Ein umfassendes Entscheidungsunterstützungssystem ist das „Real Time Online Decision Support System“ (RODOS). Es kann in nationalen oder regionalen nuklearen Notfallzentren eingesetzt werden und bietet kohärente Unterstützung in allen Phasen eines Notfalls (d. h. vor, während und nach einer Freisetzung), einschließlich der langfristigen Bewirtschaftung und Wiederherstellung kontaminierter Gebiete. Das System ist in der Lage, Entscheidungen über die Einführung einer Vielzahl von potenziellen Schutzmaßnahmen (z. B. Aufenthalt in Gebäuden und Evakuierung von Personen, Verteilung von Jodtabletten, Lebensmitteleinschränkungen, landwirtschaftliche Gegenmaßnahmen, Umsiedelung, Dekontaminierung, usw.) zu unterstützen, um die Folgen eines Notfalls in Bezug auf Gesundheit, Umwelt und Wirtschaft abzumildern. Es kann bei unbeabsichtigter Freisetzung in die Atmosphäre und in verschiedene Gewässer eingesetzt werden. Entsprechende Schnittstellen zu lokalen und nationalen radiologischen Überwachungsdaten, meteorologischen Messungen und Prognosen sind vorhanden. RODOS ist an die Kernreaktor-Fernüberwachungssysteme (KFÜ), das Deutsche Integrierte Mess- und Informationssystem (IMIS) und den Deutschen Wetterdienst (DWD) angeschlossen. /FZK 05/

Der beschleunigte Informationsaustausch im Fall eines nuklearen Notfalls erfolgt auf europäischer Ebene mittels des „European Community Urgent Radiological Information Exchange“- (ECURIE-) Systems. ECURIE stützt sich auf einheitliche Datenformate zur Abfassung aller Meldungen, speziell konzipierte Software zum Verfassen, zur Übermittlung und zur Auswertung der Meldungen (die entsprechende Software CoDecS wurde 2012 durch die Internetschnittstelle WebECURIE abgelöst) und ein Netzwerk nationaler Meldezentren und zuständiger Behörden, die zusammen mit den entsprechenden Organen der Europäischen Kommission ECURIE betreiben. Am ECURIE-System partizipieren auch Staaten, die nicht der EU angehören, so z. B. die Schweiz /EUA 03/. Dieses Informationssystem spielt insbesondere für die deutschen Referenzszenarien S2, S3 und S5 eine Rolle.

Das Pendant zu ECURIE auf Ebene der IAEA ist das „Unified System for Information Exchange in Incidents and Emergencies“ (USIE). Dieses internetbasierte System ersetzt seit Juni 2011 zwei existierende Kommunikationssysteme und vereinfachte damit den Informationsaustausch im Falle eines Notfalls. Vorher wurden zwei sichere Webseiten für die Bereitstellung von Notfall- und Unterstützungsinformationen betrieben: die

„Emergency Notification and Assistance Convention Website“ (ENAC) und das „Nuclear Event Web-based System“ (NEWS) /IAEA 15b/. NEWS wird heute als Kommunikationskanal für die Berichterstattung über Ereignisse, die nach der internationalen Bewertungsskala für nukleare und radiologische Ereignisse (INES) eingestuft wurden, verwendet /IAEA 16a/. Neben der primär zu nutzenden Webseite des USIE, können auch andere Kommunikationskanäle (Fax, SMS, Email) verwendet werden. Ferner erweitert USIE die Möglichkeit zur Bereitstellung einer großen Zahl von Dokumenten und ermöglicht unter anderem das System für nationale und regionale Übungen zu nutzen /IAEA 13a/. Ein weiteres Werkzeug der IAEO ist das „Emergency Preparedness and Response Information Management System“ (EPRIMS). EPRIMS ist ein Portal in dem Information über nationale Vorkehrungen und Strukturen des Notfallschutzes sowie Kraftwerksdaten hinterlegt werden können /IAEA 15c/. Dieses Informationssystem spielt insbesondere für das deutsche Referenzszenario S4 eine Rolle.

2.3.2 Messwerte zur Bestimmung der Umweltradioaktivität

Es wurden in der Vergangenheit Messnetze entwickelt, die sowohl im Alltag als auch im Notfall zur kontinuierlichen Überwachung der Umweltradioaktivität eingesetzt werden.

Auf nationaler Ebene steht das integrierte Mess- und Informationssystem (IMIS) zur Verfügung. Am Messprogramm zur Datenerhebung sind mehr als 60 Labore in Bund und Ländern beteiligt. Die Messstellen führen in Luft, Wasser, Boden, Nahrungsmitteln und Futtermitteln Messungen durch /BFS 16b/. Zudem betreibt das BfS ein bundesweites Messnetz zur großräumigen Ermittlung der äußeren Strahlenbelastung durch kontinuierliche Messung der Gamma-Ortsdosisleistung (ODL). Das ODL-Messnetz umfasst ca. 1.800 ortsfeste, automatisch arbeitende Messstellen. Zwischen den stationären Messpunkten können zusätzliche mobile Messeinheiten eingesetzt werden, wenn kleinräumige oder sehr uneinheitliche Ablagerungen radioaktiver Stoffe detailliert erfasst werden müssen. Alle Daten dieser Messungen werden an die ZdB übermittelt, dort gesammelt und ausgewertet. Im Routinebetrieb werden die ausgewerteten Daten in Form von Tabellen, Diagrammen und Karten an das BMU weitergeleitet. Im Intensivbetrieb bei Notfällen ist die Verarbeitung der Daten im Zweistundentakt möglich /BFS 12/. Durch IMIS werden ca. 70 Institutionen (Landesministerien, Landesbehörden, Messstellen etc.) beziehungsweise zirka 200 einzelne Klienten miteinander vernetzt, um Daten sehr schnell und gleichzeitig allen Teilnehmern zur Verfügung zu stellen. Dazu wurde die Elektronische Lagedarstellung (ELAN) entwickelt. In dieses System werden alle für die Beurteilung einer Lage relevanten Informationen und Ergebnisse eingestellt, so dass sie

gleichzeitig von allen IMIS-Nutzern abgerufen werden können /BFS 16a/. Dieses Informationssystem spielt bei allen Referenzszenarien eine Rolle.

Die „European Radiological Data Exchange Platform“ (EURDEP) /EUC 15a/ ist das europäische Pendant zu IMIS. Es wird vom „Joint Research Centre“ (JRC) betreut. Bei EURDEP handelt es sich um ein Netzwerk der meisten europäischen Staaten für den Austausch der Daten zur Überwachung der Umweltradioaktivität. Eine Teilnahme von Nicht-Mitgliedern der Europäischen Union (EU) erfolgt auf freiwilliger Basis. In nahezu Echtzeit werden die Daten im Netzwerk zur Verfügung gestellt. Alle eingehenden Daten werden überprüft und in der gemeinsamen Datenbank eingeordnet. Dieses Informationssystem ist insbesondere für die Referenzszenarien S2, S3 und S5 mit radiologischen Ereignissen im europäischen Ausland als Informationsquelle für das RLZ von Bedeutung.

Auf internationaler Ebene betreibt die IAEO das „International Radiation Monitoring Information System“ (IRMIS) /IAEA 16b/, das routinemäßig und zuverlässig den Austausch von Strahlungsüberwachungsdaten ermöglicht und sie den zuständigen Behörden der Mitgliedstaaten zur Verfügung stellt, die im Rahmen des Übereinkommens über die frühzeitige Benachrichtigung bei nuklearen Unfällen („Early Notification Convention“) und des Übereinkommens über Hilfeleistung bei nuklearen Unfällen oder radiologischen Notfällen („Assistance Convention“) ermittelt wurden. IRMIS fördert den Austausch von Daten, sobald sie verfügbar sind. Dazu sammelt IRMIS Daten von nationalen Datenanbietern, speichert die Daten in einer Datenbank und ermöglicht den Benutzern, die Datenbank abzufragen, die Daten herunterzuladen oder auf verschiedene Arten anzuzeigen. Die Daten werden im IRIX-Format („International Radiation Information Exchange“), der neu vereinbarten Datenaustauschspezifikation der IAEO und ihrer Mitgliedstaaten für den Austausch von strahlungsrelevanten Informationen, ausgetauscht. Im Gegensatz zu nationalen Systemen kann IRMIS nicht zu Frühwarnzwecken eingesetzt werden. Dieses Informationssystem spielt insbesondere für das Referenzszenario S4 eine Rolle.

2.3.3 Anlagenparameter und Anlageninformationen

Das Kernreaktor-Fernüberwachungssystem (KFÜ) umfasst neben der Überwachung von Aktivitätskonzentration und Ortsdosisleistung in den Strahlenschutzbereichen der Anlage weitere Daten, die Hinweise auf Einhaltung der Schutzziele geben können. Dies sind die Kontrolle der Reaktivität des Reaktorkerns sowie der Brennelemente bei

Handhabung und Lagerung, die Kühlung der Brennelemente durch die Bereitstellung von Kühlmittel und Wärmesenken, der Einschluss radioaktiver Stoffe (Integrität der Barrieren) sowie die Begrenzung der Exposition durch Begrenzung und Kontrolle des Aktivitätsflusses innerhalb der Anlage und bei der Freisetzung in die Umgebung. Die Notwendigkeit zur Überwachung weiterer Parameter kann sich aus dem Betrieb der einzelnen Anlagen ergeben. /BMU 05/ Dieses Informationssystem betrifft Referenzszenario S1. Über den aktuellen Zustand anderer kerntechnischen Anlagen (Referenzszenario S5) informiert z. B. in NRW das radiologische Fernüberwachungssystem (RFÜ NRW).

Die „Technische Dokumentation“ (TECDO) ist ein DV-gestütztes Management System der GRS zur Handhabung von technischen Unterlagen über kerntechnische Anlagen, sicherheitstechnischen Analysen und Informationen entsprechend KTA 1404. Sie enthält Informationen über technischen Aufbau, Betriebserfahrung und Genehmigungsstand kerntechnischer Anlagen. (Betriebs- und Notfallhandbücher, Systembeschreibungen, Systemschaltpläne, Genehmigungsbescheide, Sicherheitsgutachten, Vorkommnisberichte, Weiterleitungsnachrichten, Betreiberberichte, GRS-A-Berichte und das Kerntechnische Regelwerk). TECDO ermöglicht den dezentralen Abruf der Anlageninformationen an den PC-Arbeitsplätzen bei GRS, BMU und BfS zur schnellen, umfassenden und sachgerechten Informationsbereitstellung für die kurzfristigen Vorkommnisbewertung und als Hilfestellung für operative Entscheidungen bei Notfallsituationen oder größeren Störfällen.

Die von der GRS betriebene „Wissensbasis für Notfälle“ (WINO) ist eine Datenbank mit im Notfall relevanten Anlageninformationen zu deutschen und europäischen Leistungsreaktoren. Die Datensätze geben dem Anwender eine kurze Einführung in die Funktionsweise der Anlage, Sicherheitssysteme und Notfallmaßnahmen der jeweiligen Anlage.

Das „Power Reactor Information System“ (PRIS), das von der IAEO entwickelt und gepflegt wird, ist eine umfassende Datenbank mit Schwerpunkt auf Kernkraftwerken weltweit. PRIS enthält Informationen über Leistungsreaktoren im Betrieb, im Bau oder in der Stilllegung. Alle Informationen und Daten werden von der IAEO über von den Mitgliedstaaten benannte Datenanbieter gesammelt. /IAEA 18b/ Dieses Informationssystem spielt vorwiegend für die Referenzszenarien S2, S3 und S4 eine Rolle.

Die „Research Reactor Database“ (RRDB) /IAEA 16c/ der IAEO bietet umfangreiche Informationen über Forschungsreaktoren in aller Welt. Es ist eine Kombination aus zwei

einzelnen Datenbanken: eine, die Profile von Forschungsreaktoren (sowohl in Betrieb als auch stillgelegt) liefert, und die andere, die Brennstoffinformationen zusammenstellt. Der Forschungsreaktorteil der Datenbank enthält technische Spezifikationen und Nutzungsinformationen zur Unterstützung potenzieller Nutzer von Forschungsreaktoren. Der Bereich der Datenbank zu Anlagen der Ver- und Entsorgung ist nicht öffentlich zugänglich, aber es werden allgemeine Berichte über Brennstoffinformationen aus der Datenbank erstellt. Beide Datenbanken werden von offiziell benannten Anlagendatenanbietern (FDPs), die sich typischerweise bei den Betreibern befinden, gefüllt und aktualisiert.

In Deutschland müssen seit 2005 Abgabe und Erwerb einer hochradioaktiven Strahlenquelle dem zentralen Register über hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) beim Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) gemeldet werden. Das HRQ-Register ermöglicht eine lückenlose Verfolgung des Verbleibs hochradioaktiver Strahlenquellen innerhalb Deutschlands. /BFS 17a/

Die von der IAEO betriebene „Incident and Trafficking Database“ (ITDB) /IAEA 18c/ wurde 1995 gegründet, um die Teilnehmerstaaten und ausgewählte internationale Organisationen bei der Bekämpfung des illegalen Nuklearhandels und der Stärkung der nuklearen Sicherheit zu unterstützen. Es erleichtert den Informationsaustausch und liefert Material, das zur Analyse von Mustern und Trends verwendet werden kann, um potenzielle Sicherheitsbedrohungen und Schwachstellen zu identifizieren. Der Umfang der durch die Datenbank bereitgestellten Informationen ist breit gefächert und umfasst Vorfälle die – ob erfolgreich, erfolglos oder vereitelt – den illegalen Handel und die Verbringung von nuklearem oder anderem radioaktivem Material über nationale Grenzen hinweg betreffen sowie Vorfälle, bei denen es sich um den unbefugten Erwerb – beispielsweise durch Diebstahl, Lieferung, Besitz, Verwendung, Weitergabe oder Entsorgung (absichtlich oder unabsichtlich) von nuklearem und anderem radioaktiven Material mit oder ohne Überschreitung internationaler Grenzen handelt. Darüber hinaus enthält die ITDB Daten zu weltweit verloren gegangenen Strahlenquellen. /BFS 17a/

2.3.4 Messungen und Dosisrekonstruktionen der Bevölkerung

Für die Messung und Dosisrekonstruktion der Bevölkerung sind Notfallstationen vorgesehen. Dazu werden je nach Bundesland Software-Tools oder manuelle Methoden verwendet. Auch die für die Abschätzung erforderlichen Dosis-Daten werden mit verschiedenen Programmen für Ausbreitungsrechnungen bereitgestellt. /SSK 07/ Mit

Hilfe von RODOS erfolgt die Abschätzung der Dosis über alle wichtigen externen und internen Expositionspfade während und nach dem Durchgang der radioaktiven Wolke; die Endpunkte sind kollektive und individuelle Organdosen für Menschen unterschiedlichen Alters /FZK 05/. Diese Informationssysteme betreffen alle Referenzszenarien.

2.3.5 Bedarfsanforderungen für die radiologische Bewältigung

Auf Ebene der IAEO kann im Fall eines nuklearen Notfalls auf Anfrage beim IEC schnelle Unterstützung in verschiedenen Bereichen geleistet werden. Dabei wird auf das „Response and Assistance Network“ (RANET) zurückgegriffen. In diesem Netzwerk stellen Mitgliedstaaten nach ihren Möglichkeiten nationale Ressourcen wie Experten oder Ausrüstung zur Verfügung. Es beinhaltet Unterstützung für Messaufgaben, Dekontaminationsmaßnahmen oder medizinische Hilfe /IAEA 13b/. Die Mitgliedstaaten teilen dafür der IAEO ihre jeweiligen Möglichkeiten zur Hilfeleistung mit. Dieses Informationssystem spielt für die Referenzszenarien S1, S2 und S5 eine Rolle.

2.3.6 Weitere Informationssysteme

Bereich Zivil- und Katastrophenschutz

Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) stellte über das deutsche Notfallvorsorge-Informationssystem (deNIS) /THW 18/ eine umfangreiche Linksammlung in den Bereichen Katastrophenschutz, Zivilschutz und Notfallvorsorge bereit, welches die Referenzszenarien S1, S2 und S5 betroffen hätte. Das Informationssystem wurde jedoch im Jahr 2015 abgeschaltet. Das Informationsangebot des deutschen Notfallvorsorge-Informationssystems wurde auf die Homepage des BBK migriert /BBK 15/. Wichtige Warnmeldungen des Bevölkerungsschutzes für unterschiedliche Gefahrenlagen können mit der Notfall-Informations- und Nachrichten-App des Bundes, kurz Warn-App NINA, erhalten werden. Technischer Ausgangspunkt für NINA ist das modulare Warnsystem des Bundes (MoWaS). Dieses wird vom BBK für bundesweite Warnungen des Zivilschutzes betrieben. /BBK 19/

Das Robert Koch-Institut (RKI) entwickelt gegenwärtig das Deutsche Elektronische Melde- und Informationssystem für den Infektionsschutz (DEMIS), das bis Ende 2020 implementiert werden soll. Darüber können nach dem Infektionsschutzgesetz (IfSG) meldepflichtigen Infektionskrankheiten elektronisch gemeldet werden. /DIE 18/ Dieses System könnte beispielsweise bei Ereignissen im Bereich terroristisch oder anderweitig

motivierter Straftaten eine Rolle spielen (Referenzszenario S6), wenn beispielsweise eine größere Personengruppe zunächst nicht sofort zuordbare Symptome zeigt, oder bei einem Transportunfall (Referenzszenario S7) bei dem internationale Gesundheitsvorschriften betroffen sind, bei denen Meldepflichten üblicherweise im Aufgabenbereich des RKI liegen, die aber bei radiologischen Ereignissen beim BMU liegen.

Der webbasierte Interdisziplinäre Versorgungsnachweis IVENA eHealth /MAI 18/ ist eine privatwirtschaftliche Initiative, mit der sich die Träger der präklinischen und klinischen Patientenversorgung jederzeit in Echtzeit über die aktuellen Behandlungs- und Versorgungsmöglichkeiten der Krankenhäuser informieren können. Dieses Informationssystem könnte insbesondere für die Referenzszenarien S6 und S10 eine Rolle spielen, bei denen es zu einem Massenanfall von Verletzten kommen kann.

Die EU unterstützt mit der 2010 zusammengefassten Generaldirektion für humanitäre Hilfe und Katastrophenschutz („European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations“, ECHO) Opfer von Katastrophen und Konflikten /EUC 13/ und fördert die Zusammenarbeit zwischen nationalen Katastrophenschutzeinrichtungen. Dafür unterhält ECHO das Zentrum für die Koordination von Notfallmaßnahmen („Emergency Response Coordination Centre“, ERCC), welches rund um die Uhr bestehende und potentielle Krisen überwacht. Das Zentrum koordiniert die Kontakte zwischen dem betreffenden Land, den Experten vor Ort und den am EU-Katastrophenschutzverfahren teilnehmenden Ländern /EUU 16/. Es stellt hierfür das internetbasierte Kommunikationswerkzeug „Common Emergency Communication and Information System“ (CECIS) zur Verfügung. Das ERCC stellt Überwachungswerkzeuge wie das „European Flood Awareness System“ (EFAS) oder das „European Forest Fire Information System“ (EFFIS) zur Verfügung und kooperiert mit anderen Organisationen, um weitere Systeme für die Erfassung von Naturkatastrophen zu betreiben /EUC 15b/. Des Weiteren verfügt das ERCC über die Möglichkeit, personelle und materielle Ressourcen über die „European Emergency Response Capacity“ (EERC) zu vermitteln, die von Staaten für Notfälle bereitgestellt werden.

Der wichtigste zivile Krisenreaktionsmechanismus der NATO im euro-atlantischen Raum ist das „Euro-Atlantic Disaster Response Coordination Centre“ (EADRCC). Es betreibt eine interaktive Karte, die Informationen zu EADRSS-Übungen und früheren Hilfsersuchen beinhaltet. /NATO 17/

Das „United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs“ (OCHA) stellt der humanitären Gemeinschaft Informationsmanagement-Dienste zur Verfügung, um eine schnelle, wirksame und prinzipienfeste Reaktion zu ermöglichen. /UN 18a/

Das „Global Disaster Alert and Coordination System“ (GDACS) ist ein Kooperationsrahmen zwischen den Vereinten Nationen, der Europäischen Kommission und Katastrophenmanagern weltweit zur Verbesserung der Alarmierung, des Informationsaustauschs und der Koordination in der ersten Phase nach großen, plötzlich eintretenden Katastrophen wie Erdbeben, tropischen Zyklonen und Überschwemmungen. /EUC 14/

Bereich Wasser und Gewässer Qualität

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde betreibt im Auftrag der Wasserwirtschaftsverwaltungen des Bundes und der Länder die Internetplattform "WasserBLiCK" /BfG 17/ zur Information und Kommunikation innerhalb der Verwaltungen genutzt. Das Portal enthält Informationen in Hinblick auf die Wasserrahmenrichtlinie, die Hochwasserrisiko-management-Richtlinie, die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie, die Badegewässerrichtlinie und die Trinkwasserrichtlinie. Ausgewählte Inhalte sind öffentlich zugänglich. Die in WasserBLiCK zusammengeführten Daten sind auch über entsprechende Portale der Länder z. B. das Datenportal Gewässerkundlicher Landesdienst Sachsen-Anhalt (GLD) oder das elektronische wasserwirtschaftliche Verbundsystem (ELWAS) Nordrhein-Westfalen direkt zugänglich. Das GeoSeaPortal /BSH 16/ des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie greift auf dessen marine Geoinformationen zurück und enthält unter anderem Informationen zu Gewässerverunreinigungen im deutschen Hoheitsgebiet. Es ermöglicht die Suche von Fachinformationen mit Hilfe eines Metainformationssystems und bietet eine harmonisierte Darstellung der gefundenen Datensätze in Form interaktiver Karten (WebGIS). Undine ist eine Informationsplattform zu hydrologischen Extremereignissen, die durch den Vergleich mit historischen Ereignissen bzw. langjährigen Kennwerten eine bessere Einordnung und Bewertung aktueller Hochwasser- oder Niedrigwasserereignisse ermöglicht. /BMU 18b/ Informationssysteme der Länder z. B. Umweltdaten vor Ort (UvO NRW) stellen umfangreiche Informationen zur Umweltsituation (Industrieemissionen, Luftqualitätswerte, Trinkwasserschutzgebiete, Wasserqualität, Pegelstände, Badegewässer, Niederschlagsdaten, Überschwemmungsgebiete, Lärmdaten, Naturschutzgebiete, National- und Naturparks) bereit.

Das „Global Water Quality database and information system“ (GEMStat) wird vom „International Centre for Water Resources and Global Change“ (ICWRGC) in Koblenz

im Rahmen des GEMS/Water Programme (UN Environment) und in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde betrieben und gepflegt. GEMStat enthält Daten zur Wasserqualität von Grund- und Oberflächengewässern. /ICW 18/

Bereich Lebens- und Futtermittel, Arzneimittel und Verbraucherschutz

Das Portal Lebensmittelwarnungen.de der Bundesländer und des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit öffentliche Warnungen und Informationen über Lebensmittel und mit Lebensmitteln verwechselbare Produkte. Die Länder betreiben vergleichbare Portale, die Informationen über nicht sichere Lebensmittel, Futtermittel, Bedarfsgegenstände und kosmetische Mittel enthalten. /BVL 18/ Vergleichbare Informationen bieten auch Portale der einzelnen Länder z. B. in NRW das Portal Verbraucherwarnungen des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz.

Das „Wildtier-Informationssystem der Länder Deutschlands“ (WILD) /DJV 18/ erfasst bundesweit ausgewählte Wildtierarten zur Entwicklung von Konzepten für den Erhalt und die nachhaltige Nutzung von Wildtierpopulationen und liefert auch Informationen zur Lebensmittelsicherheit im Zusammenhang mit Wildprodukten. Das „Tier Seuchen Informations System“ (TSIS) /FLI 18/ stellt interaktiv aktuelle Informationen zu anzeigepflichtigen Tierseuchen im Internet zur Verfügung.

Auf europäischer Ebene stehen eine Reihe von Schnellwarnsystemen zur Verfügung. Dazu zählen das „Rapid Alert System for Food and Feed“ (RASFF) für Lebensmittel und Futtermittel /EUC 18a/, das „Animal Disease Notification System“ (ADNS) zur Erfassung der Ausbrüche von Tierseuchen /EUC 18b/ und das „Rapid Exchange of Information System“ (RAPEX) für den Verbraucherschutz. Über RAPEX werden Informationen aus den Mitgliedsstaaten über gefährliche oder potentiell gefährliche Verbrauchsgüter (ausgenommen Lebensmittel und pharmazeutische Produkte sowie Medikamente) ausgetauscht. Darunter fallen beispielsweise Produkte wie Kleidung, Schuhe, Kosmetik, Schmuck oder Kinderspielzeug. /EUC 18c/

Die „Food and Agriculture Organization“ (FAO) ist eine Organisation der Vereinten Nationen, die die internationalen Bemühungen zur Bekämpfung des Hungers leitet. Ihr Ziel ist es, Ernährungssicherheit für alle zu erreichen und sicherzustellen, dass die Menschen regelmäßig Zugang zu ausreichend hochwertiger Nahrung haben, um ein aktives und gesundes Leben zu führen. /UN 18b/ Die FAO betreibt in diesem Bereich entsprechende Informationssysteme in diversen Bereichen, wie das „Fisheries Global

Information System“ (FIGIS) /FAO 19a/ oder das „Global Information and Early Warning System“ (GIEWS) /FAO 19b/.

Bereich Verkehr

Der „Elektronische Wasserstraßen-Informationsservice“ (ELWIS) der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes enthält schifffahrtsrelevante Informationen für den Binnenbereich und die Seeschifffahrt sowie gewässerkundliche Informationen. /WSV 18/

Das „Global Integrated Shipping Information System“ (GISIS) bietet öffentlichen Zugang zu ausgewählten Informationen, die der „International Maritime Organization“ (IMO) von den Seeverkehrsverwaltungen zur Verfügung gestellt werden, zum Beispiel zu Schiffs-ladungen, zu marinen Unfällen und zur maritimen Sicherheit /IMO 18/. Die „International Civil Aviation Organization“ (ICAO) betreibt das „Accident Incident Data Reporting System“ (ADREP), eine Datenbank mit Unfällen und schweren Vorfällen, die der ICAO von den Staaten gemeldet werden /ICAO 18/.

Das Weltraumlagezentrum (WRLageZ) wurde vom DLR und der Luftwaffe gegründet, infolge einer Ressortvereinbarung zwischen dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und dem Bundesverteidigungsministerium. Zu seinen Aufgaben gehören die Erstellung eines verifizierten und validierten Weltraumlagebilds, die Warnung vor Satellitenkollisionen, die Status- und Funktionsübersichte eigener Satelliten aber auch Eintrittswarnungen bei in die Atmosphäre eintretenden Weltraumrückständen oder Satelliten und die Beobachtung des Weltraumwetters, was insbesondere für Referenz-szenario S9 relevant ist. /BMVG 17/

Kontaminierte Gebiete

Informationen zu kontaminierten Gebieten und der entsprechenden Sanierung liefert das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie /LfULG 18/.

Weitere Bereiche

Das Melde- und Informationssystem für bedeutsame Vorkommnisse bei Strahlenanwendungen am Menschen (BeVoMed) wird vom BfS betrieben. Dieses Informationssystem dient der Information des BfS als zentrale Stelle über ein bedeutsames Vorkommnis in der Medizin durch die zuständige Behörde nach Meldung durch den

Strahlenschutzverantwortlichen der Einrichtung gemäß StrlSchV /BFS 19b/. Als ein etabliertes System, können hier Informationen eingestellt werden, die üblicherweise über andere Kommunikationskanäle übermittelt werden sollten, etwa im Fall einer größeren Gruppe von Erkrankten aufgrund von Schäden durch ionisierende Strahlung (Referenzszenarien S6, S7 oder S8).

Das Digitale Online Repository und Informations-System (DORIS) des BfS ist ein Archiv für Forschungsberichte und andere Fachpublikationen, das Berichte enthält, die in späteren Phasen eines Notfalls interessante Informationen enthalten könnten /BFS 18a/.

Das Europäische Copernicus Programm liefert Erdbeobachtungsdaten für den Umweltschutz, zur Klimaüberwachung, zur Einschätzung von Naturkatastrophen und für andere gesellschaftliche Aufgaben. Der Copernicus Emergency Management Service (Copernicus EMS) versorgt alle am Management von Naturkatastrophen, von Menschen verursachten Notsituationen und humanitären Krisen beteiligten Akteure mit zeitnahen und genauen Geo-Rauminformationen, die aus der Satellitenfernerkundung gewonnen und durch verfügbare in situ oder offene Datenquellen ergänzt werden. /EUU 18/

In Deutschland kooperiert das Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit Copernicus EMS /DLR 18/. Der ZKI-DE Service ermöglicht Bundesbehörden die kurzfristige Beschaffung und Analyse aktueller Geoinformationen und stellt Satellitenbilder und Schadensanalysen für Katastrophen und große Unglücksfälle bereit. Dadurch bietet sich nach einer massiven Zerstörung der Infrastruktur am Boden z. B. durch Erdbeben oder Hochwasser ein Überblick über die Lage und das Ausmaß der Schäden. Satelliten- und Luftbilder mit einer sehr hohen Detailschärfe können ebenfalls die polizeiliche Arbeit unterstützen.

3 Analyse und Spezifikation generischer Prozessketten zur Operationalisierung optimierter Schutzstrategien

3.1 Relevante Elemente der abzubildenden Prozessketten

In diesem Abschnitt sollen die relevanten Elemente der abzubildenden Prozessketten für die Operationalisierung optimierter Schutzstrategien dargestellt werden. Als Basis für die Erstellung der Systematik werden zunächst die relevanten Elemente der darzustellenden Prozessketten auf drei Ebenen mit unterschiedlichem Abstraktionsgrad (Anforderungen an optimierte Schutzstrategien, Referenzszenarien und vorliegende Schutzstrategien) analysiert. Anschließend werden die für eine Prozessbeschreibung notwendigen Parameter zusammengetragen.

3.1.1 Anforderungen an optimierte Schutzstrategien

Unter einer optimierten Schutzstrategie der Notfallvorsorge versteht man ein durchdachtes Vorgehen mit Hilfe von abgestimmten Maßnahmen als Reaktion auf eine Notfallexpositionssituation. Im Entwurf des allgemeinen Notfallplan des Bundes und in den in diesem Zusammenhang erbrachten Vorüberlegungen werden Anforderungen an die optimierten Schutzstrategien gestellt. Die Schutzstrategien dienen dazu im Ereignisfall

- prioritäre Maßnahmen zu identifizieren, die eine vermeidbare Dosis und den zu erwartenden zeitlichen Verlauf des Notfalls berücksichtigen,
- weitere Maßnahmen zu benennen, die zum Schutz der Bevölkerung und der Einsatzkräfte in Betracht kommen,
- radiologische Bewertungsmaßstäbe und damit die Schutzstrategie selbst zu optimieren, insbesondere
 - Dosiswerte, die als radiologisches Kriterium für die Angemessenheit bestimmter Schutzmaßnahmen dienen,
 - Grenz- oder Richtwerte, die sich auf bestimmte, unmittelbar messbare Folgen des Notfalls beziehen (z. B. Dosisleistungen, Kontaminationswerte oder Aktivitätskonzentrationen), oder
 - Indikatoren der Bedingungen am Ort der Strahlungsquelle.

Die Schutzstrategien der Bundesregierung sollen die Notfallschutzgrundsätze, das allgemeine Ziel des Schutzes der menschlichen Gesundheit bei Notfällen, eine Rechtfertigung und eine Optimierung berücksichtigen. Unter dem Ziel des Schutzes der menschlichen Gesundheit bei Notfällen ist die Vermeidung deterministischer Effekte ionisierender Strahlung und die Begrenzung des Risikos durch stochastische Effekte ionisierender Strahlung zu verstehen, die in den radiologischen Grundlagen des Entwurfs des allgemeinen Notfallplan des Bundes aufgeführt werden. Unter Rechtfertigung versteht man die Voraussetzung oder Begründung für das geplante Vorgehen oder Verhalten. Auf die Schutzstrategien bezogen bedeutet dies, dass Maßnahmen mehr Nutzen als Schaden mit sich bringen und damit unter Berücksichtigung aller Umstände des jeweiligen Notfalls angemessen sein sollen. Unter dem Begriff Optimierung versteht man in diesem Zusammenhang die Höhe von Individualdosen und die Wahrscheinlichkeit einer Exposition sowie die Anzahl der exponierten Personen unter Berücksichtigung des jeweils gegenwärtigen technischen Erkenntnisstandes sowie wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Faktoren so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar zu halten. Die Grundsätze der Rechtfertigung und Optimierung sind nach deutschem Verständnis spezielle Ausprägungen des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit.

In den frühen Phasen eines Notfalls können Dosisabschätzungen mit erheblichen Unsicherheiten behaftete sein. Die Anordnung von Maßnahmen unter Berücksichtigung der betroffenen Gebiete sind von den verantwortlichen Stellen unter Einbeziehung der vorhandenen Informationen und von sachkundigen Institutionen dennoch zu erörtern. Daraufhin erfolgt die zeitlich und räumlich spezifizierte Anordnung von Notfallschutzmaßnahmen. In der Folge ist zu entscheiden, inwieweit zusätzliche Maßnahmen notwendig sind oder ob einzelne Maßnahmen aufgehoben werden können. Besonders in den frühen Phasen einer drohenden, gerade erfolgenden oder bereits erfolgten Freisetzung radioaktiver Stoffe werden für die Bevölkerung veranlasste Schutzmaßnahmen vorsorglichen Charakter haben. Eine Erweiterung von Maßnahmen, deren Aufrechterhaltung, Modifikation oder Aufhebung wird mit zunehmendem Kenntnisstand über die sich entwickelnde oder bereits entstandene radiologische Lage erfolgen. Die Entscheidung über die Durchführung von Notfallschutzmaßnahmen im Rahmen der Schutzstrategie erfolgt somit als iterativer Prozess, dessen äußere Rahmenbedingungen sich abhängig von der radiologischen Lage sowie weiterer situationsspezifischer Faktoren mit der Zeit durchaus erheblich ändern können.

Zur Berücksichtigung der Angemessenheit einer Maßnahme, werden bestimmte Kriterien im Rahmen der Vorsorge als Startbedingung für die Ergreifung einer Maßnahme festgelegt.

Diese können von Erkenntnissen aus Beobachtungen und Messungen zu deterministischen Schäden her abgeleitet werden. So zeigt menschliches Gewebe bis zu etwa 100 mGy keine klinisch relevante Einschränkung seiner Funktion /ICRP 07/. Erste Funktionseinschränkungen treten nach Angaben der Strahlenschutzkommission ab etwa 150 mGy bei männlichen Keimdrüsen auf. Im Bereich von 100 mGy kann die Induktion einer Fehlbildung bei sich entwickelnden menschlichen Embryonen angenommen werden. Bei Knochenmark, Augenlinsen und weiblichen Keimdrüsen sind Störungen ab etwa 500 mGy zu erwarten. Bei vielen übrigen Geweben und Organen liegen die Schwellendosen für deterministische Schäden beim Menschen oberhalb von 1.000 mGy. Als schwerwiegende deterministische Effekte werden jene Erkrankungen im Zusammenhang mit einem akuten Strahlensyndrom genannt. Diese treten nach kurzzeitiger Ganzkörper- oder großvolumiger Teilkörperbestrahlung in Dosisbereichen oberhalb von 1.000 mGy auf. /SSK 14a/ Des Weiteren können als Grundlage für Kriterien auch Wahrscheinlichkeitswerte (Risikowerte) für das Auftreten von stochastischen Effekten herangezogen werden. Jede biologische Wirkung ionisierender Strahlung entsteht durch statistisch verteilte Energiedepositionen in den Zellen des menschlichen Körpers. Sie führt zu Ionisationen in verschiedenen Molekülen der Zelle, die dadurch verändert werden können. Diese Veränderungen können mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit den Tod, die funktionelle Inaktivierung oder eine molekulare Veränderung der Zelle zur Folge haben. Aus einer veränderten Zelle kann sich über eine noch nicht vollständig aufgeklärte Ereigniskette eine Gruppe von Zellen ohne Wachstumskontrolle bilden, die sich zu einem Krebs oder einer Leukämie entwickeln können. Wenn die molekulare Veränderung in einer Keimzelle erfolgt, kann diese Veränderung auf die Nachkommen vererbt werden. Für diese Wirkung durch molekulare Veränderungen wird im Strahlenschutz vorsorglich angenommen, dass keine Dosischwelle besteht. /SSK 14a/ Zur Abschätzung des Risikos durch Strahlenexposition wird üblicherweise das sogenannte „Linear-Non-Threshold (LNT)“-Modell herangezogen. /ICRP 07/ Das Risiko R_S für eine tödlich verlaufenden Leukämie- und Krebserkrankung kann dabei abgeschätzt werden als

$$R_S = r_S \cdot E \quad (3.1)$$

mit einem Todesfallrisiko-Koeffizienten r_s von etwa 4 % pro Sv bei berufstätigen Erwachsenen und der effektiven Dosis E /VOG 11/.

Um gemäß den Notfallschutzgrundsätzen vernünftig handeln zu können, wurden in der Vergangenheit bereits Kriterien für Maßnahmen entwickelt, die als Grundlage und Einstieg in die Schutzstrategien herangezogen werden könnten. Hierzu finden sich unter anderem Angaben in /IAEA 11/, /SSK 14a/ oder /SSK 15/.

Jede Schutzstrategie braucht dabei bestimmte Prozesse bzw. Taktiken, die zur Umsetzung der Schutzstrategie eingesetzt werden:

1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung

1.1. Kommunikation

Es sind Informationsflüsse und Austauschprozesse zu ermöglichen.

1.2. Kenntnisnahme und Aktivierung

Anhand festgelegter Kriterien findet eine Alarmierung statt, um bestimmte Prozesse zu beginnen.

1.3. Lagebewertung

Mit Hilfe von Messungen und Informationen kann die aktuelle Situation bestimmt werden, um daraus Schlüsse für das weitere Vorgehen ziehen zu können.

2. Entscheidungsfindung und Anpassung

2.1. Bewertung der Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht

Durch einen festgelegten Prozess werden die Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht bestimmt.

2.2. Anpassung von Maßnahmen

Durch einen festgelegten Prozess werden Anpassungen von Maßnahmen erfolgen. Diese kann durch Anpassung von Kriterien erfolgen oder durch eine anders geartete Wertung von Kriterien (Priorisierung).

3. Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle

3.1. Koordinierung des Bedarfs

Durch einen festgelegten Prozess werden benötigte Ressourcen festgestellt und umverteilt bzw. bei einer eingeschränkten Umverteilung Informationen in den Bewertungsprozess bzw. den Anpassungsprozess von Maßnahmen als Teil der Kommunikation integriert.

3.2. Umsetzung von Maßnahmen

Durch einen festgelegten Prozess werden Maßnahmen umgesetzt. Bei eng miteinander verknüpften Maßnahmen beeinflusst der Prozess zur Umsetzung eine Maßnahme möglicherweise, den Prozess zur Umsetzung anderer Maßnahmen.

4. Übergang zu einer bestehenden Expositionssituation/Ende des Notfalls

Durch festgelegte Kriterien wird das Ende des Notfalls eingeleitet bzw. der Übergang in eine bestehende Expositionssituation als abgeschlossen betrachtet.

5. Deaktivierung

Durch festgelegte Kriterien werden Prozesse beendet.

Die optimierten Schutzstrategien des Entwurfs des allgemeinen Notfallplans des Bundes sind auf Basis von Referenzszenarien mit den Ergebnissen entsprechender Gefährdungsanalysen angepasst. Das bedeutet, die obigen Teilprozesse können abhängig vom Referenzszenario angepasst sein. Daher werden nachfolgend die Referenzszenarien mit ihren Besonderheiten für die optimierten Schutzstrategien dargestellt.

3.1.2 Rollen und Zuständigkeiten innerhalb optimierter Schutzstrategien

Für die Vorbereitung und Reaktion auf einen nuklearen oder radiologischen Notfall bedarf es der Einrichtung und Aufrechterhaltung ein integrierten und koordinierten Notfallmanagementsystems. Das Notfallmanagementsystem muss so ausgelegt sein, dass es den Ergebnissen der Gefährdungsbeurteilung entspricht und eine wirksame Notfallreaktion auf vernünftigerweise vorhersehbare Ereignisse (einschließlich sehr geringer Wahrscheinlichkeit) ermöglicht. Dafür sind eine klare Spezifizierung und eindeutige Zuordnung der Rollen und Verantwortlichkeiten für die Vorbereitung und Reaktion auf nukleare oder radiologische Notfälle erforderlich. Das beinhaltet auch die Koordinierung und Sicherstellung der Kohärenz zwischen den rechtlichen und administrativen Regelungen der verschiedenen an der Notfallvorsorge und Notfallreaktion beteiligten

Behörden, Verwaltungseinrichtungen und sonstigen im Notfallschutz mitwirkenden Organisationen auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene. /IAEA 15a/

Das deutsche Notfallmanagementsystem umfasst den gesamten rechtlichen und administrativen Rahmen für die Notfallvorsorge und Notfallreaktion einschließlich der Vorkehrungen zur Entscheidungsfindung im Notfall. Es schließt die einschlägigen Rechts- und Verwaltungsvorschriften ebenso ein, wie die beteiligten Behörden, Verwaltungseinrichtungen und sonstigen im Notfallschutz mitwirkenden Organisationen samt ihrer technischen und organisatorischen Infrastruktur. Die Verteilung von Zuständigkeiten innerhalb des Notfallmanagementsystems, ergibt sich aus der Einstufung von Notfällen nach ihrem voraussichtlichen oder tatsächlichen wesentlichen Auswirkungsbereich. Dabei werden Notfälle mit überregionalen, regionalen und lokalen Auswirkungen unterschieden. Bei einem überregionalen Notfall ist das Radiologische Lagezentrum des Bundes (RLZ) für die Ermittlung und Bewertung der radiologischen Lage zuständig. Bei einem regionalen Notfall ist die nach Landesrecht zuständigen Behörde des Landes, in dem sich der Notfall ereignet hat, für die Ermittlung und Bewertung der radiologischen Lage zuständig. Bei einem lokalen Notfall ist die für die Entscheidung über Schutzmaßnahmen und Verhaltensempfehlungen zuständigen Behörden selbst für die Ermittlung und Bewertung der radiologischen Lage zuständig. Den Regelungen des Notfallmanagementsystems liegt ein alle betroffenen Rechts-, Regierungs-, Verwaltungs- und Wirtschaftsbereiche umfassendes Verzahnungskonzept zugrunde, wonach die Ministerien und andere Behörden des Bundes und der Länder, die im Alltagsgeschäft oder bei anderen Krisenlagen Aufgaben der Gefahrenabwehr in einem bestimmten Lebens- oder Wirtschaftsbereich wahrnehmen, diese Aufgaben und Zuständigkeiten grundsätzlich auch bei radiologischen Notfällen behalten.

Im nächsten Abschnitt werden hierzu Angaben hinsichtlich bestimmter Zuständigkeitsänderungen im Rahmen der Optimierung der Schutzstrategie gemacht.

3.1.3 Anpassung vorliegender Schutzstrategien auf die Referenzszenarien

Das BfS erarbeitet im Zusammenhang mit dem allgemeinen Notfallplan des Bundes eine generische Schutzstrategie, die auf die einzelnen Referenzszenarien angepasst wird. Die bisherigen Angaben zu den Schutzstrategien enthalten zunächst allgemeine gültige Angaben hinsichtlich Ziele und Umfang der Schutzstrategie, den Bezug zu Gefährdungsanalysen, eine zeitliche Einteilung in Phasen und Angaben der zur Verfügung stehenden Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. Das Referenzwertkonzept wird aufgeführt

sowie Kriterien vorgestellt, nach denen die Angemessenheit von Maßnahmen zu bewerten sind. Es werden Angaben zur Lagebestimmung gegeben, Vorgaben zum Schutz der Notfalleinsatzkräfte vorgestellt, Vorgaben zur Information an Behörden und die Öffentlichkeit gegeben sowie Angaben zur Anwendung der Schutzstrategie und Überprüfung und Anpassung der Schutzstrategie.

Wie in Abschnitt 2.1.2 bereits erwähnt, wurden für den allgemeinen Notfallplan des Bundes Referenzszenarien als Planungsgrundlagen im Zuge der Notfallvorsorge zur Abdeckung des gesamten Spektrums von Notfällen erarbeitet. Für jedes Referenzszenario ist die Vermeidung deterministischer Effekte immer das oberste Ziel. Hierfür sind bestimmte Maßnahmen prioritär zu nutzen. Je nach Referenzszenario wäre es möglich, dass die Zielsetzungen gerade im Hinblick auf die Begrenzung stochastischer Effekte, die Rechtfertigung und Optimierung unterschiedliche zu sehen sind. Bei lokalen Notfällen (z. B. Referenzszenarien S6 bis S8 in Tab. 2.1) wird man in der Regel versuchen, alle Kontaminationen der Umwelt zeitnah und so umfassend wie möglich auch unterhalb von Referenzwerten zu entfernen und den ursprünglichen Zustand ohne eine Einschränkung für die Bevölkerung wieder herbeiführen. Bei einem überregionalen Notfall (z. B. Referenzszenarien S1 oder S2 in Tab. 2.1) sind erhebliche Kontaminationen der Umwelt über weite Teile des Landes möglich. Deren Beseitigung ist mit deutlich mehr zeitlichem, technischem und personellem Aufwand verbunden, als dies bei einem lokalen Notfall der Fall wäre. Daher sind gerade unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit Prioritäten zu setzen und die dann wohl begrenzten Ressourcen sinnvoll einzusetzen. Dies macht den Aufwand zur Bewertung von Maßnahmen für solche Szenarien ebenfalls deutlich größer und die Schutzstrategie muss deutlich mehr Flexibilität zulassen.

3.1.3.1 Referenzszenario S0 – Unklare Situation

In der Vergangenheit kam es immer wieder zu Fällen, die zunächst nicht eindeutig einem bestimmten Ereignis zuzuordnen sind (beispielsweise die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl im April 1986, erhöhte Messwerte von Jod-131 Anfang 2017 /BFS 17b/, gemessene Ruthenium-Werte in Europa /BFS 18b/, Explosion auf einem russischen Raketentestgelände August 2019 /GRS 19/). Messstationen zeigen erhöhte Werte bestimmter Isotope an oder es tauchen Gerüchte in den Medien auf, ohne dass eine Meldung von offizieller Stelle über die IAEO oder andere etablierte Meldewege vorliegt. Gerade in einem solchen Fall ist abzuwägen, zu welchem Referenzszenario das Ereignis zuzuordnen ist.

Beim Beispiel des Auftretens von erhöhten Ruthenium-Werten in Europa im September 2017 /BFS 18b/ lagen keine öffentlich zugänglichen Meldungen eines Störfalls bei der IAEA vor. Rückrechnungen von BfS und IRSN deuten auf eine erhebliche Freisetzung in südlichen Ural hin. Auch knapp zwei Jahre nach dem Ereignis ist unklar, was genau passiert ist. Daher ist eine Zuordnung zu einem bestimmten Referenzszenario zunächst nicht möglich. Fest stand aber, zumindest für das Ereignis in Jahr 2017, dass die Situation für Deutschland keine bedeutsamen radiologischen Auswirkungen hatte bzw. hat. Es müssen jedoch gegebenenfalls Maßnahmen für deutsche Staatsangehörige im Ausland (Touristen, Mitarbeiter der Regierung oder von Firmen etc.) getroffen werden. Gerade auch für den Fall, dass die Regierung im Staat, in dem sich der Notfall ereignet hat, nicht in erwarteter Weise reagiert.

Gedenkt man der Situation während der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl im April 1986, kann auch der Beginn dieses Ereignisses aufgrund der Informationspolitik der damaligen Sowjetunion in dieses Referenzszenario hineinfallen. Damals dauerte es mehr als 12 Stunden von der Detektion von Radioaktivität in Schweden bis zu einer offiziellen Meldung durch sowjetische Behörden. Erst durch eine solche Meldung kann eindeutig das Referenzszenario festgelegt werden (hier würde man dann die Schutzstrategie für „Referenzszenario S3 – Kernkraftwerk im übrigen Europa“ wählen).

Generell dient Referenzszenario S0 dazu, auf Grundlage von Daten und Erkenntnissen eine korrekte Einteilung in ein Referenzszenario vorzunehmen. Die Abfragen hierfür sind die Kenntnis über die Position des radioaktiven Materials (ortsfeste Einrichtung (gilt für die Referenzszenarien S1-S5) oder öffentlicher Raum (gilt für die Referenzszenarien S6-S10)) und die ungefähre Kenntnis über die Gesamtmenge des beteiligten radioaktiven Materials bzw. dessen Zusammensetzung.

Anmerkung: Bei den Referenzszenarien S1-S5, S7, S9 hat der Betreiber oder Verantwortliche in der Regel Kenntnisse über die Gesamtmenge des Inventars. Bei S6 und S10 ist in der Regel keine oder nur eine sehr grobe Kenntnis der Gesamtmengen verfügbar. S8 bildet einen Sonderfall, bei dem nur ereignisabhängig Informationen vorliegen könnten.

Maßnahmen im Referenzszenario S0 beziehen sich in erster Linie auf „Maßnahmen zur Abschätzung der radiologischen Lage“, „Maßnahmen für die Kommunikation mit der Bevölkerung“ und „Maßnahmen im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit“. Insbesondere wenn jedoch sehr hohe Dosiswerte gemessen werden, könnte schnell die

Einstufung in ein anderes, gegebenenfalls von den Bezeichnungen nicht passendes aber von dem Vorgehen innerhalb der Schutzstrategie abdeckendes Referenzszenario gewählt werden. Anbieten würde sich dann zunächst das Referenzszenario S3 (Behandlung wie ein überregionaler Notfall), S5 (Behandlung wie ein regionaler Notfall) oder S8 (Behandlung wie ein lokaler Notfall) mit den jeweiligen Schutzstrategien. Eine tatsächliche Optimierung erfolgt erst innerhalb des gewählten anderen Referenzszenarios.

Im Einzelnen bedeutet dies für die Teilprozesse

1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung

1.1. Kommunikation

Keine Besonderheiten. Es werden bestehende Kommunikationsstrukturen genutzt.

1.2. Kenntnisnahme und Aktivierung

Anhand festgelegter Kriterien findet eine Alarmierung statt. In der Regel sind dies nicht erklärbare erhöhte Messwerte; alternativ könnten es auch Meldungen über andere Informationssysteme sein, etwa erhöhte und nicht erklärable Anzahl von Personen mit Anzeichen für Strahlenschäden. Anders als bei anderen Referenzszenarien sollte jedoch abhängig vom Kriterium der Alarmierung zunächst geprüft werden, ob eine Aktivierung stattfindet und welche Bereiche der Notfallvorsorge aktiviert werden müssen. Dafür muss jedoch erst eine gewisse Lagebewertung vorliegen.

1.3. Lagebewertung

Mit Hilfe von Messungen und vorliegenden Informationen ist die aktuelle Situation möglichst zu bestimmen, um daraus Schlüsse für das weitere Vorgehen ziehen zu können. Die Lagebewertung wird immer zum Ziel haben, eine Zuordnung zu einem passenden Referenzszenario zu finden.

2. Entscheidungsfindung und Anpassung

2.1. Darstellung der Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht

Die Maßnahmen beziehen sich in erster Linie auf die Abschätzung der radiologischen Lage, um möglichst zeitnah eine Zuordnung zu einem Referenzszenario zu finden, die Kommunikation mit der Bevölkerung und die internationale Zusammenarbeit.

- 2.2. Anpassung von Maßnahmen
Nicht vorgesehen.
3. Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle
- 3.1. Koordinierung des Bedarfs
Nicht vorgesehen.
- 3.2. Umsetzung von Maßnahmen
Nicht vorgesehen.
4. Übergang zu einer bestehenden Expositionssituation/Ende des Notfalls
Nicht vorgesehen.
5. Deaktivierung
Es ist möglich, dass keine Zuordnung zu einem Referenzszenario erfolgen kann und man zu einer Einschätzung gelangt, dass keine nachteiligen Auswirkungen vorliegen und die Notfallorganisation nicht weiter benötigt wird.

3.1.3.2 Allgemeine Schutzstrategie für Notfälle in kerntechnischen Anlagen (Referenzszenarien S1-S5)

Die allgemeinen Angaben zur Schutzstrategie für Notfälle in kerntechnischen Anlagen /GER 17/ gehen zunächst von drei zeitlichen Phasen aus:

- eine vor einer Freisetzung oder der Wirksamkeit von Prozessen, die eine Exposition herbeiführen, (Bedrohungsphase),
- eine während einer Freisetzung oder der Wirksamkeit von Prozessen, die eine Exposition herbeiführen, (Eskalationsphase) und
- eine Nachphase.

Die Schutzstrategie sieht für die Bedrohungsphase zwei situationsabhängige Handlungsoptionen vor:

- Situation 1: Anlageninterne Informationen erlauben eine Prognose der Freisetzung, sodass Ausbreitungsrechnungen durchgeführt werden können und daraus die zu erwartende Dosis der Bevölkerung abgeschätzt werden kann. Die erwarteten Dosiswerte werden mit Dosiswerten verglichen, die als radiologisches Kriterium mit den vorgeplanten frühen Schutzmaßnahmen (Jodtabletteneinnahme, Verbleiben im

Haus und Evakuierung) verknüpft sind. Überschreitet der erwartete Dosiswert das radiologische Kriterium, so ist die Maßnahme aus radiologischer Sicht angemessen.

- Situation 2: Es sind keine belastbaren Vorhersagen eines Quellterms möglich. Anhand von Kriterien für Schutzmaßnahmen für Fälle, in denen wenige Informationen vorliegen, werden die vorgeplanten frühen Schutzmaßnahmen (Jodtabletten-einnahme, Verbleiben im Haus und Evakuierung) vorbereitet oder ausgelöst sowie Maßnahmen zur Minderung des Dosisbeitrags über den Nahrungspfad und Verhaltensempfehlungen für die Bevölkerung vorgeschlagen.

In der Eskalationsphase wird in der Schutzstrategie davon ausgegangen, dass erste Messdaten aus stationären Messnetzen zur Überwachung der Umweltradioaktivität erwartet werden können. Maßnahmen sind neben Dosiswerten auch mit auf bestimmte, unmittelbar messbare Folgen des Notfalls bezogene Grenz- oder Richtwerte (Operational Intervention Levels (OIL)) verknüpft. Zeigen Messungen, dass diese OILs überschritten sind, ist eine Maßnahme aus radiologischer Sicht angemessen.

In der Nachphase können zusätzlich zu stationären Messungen auch mobile Messteams für weitere Messungen eingesetzt werden. Entscheidungen über die Erweiterung, Fortführung oder Aufhebung von Schutzmaßnahmen können auf zwei Arten erfolgen:

- durch Vergleich von Messdaten mit OILs oder
- durch eine rechnerische Abschätzung der bereits aufgenommenen Dosis und der noch zu erwartenden Dosis der Bevölkerung und einem Vergleich dieser Dosisabschätzung mit dem Referenzwert für die verbleibende effektive Dosis (von maximal 100 mSv im ersten Jahr)

Welche dieser Methoden angewendet werden, hängt von der Gesamtdatenlage ab. Die Voraussetzung für die Dosisabschätzung ist eine ausreichend gut charakterisierte Lage, die meist erst nach einigen Tagen nach Beendigung der Freisetzung vorliegt.

3.1.3.2.1 Referenzszenario S1 – Deutsches Kernkraftwerk

Kam oder kommt es (möglicherweise) zu einem Ereignis in einem deutschen Kernkraftwerk, das zu einer Freisetzung führen könnte bzw. führen wird oder führte, so befindet man sich in Referenzszenario S1. Bei diesem Referenzszenario handelt es sich um ein Ereignis in einer ortfesten Einrichtung mit Sitz in Deutschland, in der Regel sind

Kernbrennstoffe und ihre Spaltprodukte sowie Aktivierungsprodukte als radioaktives Inventar beteiligt. Die im Normalbetrieb vorhandene Barrieren und Rückhalteeffekte sind den Aufsichtsbehörden in der Regel bekannt und Messsonden in der Umgebung der Anlage vereinfachen die Lagebewertung. Dieses Referenzszenario wird nach § 108 Absatz 3 StrlSchG typischerweise als überregionaler Notfall eingestuft und deckt die Notfallvorsorgekategorie (emergency preparedness categorie) I aus GSR Part 7 /IAEA 15a/ ab. Für Referenzszenario S1 ist keine besondere Anpassung der generischen Schutzstrategie für Notfälle in kerntechnischen Anlagen vorgesehen.

Dieses schwerwiegendste Notfallszenario mit dem Potenzial des größten Eintrages radioaktiver Substanzen in die Umwelt bildet die Planungsgrundlage für die Schutzstrategie und deckt die Konsequenzen der Notfälle in Tschernobyl 1986 und Fukushima 2011 ab. Die zur Planung herangezogene Analyse der radiologischen Auswirkungen in /GER 17/ mit den in Deutschland festgelegten radiologischen Kriterien zeigte mit den als plausibel bewerteten „worst case“-Annahmen die Angemessenheit von Maßnahmen in unterschiedlichen Entfernungen zur kerntechnischen Anlage an. Die Angaben sind nur Abschätzungen, die von einem sehr unwahrscheinlichen Ereignis mit großen radiologischen Konsequenzen ausgehen. Der Bund will jedoch auch für solch unwahrscheinliche Ereignisse vorbereitet sein. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden entsprechende Planungsradien für Maßnahmen im Entwurf des allgemeinen Notfallplan des Bundes hinterlegt.

Zur Implementierung der Schutzstrategie werden die folgenden Module benötigt:

1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung

1.1. Kommunikation

Die Kommunikation erfolgt über festgelegte interne Kommunikationsprozesse und Kommunikationsprozesse mit festgelegten externen Stellen sowie den zugehörigen Kommunikationsmitteln und an diese und an die jeweiligen Bedürfnisse des Empfängers angepasste Informationsinhalte.

1.2. Kenntnisnahme und Aktivierung

Anhand festgelegter Kriterien findet eine Alarmierung statt. Diese sorgt (optional: gegebenenfalls nach einer Prüfung) für eine (optional: gestaffelte) Aktivierung der Strukturen des Notfallmanagements

1.3. Lagebewertung

Mit Hilfe von Messungen und Informationen von diversen festgelegten Stellen,

können eine Diagnose der Lage sowie durch Simulationsprogramme Prognosen zur Entwicklung der Lage dargestellt werden.

2. Entscheidungsfindung und Anpassung

2.1. Bewertung der Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht

Basierend auf Informationen der Lagebewertung kann die Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht erfolgen.

2.2. Anpassung von Maßnahmen

Basierend auf Erkenntnissen der Umstände des Notfalls zusammen mit Wirksamkeitsprüfungen und Rückmeldungen diverser Stellen, kann eine Anpassung von Maßnahmen erfolgen. Diese kann durch Anpassung von Kriterien erfolgen oder durch eine anders geartete Wertung von Kriterien (Priorisierung).

3. Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle

3.1. Koordinierung des Bedarfs

Basierend auf dem festgelegten Prozess werden benötigte Ressourcen festgestellt und umverteilt bzw. bei einer eingeschränkten Umverteilung Informationen in den Bewertungsprozess bzw. den Anpassungsprozess von Maßnahmen als Teil der Kommunikation integriert.

3.2. Umsetzung von Maßnahmen

Durch einen festgelegten Prozess werden Maßnahmen umgesetzt. Bei eng miteinander verknüpften Maßnahmen beeinflusst der Prozess zur Umsetzung eine Maßnahme möglicherweise, den Prozess zur Umsetzung anderer Maßnahmen.

4. Übergang zu einer bestehenden Expositionssituation/Ende des Notfalls

Durch festgelegte Kriterien wird das Ende des Notfalls eingeleitet bzw. der Übergang in eine bestehende Expositionssituation als abgeschlossen betrachtet.

5. Deaktivierung

Durch festgelegte Kriterien werden Prozesse beendet.

Reale Beispiele: bislang nicht bekannt

Mögliche Beispielszenarien, die in dieses Referenzszenario fallen:

- Generell Meldungen von schwerwiegenden Ereignissen durch den Betreiber

- Flugzeugabsturz auf ein deutsches Kernkraftwerk; selbst wenn bislang keine Radioaktivität freigesetzt wurde und unklar ist, ob das Gebäude beschädigt ist, würde vorsorglich eine Alarmierung der Notfallstrukturen erfolgen
- Explosion oder Brand (egal ob als Folge eines Unfalls oder aufgrund von Einwirkungen Dritter) im Kernkraftwerk
- Naturkatastrophen (Erdbeben, Überflutungen, etc.) als Auslöser für Ereignisse in Kernkraftwerken (diese sind dafür ausgelegt, möglicherweise vorkommende Naturkatastrophen standzuhalten)

3.1.3.2.2 Referenzszenario S2 – Kernkraftwerk im grenznahen Ausland

Kam oder kommt es (möglicherweise) zu einem Ereignis in einem Kernkraftwerk im grenznahen Ausland, das zu einer Freisetzung führen könnte bzw. führen wird oder führte, so befindet man sich in Referenzszenario S2. Bei diesem Referenzszenario handelt es sich um ein Ereignis in einer ortfesten Einrichtung mit Standort außerhalb von Deutschland und weniger als 100 km von der deutschen Grenze entfernt. In der Regel sind bei diesem Referenzszenario Kernbrennstoffe und ihre Spaltprodukte sowie Aktivierungsprodukte als radioaktives Inventar beteiligt. Die im Normalbetrieb vorhandenen Barrieren und Rückhalteeffekte sind den Aufsichtsbehörden bekannt. Messsonden in der Umgebung der Anlage vereinfachen die Lagebewertung. Viele Informationen stehen jedoch in diesem Referenzszenario erst nach der Bewertung durch die zuständigen Behörden des Staates, in dem sich der Notfall ereignet hat, zur Verfügung. Meist gibt es parallel zu offiziellen Meldewegen über die EU und IAEO auch bilaterale Absprachen und Meldewege, die Informationen schneller bereitstellen. Dieses Referenzszenario wird nach § 108 Absatz 3 StrlSchG typischerweise als überregionaler Notfall eingestuft und deckt die Notfallvorsorgekategorie (emergency preparedness categorie) V aus GSR Part 7 /IAEA 15a/ ab. Für Referenzszenario S2 ändern sich im Bereich „Aktivierung / Auslösung / Alarmierung“ die Zuständigkeit und der Meldeweg gegenüber Referenzszenario S1. Diese erfolgt direkt über die zuständige ausländische Behörde. Hinsichtlich der Angemessenheit früher Schutzmaßnahmen werden die Maßnahmen des Unfallstaates (soweit möglich) übernommen, um einen grenzüberschreitenden abgestimmten Schutz der Bevölkerung zu gewährleisten (HERCA-WENRA-Ansatz). Hinsichtlich der Ermittlung der radiologischen Lage soll insbesondere in der Dringlichkeitsphase das Lagebild des Unfallstaates übernommen werden.

Vorplanungen hinsichtlich radiologischer Konsequenzen erfolgen analog zu Referenzszenario S1. Die möglichen Konsequenzen werden als genauso weitreichend wie bei einem Notfall im Inland angesehen.

Zur Implementierung der Schutzstrategie werden die folgenden Module benötigt:

1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung

1.1. Kommunikation

Die Rollen innerhalb der Notfallorganisation können im Vergleich zu Referenzszenario S1 unterschiedlich sein, sodass geringfügige Anpassungen in der Kommunikation notwendig sind. Informationsflüsse laufen gegebenenfalls in andere Richtungen. Zuständigkeiten für das Funktionieren bestimmter Kommunikationsmittel können im Vergleich zu Referenzszenario S1 unterschiedlich sein. Sprachbarrieren sind zu beachten.

1.2. Kenntnisnahme und Aktivierung

Die Alarmierung erfolgt üblicherweise durch die ausländische Behörde über die EU an die Mitgliedsstaaten und gegebenenfalls gemäß bilateralem Abkommen. Hierbei müssen die Kriterien des Staates, in dem sich der Notfall ereignet hat, für eine Alarmierung geklärt sein. Alternativ sollte ein zusätzlicher interner Prüfprozess erfolgen, der intern klärt, inwieweit eine weitere Aktivierung sich vom Referenzszenario S1 unterscheidet.

1.3. Lagebewertung

Mit Hilfe von Messungen und Informationen von diversen festgelegten Stellen, können eine Diagnose der Lage sowie durch Simulationsprogramme Prognosen zur Entwicklung der Lage erstellt werden. Diese ergänzen die Lagebewertungen des Staates, in dem das auslösende Ereignis des Notfalls stattgefunden hat. Insbesondere in der Dringlichkeitsphase wird das Lagebild des Unfallstaates übernommen (HERCA-WENRA-Ansatz), soweit es für Deutschland relevant ist, und Ausbreitungsrechnungen werden soweit möglich in Deutschland fortgesetzt, um ein grenzüberschreitend abgestimmtes Lagebild als Grundlage für Entscheidungen über Maßnahmen zu erhalten. Die dafür zugrunde gelegten radiologischen Lagebilder sowie die daraus abgeleiteten Schutzmaßnahmen sollten unter den europäischen Staaten ausgetauscht (z. B. über ECURIE oder USIE) und abgestimmt werden. Der Umgang mit einer fehlenden Lagebewertung des Staates, in dem sich der Notfall ereignet hat, muss geklärt werden.

2. Entscheidungsfindung und Anpassung

2.1. Bewertung der Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht

Basierend auf Informationen der Lagebewertung kann die Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht erfolgen. Die Angemessenheit von Maßnahmen wird insbesondere in der Dringlichkeitsphase von anderen Stellen des Staates, in dem sich der Notfall ereignet hat, bewertet (HERCA-WENRA-Ansatz), daher können, vornehmlich für frühe Schutzmaßnahmen, andere Kriterien als Grundlage dienen, um einen grenzüberschreitenden abgestimmten Schutz der Bevölkerung zu gewährleisten.

2.2. Anpassung von Maßnahmen

Der Anpassungsprozess ist sehr viel stärker mit einer Kommunikation mit dem Staat verknüpft, in dem sich der Notfall ereignet hat.

3. Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle

3.1. Koordinierung des Bedarfs

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

3.2. Umsetzung von Maßnahmen

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

4. Übergang zu einer bestehenden Expositionssituation/Ende des Notfalls

Der Prozess ist sehr viel stärker mit einer Kommunikation mit dem Staat, in dem sich der Notfall ereignet hat, verknüpft.

5. Deaktivierung

Der Prozess ist sehr viel stärker mit einer Kommunikation mit dem Staat, in dem sich der Notfall ereignet hat, verknüpft.

Reale Beispiele: bislang nicht bekannt

Mögliche Beispielszenarien, die in dieses Referenzszenario fallen: siehe Referenzszenario S1.

3.1.3.2.3 Referenzszenario S3 – Kernkraftwerk im übrigen Europa

Kam oder kommt es (möglicherweise) zu einem Ereignis in einem Kernkraftwerk im übrigen Europa, das zu einer Freisetzung führen könnte bzw. führen wird oder führte, so befindet man sich in Referenzszenario S3. Bei diesem Referenzszenario handelt es sich um ein Ereignis in einer ortfesten Einrichtung mit Standort außerhalb von Deutschland und mehr als 100 km von der deutschen Grenze entfernt. In der Regel sind Kernbrennstoffe und ihre Spaltprodukte sowie Aktivierungsprodukte als radioaktives Inventar beteiligt. Viele Informationen stehen in diesem Referenzszenario erst nach der Bewertung durch die zuständigen Behörden des Staates, in dem sich der Notfall ereignet hat, zur Verfügung. Dieses Referenzszenario wird nach § 108 Absatz 3 StrlSchG typischerweise als überregionaler Notfall eingestuft und deckt die Notfallvorsorgekategorie (emergency preparedness category) IV aus GSR Part 7 /IAEA 15a/ ab.

Für Referenzszenario S3 ändern sich im Bereich „Aktivierung / Auslösung / Alarmierung“ die Zuständigkeit und der Meldeweg. Die zuständige ausländische Behörde informiert die EU und diese wiederum die Mitgliedsstaaten. Maßnahmen sind mit Nachbarstaaten nach Überschreitung eines inländisch geltenden radiologischen Kriteriums abzustimmen. Hinsichtlich der Ermittlung der radiologischen Lage soll insbesondere in der Dringlichkeitsphase das Lagebild des Staates, in dem sich der Notfall ereignet hat, übernommen werden (HERCA-WENRA-Ansatz).

Zur Implementierung der Schutzstrategie werden die folgenden Module benötigt:

1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung
 - 1.1. Kommunikation
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2.
 - 1.2. Kenntnisnahme und Aktivierung
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2.
 - 1.3. Lagebewertung
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2.

2. Entscheidungsfindung und Anpassung
 - 2.1. Bewertung der Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2.
 - 2.2. Anpassung von Maßnahmen
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2.
3. Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle
 - 3.1. Koordinierung des Bedarfs
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
 - 3.2. Umsetzung von Maßnahmen
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
4. Übergang zu einer bestehenden Expositionssituation/Ende des Notfalls
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2.
5. Deaktivierung
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2.

Reale Beispiele: Reaktorunfall Tschernobyl 1986.

Mögliche Beispielszenarien, die in dieses Referenzszenario fallen:

Siehe Referenzszenario S1 und zusätzlich Havarie eines schwimmenden Kernkraftwerks (z. B. Akademik Lomonossow).

3.1.3.2.4 Referenzszenario S4 –Kernkraftwerk außerhalb Europas

Kam oder kommt es (möglicherweise) zu einem Ereignis in einem Kernkraftwerk außerhalb Europas, das zu einer Freisetzung führen könnte bzw. führen wird oder führte, so befindet man sich in Referenzszenario S4. Bei diesem Referenzszenario handelt es sich um ein Ereignis in einer in der Regel ortfesten Einrichtung mit Standort außerhalb von Europa. In der Regel sind Kernbrennstoffe und ihre Spaltprodukte sowie Aktivierungsprodukte als radioaktives Inventar beteiligt. Viele Informationen stehen in diesem Referenzszenario erst nach der Bewertung durch die zuständigen Behörden des Unfalllandes zur Verfügung. Dieses Referenzszenario wird nach § 108 Absatz 3 StrlSchG

typischerweise als überregionaler Notfall eingestuft und deckt die Notfallvorsorgekategorie (emergency preparedness categorie) IV aus GSR Part 7 /IAEA 15a/ ab.

Für Referenzszenario S4 wird die Schutzstrategie vollständig auf Maßnahmen ausgerichtet, die sich auf den Schutz der deutschen Staatsbürger im Staat, in dem sich der Notfall ereignet hat, und auf den grenzüberschreitenden Handel und Verkehr konzentrieren. Sie hat damit kaum noch etwas mit der ursprünglichen allgemeinen Schutzstrategie für Notfälle in kerntechnischen Anlagen des Referenzszenarios S1 zu tun. Vielmehr stellt sie ein eigenes Vorgehen vor. Die Alarmierung erfolgt in diesem Referenzszenario in der Regel durch die zuständigen ausländischen Behörden an die IAEO, die wiederum die Mitgliedsstaaten informiert. Das RLZ hat Kontakt mit Stellen anderer EU-Länder für eine Abstimmung hinsichtlich der Lagebewertung aufzunehmen, zudem sollen Kontakte zu Konsulaten aufgenommen werden und die Entsendung von Strahlenschutz-Experten erwogen werden, sowie die Beratung von deutschen Firmen bereitgestellt werden. Es werden Empfehlungen an deutsche Bürger, die im Staat, in dem sich der Notfall ereignet hat, leben, und Touristen- bzw. Reiseinformationen herausgegeben und Aktionen für nach Deutschland rückkehrende Personen getroffen werden.

Zur Implementierung der Schutzstrategie werden die folgenden Module benötigt:

1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung

1.1. Kommunikation

Die Rollen innerhalb der Notfallorganisation können im Vergleich zu Referenzszenario S1 unterschiedlich sein, sodass geringfügige Anpassungen in der Kommunikation notwendig sind. Informationsflüsse laufen gegebenenfalls in andere Richtungen. Zuständigkeiten für das Funktionieren bestimmter Kommunikationsmittel können im Vergleich zu Referenzszenario S1 unterschiedlich sein. Sprachbarrieren sind zu beachten. Die Notfallschutzbehörden der europäischen Staaten sollten Kontakt untereinander aufnehmen, um sich über die Einschätzung der radiologischen Lage und Empfehlungen für Bürger vor Ort abzustimmen. Die deutschen Botschaften und Konsulate im Staat, in dem sich der Notfall ereignet hat, spielen eine zentrale Rolle für den Schutz der deutschen Bürger vor Ort und müssen daher intensiv in die Aktionen zum Schutz der Bevölkerung vor Ort einbezogen werden. Dazu sollte auch die Entsendung eines Strahlenschutz-Experten in die Botschaft bzw. das Konsulat vor Ort erwogen

werden. Deutsche Bürger im Staat, in dem sich der Notfall ereignet hat, sollten aufgefordert werden, den Kontakt zur deutschen Botschaft/Konsulat vor Ort aufzunehmen. Für deutsche Firmen, die Waren aus dem Staat, in dem sich der Notfall ereignet hat, importieren oder Angestellte im Staat haben, in dem sich der Notfall ereignet hat, sollten Informationen und Beratung bereitgestellt werden.

1.2. Kenntnisnahme und Aktivierung

Die Alarmierung erfolgt üblicherweise durch die ausländische Behörde über die IAEO an die Mitgliedsstaaten. Darüber hinaus wird keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2 gesehen.

1.3. Lagebewertung

Insbesondere in der Frühphase eines Unfalls sollte die Lagebewertung der lokalen Behörden genutzt werden. Nur wenn die Einschätzung der Lage in der Anlage und/oder der radiologischen Lage als nicht belastbar angesehen wird, sollte ein unter den europäischen Staaten abgestimmtes Lagebild erstellt werden. Der Umgang mit einer fehlenden Lagebewertung des Notfalllandes muss geklärt werden.

2. Entscheidungsfindung und Anpassung

2.1. Bewertung der Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht

Der Schutz der deutschen Bürger im Ausland sollte nicht im Widerspruch zu dem Schutz der einheimischen Bürger vor Ort stehen, d. h. die Schutzmaßnahmen der zuständigen Behörden vor Ort müssen berücksichtigt werden und ein Konflikt mit diesen Behörden vermieden werden. Nur wenn die Einschätzung der Lage in der Anlage und/oder der radiologischen Lage als nicht belastbar angesehen wird, muss über weitergehende Empfehlungen für Maßnahmen entschieden werden.

2.2. Anpassung von Maßnahmen

Kontaminationskriterien für eingeführte Güter sollten unter den Europäischen Staaten abgestimmt werden. Darüber hinaus wird keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2 gesehen.

3. Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle

3.1. Koordinierung des Bedarfs

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2. Aufgrund der beschränkten Maßnahmen ist mit einem reduzierten Bedarf zu rechnen.

3.2. Umsetzung von Maßnahmen

Die in Deutschland umzusetzenden Maßnahmen beschränken sich auf personenbezogene Maßnahmen für aus dem Staat, in dem sich der Notfall ereignet hat, zurückkehrende Bürger und die Kontrolle von möglicherweise kontaminierten Gütern an Flughäfen oder Häfen sowie Empfehlungen für die Personengruppen bereitstellen, die mit möglicherweise kontaminierten Personen, Gütern oder Verkehrsmittel in Kontakt kommen (z. B. Zollpersonal, Flughafenpersonal, Hafenarbeiter, etc.). Darüber hinaus wird keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2 gesehen.

4. Übergang zu einer bestehenden Expositionssituation/Ende des Notfalls

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2.

5. Deaktivierung

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S2.

Reale Beispiele: Notfall in Fukushima 2011

Mögliche Beispielszenarien, die in dieses Referenzszenario fallen:

Siehe Referenzszenario S1 und zusätzlich Havarie eines schwimmenden Atomkraftwerks (z. B. Akademik Lomonossow)

3.1.3.2.5 Referenzszenario S5 – Kerntechnische Anlagen oder Einrichtungen, die keine Kernkraftwerke sind

Kam oder kommt es (möglicherweise) zu einem Ereignis in kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen, die keine Kernkraftwerke sind, welches zu einer Freisetzung führen könnte bzw. führen wird oder führte, so befindet man sich in Referenzszenario S5. Bei diesem Referenzszenario handelt es sich um in der Regel ortsfeste Anlagen, deren Inventar abhängig von der Art der Anlage ist und damit jeweils Angaben des Betreibers der Anlage notwendig sind. Die im Normalbetrieb vorhandenen Barrieren und Rückhalteeffekte sind den jeweiligen Aufsichtsbehörden, zumindest für deutsche Anlagen, in der Regel bekannt. Bei ausländischen Anlagen stehen in diesem Referenzszenario viele

Informationen erst nach der Bewertung durch die zuständigen Behörden des Staates, in dem sich der Notfall ereignet hat, zur Verfügung. Dieses Referenzszenario wird nach § 108 Absatz 3 StrlSchG bei Notfällen im grenznahen Ausland typischerweise als über-regionaler Notfall, bei Notfällen im Inland als regionaler Notfall eingestuft und deckt die Notfallvorsorgekategorie (emergency preparedness categorie) II und V aus GSR Part 7 /IAEA 15a/ ab.

Im Referenzszenario S5 ändert sich gegenüber der allgemeinen Schutzstrategie von Referenzszenario S1 lediglich die Anpassung der Planungszonen an die Anlage.

Zur Implementierung der Schutzstrategie werden die folgenden Module benötigt:

1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung

1.1. Kommunikation

Die Rollen und Zuständigkeiten innerhalb der Notfallorganisation können im Vergleich zu Referenzszenario S1 unterschiedlich sein, sodass geringfügige Anpassungen in der Kommunikation notwendig sind.

1.2. Kenntnisnahme und Aktivierung

Anlagenspezifische Auslösekriterien sind zu berücksichtigen. Darüber hinaus wird keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1 gesehen.

1.3. Lagebewertung

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1 bei Ereignissen in Deutschland bzw. zu Referenzszenario S2 bei Ereignissen im grenznahen Ausland.

2. Entscheidungsfindung und Anpassung

2.1. Bewertung der Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radio- logischer Sicht

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1 bei Ereignissen in Deutschland bzw. zu Referenzszenario S2 bei Ereignissen im grenznahen Ausland.

2.2. Anpassung von Maßnahmen

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1 bei Ereignissen in Deutschland bzw. zu Referenzszenario S2 bei Ereignissen im grenznahen Ausland.

3. Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle
 - 3.1. Koordinierung des Bedarfs
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
 - 3.2. Umsetzung von Maßnahmen
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
4. Übergang zu einer bestehenden Expositionssituation/Ende des Notfalls
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1 bei Ereignissen in Deutschland bzw. zu Referenzszenario S2 bei Ereignissen im grenznahen Ausland.
5. Deaktivierung
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1 bei Ereignissen in Deutschland bzw. zu Referenzszenario S2 bei Ereignissen im grenznahen Ausland.

Reale Beispiele: dem Referenzszenario könnte man aus heutiger Sicht zwei Brände in Folge von Experimenten mit Uranoxid im Labor des Physikalischen Instituts der Universität Leipzig im Jahr 1942 zuordnen. Im ersten Fall bildete sich beim Einfüllen von Uranpulver in eine Apparatur mit einer Uran-Schwerwasser-Anordnung („Uranmaschine“) eine Stichflamme, wodurch auch ein Uranbehälter Feuer fing. Das Feuer ließ sich zunächst nicht löschen. Im zweiten Fall kam es beim Öffnen der Uran-Schwerwasser-Anordnung zu einer Entzündung, wobei die Reaktion erst nach zwei Tagen zum Stillstand kam. /DÖP 42/

3.1.3.3 Schutzstrategie für radiologische Notfälle oder Ereignisse (Referenzszenarien S6-S8)

Die Schutzstrategie für radiologische Notfälle oder Ereignisse geht davon aus, dass keine Vorwarnzeiten vor einem Freisetzungsbeginn bestehen. Grundlage für Maßnahmen ist eine möglichst schnelle Einschätzung der radiologischen Gefährdung sowie die Erfassung der eingetretenen radiologischen Lage. Wesentliche Ziele von Maßnahmen des radiologischen Notfallschutzes sind eine möglichst schnelle Gefahrenabwehr im Hinblick auf bereits eingetretene Expositionen von Personen und auf weiterhin zu befürchtende Exposition als Folge der entstandenen Kontaminationssituation. Die empfohlene Vorgehensweise für radiologische Notfälle oder Ereignisse sieht vor, zunächst lebensrettende Maßnahmen durchzuführen, da diese niemals aufgrund einer möglichen radiologischen Gefährdung verzögert werden sollen. Danach soll die radiologische Gefährdung eingeschätzt werden. Hierfür steht im Rahmen der Schutzstrategie

eine Liste mit Anzeichen für eine mögliche radiologische Gefahr zur Verfügung. Die Schutzstrategie sieht für den Fall von Anzeichen einer möglichen radiologischen Gefahr als dritten Schritt die Alarmierung von Katastrophenschutzbehörden vor, sofern dies nicht bereits erfolgte. Es ist vorgesehen, einen Strahlenschutz-Experten zur Unterstützung anzufordern. Zum Schutz der Bevölkerung soll ein Sperrbereich eingerichtet werden. Im Anschluss daran sollen personenbezogene Maßnahmen und Maßnahmen zum Schutz der Einsatzkräfte sowie Messungen zur Charakterisierung der radiologischen Lage durchgeführt werden. Zudem werden Maßnahmen zur Eindämmung/Verringerung der radiologischen Folgen durchgeführt, sofern diese angebracht sind sowie weitere Maßnahmen zur Information und zur Vermeidung weiterer Kontaminationen durchgeführt.

3.1.3.3.1 Referenzszenario S6 – Terroristische oder anderweitig motivierte Straftat

Kam oder kommt es (möglicherweise) zu einer mutwilligen Freisetzung radioaktiven Materials, die als gezielte Gewaltaktion zu werten sein kann, ordnet man dies diesem Referenzszenario zu. Insbesondere sogenannte „schmutzigen Bomben“ aus unkonventionellen Spreng- oder Brandvorrichtungen mit radioaktiven Materialien, werden hierunter als Ereignis mit entsprechenden radiologischen Auswirkungen betrachtet. Dies dient als Grundlage für die Notfallvorsorge in diesem Referenzszenario, das sich neben der Freisetzung im öffentlichen Raum auch durch wenige Informationen hinsichtlich der verwendeten Nuklide und der Gesamtaktivität des ursprünglich verwendeten Materials auszeichnet. Dieses Referenzszenario wird nach § 108 Absatz 3 StrlSchG bei Notfällen im Ausland typischerweise als überregionaler Notfall, bei Notfällen im Inland als regionaler Notfall eingestuft und deckt die Notfallvorsorgekategorie (emergency preparedness category) IV aus GSR Part 7 /IAEA 15a/ ab. Terrorakte, die auf kerntechnische Anlagen oder Einrichtungen verübt werden, sind aufgrund der zu erwartenden Auswirkungen über die Referenzszenarien S1-S5 zu behandeln.

Die Gefährdungen in diesem Referenzszenario sind die direkten Effekte durch die nicht-radiologischen Auswirkungen der Explosion (Verletzte und Tote) sowie die psychologischen Effekte durch die empfundene Bedrohung durch Exposition oder Kontamination /IAEA 03/. Die radiologische Gefährdung in diesem Referenzszenario bezieht sich häufig auf die Inhalation von luftgetragenen und lungengängigen radioaktiven Stoffen direkt nach der Explosion und eine mögliche externe Exposition durch Fragmente der radioaktiven Beiladung, die durch die Explosion im direkten Umkreis des Explosionsorts

verteilt sein können. Dosiswerte, die Maßnahmen des Katastrophenschutzes, der allgemeinen Gefahrenabwehr und Hilfeleistung oder der medizinischen Behandlung der Bevölkerung erforderlich machen könnten, sind meist auf den direkten Umkreis um den Explosionsort beschränkt. In diesem Referenzszenario bestehen meist keine Vorwarnzeichen, die eine Alarmierung der Katastrophenschutzbehörden und eine Warnung der Bevölkerung vor Freisetzungsbeginn ermöglichen. Maßnahmen können dann nur nach einer in solchen Fällen oft schlagartigen Freisetzung und kurzfristigem Vorbeizug einer Schadstoffwolke ergriffen werden.

Zur Implementierung der Schutzstrategie werden die folgenden Module benötigt:

1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung

1.1. Kommunikation

Die Rollen und Zuständigkeiten innerhalb der Notfallorganisation können im Vergleich zu Referenzszenario S1 unterschiedlich sein, sodass geringfügige Anpassungen in der Kommunikation notwendig sind.

1.2. Kenntnisnahme und Aktivierung

Die Auslösung der Schutzstrategie zur Minimierung der Folgen des Ereignisses erfolgt durch die erste Einschätzung der radiologischen Gefährdung vor Ort.

1.3. Lagebewertung

Zur Lagebewertung werden verfügbare Informationen, die auf die freigesetzten radioaktiven Stoffe schließen lassen, Messungen zur Erfassung der entstandenen Kontaminationssituation und weitere zur Verfügung stehende Diagnosewerkzeuge kombiniert. Entscheidend ist die möglichst frühzeitige Detektion des Vorhandenseins von radioaktiven Stoffen. Bei kann der Nachweis von Gamma-Emittern aufgrund der Mess-Ausrüstung der Einsatzkräfte sehr früh erfolgen, bei Beta- und Alpha-Emittern kann dies aber möglicherweise erst stark verzögert erfolgen. Darüber hinaus wird keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1 gesehen.

2. Entscheidungsfindung und Anpassung
 - 2.1. Bewertung der Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
 - 2.2. Anpassung von Maßnahmen
Die größte Gefährdung sind nicht-radiologische Auswirkungen. Darüber hinaus wird keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1 gesehen.
3. Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle
 - 3.1. Koordinierung des Bedarfs
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
 - 3.2. Umsetzung von Maßnahmen
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
4. Übergang zu einer bestehenden Expositionssituation/Ende des Notfalls
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
5. Deaktivierung
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

Reale Beispiele: Fall Litwinenko 2006 (Deutschland war nur am Rande beteiligt. In Hamburg fanden sich Spuren von Polonium-210 in der Wohnung einer der Personen, die mit Litwinenko vor dessen Erkrankung Kontakt hatte.)

3.1.3.3.2 Referenzszenario S7 – Transportunfall

Kam oder kommt es (möglicherweise) zu einer Freisetzung radioaktiven Materials während des Transports von radioaktiven Stoffen im öffentlichen Raum, so geht man von diesem Referenzszenario aus. Es zeichnet sich neben der Freisetzung im öffentlichen Raum auch durch mögliche Informationen hinsichtlich der vorhandenen Nuklide und der Gesamtaktivität aus, die den zur Genehmigung notwendigen Unterlagen des Transports zu entnehmen sind. Barrieren und Rückhaltefunktionen des Normalbetriebs sind in diesem Referenzszenario, sofern Betreiberinformationen oder Transportinformationen vorliegen, bekannt. Dieses Referenzszenario wird nach § 108 Absatz 3 StrlSchG typischerweise als lokaler Notfall eingestuft und deckt die Notfallvorsorgekategorie (emergency preparedness categorie) IV aus GSR Part 7 /IAEA 15a/ ab.

Hinsichtlich der für die Notfallvorsorge zu betrachtenden Auswirkungen ist die größte radiologische Gefährdung die Inhalation von luftgetragenen und lungengängigen radioaktiven Stoffen (insbesondere falls es zu einem Brand im Nachgang des Unfalls kommt) und eine mögliche externe Exposition durch Fragmente der radioaktiven Quelle, die in Folge des Unfalls im direkten Umkreis des Unfallorts verteilt sein können. Dosiswerte, die Maßnahmen des Katastrophenschutzes, der allgemeinen Gefahrenabwehr und Hilfeleistung oder der medizinischen Behandlung erforderlich machen könnten, sind meist auf den direkten Umkreis um den Unfallort beschränkt.

Zur Implementierung der Schutzstrategie werden die folgenden Module benötigt:

1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung

1.1. Kommunikation

Die Rollen und Zuständigkeiten innerhalb der Notfallorganisation können im Vergleich zu Referenzszenario S1 unterschiedlich sein, sodass geringfügige Anpassungen in der Kommunikation notwendig sind.

1.2. Kenntnisnahme und Aktivierung

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S6.

1.3. Lagebewertung

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S6.

2. Entscheidungsfindung und Anpassung

2.1. Bewertung der Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

2.2. Anpassung von Maßnahmen

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

3. Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle
 - 3.1. Koordinierung des Bedarfs
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
 - 3.2. Umsetzung von Maßnahmen
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
4. Übergang zu einer bestehenden Expositionssituation/Ende des Notfalls
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
5. Deaktivierung
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

Reale Beispiele: Verkehrsunfall mit radioaktivem Transportgut bei Miesbach 2016 (es kam zu keiner Freisetzung) /MÜN 16/, Lkw-Unfall mit radioaktiver Ladung bei Hannover 2017 (es kam zu keiner Freisetzung) /AXE 17/.

3.1.3.3.3 Referenzszenario S8 – Notfall im Zusammenhang mit dem Umgang mit radioaktiven Stoffen

Kam oder kommt es (möglicherweise) zu einer Freisetzung radioaktiven Materials durch den Verlust einer radioaktiven Quelle oder einen Unfall mit einer solchen Quelle, so geht man von diesem Referenzszenario aus. Hierbei spielt der Ort eine eher untergeordnete Rolle für die Eingliederung in dieses Referenzszenario. Es können Informationen zu den havarierten Quellen vorliegen, wenn es sich beispielsweise um hochradioaktive Strahlenquellen handelt, die in Deutschland über das HRQ-Register geführt werden. Prinzipiell wäre aber ein Fund einer nicht registrierten und möglicherweise unbekanntem radioaktiven Quelle von diesem Referenzszenario mit abgedeckt, wobei hier gegebenenfalls zu prüfen ist, ob nicht eine Straftat mit dieser Quelle geplant war (Zuordnung zu Referenzszenario S6) oder ob es sich bei dieser Quelle beispielsweise um Trümmerteile eines Satellitenabsturzes (Zuordnung zu Referenzszenario S9) handelt. Dieses Referenzszenario wird nach § 108 Absatz 3 StrlSchG typischerweise als lokaler Notfall eingestuft und deckt die Notfallvorsorgekategorie (emergency preparedness category) IV aus GSR Part 7 /IAEA 15a/ ab.

Gerade ein Brand, in dem eine solche Quelle involviert ist, kann eine größere Verteilung von radioaktivem Material in der Umgebung mit sich bringen. Hinsichtlich der Auswirkungen und der mit der Notfallvorsorge verbundenen Planung für dieses Referenzszenario

ist zu beachten, dass die größte radiologische Gefährdung die Inhalation von luftgetragenen und lungengängigen radioaktiven Stoffen, die z. B. durch ein Feuer freigesetzt werden können, sowie eine mögliche direkte externe Exposition durch die radioaktive Quelle selbst. Dosiswerte, die Maßnahmen des Katastrophenschutzes, der allgemeinen Gefahrenabwehr und Hilfeleistung oder der medizinischen Behandlung erforderlich machen könnten, sind meist auf den direkten Umkreis um den Aufenthaltsort der Quelle beschränkt.

Zur Implementierung der Schutzstrategie werden die folgenden Module benötigt:

1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung
 - 1.1. Kommunikation
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S7.
 - 1.2. Kenntnisnahme und Aktivierung
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S6.
 - 1.3. Lagebewertung
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S6.
2. Entscheidungsfindung und Anpassung
 - 2.1. Bewertung der Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
 - 2.2. Anpassung von Maßnahmen
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
3. Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle
 - 3.1. Koordinierung des Bedarfs
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
 - 3.2. Umsetzung von Maßnahmen
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.
4. Übergang zu einer bestehenden Expositionssituation/Ende des Notfalls
Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

5. Deaktivierung

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

Reale Beispiele: Arbeitsunfall in Haan mit Freisetzung von Selen-75 /ALE 16/.

3.1.3.4 Referenzszenario S9 – Satellitenabsturz

Kam oder kommt es (möglicherweise) zu einer Freisetzung radioaktiven Materials infolge eines Satellitenabsturzes, wird dieses Referenzszenario gewählt. Radioaktives Material ist in einigen Satelliten in Isotopenbatterien oder einem Kleinreaktor zur Energieversorgung vorhanden. Beim Absturz eines Satelliten mit Isotopenbatterie kann es durch das Verglühen bei Eintritt in die Atmosphäre zu einer großflächigen und eventuell weltweiten Verteilung des radioaktiven Stoffes kommen. Dabei ist mit keiner erhöhten Ortsdosisleistung in Bodennähe zu rechnen. Falls die Isotopenbatterie beim Eintritt in die Atmosphäre nicht verglüht, jedoch beim Aufprall beschädigt wird, kann dies eine kleinräumige Kontamination verursachen. In der Regel sollten die Hersteller der Satelliten Angaben zum Inventar liefern können und es besteht vor Eintritt des Satelliten genug Zeit, um eine ungefähre Prognose über den Einschlagsbereich zu ermöglichen. Manche Unfallabläufe können auch innerhalb von Minuten oder Sekunden erfolgen (z. B. Absturz in der Startphase). Die Prognosen sind mit großen Ungenauigkeiten behaftet und die möglichen betroffenen Gebiete schwer einzugrenzen. Dieses Referenzszenario wird nach § 108 Absatz 3 StrlSchG typischerweise als überregionaler Notfall eingestuft und deckt die Notfallvorsorgekategorie (emergency preparedness categorie) IV aus GSR Part 7 /IAEA 15a/ ab.

Die Schutzstrategie für das Referenzszenario S9 zum Satellitenabsturz übernimmt die Schutzmaßnahmen und Teile des Vorgehens aus der 1994 veröffentlichten Ausarbeitung der SSK /SSK 94/. Zuständig für die Alarmierung bei einem bevorstehenden Satellitenabsturz ist das Weltraumlagezentrum (WRLageZ), welches kontinuierlich die Weltraumlage bewertet. Eine Alarmauslösung durch das ODL-Messnetzes des BfS ist unwahrscheinlich, da eine Alarmierung nur erfolgt, wenn „heiße Teilchen“ in der Nähe einer ODL-Station zum Liegen kommen. Eine potentielle Gefahr besteht zunächst durch die herabstürzenden Teile an sich. Während des Absturzes ist ein Aufenthalt in Gebäuden entlang des potentiellen Absturzgebietes vorgesehen, um der Gefahr durch die herabfallenden Teile zu entgehen. Wenn es sich bei den involvierten Radionukliden um Gamma-Emitter handelt, können die potentiell betroffenen Gebiete mittels Hubschrauber gestützter Messungen (Aerogamma-Spektrometrie) verhältnismäßig schnell bezüglich

der radiologischen Lage charakterisiert werden. Dadurch können bei einer sehr inhomogenen Kontamination, wie sie bei einem Absturz von Satelliten mit radioaktivem Inventar zu erwarten ist, sogenannte Hot Spots rasch lokalisiert werden. Bei Alphastrahlern aus Brennstoffbatterien (Pu-238) mit kurzen Reichweiten der Alphateilchen und fehlenden Gamma-Komponenten sind Handkontaminationsmonitore bei Fußtrupps vorzusehen. Nach dem Absturz kann eine Gefährdung bei längerem Aufenthalt in der Nähe herabgefallener, radioaktiver Teile auftreten. Deshalb sollten die Bruchstücke nicht berührt werden, Abstand von Bruchstücken gehalten werden und der Fundort von Bruchstücken gemeldet werden. Durch Spezialkräfte sind die Bruchstücke zu lokalisieren, zu bergen und anschließend abzutransportieren. Aber auch Stunden nach dem Absturz können sandkorngroße Teilchen noch auf den Erdboden sinken, weshalb der Aufenthalt im Freien möglichst vermieden werden soll. Eine Inhalation radioaktiver Teilchen ist sehr unwahrscheinlich, da die Zahl der zur Erde gelangenden Teilchen sehr gering ist. Aus diesem Grund ist auch eine Aufnahme radioaktiver Teilchen mit der Nahrung sehr unwahrscheinlich. Eine Kontamination von Milch und Fleisch kann ausgeschlossen werden. Allenfalls auf frei wachsendem Obst und Gemüse befindliche Teilchen können wegen ihrer Größe (Sandkorngröße) durch Waschen leicht entfernt werden. Untersuchungen haben ergeben, dass die radioaktiven Spaltprodukte in den geschmolzenen Teilchen so fest eingeschlossen sind, dass sie im Magen-Darm-Trakt nicht gelöst werden. Da sie somit vom Körper nicht aufgenommen werden können, werden sie in der Regel nach 1 bis 2 Tagen wieder ausgeschieden. /SSK 94/

Zur Implementierung der Schutzstrategie werden die folgenden Module benötigt:

1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung

1.1. Kommunikation

Die Rollen und Zuständigkeiten innerhalb der Notfallorganisation können im Vergleich zu Referenzszenario S1 unterschiedlich sein, sodass geringfügige Anpassungen in der Kommunikation notwendig sind.

1.2. Kenntnisnahme und Aktivierung

Zuständig für die Alarmierung bei einem bevorstehenden Satellitenabsturz ist das Weltraumlagezentrum (WRLageZ).

1.3. Lagebewertung

Wenn es sich bei den involvierten Radionukliden um Gamma-Emitter handelt, können die potentiell betroffenen Gebiete mittels Hubschrauber gestützter

Messungen (Aerogamma-Spektrometrie) verhältnismäßig schnell charakterisiert und Hot Spots rasch lokalisiert werden. Bei Alphastrahlern sind Handkontaminationsmonitore bei Fußtrupps vorzusehen. Darüber hinaus wird keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1 gesehen.

2. Entscheidungsfindung und Anpassung

2.1. Bewertung der Angemessenheit von Maßnahmen und Empfehlungen aus radiologischer Sicht

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

2.2. Anpassung von Maßnahmen

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

3. Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle

3.1. Koordinierung des Bedarfs

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

3.2. Umsetzung von Maßnahmen

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

4. Übergang zu einer bestehenden Expositionssituation/Ende des Notfalls

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

5. Deaktivierung

Keine Änderung im Vergleich zu Referenzszenario S1.

Reale Beispiele: für Deutschland nicht bekannt; Absturz des russischen Satelliten Cosmos 954 in Kanada im Jahr 1978 /GUM 80/.

3.1.3.5 Referenzszenario S10 – Verteidigungs- oder Spannungsfall

Das Referenzszenario S10 ist im Rahmen des Vorhabens nicht betrachtet worden, da dies im Entwurf des allgemeinen Notfallplan des Bundes bisher noch nicht integriert wurde. Dieses Referenzszenario wird nach § 108 Absatz 3 StrlSchG typischerweise als überregionaler Notfall eingestuft und deckt die Notfallvorsorgekategorie (emergency preparedness category) IV aus GSR Part 7 /IAEA 15a/ ab.

3.1.4 In die Prozessbeschreibungen aufzunehmende Elemente

Um einen Prozess für eine Schutzstrategie sinnvoll beschreiben zu können, sollte zunächst klar sein:

- welche Ziele verfolgt werden, um damit ein erwartetes Produkt des Prozesses darstellen zu können,
- welche Faktoren den Prozess von außen beeinflussen, um diese in der Prozessdarstellung einfließen zu lassen und
- welche Startbedingungen vorhanden sind, um davon ausgehend einen Prozess zu starten.

Im Folgenden werden diese Punkte in Vorbereitung der Prozessbeschreibung im Rahmen einer Operationalisierung optimierter Schutzstrategien näher definiert.

3.1.4.1 Ziele der Schutzstrategie

Aus Abschnitt 3.1.1 können die folgenden Ziele abgeleitet werden:

Ziel 1: Referenzwert der Bevölkerung einhalten

Die Dosis D_{Bev} , die die Bevölkerung durch ionisierende Strahlung erhält, soll zum Schutz der Bevölkerung begrenzt sein. Diese Grenze ist durch den Referenzwert $D_{\text{Ref,Bev}}$ für die Dosis definiert:

$$D_{\text{Bev}} < D_{\text{Ref,Bev}} \quad (3.2)$$

Die Dosis D_{Bev} , die die Bevölkerung durch ionisierende Strahlung erhält, ergibt sich als zeitliches Integral der ortsabhängigen und alle Expositionspfade berücksichtigende Dosisleistung $\dot{D}(\vec{r}(t), t)$ über einen Zeitraum Δt (typischerweise ein Jahr) mit einem beliebigen Startzeitpunkt t_0 :

$$D_{\text{Bev}} = \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} \int_{\vec{x}} \dot{D}(\vec{r}(t), t) d\vec{r} dt \quad (3.3)$$

Anmerkung: Die Dosis D_{Bev} kann dabei eine effektive Dosis sein, könnte aber auch eine Organ-Äquivalentdosis sein. Der Startzeitpunkt t_0 kann in der Regel als Zeitpunkt des Freisetzungsbeginns festgelegt werden.

Ziel 2: Verringerung der Exposition unterhalb des Referenzwertes

Des Weiteren sind nach § 92 Abs. 3 StrlSchG die Exposition der Bevölkerung und der Einsatzkräfte sowie die Kontamination der Umwelt bei Notfällen unter Beachtung des Standes der Wissenschaft und unter Berücksichtigung aller Umstände des jeweiligen Notfalls durch angemessene Maßnahmen auch unterhalb der Referenzwerte so gering wie möglich zu halten. Hier wird zunächst das Konzept für die Dosis der Bevölkerung D_{Bev} dargestellt. Dies kann dann analog für Einsatzkräfte mit der Dosis D_{Ein} übertragen werden und wird weiter später nochmal aufgegriffen.

Um die Verringerung der Dosis D_{Bev} in einem Prozess sinnvoll zu integrieren, kann man die durch Maßnahmen vermiedene Dosis D_A (averted dose) oder die Größe des Schutzfaktors S einer Maßnahme einführen. Dies soll die Wirkung der Maßnahme auf die Dosis D_{Bev} darstellen und durch Vergleich dieser Größen, die Entscheidung für oder gegen eine Maßnahme erleichtern.

Die vermiedene Dosis D_A wäre in dieser Überlegung die Differenz aus einem berechneten virtuellen erwarteten Dosiswert D_V , den eine Person an einem bestimmten Ort \vec{x}_0 erhalten würde, wenn keine Schutzmaßnahmen aktiv wären, und der Dosis D_{Bev} (residual dose), die die Bevölkerung mit aktiven Schutzmaßnahmen durch ionisierende Strahlung erhält bzw. erwartungsgemäß erhält. Dabei sei darauf hinzuweisen, dass die Dosis D_{Bev} aus einem diagnostischen Anteil, der sich aus Abschätzungen der Dosisleistung an den verschiedenen Aufenthaltsorten der Bevölkerung ergibt (Parameter $\dot{D}_{abge}(\vec{r}(t), t)$), und einem prognostischen Anteil, der sich aus einer prognostizierten Dosisleistung $\dot{D}_{prog}(\vec{x}_Z, t)$, am Aufenthaltsort der Person \vec{x}_Z ergibt:

$$\begin{aligned}
 D_A &= D_V|_{\vec{x}_0} - D_{Bev} \\
 &= \int_{t_0}^{t_0+1a} \dot{D}_V(\vec{x}_0, t) dt \\
 &\quad - \left(\int_{t_0}^{t_B} \int_{\vec{x}} \dot{D}_{abge}(\vec{r}(t), t) d\vec{r} dt + \int_{t_B}^{t_0+1a} \dot{D}_{prog}(\vec{x}_Z, t) dt \right)
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

mit dem Zeitpunkt t_B der Analyse, für den gilt $t_0 < t_B < t_0 + 1a$.

Als Alternative kann auch der mit einer Maßnahme verknüpfte Schutzfaktor S angegeben werden. Dieser wird dargestellt durch die folgende Gleichung /SSK 10/

$$S(\vec{r}(t), t, t_S, t_E, \text{Nuklid, Pfad}) = \frac{D_V}{D_{\text{Bev}}} = 1 + \frac{D_A}{D_{\text{Bev}}} \quad (3.5)$$

Dieser Schutzfaktor S ist eine dimensionslose Funktion der Zeit t , des Ortes $\vec{r}(t)$ und kann zudem nuklidabhängig sein. Zudem spielen die Zeitpunkte t_S (Beginn der Schutzwirkung einer Maßnahme) und t_E (Ende einer Schutzwirkung einer Maßnahme) eine Rolle. Des Weiteren kann die Schutzwirkung von Maßnahmen auf einzelne Organe (z. B. Schilddrüse) oder bestimmte Expositionspfade (z. B. Ingestion) begrenzt sein.

Der Wertebereich des Schutzfaktors liegt dabei im \mathbb{R}^+ , wobei Werte kleiner als 1 für eine Dosiszunahme durch die Maßnahme, Werte gleich 1 für keine Schutzwirkung durch die Maßnahme und Werte größer 1 für eine Verringerung des Dosisbeitrags durch die Maßnahme stehen. Für eine möglichst große Reduzierung der Dosis der Bevölkerung, wäre also ein maximal hoher Schutzfaktor S wünschenswert.

Ziel 3: Ziele 1 und 2 gelten auch für Einsatzkräfte

Wie oben bereits angedeutet, ist ein weiteres Ziel, dass durch die Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz vor ionisierender Strahlung den dafür benötigten Einsatzkräften und Helfern möglichst wenig eigene Risiken und Gefahren zugemutet werden. Der zugehörige Parameter $D_{\text{Ein},i}$ ist die Dosis, die eine Einsatzkraft während des i -ten Einsatzes erhalten würde. Dabei ist der Zeitpunkt t_i des Einsatzbeginns und $\Delta\theta_i$ die Einsatzdauer. Die Einsatzdauer $\Delta\theta_i$ ist durch die Dauer der Notfallexposition $\Delta\Omega$ begrenzt. Es gilt damit die Randbedingung $\Delta\theta_i < \Delta\Omega$.

$$D_{\text{Ein},i} = \int_{t_i}^{t_i+\Delta\theta_i} \int_{\vec{x}} \dot{D}(\vec{r}(t), t) d\vec{r} dt \quad (3.6)$$

Generell gilt auch hier, dass ein Referenzwert $D_{\text{Ref,Ein}}$ nicht überschritten werden soll. Dieser berücksichtigt dabei die Summe aller n Einsätze die die Einsatzkräfte in der Zeit der Notfallexposition $\Delta\Omega$ erhalten.

$$\sum_{i=1}^n D_{\text{Ein},i} < D_{\text{Ref,Ein}} \quad (3.7)$$

3.1.4.2 Einflussfaktoren auf die Schutzstrategie

Die Strahlenschutzkommission (SSK) sieht diverse Einflussfaktoren für die Entscheidungsfindung vor. Diese sind in den radiologischen Grundlagen /SSK 14a/ dargestellt und werden nachfolgen als fettgedruckte Worte aufgeführt. Jedem Einflussfaktor werden Parameter zugeordnet, die in eine Prozessbeschreibung einfließen könnten:

Potentielle Dosis: Dies wird durch die Ziele 1 bis 3 abgedeckt.

Wirksamkeit: Die Wirksamkeit einer Maßnahme hängt grundsätzlich von den Zielen ab, die mit dieser Maßnahme verbunden sind.

Die radiologische Wirksamkeit η_r einer Maßnahme zum Schutz vor Gefahren durch ionisierende Strahlung kann eng mit dem Schutzfaktor S verknüpft werden. Sie kann sich z. B. auf ein Radionuklid beziehen oder einen Expositionspfad berücksichtigen und durch den zeitlichen oder räumlichen Funktionsverlauf von S dargestellt werden. Ist eine Maßnahme nicht wirksam, verringert sich die Schutzwirkung und die Werte des Wertepaares D_{Bev} und D_{Ein} bzw. S_{Bev} und S_{Ein} müssten entsprechend angepasst werden. Bestimmte Maßnahmen schließen sich in ihrer Wirksamkeit aus bzw. beeinflussen sich in Ihrer Schutzwirkung stark (z. B. die Maßnahmen „Unterpflügen von kontaminiertem Boden“ und „Abtragen und Abtransport von kontaminiertem Boden“).

Die Bestimmung der Wirksamkeit η_r ist in der Regel an bestimmte messbare Größen wie Dosis- oder Kontaminationswerte geknüpft und erfolgt durch einen Abgleich von Messwerten (Werte auf Dosimetern, Biologische Dosimetrie, Kontaminationswerte von Körperoberflächen) und den daraus bestimmten Dosiswerten mit den aus Prognosen und erwarteten Dosiswerten ohne Schutzmaßnahmen D_V bestimmten „gemessenen“ Schutzfaktoren S_{geme} . Die Wirksamkeit η_r ergibt sich dann aus dem gemessenen

Schutzfaktor S_{geme} und dem im Vorfeld abgeschätzten bzw. erwarteten Schutzfaktoren S_{abge} einer Maßnahme:

$$\eta_r = \frac{S_{\text{geme}}}{S_{\text{abge}}} \quad (3.8)$$

Wirksamkeitswerte η_r im Bereich um 0 würden demnach auf keine Schutzwirkung hindeuten, Wirksamkeitswerte von $\eta_r < 1$ auf eine schlechtere Schutzwirkung als angenommen, Wirksamkeitswerte η_r im Bereich um 1 auf eine gute Übereinstimmung zwischen Vorhersagen und den Messwerten, während Wirksamkeitswerte $\eta_r > 1$ auf eine bessere Wirksamkeit hindeuten würden, als diese erwartet wurde.

Prinzipiell kann der Begriff der Wirksamkeit auch auf andere Zielvorgaben übertragen werden (z. B. bei Maßnahmen des psycho-sozialen Bereichs, bei medizinischen Maßnahmen oder bei Maßnahmen der Volumenreduzierung von Abfällen). Entsprechende Beziehungen zwischen erwarteten Werten zur Zielerfüllung (z. B. betroffene Bevölkerungsanteilen, Personenzahlen, Abfallmengen) und gemessenen Werten würden dann analog zu Formel (3.8) aufgestellt.

Durchführbarkeit: Die Durchführbarkeit kann ebenfalls durch den Schutzfaktor S repräsentiert werden. Sie berücksichtigt den Bedarf von Ressourcen Π^* . Eine Maßnahme ist nur dann durchführbar, wenn die entsprechenden Ressourcen aus einem Pool Π an personellen und materiellen Ressourcen vorhanden sind. Eine fehlende Ressource bedeutet, dass ein Maßnahme erst zu einem späteren Startzeitpunkt t_s beginnt (dann, wenn alle Ressourcen vorhanden sind) oder zu einem späteren Endzeitpunkt t_E abgeschlossen ist (dann, wenn der Einsatz durch einen Mangel an Werkzeugen oder Personal verlängert wird) und dass dies gegebenenfalls mit einer längeren Einsatzzeit $\Delta\theta$ verknüpft ist. Die Auswirkung des Ressourcenbedarfs auf die drei Zeiten hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der neue Ressourcen beschafft werden können. Es kann Situationen geben, in denen benötigte Ressourcen im Zeitraum des Notfalls nicht zur Verfügung stehen werden oder können, so dass die Maßnahme nicht durchgeführt werden kann.

Anmerkung: In der Vergangenheit wurde in bestimmten Fällen mit improvisierten Mitteln Maßnahmen durchgeführt (z. B. wurden in Japan bei der Maßnahme „Evakuierung“ schwerkranke Patienten ohne geeignete Krankentransportmittel transportiert, was den Tod einiger Patienten zur Folge hatte /NDJ 12/). Vorgeplante alternative Maßnahmen

sind demnach in der Regel improvisierten Maßnahmen vorzuziehen (siehe auch „Gefährdung der Bevölkerung“ im nächsten Einflussfaktor).

Negative Auswirkungen: Als Beispiele für negative Auswirkungen werden von der SSK (1) die Exposition der Einsatzkräfte, (2) eine Gefährdung der Schutzbedürftigen (z. B. Verlegung von Schwerstkranken) sowie (3) gesundheitliche, wirtschaftliche und soziale Konsequenzen durch die Maßnahmen aufgeführt.

Im Rahmen der weiteren Betrachtung werden diese negativen Auswirkungen wie folgt berücksichtigt:

(1) Der Parameter zur Exposition der Hilfskräfte wird als Dosis der Einsatzkräfte D_{Ein} berücksichtigt.

(2) Eine Gefährdung der Schutzbedürftigen ist durch einen geeigneten vorgeplanten Kapazitätenpool für Ressourcen Π abzudecken.

Beispiel: Evakuierung von Seniorenheimen und Krankenhäusern

In Japan kam es bei der Evakuierung von bestimmten Gebieten zu Situationen, in denen Personen aus Seniorenheimen und Krankenhäusern durch Busse oder auf Rücksitzen transportiert wurden, also keine geeigneten Transportmittel zur Verfügung standen. Dies hatte zur Folge, dass Personen verstarben. Als Lehre daraus ist im Vorfeld zu planen, für Seniorenheime und Krankenhäuser eine zusätzliche Anzahl von Rollstühlen und Krankentransportern, Pflegekräften, Ärzten etc. vorzuhalten. Hierbei ist abzuwägen, dass hier womöglich ein enormer Bedarf an Ressourcen in kurzer Zeit zur Verfügung zu stellen ist. Ein Fehlen dieser Ressourcen wird, wie im Punkt „Durchführbarkeit“ aufgeführt, durch entsprechende Zeitparameter in das Wertepaare D_A und D_{Ein} einfließen. Man würde damit die vollständige Evakuierung von Krankenhäusern als „nicht sicher durchführbar“ ansehen, wenn Personen nicht mit den nötigen Anforderungen transportiert werden können. Bezogen auf eine Entscheidung von zu treffenden Maßnahmen kann dadurch die Evakuierung im Vergleich zu anderen Maßnahmen in der Priorität einer Durchführung deutlich herabsinken. Dabei sei darauf hinzuweisen, dass in einem Krankenhaus oder Seniorenheim Personal vorgehalten werden müsste, dass gegebenenfalls als Einsatzkraft behandelt werden müsste und somit in die Bewertung von D_{Ein} einfließen würden (Einsatz zur Rettung von Leben).

(3) Die gesundheitlichen, sozialen und wirtschaftlichen Folgen einer Maßnahme sind in den Überlegungen in diesem Dokument bisher nicht berücksichtigt.

Die gesundheitlichen Folgen umfassen in diesem Zusammenhang mehr als die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen aufgrund einer erfolgten Exposition. So kann es beispielsweise bereits während Evakuierungsmaßnahmen zu Verletzungen oder Erkrankungen bis hin zu Todesfällen kommen. Weiterhin sind als langfristige Folgen von unfallbedingten Umsiedlungen nach dem Unfall in Tschernobyl unter anderem Häufungen von Depressionen, Suchterkrankungen mit organischen Folgeerkrankungen und Suiziden bekannt. Zu dem Unfall in Fukushima kam die WHO in ihrer Studie aus dem Jahr 2012 zu dem Schluss, dass die psychologischen Auswirkungen einer der zentralen Herausforderungen des Unfalls seien /WHO 12/. Tatsächlich wurden Depressionen und posttraumatische Stresssymptome in der Bevölkerung beobachtet. In der Studie von UNSCEAR wird davon ausgegangen, dass in Folge der Evakuierungsmaßnahmen mehr als 50 stationär behandelte Patienten aufgrund von Hyperthermie, Dehydrierung oder der Verschlechterung der zugrunde liegenden medizinischen Probleme und wahrscheinlich weitere über 100 ältere Menschen in den Folgemonaten durch eine Vielzahl von mit der Evakuierung verbundenen Ursachen starben /UNS 14/.

Die Fukushima Medical University kam in einer Studie aus dem Jahr 2014 über die psychische Verfassung und dem Lebensstil von Personen aus den Evakuierungsgebieten zu dem Ergebnis, dass schwere psychologische Probleme unter den Evakuierten existieren. Viele Haushalte wurden nach dem Unfall getrennt und teilweise mehrfach evakuiert. Der Anteil der Personen mit traumatischen Symptomen läge laut Studie in der gleichen Größenordnung wie bei den Arbeitern nach dem World Trade Center Angriff. Auch bei Kindern würden schwere psychologische Probleme beobachtet, mit Verbesserungen von Jahr zu Jahr. /YAB 16/

Generell soll mit der Durchführung einer Maßnahme ein größerer Nutzen als Schaden hervorgehen. Vor diesem Hintergrund erfordert eine Wichtung der gesundheitlichen, sozialen und wirtschaftlichen Folgen sowohl untereinander als auch zu anderen Faktoren, bezogen auf den Vorteil einer Maßnahme, daher eine gesellschaftliche und ethische Auseinandersetzung mit diesem Thema.

Es wäre denkbar, wirtschaftliche Konsequenzen beispielsweise durch Größen wie Kosten pro vermiedener Dosis D_A oder ähnlichen Größen auszudrücken. Solch ein Vorgehen wird beispielsweise in einigen Ländern als pragmatischer Ansatz im Rahmen des

ALARA-Prinzipes (As Low As Reasonably Achievable) angewendet. Sofern eine weitere Dosisreduzierung einen sogenannten Alpha-Wert, der die Kosten pro eingesparter Dosis beschreibt, unterschreitet, ist der Betreiber nicht weiter verpflichtet, weitere dosis-sparende Maßnahmen durchzuführen. In der deutschen Regelung wird das System eines allgemein festgelegten Alpha-Wertes bewusst nicht verwendet. Stattdessen wird bei der Optimierung des Strahlenschutzes davon ausgegangen, dass nicht nur wirtschaftliche Faktoren, sondern auch eine Vielzahl anderer Aspekte zu berücksichtigen sind und diese im Gegensatz zu einem allgemeinen Alpha-Wert explizit im Einzelfall abzuwägen sind. Entscheidend für die Erfüllung des ALARA-Prinzips ist dabei, dass der Minimierungsprozess nicht nur zur Einhaltung der jeweiligen Grenzwerte führt, sondern auch unterhalb dieser Grenzwerte explizit ausgeweitet werden muss. Darüber hinaus wird durch die Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit für den Minimierungsprozess gewährleistet.

Hinzu kommt, dass eine solche Größe, die die Kosten pro vermiedener Dosis beschreibt, allein keine sozialen oder gesundheitlichen Folgen berücksichtigt. Insbesondere bei Maßnahmen, die keine Dosisreduzierung, wohl aber eine gesundheitliche oder soziale Wirkung haben (z. B. Maßnahmen der Kommunikation oder des psychosozialen oder medizinischen Bereichs), ist eine solche Größe nicht ausreichend.

Eine quantitative Abwägung der oben genannten gesundheitlichen, sozialen und wirtschaftlichen Folgen einer Maßnahme ohne die Berücksichtigung des Einzelfalls erscheint aus den oben genannten Erwägungen problematisch. Nichtsdestotrotz findet sich in der Literatur ein Modell, das versucht, die gesundheitlichen, sozialen und wirtschaftlichen Folgen quantitativ zu berücksichtigen und abzuwägen. Hierbei wird mit einem mathematischen Modell unter Berücksichtigung der verwendeten Parameter versucht, eine Art Alpha-Wert zu berechnen, der alle genannten Faktoren einbeziehen soll. Dieses Modell mit seinen relevanten Parametern soll nachfolgend kurz wiedergegeben werden.

Die Ideen hierzu finden sich in /NAT 97/, /PAN 03/ und /THO 06a/. In diesen Publikationen geht es unter anderem darum, die Bereitschaft einer Gesellschaft zu quantifizieren, für bestimmte Aufgaben Kosten zu übernehmen. Die Übertragung der Ideen auf die Bewertung von Maßnahmen im Zusammenhang mit radiologischen Notfällen wurde in den Publikationen /WAD 17a/, /WAD 17b/ und /YUM 17/ vorgenommen. Eine kritische Auseinandersetzung mit diesem Modell erfolgte in /THO 17/.

Eine für die Studie relevante Größe in diesem Zusammenhang ist der in /NAT 97/ genutzte sogenannte Lebensqualitätsindex Q_0 . Dieser setzt sich aus zwei statischen Größen zusammen, die als soziale Indikatoren dienen:

- die durchschnittliche Lebenserwartung X (in Jahren, mit Lebenserwartung ist jene Zeit gemeint, die man statistisch gesehen zukünftig noch leben wird)
- das durchschnittliche Jahresgehalt G einer Gruppe (häufig als Bruttoinlandsprodukt pro Kopf (in Währung/Jahr) bezeichnet)

$$Q_0 = G^q X \quad (3.9)$$

Der Exponent q berücksichtigt die sogenannte „Work-Life-Balance“. Er beschreibt laut /NAT 97/ das Verhältnis aus der Arbeitszeit w und verbleibender Zeit $1-w$ und sei in einer typischen Größenordnung von ungefähr $1/7$. Eine genauere Auseinandersetzung mit diesem Parameter von Thomas et al. findet sich in /INT 09/.

Thomas et al. interpretierten in /THO 06a/ den Term G^q als „Nutzen des persönlichen Einkommens pro Jahr“ und den Lebensqualitätsindex Q_0 als Summe aller jährlicher Versorgungsleistungen für die verbleibenden Lebensjahre des Durchschnittsindividuums. Die durchschnittliche Lebenserwartung X wurde in dieser Publikation durch eine ermäßigte Lebenserwartung (discounted life expectancy) X_d erweitert, vor dem Hintergrund, dass Waren und Dienstleistungen, die ein Einzelner aktuell nutzen könne, wertvoller seien als Waren, auf die er warten müsse, bevor er sie genieße. Dazu wird ein Ermäßigungsfaktor eingeführt, der eine Art Verzinsung mitberücksichtigt. Wird diese „Zinssatz“ auf Null gesetzt, entspricht die ermäßigte Lebenserwartung wieder der ursprünglichen Lebenserwartung aus Formel (3.9). Mathematisch kann dies derart umgeformt werden, dass letztlich durch Substitution eine zu (3.9) ähnliche Formel erscheint. Damit wird der Lebensqualitätsindex Q nach Thomas et al. erweitert zu:

$$Q = G^q X_d \quad (3.10)$$

In /THO 17/ wird der Exponent q als Gegenstück zur Risikoscheu oder Risikoabneigung (*englisch: risk-aversion*) dargestellt. Dabei wird der allgemeine Wert der Risikoabneigung als $\varepsilon = 1 - q$ angegeben. Die Risikoabneigung wird dabei als Parameter dafür genutzt, wie viel Zufriedenheit oder Nutzen aus einer Erfahrung, aus einem Gut

oder aus Geld gewonnen wird /THO 16/. Die Gleichung für den Lebensqualitätsindex wird dann folgendermaßen dargestellt:

$$Q = G^{1-\varepsilon} X_d \quad (3.11)$$

Anmerkung zum Verständnis: Bisläng waren die Darstellungen lediglich ein mathematischer Kniff, um Interpretation von Thomas et al. mathematisch analog zum Modell von Nathwani et al. /NAT 97/ zu integrieren. Nachfolgend wird nun auf Änderungen in dieser Gleichung eingegangen. Es geht nun also darum, wie sich eine Änderung im „Nutzen des jährlichen Einkommens“, als wirtschaftlicher Aspekt, auf Änderungen in der (durchschnittlichen) „ermäßigten Lebenswartung“ auswirken, die den gesundheitlichen Aspekt repräsentiert.

Eine zentrale Aussage des Modells ist es, dass eine durchschnittliche Person bereit sei, einen gewissen Teil δG des jährlichen Einkommens G für Gesundheits- oder Sicherheitsmaßnahmen auszugeben, um dadurch Änderungen δX_d in der ermäßigten Lebenserwartung X_d zu erreichen:

Anmerkung: Bei der Krankenversicherung wird beispielsweise davon ausgegangen, dass für den Fall einer Erkrankung, die mit einer drohenden Verringerung der durchschnittlichen Lebenserwartung einhergeht und während der kein weiteres Einkommen generiert werden kann, dennoch Versorgungsleistungen greifen, die die Nachteile der Erkrankung ausgleichen oder abfangen.

$$\begin{aligned} \delta Q &= -\frac{\partial Q}{\partial G} \delta G + \frac{\partial Q}{\partial X_d} \delta X_d \\ &= -(1-\varepsilon)G^{-\varepsilon}X_d \delta G + G^{1-\varepsilon} \delta X_d \end{aligned} \quad (3.12)$$

Dividiert durch die Formel (3.11) ergibt sich:

$$\frac{\delta Q}{Q} = -(1-\varepsilon) \frac{\delta G}{G} + \frac{\delta X_d}{X_d} \quad (3.13)$$

In der Regel würde das Ziel sein, keine Änderungen der Lebensqualität in der verbleibenden Lebenszeit vorzusehen ($\delta Q = 0$, bei einem $Q \neq 0$).

Danach wird gefolgert:

$$\delta G = \frac{G}{(1 - \varepsilon)} \frac{\delta X_d}{X_d} \quad (3.14)$$

Diese Formel definiere den Betrag des jährlichen Einkommens δG , der gezahlt würde, um bei gleicher Lebensqualität einen durch ein Risiko im statistischen Mittel erhaltenen Verlust von potentieller Lebenszeit auszugleichen. Anders ausgedrückt könne δG als Bereitschaft dafür bezeichnet werden, für einen bestimmten Risikofaktor zu bezahlen.

Anmerkung: In diesem Modell wird ein Risikofaktor mit einem durchschnittlichen Lebenszeitverlust verknüpft. Es darf dabei nicht dahingehend verstanden werden, dass durch das Risiko die persönliche Lebenszeit automatisch verkürzt wird. Es werden immer statistische Durchschnittswerte betrachtet. Damit sollen gesellschaftliche Gesamtzusammenhänge betrachtet werden, keine individuellen Größen. Für individuelle Betrachtungen ist dieses Modell nicht geeignet!

Das Verhältnis aus diesem jährlich entrichteten Betrag δG und dem durch entsprechende finanzielle Aufwendungen im Ereignisfall tatsächlich eingesetzten jährlichen Betrag $\delta \hat{G}$ wird als J-Wert (J-value) bezeichnet:

$$J = \frac{\delta \hat{G}}{\delta G} \quad (3.15)$$

Anmerkung: Der J-Wert beschreibt damit eine Abschätzung der Verhältnismäßigkeit des tatsächlichen Einsatzes finanzieller Mittel $\delta \hat{G}$ im Vergleich zu dem sonstigen Einsatz finanzieller Mittel zur Kompensation des betrachteten Risikos. Er sagt dabei nicht aus, ob der finanzielle Einsatz gerechtfertigt ist, dies ist eine gesellschaftliche Diskussion.

Wird der J-Wert auf die Maßnahmen einer Schutzstrategie bezogen, so beinhaltet er:

- zum einen finanzielle (wirtschaftliche) Aspekte wie die tatsächlich anfallenden Kosten $\delta\hat{G}$ einer Maßnahme,
- die statistischen Änderungen (sowohl positiv als auch negativ) in der Lebenserwartung δX_d , die sowohl den Einfluss des Risikos durch ionisierende Strahlung als auch andere Parameter wie Stress, Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder psychologische Erkrankungen berücksichtigen können (gesundheitliche Aspekte), die als Folge eines Notfalls bei Betroffenen je nach Maßnahme auftreten können,
- das durchschnittliche Einkommen G der Personengruppe sowie
- deren durchschnittliche Lebenserwartung X_d und
- die Abneigung der Schutzbedürftigen ein Risiko zu tragen ε (soziale Aspekte).

Die Parameter G und X_d sind dabei in der Regel für ein Land bekannte Größen. Die tatsächlich anfallenden Kosten $\delta\hat{G}$ könnten ebenfalls abgeschätzt werden und beziehen beispielsweise Arbeitslohn, Materialkosten, Mieten, Gesundheitsfolgekosten etc. mit ein. Die Größen dieses Modells, die weniger leicht zugänglich sind, sind die Risikoabneigung ε und die durchschnittliche Änderung in der Lebenserwartung δX_d . Die Risikoabneigung als Parameter wird in /THO 17/ mit Werten zwischen 0,82 bis 0,85 für Großbritannien und in /WAD 17a/ mit Werten von 0,91 für Japan, Großbritannien und die USA und 0,95 für die damalige UdSSR angegeben. Niedrigere Werte würden dabei für Länder mit höheren Lebensstandards angenommen. Die im Modell verwendeten Berechnungen der durchschnittlichen Änderung in der Lebenserwartung δX_d durch Einwirkung ionisierender Strahlung beruhen auf einem Modell von Marshall et al. zum Zusammenhang zwischen Strahlung und dem Risiko an strahleninduziertem Krebs zu sterben /MAR 83/ und finden sich in /THO 06b/.

Das Konzept des J-Wertes ist so gestaltet, dass es als Entscheidungsparameter für die gesundheitliche, wirtschaftliche und soziale Angemessenheit einer Maßnahme genutzt werden könnte. Werte in der Größenordnung von 1 geben in diesem Konzept an, dass die tatsächlichen Kosten der Maßnahme im Verhältnis zu der sonstigen Risikoeinschätzung (mit entsprechenden finanziellen Vorplanungen für den Ereignisfall) sich die Waage halten. Ein Wert kleiner 1 bedeutet, dass die tatsächlich anfallenden Kosten im Verhältnis zur sonstigen gesellschaftlichen Beurteilung des Risikos gering sind. Ein

Wert größer 1 sagt aus, dass die Anstrengungen für die Maßnahme im Vergleich zu den sonstigen Bemühungen zur Kompensation des Risikos erhöht sind.

Anmerkung: Es kann dabei durchaus so sein, dass ein Risiko im Vorfeld falsch eingeschätzt und deshalb keine gesellschaftlichen Anstrengungen unternommen wurden. Ein hoher Wert von J ist in diesem Konzept daher nicht automatisch damit gleichzusetzen, dass eine Maßnahme unter gesundheitlichen, wirtschaftlichen oder sozialen Gesichtspunkten unangemessen ist. Der Wert ist so gestaltet, dass er, besser als ein Quotient aus finanziellen Mitteln und vermiedener Dosis, neben Wirtschaftlichkeit auch Aspekte wie soziale Gerechtigkeit und Risiken durch andere Gefahrenquellen (Unfälle im Verkehr, Alkoholkonsum als Reaktion auf veränderte Lebensbedingungen nach einer Umsiedlung) abbilden kann.

Zur Veranschaulichung der Beziehungen folgt ein Beispiel aus /THO 06c/: Exposition eines Arbeiters.

In dem von Thomas et al. vorgestellten Szenario wird eine Maßnahme bewertet, die eine Kollektivdosis von 1 Sv, die gleichmäßig auf alle Arbeitskräfte eines Kernkraftwerks verteilt wäre, verhindern könnte und 50.000 £ ($\cong \delta\hat{G} \cdot X_d \cdot N$, mit der Anzahl der Arbeitskräfte N) koste. Es gäbe 200 Arbeitskräfte mit einer gleichmäßigen Altersverteilung zwischen 16 und 64 Jahren und einer durchschnittlichen Lebenserwartung von 40 y ($\cong X_d$). Nach dem Modell von Marshall steige der Risikofaktor für eine strahleninduzierte tödlich endende Krebserkrankung um 0,04 pro Sv, was zu einer individuellen Risikorate von $\frac{1 \text{ Sv} \cdot 0,04 \text{ Sv}^{-1}}{200 \cdot 30 \text{ y}} = 6,67 \cdot 10^{-6} \text{ y}^{-1}$ in der Periode von 10 bis 40 Jahren nach der Exposition führe. Diese Risikorate führe zu einer durchschnittlichen Änderung in der Lebenserwartung (berechnet gemäß /THO 06b/) von 1,25 d ($\cong \delta X_d$). Als durchschnittlicher Arbeitslohn wird hier das Durchschnittseinkommen von 18.389 £/y angenommen, berechnet aus dem Bruttoinlandprodukt pro Person aus dem Jahr 2003 in Großbritannien. Als J-Wert ergäbe sich damit ein Wert von

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{(1 - \varepsilon) X_d}{G} \cdot \frac{\delta\hat{G}}{\delta X_d} \\
 &= \frac{1}{7} \cdot \frac{40 \text{ y}}{18.389 \text{ £/y}} \cdot \frac{50.000 \text{ £}}{1,25 \text{ d} \cdot 40 \text{ y} \cdot 200} \\
 &= 0,57
 \end{aligned}
 \tag{3.16}$$

Das Modell kommt durch einen J-Wert < 1 zu dem Ergebnis, dass die Maßnahme unter den genannten Bedingungen angemessen wäre.

Ein weiteres Beispiel findet sich in /WAD 17a/: Bewertung von Sanierungsmaßnahmen nach dem Fukushima Kernkraftwerksunfall.

Die Kosten für die Dekontaminierung von 110.000 Häusern in der vom Kernkraftwerk 65 km entfernten Stadt „Fukushima City“ betragen 370 M\$. Die Dosis der 290.000 Einwohner sollte von 5-10 mSv pro Jahr auf 1 mSv pro Jahr gesenkt werden. Die Reduktion der Dosis sollte insgesamt für eine Erhöhung der durchschnittlichen Lebenserwartung von 15 Tagen sorgen. Bei einem Durchschnittseinkommen in Japan von 34,294 \$ errechneten Waddington et al. einen J-Wert von 0,09.

Zusammengefasst wird mit dem Modell des J-Werts der Versuch eines Vergleichs zwischen der alltäglichen, notfallunabhängigen Bereitschaft der Gesellschaft für Sicherheit in einem bestimmten Bereich zu zahlen bzw. Risiken zu minimieren und den tatsächlich im Notfall eintretenden Kosten angestellt. Bei der Anwendung des Modells liegt die besondere Schwierigkeit darin, die entsprechenden Größen für Kosten $\delta\hat{G}$ angemessen abzuschätzen und korrekte Modelle für die Abschätzung der Änderung in der ermäßigten Lebenserwartung δX_d heranzuziehen. Für die Abschätzung der Parameter sind fundierte Datengrundlagen wie Statistiken zu Kosten im Gesundheitssystem und bestimmter Sach- und Dienstleistungen, nötig die eine Aussage über wirtschaftliche, soziale und gesellschaftliche Faktoren geben.

Bei der Angabe des J-Wertes ist die Wichtung der einzelnen Aspekte bereits durch die vorgegebene mathematische Beziehung erfolgt und diese auf eine einzelne Zahl zusammengefasst. Bei einem Vergleich zwischen mehreren alternativen Maßnahmen hätte dies zwar den Vorteil, dass diese anhand einer einfachen Zahl verglichen werden können, jedoch müsste realistischere eine Fehlerbetrachtung für den J-Wert erfolgen, insbesondere da einige Größen nur schwer abzuschätzen sind. Andererseits ist es für einen Entscheider schwer nachzuvollziehen, wie die Berechnung genau erfolgt.

Grundsätzlich können als Alternative zum J-Wert auch eine Reihe von mehreren anderen Parametern herangezogen werden, die im Entscheidungsprozess einzeln betrachtet werden, anstatt sie in einen einzelnen J-Wert zusammenzufassen. Der Vorteil hieran wäre, dass man zwar einen größeren Satz an Parametern hätte, diese aber besser überblicken könnte. Insbesondere könnte eine Wichtung im Einzelfall leichter angepasst

werden. Der Nachteil bei einer Vielzahl von Entscheidungsparametern wäre demgegenüber die Wichtung, die für die einzelnen Parameter zu erfolgen hat, was zu größeren Zeiten führen kann, die für den Abwägungsprozess eingeplant werden müssten.

Subjektive Einflussfaktoren: Subjektive Einflussfaktoren wie Akzeptanz oder politische Aspekte könnten durch den Wert ε für die Risikoabneigung in dem Algorithmus berücksichtigt werden. Damit könnte beispielsweise die Gewichtung zwischen Geldwertgewinn/-verlust und durchschnittlichem Lebenszeitgewinn/-verlust eingestellt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit analog zum Punkt Durchführung, eine Maßnahme als nicht gewollt zu führen. Damit würde diese Maßnahme behandelt werden, wie ein Startzeitpunkt t_S in ferner Zukunft ($t_S \rightarrow \infty$), was einer Nichtdurchführbarkeit einer Maßnahme gleichkommt.

Unsicherheiten: Unsicherheiten können als Fehlerangaben wie beispielsweise ΔD_A , ΔD_{Ein} oder ΔJ angegeben werden, sofern eine Abschätzung dieser möglich ist. Grundsätzlich ist zu beachten, dass alle Parameter mit einem gewissen Fehler in deren Abschätzung versehen sind.

Planungsvorgaben: Als Planungsvorgaben gelten radiologische Kriterien zur Auslösung Y_{ausl}^* oder Aufhebung Y_{aufh}^* bzw. nicht radiologische Kriterien zur Auslösung Z_{ausl}^* oder Aufhebung Z_{aufh}^* von Maßnahmen.

3.1.4.3 Startabfrage zu Eingabedaten

Zu Beginn des Optimierungsprozesses der Schutzstrategie sind bestimmte Startbedingungen für einen Algorithmus festzulegen. Diese Startbedingungen berücksichtigen:

- den Zeitpunkt des Freisetzungsbegins t_0 ,
- die radiologischen Mess- und Prognosewerte Y ,
- die nicht radiologischen Mess- und Prognosewerte Z ,
- die Gesamtheit denkbarer Maßnahmen während des Notfalls Φ mit Angabe von Schutzfaktoren $S(\vec{r}(t), t, t_S, t_E, \text{Nuklid}, \text{Pfad})$, radiologischen Auslösekriterien Y_{ausl}^* und radiologischen Kriterien zum Aufheben von Maßnahmen Y_{aufh}^* ,
- die rechtlichen Festlegungen der aktuell gültigen Referenzwerte $D_{\text{Ref,Ein}}$ und $D_{\text{Ref,Bev}}$,

- nicht radiologische Kriterien zum Auslösen Z_{ausl}^* und Aufheben Z_{ausl}^* von Maßnahmen die nicht primär dem Schutz vor ionisierender Strahlung dienen und
- gesellschaftliche Kenngrößen Γ .

Abgesehen vom Zeitpunkt des Freisetzungsbegins t_0 , können die oben genannten Startbedingungen vom jeweiligen Ort abhängig sein. Dabei können aus der Kenntnis der Startbedingungen bestimmte Schlüsse gezogen werden:

Die Kenntnisse zum möglichen Zeitpunkt des Freisetzungsbegins t_0 können entweder aus Prognosen und Diagnosen der Barrieren und Rückhaltefunktionen B oder aus Rückschlüssen aus radiologischen Messwerten Y stammen.

Tab. 3.1 Aussagen über den Freisetzungszeitpunkt im Bezug zum aktuellen Zeitpunkt t

Aussage über den Zeitpunkt des Freisetzungsbegins t_0	Schlussfolgerung
Über t_0 liegen keine Aussagen vor	Radiologische Messwerte Y oder Anlagenprognosen müssen betrachtet werden
$t < t_0$ mit $t_0 - t > 24 \text{ h}^*$	Man befindet sich in der Vorfreisetzungsphase und hat Zeit zur Umsetzung von Maßnahmen des kurzfristigen Notfallmanagements vor einer möglichen Expositionssituation.
$t < t_0$ mit $6 \text{ h}^{**} < t_0 - t \leq 24 \text{ h}$	Man befindet sich in der Vorfreisetzungsphase und hat wenig Zeit zur Umsetzung von Maßnahmen des kurzfristigen Notfallmanagements vor einer möglichen Expositionssituation.
$t < t_0$ mit $t_0 - t \leq 6 \text{ h}$ oder $t_0 - t > 0$	Man befindet sich in der Vorfreisetzungsphase und hat wenig Zeit zur Umsetzung von Maßnahmen des kurzfristigen Notfallmanagements oder kann keine genaueren Aussagen zum Freisetzungsbeginn machen. Eine Exposition der Bevölkerung und von Einsatzkräften während der Durchführung von Maßnahmen kann nicht ausgeschlossen werden.
$t \geq t_0$	Man befindet sich in der Freisetzungsphase oder Nachfreisetzungsphase. Eine Exposition der Bevölkerung und von Einsatzkräften während der Durchführung von Maßnahmen sollte durch Mess- und Prognosewerte abgeschätzt werden.

* diese Zahl kommt aus /SSK 14b/ und entspricht der Zeitvorgabe für eine Evakuierung der Mittelzone

** diese Zahl kommt aus /SSK 14b/ und entspricht der Zeitvorgabe für eine Evakuierung der Zentralzone

Allgemein kann t_0 zur Phaseneinteilung herangezogen werden und dient als ein Parameter zur Dosisabschätzung.

Unter radiologischen Mess- und Prognosewerten Y werden jene Werte verstanden, die die radiologische Situation beschreiben können. Darunter fallen Dosisleistungswerte $\dot{D}(\vec{x}, t)$ [Sv/h], Aktivitätswerte $\dot{N}(\text{Nuklid}, \vec{x}, t)$ [Bq], Oberflächenkontaminationswerte $\frac{\dot{N}(\text{Nuklid}, \vec{x}_i, t_i)}{A}$ [Bq/m²] mit der Fläche A , Werte der spezifischen Aktivität $\frac{\dot{N}(\text{Nuklid}, \vec{x}, t)}{m}$ [Bq/kg] mit der Masse m oder auch Werte von Aktivitätskonzentrationen $\frac{\dot{N}(\text{Nuklid}, \vec{x}, t)}{V}$ [Bq/m³] mit dem Volumen V , die zum jeweiligen betrachteten Zeitpunkt t am jeweiligen betrachteten Ort \vec{x} gemessen oder prognostiziert werden. Ein Mess- und Prognosewerte Y ist damit orts- und zeitabhängig ($Y = Y(\vec{x}, t)$). Die Mess- und Prognosewerte Y können dabei zur Abschätzung der zeitlich über einen bestimmten Zeitraum integrierten effektiven Dosis herangezogen werden.

Tab. 3.2 Aussagen zu radiologischen Mess- und Prognosewerten

Aussage über Mess- und Prognosewerte	Schlussfolgerung
<p>Am Ort \vec{x}_i wird kein erhöhter radiologischer Messwert Y gemessen. Damit gilt für den radiologischen Messwert $Y(\vec{x}_i, t_i) \approx \bar{Y}(\vec{x}_i)$ mit $\bar{Y}(\vec{x}_i)$ als mittlerer typischer Jahreswert des radiologischen Messwertes Y am Ort \vec{x}_i vor einer Freisetzung</p>	<p>Wenn alle Detektoren in einem Bereich um die Quelle der ionisierenden Strahlung herum kein auffälliges Verhalten zeigen, kann die Aussage getroffen werden, dass zum Zeitpunkt der Messung t_i noch keine Freisetzung erfolgt ist $\rightarrow t_i < t_0$</p> <p>Um diese Aussage tätigen zu können, ist darauf zu achten, dass die verwendeten Detektoren auch für die Detektion der entsprechenden Art und Höhe der nachzuweisenden ionisierenden Strahlung ausgelegt sein müssen.</p>
<p>Am Ort \vec{x}_i wird ein erhöhter radiologischer Messwert Y gemessen. Damit gilt für den radiologischen Messwert $Y(\vec{x}_i, t_i) \gg \bar{Y}(\vec{x}_i)$ mit $\bar{Y}(\vec{x}_i)$ als mittlerer typischer Jahreswert des radiologischen Messwertes Y am Ort \vec{x}_i vor einer Freisetzung</p>	<p>Es hat oder es findet eine Freisetzung statt.</p> <p>Damit ist $t_i > t_0$ und man befindet sich nicht mehr in der Vorfreisetzungsphase</p>
<p>Am Ort \vec{x}_i wird zukünftig keine Erhöhung des radiologischen Messwertes Y erwartet. Damit gilt für den radiologischen Messwert $Y(\vec{x}_i, t_i) \approx \bar{Y}(\vec{x}_i)$ und für den radiologischen Prognosewert $Y(\vec{x}_i, t) \approx \bar{Y}(\vec{x}_i)$ mit $\bar{Y}(\vec{x}_i)$ als mittlerer typischer Jahreswert des radiologischen Messwertes Y am Ort \vec{x}_i vor einer Freisetzung</p>	<p>Unter den Annahmen zur Prognose von radiologischen Messwerten Y wird nicht mit einer Erhöhung der Messwerte gerechnet.</p>
<p>Am Ort \vec{x}_i wird erst in Zukunft eine Erhöhung des radiologischen Messwertes Y erwartet. Damit gilt für den radiologischen Messwert $Y(\vec{x}_i, t_i) \approx \bar{Y}(\vec{x}_i)$ und dem Prognosewert $Y(\vec{x}_i, t \geq t_0) \gg \bar{Y}(\vec{x}_i)$ mit $\bar{Y}(\vec{x}_i)$ als mittlerer typischer Jahreswert des radiologischen Messwertes Y am Ort \vec{x}_i vor einer Freisetzung und den Zeitpunkten $t_i < t_0 \leq t$ mit dem Zeitpunkt des Freisetzungsbegins t_0</p>	<p>Die Prognosewerte Y bilden die Basis für Abschätzungen der radiologischen Lage.</p>

Aussage über Mess- und Prognosewerte	Schlussfolgerung
<p>Am Ort \vec{x}_i liegt ein erhöhter radiologischer Messwert Y vor und die Prognose beschreibt die weitere zeitliche Entwicklung. Damit gilt für den radiologischen Messwert $Y(\vec{x}_i, t_i) \gg \bar{Y}(\vec{x}_i)$ und für den Prognosewert $Y(\vec{x}_i, t \geq t_i) \gg \bar{Y}(\vec{x}_i)$ mit $\bar{Y}(\vec{x}_i)$ als mittlerer typischer Jahreswert des radiologischen Messwertes Y am Ort \vec{x}_i nach einer Freisetzung und den Zeitpunkten $t_0 < t_i \leq t$ mit dem Zeitpunkt des Freisetzungsbegins t_0</p>	<p>Die Mess- und Prognosewerte Y bilden die Basis für Abschätzungen der radiologischen Lage.</p>

Die Gesamtheit denkbarer Maßnahmen während des Notfalls Φ kann als eine Liste verstanden werden. Dabei sollte für jede Maßnahme eine Abschätzung zum Schutzfaktor $S(\vec{r}(t), t, t_S, t_E, \text{Nuklid}, \text{Pfad})$ vorhanden sein, um die vermiedene Dosis D_A zu bestimmen, sowie zu berücksichtigende Kosten bezogen auf sinnvolle Parameter für die Bestimmung des J-Werts angegeben werden. Daneben gibt es für Maßnahmen Auslösekriterien $Y_{\text{ausl}}^*, Z_{\text{ausl}}^*$ und Kriterien zum Aufheben von Maßnahmen $Y_{\text{aufh}}^*, Z_{\text{aufh}}^*$, die für eine Priorisierung von bestimmten Maßnahmen sorgt. Zu Beginn der Feststellung eines Notfalls können ad hoc bestimmte Maßnahmen ohne Prüfung radiologischer Kriterien ergriffen werden. Solche Maßnahmen können erst in späteren Phasen auf ihre radiologische Bedeutung hin geprüft und einem Optimierungsprozess zugeführt werden. Auch der Ressourcenbedarf Π^* kann durch seinen Einfluss auf den zeitlichen Verlauf des Schutzfaktors von Bedeutung sein. Die Liste könnte dabei vereinfacht wie in Tab. 3.3 dargestellt aussehen.

Tab. 3.3 Beispiel für eine Liste von Maßnahmen

Name der Maßnahme	Schutzfaktor	Kriterien	Stand der Maßnahme	Benötigte Ressourcen
Maßnahme 1	$S = S(\vec{r}(t), t, t_S, t_E, \text{Nuklid}, \text{Pfad})$	$Y_{\text{ausl}}^*, Y_{\text{aufh}}^*, Z_{\text{ausl}}^*, Z_{\text{aufh}}^*$ weitere Kriterien	<input type="checkbox"/> Maßnahme angeordnet <input type="checkbox"/> Umsetzung begonnen mit $t_S = _$ <input type="checkbox"/> unbekannt	Π^*
⋮	⋮	⋮	⋮	

Startwerte für die Referenzwerte finden sich in den §§ 93 und 114 StrlSchG. Radiologische Kriterien für die Angemessenheit der frühen Schutzmaßnahmen des Katastrophenschutzes sind in der Notfall-Dosiswerte-Verordnung (NDWV) festgelegt. Auf Basis dieser Dosiswerte wurden direkt messbare Richtwerte (OILs) abgeleitet, die sich im „Allgemeinen Notfallplan des Bundes“ (ANoPI) und dem Maßnahmenkatalog finden.

Gesellschaftliche Kenngrößen Γ können aus Statistiken oder Planungsvorgaben von Behörden erhoben werden. Hierzu zählen Angaben, wie mittlere Bevölkerungsdichten in verschiedenen Gebieten, um Betroffenenzahlen abzuschätzen, oder Flächennutzungsdaten, Abfallkataster, Produktionsstatistiken etc., um anfallende Kosten $\delta\hat{G}$ schnell abschätzen zu können.

Die Grundannahme des Prozesses sieht folgendermaßen aus:

Es gibt $N \in \mathbb{N}$ verschiedene Gebietseinheiten. Eine Gebietseinteilung kann sich dabei an Verwaltungsbezirken orientieren, könnte sich aber auch bei lokalen Ereignissen an Orts-teilen oder anderen sinnvoll abgegrenzten Gebieten orientieren.

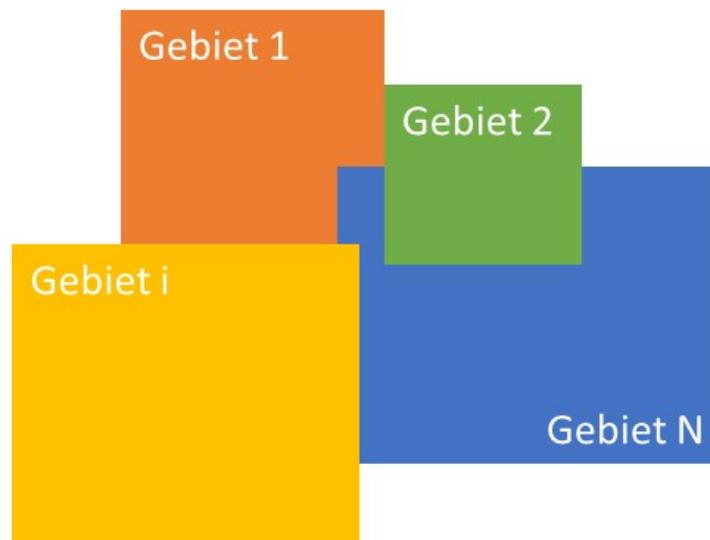


Abb. 3.1 Schema einer Gebietseinteilung

Jedem dieser Gebiete wird ein Satz von Parametern zugeordnet. Diese Parameter sind

- gesellschaftliche Kenngrößen des Gebietes Γ ,
- Messwerte im jeweiligen Gebiet $Y(\vec{x}_i, t_i)$, $Z(\vec{x}_i, t_i)$,
- Prognosewerte im jeweiligen Gebiet $Y(\vec{x}_i, t)$, $Z(\vec{x}_i, t)$ und
- aktuelle Referenzwerte des Gebietes $D_{\text{Ref,Bev}}$ und $D_{\text{Ref,Ein}}$.

Zudem kann jedem Gebiet eine Liste mit Maßnahmen für das Gebiet analog zur Darstellung in Tab. 3.3 zugeordnet werden. Diese ändert sich in Abhängigkeit von Entscheidungen für oder gegen eine Maßnahme. Die Entscheidung für oder gegen eine Maßnahme wird in Abschnitt 3.2.2 behandelt.

3.1.4.4 Auflistung der Parameter für eine Schutzstrategie

Tab. 3.4 Auflistung aller verwendeten Parameter und ihre Bedeutung

Parameter	Bezeichnung	Verweis
relevante Zeitparameter		
t_0	Startzeitpunkt, hier meist: Zeitpunkt des Freisetzungsbegins	(3.3), (3.4)
t_i	Zeitpunkt eines Einsatzbeginns einer Einsatzkraft	(3.6)
t_B	Beginn einer Analyse zur Dosisabschätzung	(3.4)
t_S	Zeitpunkt des Beginns der Schutzwirkung einer Maßnahme	(3.5)
t_E	Zeitpunkt des Endes Schutzwirkung einer Maßnahme	(3.5)
$\Delta\theta_i$	Dauer eines Einsatzes einer Einsatzkraft	(3.6)
$\Delta\Omega$	Dauer der Notfallexpositionssituation	
relevante Dosisbegriffe		
D_{Bev}	Dosiswert der Bevölkerung	(3.3), (3.4)
$D_{Ref,Bev}$	Referenzwert des Dosiswertes der Bevölkerung	(3.2)
$D_{Ein,i}$	Dosiswert der Einsatzkraft im i-ten Einsatz	(3.6), (3.7)
$D_{Ref,Ein}$	Referenzwert der Dosiswertes einer Einsatzkraft	(3.7)
D_A	vermiedene Dosis	(3.4)
D_V	erwartete Dosis	(3.4)

andere Größen im Zusammenhang mit der Dosis		
$\dot{D}(\vec{r}(t), t)$	Ortsdosisleistung	(3.3)
$\dot{D}_V(\vec{x}_0, t)$	erwartete Dosisleistung am Ort \vec{x}_0	(3.4)
$\dot{D}_{\text{abge}}(\vec{r}(t), t)$	abgeschätzte Dosisleistung	(3.4)
$\dot{D}_{\text{prog}}(\vec{r}(t), t)$	prognostizierte Dosisleistung	(3.4)
η	Wirksamkeit	(3.8)
radiologische Größen im Zusammenhang mit Maßnahmen		
$S(\vec{r}(t), t, t_S, t_E, \text{Nuklid, Pfad})$	Schutzfaktor einer Maßnahme	(3.5)
$Y(\vec{x}_i, t_i)$	(nicht näher definierter radiologischer) Messwert am Ort \vec{x}_i zum Zeitpunkt t_i	
$Y(\vec{x}_i, t)$	(nicht näher definierter radiologischer) Prognosewert am Ort \vec{x}_i in Abhängigkeit von der Zeit t	
Y_{ausl}^*	(nicht näher definiertes radiologisches) Kriterium zur Auslösung einer Maßnahme	
Y_{aufh}^*	(nicht näher definiertes radiologisches) Kriterium zur Aufhebung einer Maßnahme	
B	Barrieren und Rückhaltefunktionen	
Größen des Bewertungskonzepts nach Thomas et al.		
Q_0	Lebensqualitätsindex	(3.9)
Q	interpretierter Lebensqualitätsindex	(3.10), (3.11), (3.13)
δQ	Änderung des Lebensqualitätsindex	(3.12), (3.13)
G	durchschnittliches Jahreseinkommen	(3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14)
δG	bereitwillige Änderung im Jahreseinkommen	(3.12), (3.13), (3.14), (3.15)
$\delta \hat{G}$	tatsächlich benötigte Änderung im Jahreseinkommen	(3.15)
q	Parameter zur Darstellung des Nutzens des persönlichen Einkommens hinsichtlich des Lebensqualitätsindex	(3.9), (3.10)

ε	Risikoscheu	(3.11), (3.12), (3.13), (3.14)
X	Lebenserwartung	(3.9)
X_d	ermäßigte Lebenserwartung	(3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14)
δX_d	Änderung in der ermäßigten Lebens- erwartung	(3.12), (3.13), (3.14)
J	Wert für die Angemessenheit	(3.15)
Weitere Größen		
$Z(\vec{x}_i, t_i)$	(nicht näher definierter nicht radiologi- scher) Messwert am Ort \vec{x}_i zum Zeit- punkt t_i	
$Z(\vec{x}_i, t)$	(nicht näher definierter nicht radiologi- scher) Prognosewert am Ort \vec{x}_i in Ab- hängigkeit von der Zeit t	
Z_{ausl}^*	(nicht näher definiertes) nicht radiolo- gisches Kriterium zur Auslösung einer Maßnahme, die nicht primär dem Schutz vor ionisierender Strahlung dient.	
Z_{aufh}^*	(nicht näher definiertes) nicht radio- logisches Kriterium zur Aufhebung einer Maßnahme, die nicht primär dem Schutz vor ionisierender Strah- lung dient.	
Γ	gesellschaftliche Kenngrößen eines Gebietes	
Φ	Maßnahmenliste	
Π	Pool der personellen und materiellen Ausrüstung	
Π^*	benötigte Ressourcen einer Maß- nahme	

3.2 Systematik zur Abbildung von Prozessketten

Die Operationalisierung stützt sich im Wesentlichen auf drei untereinander zyklisch verbundene Prozesse:

- Informationsbeschaffung und -verarbeitung; hier insbesondere Lagedarstellung und Lagebewertung,
- Entscheidungsfindung inklusive Anpassung bereits getroffener Entscheidungen sowie
- Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle.

3.2.1 Informationsbeschaffung und -verarbeitung

Die Alarmierung erfolgt anhand festgelegter Kriterien und bildet den Startpunkt des Prozesses.

Der ständige Überprüfungs- und Anpassungsprozess optimierter Schutzstrategien stützt sich zum einen auf einen Satz anlagentechnischer und radiologischer Kriterien, die mit den verfügbaren Lageinformationen abzugleichen und ggf. an geänderte Referenzwerte anzupassen sind. Zum anderen sind nichtradiologische Aspekte der Durchführbarkeit, Effektivität und Akzeptanz in die Entscheidung einzubeziehen. Hierfür werden Lageinformationen benötigt, die einerseits einen schnellen Abgleich mit den heranzuziehenden Kriterien ermöglichen, andererseits die bestehende Lage und erwartete weitere Entwicklung räumlich und zeitlich ausreichend differenziert widerspiegeln. Es wurden Verfahren entwickelt, die diese Informationen bereitstellen und eine Bewertung vor dem Hintergrund radiologischer und nichtradiologischer Randbedingungen ermöglichen.

Zentrale Produkte dieses Prozesses sind:

- die Bereitstellung aktueller Messdaten $Y(\vec{x}_i, t_i)$, $Z(\vec{x}_i, t_i)$,
- die Ermittlung von relevanten Informationen zum Anlagenzustand B, um radiologische Prognosedaten $Y(\vec{x}_i, t)$ hinsichtlich der erwarteten Höhe von Freisetzungen und, falls noch nicht bekannt, des Beginns einer Freisetzung t_0 anzupassen,
- die Ermittlung von relevanten Informationen zur Prognose von nicht radiologischen Daten $Z(\vec{x}_i, t)$, wie beispielsweise Lebensmittel- oder Abfallmengen, Verkehrsprognosen, etc.,

- die Bereitstellung von Informationen hinsichtlich des Standes zur Umsetzung aller Maßnahmen Φ_j zur Anpassung von Schutzfaktoren von Maßnahmen $S(\vec{r}(t), t, t_S, t_E, \text{Nuklid}, \text{Pfad})$, die Pflege der Angaben über vorhandene Kapazitäten im Pool der personellen und materiellen Ausrüstung Π und zur Bestimmung von Dosiswerten von Einsatzkräften $D_{\text{Ein},i}$ sowie zur Abschätzung und Anpassung der Kosten einer Maßnahme $\delta\widehat{G}$,
- die Umrechnung der Mess- und Prognosedaten Y unter Berücksichtigung von bestimmten Randbedingungen, wie Schutzfaktoren $S(\vec{r}(t), t, t_S, t_E, \text{Nuklid}, \text{Pfad})$ und Einsatzzeiten $\Delta\theta_i$ zur Bestimmung der Dosiswerte D_{Bev} , $D_{\text{Ein},i}$, $\sum_i^n D_{\text{Ein},i}$ und D_A ,
- die Aktualisierung der J-Werte von Maßnahmen hinsichtlich der Aussagen zum Stand der Umsetzungen von Maßnahmen, der Kostenentwicklung der Maßnahmen durch den Parameter $\delta\widehat{G}$ und der Änderung in der ermäßigten Lebenserwartung δX_d unter Berücksichtigung der gesellschaftlichen Kenngrößen Γ ,
- aktuell gültige Referenzwerte $D_{\text{Ref,Bev}}$ und $D_{\text{Ref,Ein}}$ sowie neue Vorgaben oder Anpassungen von anderen Kriterien wie die Auslösekriterien für Maßnahmen Y_{ausl}^* oder die Kriterien zur Aufhebung von Maßnahmen Y_{aufh}^* .

Die Startbedingungen sind im Abschnitt 3.1.4.3 aufgeführt.

Die einzelnen Parameter des Modells können durch unterschiedliche Informationsquellen bereitgestellt werden. Für die verschiedenen Referenzszenarien aus Tab. 2.1 wird dies hier aufgelistet.

Tab. 3.5 Darstellung der Informationsquellen für bestimmte Referenzszenarien

Parameter	Informationsquelle	Referenzszenario
relevante Zeitparameter		
t_0	Genehmigungsinhaber	S1-S5
	(Atomrechtliche) Aufsichtsbehörde	S1-S5
	Zivilschutzbehörde	S1-S5
	Polizei oder Feuerwehr	S6-S8
	Weltraumlagezentrum	S9
	BMI oder BMVg	S10
t_i	Einsatzzentrale der Einsatzleitung	S1-S10

Parameter	Informationsquelle	Referenzszenario
t_B	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
t_S	die für die Umsetzung einer Maßnahme verantwortliche Behörde	S1-S10
t_E	die für die Umsetzung einer Maßnahme verantwortliche Behörde	S1-S10
	teilweise ist dies ein intrinsischer Parameter der Maßnahme	
$\Delta\theta_i$	Einsatzzentrale der Einsatzleitung	S1-S10
$\Delta\Omega$	hauptverantwortliche Stelle zur Feststellung eines Notfalls	S1-S10
relevante Dosisbegriffe		
D_{Bev}	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
$D_{Ref,Bev}$	dieser Parameter wird vom BMU festgelegt	
$D_{Ein,i}$	Einsatzzentrale der Einsatzleitung	S1-S10
	Herleitung als interner Parameter	
$D_{Ref,Ein}$	dieser Parameter wird vom BMU festgelegt	
D_A	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
D_V	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
andere Größen im Zusammenhang mit der Dosis		
$\dot{D}(\vec{r}(t), t)$	über IMIS	S1-S10
	eigene Messtruppen	S1-S10
	externe Messtruppen	S1-S10
$\dot{D}_V(\vec{x}_0, t)$	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
$\dot{D}_{abge}(\vec{r}(t), t)$	für die Bevölkerung: Notfallstationen für Unfälle bzw. Anschläge mit radioaktiven Stoffen	S1, S2, S5-S10
	für die deutsche Bevölkerung im Ausland: Behörde im Ausland	S3, S4
	für Einsatzkräfte: Einsatzzentrale der Einsatzleitung	S1-S10
$\dot{D}_{prog}(\vec{r}(t), t)$	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
radiologische Größen im Zusammenhang mit Maßnahmen		

Parameter	Informationsquelle	Referenzszenario
$S(\vec{r}(t), t, t_S, t_E, \text{Nuklid}, \text{Pfad})$	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
$Y(\vec{x}_i, t_i)$	über IMIS	S1-S10
	eigene Messtruppen	S1-S10
	externe Messtruppen	S1-S10
	über Messprogramme (s. Abschnitt 2.3.2)	S1-S10
$Y(\vec{x}_i, t)$	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
Y_{ausl}^*	dieser Parameter wird vom BMU festgelegt	
Y_{aufh}^*	dieser Parameter wird vom BMU festgelegt	
B	Genehmigungsinhaber	S1, S2 (bilaterale Absprache), S5, S7, S8
	Aufsichtsbehörde	S1-S5, S7-S9
	Polizei und Feuerwehr	S6-S8
Größen des Bewertungskonzepts nach Thomas et al		
Q_0	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
Q	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
δQ	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
G	StBA	S1-S10
δG	StBA	S1-S10
	Bundeshaushaltsgesetz	S1-S10
	Meldungen von Behörden	S1-S10
$\delta \hat{G}$	teilweise ist dies ein intrinsischer Parameter der Maßnahme	
	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
q	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
ε	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
X	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
X_d	StBA	S1-S10
δX_d	dies ist ein intern verwendeter Parameter	

Parameter	Informationsquelle	Referenzszenario
J	dies ist ein intern verwendeter Parameter	
Weitere Größen		
Γ	StBA	S1-S10
	Verwaltungsbehörden	S1-S10
$Z(\vec{x}_i, t_i)$	zuständige Bewertungsstelle	S1-S10
$Z(\vec{x}_i, t)$	zuständige Bewertungsstelle	S1-S10
Z_{ausl}^*	dieser Parameter wird von der zuständigen Behörde festgelegt	
Z_{aufh}^*	dieser Parameter wird von der zuständigen Behörde festgelegt	
Φ	Maßnahmenkatalog	S1-S10
	verantwortliche Behörden für jeweiligen Sachbereich	S1-S10
Π	RANET-Liste	S1-S10
	REMPAN-Liste	S1-S10
	Katalog Hilfsmöglichkeiten bei kern-technischen Unfällen	S1-S5
	Datenbank zu medizinischen Hilfsmöglichkeiten	S1-S10
	IVENA eHealth	S1-S10
	Informationssysteme der Bundesbehörden	S1-S5, S9, S10

3.2.2 Entscheidungsfindung und Anpassung von Entscheidungen

3.2.2.1 Typische Ausgangslage

Betrachtet wird ein Gebiet j mit einem Parametersatz $\Gamma(\vec{x}_j)$, $Y(\vec{x}_j, t_i)$, $Y(\vec{x}_j, t)$, $D_{\text{Ref,Bev}}(\vec{x}_j)$, $D_{\text{Ref,Ein}}(\vec{x}_j)$, der Maßnahmenliste $\Phi_j = \{\text{Maßnahme 1}, \dots, \text{Maßnahme } k\}$ und einem Ausrüstungspool Π_j . Eine Teilmenge $\Phi_{j,\text{an}} \in \Phi_j$ der Maßnahmen ist dabei bereits angeordnet, weil

- Maßnahmen ad hoc angeordnet wurden,

- Maßnahmen durch eine andere Stelle ohne radiologische Beurteilung angeordnet wurden oder
- Messwerte ein Auslösekriterium überschritten hatten ($Y(\vec{x}_j, t_i) > Y_{\text{ausl}}^*$).

Anmerkung: Die Teilmenge $\Phi_{j,an}$ kann auch eine leere Menge sein, ohne dass dies für die weitere Betrachtung eine Rolle spielt. Die Teilmenge wird hier nur mit aufgeführt, um den Prozess der Aufhebung von Maßnahmen später mit implementieren zu können.

Einzelne Elemente der Maßnahmenliste Φ_j können sich gegenseitig ausschließen, d. h. das Element als Bestandteil der Teilmenge $\Phi_{j,an}$, können andere Elemente nicht mehr in die Teilmenge $\Phi_{j,an}$ aufgenommen werden (Beispiel: Blattgemüse ernten/unterpflügen). Maßnahmen, die aufgrund rechtlicher Gründe „ausgeschlossen“ werden (z. B. Verklappen von Milch), werden dabei nicht betrachtet. Solche Maßnahmen sollten erst gar nicht in die Liste möglicher Maßnahmen Φ_j aufgenommen werden. In Tab. 3.6 in Abschnitt 3.2.2.4 wird daher, wenn von „ausgeschlossen“ gesprochen wird, von einer „Wenn-Dann-Beziehung“ zwischen Maßnahmen ausgegangen.

Die Qualität der Entscheidungsfindung für das Gebiet j hängt unter anderem vom Umfang und der Genauigkeit des Parametersatzes $\Gamma(\vec{x}_j)$, $Y(\vec{x}_j, t_i)$, $Y(\vec{x}_j, t)$, $D_{\text{Ref,Bev}}(\vec{x}_j)$, $D_{\text{Ref,Ein}}(\vec{x}_j)$ ab. Dabei sind die Parameter $D_{\text{Ref,Bev}}(\vec{x}_j)$ und $D_{\text{Ref,Ein}}(\vec{x}_j)$ in der Regel zumindest als Startwert in Deutschland vorhanden und können als gegeben hingenommen werden. Die gesellschaftlichen Kenngrößen $\Gamma(\vec{x}_j)$ werden insbesondere für die Abschätzung der benötigten Ressourcen Π_j^* und des J-Wertes benötigt. Sie gehen damit in die Bewertung gesundheitlicher, wirtschaftlicher und sozialer Faktoren ein. Einfache Abschätzungen auf Basis von Bevölkerungszahlen und groben Vereinfachungen können als Orientierungshilfen möglich sein.

Mit Mess- und Prognosewerten Y können Dosiswerte der Bevölkerung D_{Bev} und der Einsatzkräfte $D_{\text{Ein},i}$ abgeschätzt bzw. bestimmt werden, aber auch ein Hilfwert wie die projizierte Dosis D_V . Dabei können die Dosiswerte durch die Schutzfaktoren S der Maßnahmen beeinflusst werden.

3.2.2.2 Parametersatz für die Entscheidungsfindung und Anpassung

Für den Entscheidungsprozess muss ein entsprechender Parametersatz gefunden werden, der sinnvollerweise für den Entscheidungsfindungsprozess herangezogen werden soll. Dafür wird eine Größe benötigt, die den Dosiswert der Bevölkerung D_{Bev} bzw. ihre Minimierung berücksichtigt. Dies kann der Dosiswert D_{Bev} nach Formel (3.4) selbst sein. Man würde also entscheiden, welchen Zielwert der Bevölkerung zugemutet wird. Alternativ besteht die Möglichkeit die vermiedene Dosis D_A als Wert heranziehen, da dieser Wert den Schutzfaktor deutlicher berücksichtigt und die Wirkung von Maßnahmen besser abgeschätzt werden kann. Eine weitere Alternative wäre die direkte Verwendung des Schutzfaktors S .

Für die Bewertung der sozialen, wirtschaftlichen und sozialen Faktoren wird ein abstrahierter J-Wert herangezogen, unabhängig davon, welches konkrete Konzept der Wichtung genutzt wird. Für die weitere Betrachtung ist es unerheblich, wie eine genaue Wichtung vorgenommen wird. Andere Faktoren wie Kosten einer Maßnahme (geht über $\delta\hat{G}$ in J ein), gesundheitliche Folgen (geht über δX_d in J ein) oder Werte wie Abfallmengen (kann auf $\delta\hat{G}$ zurückgeführt werden) könnten auch direkt und damit leichter überblickbar aufgeführt werden. Jedoch sollte dabei bedacht werden, dass je mehr Werte zur Auswahl stehen, desto schwieriger wird es für diejenige Person, die die Entscheidung treffen muss, alle Parameter zu überblicken. Für die weitere Betrachtung wird für die Entscheidungsfindung der J-Wert genutzt. Für die Prozessketten spielt dies dahingehend eine Bedeutung, dass weniger Abfrageschleifen im Entscheidungsprozess anfallen, was dazu führt, dass Entscheider entlastet werden. Nachteilig ist, dass ein Entscheider nicht die volle Bandbreite aller Größen im Überblick hat und damit eine Entscheidung aufgrund von falschen Annahmen treffen könnte.

Im Weiteren wird der Parametersatz aus dem erwarteten Schutzfaktor für die Bevölkerung S_{Bev} , den Schutzfaktor für die Einsatzkräfte S_{Ein} und der J-Wert verwendet.

3.2.2.3 Priorisierung von Parametern

Des Weiteren muss geklärt werden, welcher Parameter unter welchen Umständen welche Priorität besitzt. In den ersten Tagen nach einer Freisetzung können die Dosiswerte der Bevölkerung D_{Bev} und der Einsatzkräfte $D_{\text{Ein},i}$, bzw. die Schutzfaktoren (S_{Bev} , S_{Ein}) als Maß für die Dosisminimierung von hoher Priorität sein. In einer späteren Phase, bei der es vorwiegend um eine Rechtfertigung der Anordnung oder Aufhebung von

Maßnahmen zur Minimierung des Risikos aufgrund der Exposition durch ionisierende Strahlung geht, spielen diese Werte eine weniger bedeutende Rolle. Wirtschaftliche oder soziale Faktoren werden verstärkt in den Fokus genommen, die Priorität somit zu dem J-Wert verschoben.

Das bedeutet, neben der Auswahl entsprechender Parameter ist auch eine Gewichtung zur Priorisierung der ausgewählten Parameter notwendig. In der Vergangenheit wurde hierzu das Countermeasure Subsystem (CSY) von RODOS in Kombination mit einem „Multi Criteria Decision Analysis“ (MCDA) Werkzeug entwickelt /BER 07/. Die Gewichtung der einzelnen Faktoren kann dabei von

- den Entscheidern selbst vorgenommen werden oder
- in einem politischen oder gesellschaftlichen Prozess abgestimmt werden.

Dabei ist immer zu berücksichtigen, dass der Referenzwert einzuhalten ist, die Summe der Schutzfaktoren aller Maßnahmen also eine gewisse Höhe hat:

$$\frac{D_v}{\sum S_{\phi_{\text{angeordnet}}}} < D_{\text{Ref}} \quad (3.17)$$

Unterhalb des Referenzwertes sollte die mit den Maßnahmen einhergehende Summe an J-Werten $\sum J_{\phi_{\text{an}}}$ möglichst im Bereich von 1 liegen, um gesundheitliche, wirtschaftliche und soziale Konsequenzen außerhalb der Abwehr von Gefahren Rechnung zu tragen.

Beispiel: Es liegen die Werte $\sum S_{\text{Bev},\phi_{\text{an}}}$, $\sum S_{\text{Ein},\phi_{\text{an}}}$ und $\sum J_{\phi_{\text{an}}}$ vor. Die Priorisierung legt fest, dass der Wert von $\sum S_{\text{Bev},\phi_{\text{an}}}$ mit einem Priorisierungsfaktor von $x\%$, der Wert $\sum S_{\text{Ein},\phi_{\text{an}}}$ mit einem Priorisierungsfaktor von $y\%$ und $\sum J_{\phi_{\text{an}}}$ mit einem Priorisierungsfaktor von $z\%$ bewertet wird. Im Fall der Abschätzung bei einer Gefahr durch ionisierende Strahlung (Überschreitung des Referenzwertes) wird beispielsweise ein Priorisierungsfaktor von $x = 50$, $y = 50$ und $z = 0$ angenommen, was bedeutet, dass man die Dosisminimierung von Einsatzkräften und der Bevölkerung gleichbehandelt, während andere Faktoren keine Rolle spielen. Denkbar wäre auch, dass eine höhere Priorität bei der Dosisminimierung der Bevölkerung liegt, während eine geringere Dosisminimierung bei den Einsatzkräften in Kauf genommen wird, um die Dosisminimierung der Bevölkerung durchzuführen. In späteren Phasen kann sich die Gewichtung entsprechend ändern.

Die letztendliche Verantwortung für die Entscheidung liegt immer beim Entscheider.

3.2.2.4 Anpassung

Aktualisierung der Parameter

Auf Basis der radiologischen Messwerte Y können die Dosiswerte der Einsatzkräfte und der Bevölkerung ($D_{Ein,i}, D_{Bev}$) sowie die Wirksamkeit η (vgl. Abschnitt 3.2.3.4) der bisher umgesetzten Maßnahmen Φ_{an} abgeschätzt werden.

Anhand der Wirksamkeit η_l einer Maßnahme l und der Zeit, die benötigt wird, um benötigte Ressourcen Π_l^* zu beschaffen (vgl. Abschnitte 3.2.3.1), kann der Schutzfaktor S_l für die Maßnahmen angepasst werden.

Anhand der Ergebnisse der Akzeptanzprüfung (vgl. Abschnitt 3.2.3.5) und der Aktualisierung weiterer Größen wie dem Ressourcenpool Π und gesellschaftlicher Kenngrößen Γ wird der J -Wert J_l der Maßnahme l angepasst.

Prüfung der Kriterien

Anhand der neuen Parameter wird nun die existierende Maßnahmenliste ϕ_{vorher} aktualisiert und geprüft, ob die Maßnahmen unter der Betrachtung der gegebenenfalls veränderten Umstände angemessen sind.

Tab. 3.6 Darstellung einer Maßnahmenliste $\Phi_{Anpassung\ 1}$ mit aktualisierten Werten von S_{Bev}, S_{Ein} und J

Maßnahme	Entscheidungsparameter	Kriterien zur Anordnung zum aktuellen Zeitpunkt erfüllt?
Bereits angeordnete Maßnahmen Φ_{an}		
Maßnahme l	$S_{l,Bev}, S_{l,Ein}, J_l$	ja
Maßnahme m	$S_{m,Bev}, S_{m,Ein}, J_m$	nein
...
Bislang nicht angeordnete Maßnahmen $\Phi \setminus (\Phi_{an} \cap \Phi_{aus})$		
Maßnahme n	$S_{n,Bev}, S_{n,Ein}, J_n$	ja

Maßnahme	Entscheidungsparameter	Kriterien zur Anordnung zum aktuellen Zeitpunkt erfüllt?
Maßnahme o	$S_{o,Bev}, S_{o,Ein}, J_o$	nein
...
Aktuell ausgeschlossene Maßnahmen Φ_{aus}		
Maßnahme p	$S_{p,Bev}, S_{p,Ein}, J_p$	ja
Maßnahme q	$S_{q,Bev}, S_{q,Ein}, J_q$	nein
...

In Tab. 3.6 werden nun sechs Fälle unterschieden:

1. Kriterien sind erfüllt und Maßnahme ist angeordnet (Maßnahme l),
2. Kriterien sind nicht erfüllt und die Maßnahme ist angeordnet (Maßnahme m),
3. Kriterien sind erfüllt und die Maßnahme ist nicht angeordnet (Maßnahme n),
4. Kriterien sind nicht erfüllt und die Maßnahme ist nicht angeordnet (Maßnahme o),
5. Kriterien sind erfüllt und die Maßnahme ist ausgeschlossen (Maßnahme p),
6. Kriterien sind nicht erfüllt und die Maßnahme ist ausgeschlossen (Maßnahme q).

Damit ergeben sich Fälle (1 und 4), in denen die Bewertung der Maßnahme unverändert bleibt, Fälle (2 und 3), in denen die aktuelle Bewertung der Maßnahme von der vorherigen Bewertung abweicht und die Entscheidung über die Anordnung der Maßnahme überdacht oder die Kriterien geprüft werden müssen sowie Fälle (5 und 6), die weiterhin ausgeschlossen sind.

Es sei darauf hinzuweisen, dass eine Einzelmaßnahme durchaus nachteilige Auswirkungen für Einsatzkräfte oder die Schutzbedürftigen haben kann, die durch Maßnahmenkombinationen und entsprechende Vorgaben der Priorisierung 3.2.2.3 behoben werden können. Es ist immer darauf zu achten, dass die Unterschreitung der Referenzwerte gewährleistet ist. Die Variationen der Parameter haben also stets die Bedingung im Hintergrund, dass $\sum S_{Bev,\phi_{an}}, \sum S_{Ein,\phi_{an}}$ so groß sind, dass eine Anpassung unterhalb des Referenzwertes stattfinden kann.

Anpassung von Kriterien oder der Priorisierung der Bewertungsparameter

In bestimmten Fallkombinationen sind (vorher festgelegte) Kriterien nicht erfüllt, obwohl die Maßnahme vorteilhaft sein könnte, während Kriterien für andere Maßnahmen erfüllt sind, obwohl die Maßnahme nicht vorteilhaft wäre. Es liegt dabei im Ermessen eines Entscheiders, ob die Maßnahme in ihrem Umsetzungszustand belassen oder ob eine Anpassung von Kriterien (z. B. Aussetzen von bestimmten Kriterien) vorgenommen wird, damit die Maßnahme in der Bewertung der Angemessenheit verändert. Eine Anpassung von Kriterien hat dabei eine globale, d. h. auch für alle anderen Fälle gültige Auswirkung. Alternativ dazu kann die Priorisierung der Bewertungsparameter geändert werden. In diesem Fall wäre es möglich, vorteilhafte Maßnahmen auf lokaler Ebene als angemessen kenntlich zu machen.

Sammlung angemessener Maßnahmen

Im nächsten Schritt erhält man eine aktualisierte Maßnahmenliste $\phi_{\text{Anpassung 2}}$ mit aktualisierten Werten der Entscheidungsparameter $S_{\text{Bev}}, S_{\text{Ein}}, J$ und einer Sortierung nach Maßnahme, die als angemessen angesehen werden.

Tab. 3.7 Darstellung der Maßnahmenliste $\phi_{\text{Anpassung 2}}$ mit den als angemessen angesehenen Maßnahmen

Maßnahme	Parameter	Stand der Umsetzung
Angemessene Maßnahmen		
Maßnahme λ	$S_{\lambda,Bev}, S_{\lambda,Ein}, J_{\lambda}$	angeordnet
Maßnahme μ	$S_{\mu,Bev}, S_{\mu,Ein}, J_{\mu}$	nicht angeordnet
Maßnahme ν	$S_{\nu,Bev}, S_{\nu,Ein}, J_{\nu}$	ausgeschlossen
...
Als nicht als angemessen betrachtete Maßnahmen		
Maßnahme ξ	$S_{\xi,Bev}, S_{\xi,Ein}, J_{\xi}$	angeordnet
Maßnahme π	$S_{\pi,Bev}, S_{\pi,Ein}, J_{\pi}$	nicht angeordnet
Maßnahme ρ	$S_{\rho,Bev}, S_{\rho,Ein}, J_{\rho}$	ausgeschlossen
...

Priorisierung der angemessenen Maßnahmen

Die in Tab. 3.7 aufgeführten Maßnahmen können noch priorisiert werden. Hierfür wird analog zu Abschnitt 3.2.2.3 vorgegangen. Es wird eine priorisierte Maßnahmenliste ϕ_{neu} erstellt, die zur Implementierung freigegeben wird.

3.2.3 Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle

Zur Operationalisierung der Implementierung von Entscheidungen innerhalb optimierter Schutzstrategien sind Prozesse zur Mobilisierung benötigter Ressourcen, der Handlungsanweisung an die zu beteiligenden Akteure und die mit der Implementierung abzustimmenden Kommunikations- und Informationsvorgänge zu berücksichtigen.

Für eine Erfolgskontrolle bei den Entscheidungen müssen Kriterien zur Wirksamkeitsprüfung, zur Akzeptanzprüfung und für die Betrachtungen weiterer unerwünschter Nebeneffekte ausgearbeitet werden.

3.2.3.1 Verteilung und Mobilisierung benötigter Ressourcen

Jeder Maßnahme kann eine gewisse Menge an benötigten Ressourcen zugeordnet werden, die je nach Maßnahme auch von der Größe des Anwendungsgebietes, gesellschaftlichen Kenngrößen Γ in einem Gebiet oder von der Verfügbarkeit anderer Ressourcen abhängt (Beispielsweise bei der Personalmenge und verfügbarem Gerät). Die Priorisierung der Maßnahmen bedingt die Verteilung der verfügbaren Ressourcen. Gegebenenfalls muss der Ressourcenbedarf Π^* der Maßnahme im Anwendungsgebiet erst berechnet oder abgeschätzt werden.

Unter dem Einflussfaktor „Durchführbarkeit“ in Abschnitt 3.1.4.2 wird der Pool Π an personellen und materiellen Ressourcen als essenzieller Punkt für die Durchführbarkeit einer Maßnahme aufgeführt. Fehlende Ressourcen stellen dabei im Wesentlichen eine zeitliche Verzögerung für die Umsetzung einer Maßnahme dar.

Der Pool Π enthält dabei für eine Maßnahme wichtigen Ressourcen Π^* , also Arbeitsgeräte, Personal, finanzielle Mittel, Schutzausrüstung, Transportmittel, Treibstoffe etc. Jeder Ressource kann ein gewisser Ort (ein Lager, der Aufenthaltsort einer Person, ein Konto etc.) zugeordnet werden. Für den Prozess ist also zunächst das Wissen über den Pool Π , also die Gesamtheit der personellen und materiellen Ausrüstung inklusive der Standorte wichtig.

Vorgehaltene Ressourcen für bestimmte prioritäre Maßnahmen könnten innerhalb des Ressourcenpools Π eine Sonderstellung erhalten. Diese tauchen nur bei bestimmten Maßnahmen auf und dürfen per se nicht für andere Maßnahmen genutzt werden.

Wird eine Maßnahme aus radiologischer Sicht als angemessen eingestuft, wird überprüft, ob die notwendigen Ressourcen Π^* vorhanden sind. Es folgt ein Abgleich zwischen den beiden Mengen an Π und Π^* .

Für die Schnittmenge von Π und Π^* , $(\Pi \cap \Pi^*)$, kann gelten, dass (Fall 1) die Menge an benötigten Ressourcen Π^* eine Teilmenge des Ressourcenpools ist, $(\Pi \subseteq \Pi^*)$, oder dass (Fall 2) eine Restmenge $(\Pi^* \setminus \Pi)$ an fehlenden Ressourcen existiert.

Für Fall 1 liegen demnach für die Durchführung der Maßnahme genügend Ressourcen vor. Hier kann eine Optimierung hinsichtlich zeitlicher und räumlicher Parameter erfolgen. Das Ziel wäre also jene Ressourcen zu verwenden, die den Startzeitpunkt der

Wirksamkeit der Maßnahme t_S am wenigsten beeinflussen. Das bedeutet, jede Ressource sollte mit einem Zeitwert verknüpft sein, der vom Aufenthaltsort der Ressource und dem Nutzungsort der Ressource abhängig ist. Prinzipiell könnte eine Ressource, die einen gewissen Zeitwert überschreitet, so behandelt werden, als wäre sie nicht im Ressourcenpool II vorhanden. Dies würde dazu führen, dass diese unter Umständen dadurch in Fall 2 der Betrachtung überführt wird.

Fall 2 betrachtet das Fehlen von Ressourcen im Ressourcenpools II. Es wird davon ausgegangen, dass für diesen Fall zusätzliche Zeit benötigt wird, um weitere Ressourcen zu beschaffen. Hierfür müssen Kommunikationsmittel zur Verfügung stehen, die einen Austausch von Informationen und eine Koordinierung von Ressourcen aus anderen Quellen ermöglichen (siehe 3.2.3.3), also dem Ressourcenpools II neue Elemente zuführen. Dies wird immer mit einer Verzögerung hinsichtlich der Wirksamkeit der Maßnahme t_S einhergehen. Dadurch kann es sein, dass die Maßnahme hinsichtlich ihres Schutzfaktors nichtig wird und andere Maßnahmen vorzuziehen sind. Dadurch müsste eine neue Bewertung als Teil des Entscheidungsfindungsprozesses erfolgen (siehe Abschnitt 3.2.3.3)

Gerade in einem Notfall kann es vorkommen, dass der Ressourcenpools II starken Schwankungen hinsichtlich seiner Elemente unterworfen ist. Daher sollte eine Datenbank, in der die Elemente gepflegt werden, mit bestimmten Rechten zur Bedarfsmeldung und Freigabe (nach Abwägungen z. B. hinsichtlich bestimmter Kriterien wie die Größe des Schutzfaktors oder die negative Auswirkungen der Maßnahme für die die Ressourcen verwendet werden sollen) von Ressourcen versehen sein, um eine versehentliche Doppelvergabe von Ressourcen zu vermeiden.

3.2.3.2 Handlungsanweisungen an die zu beteiligenden Akteure

Maßnahmen zielen in der Regel darauf ab, dass möglichst zeitnah entsprechende Handlungen durchgeführt werden (Zeitabhängigkeit des Schutzfaktors $S(\vec{r}(t), t, t_S, t_E, \text{Nuklid}, \text{Pfad})$). Um eine zeitnahe Umsetzung zu gewährleisten, sollten die Akteure genaue und leicht verständliche Handlungsanweisen darüber erhalten, was sie zu tun haben und worauf sie zu achten haben. Auch die Hierarchien bei Entscheidungen müssen klar definiert sein.

Es wäre notwendig zunächst zu klären, wer überhaupt welche Handlungen an welchen Orten bzw. über welche Routen $\vec{r}(t)$ zur Umsetzung einer Maßnahme vornehmen soll.

Da Handlungen innerhalb von Gebieten mit einem gewissen Gefahrenpotential stattfinden können, sind gegebenenfalls Schutzausrüstungen, Messtechnik oder Vorgaben für das Verhalten in bestimmten Situationen vorzusehen (z. B. Umkehrdosiswerte, Meldepflichten bei Abweichungen von geplanten Routen, Dokumentation von Wegstrecken).

3.2.3.3 Kommunikations- und Informationsvorgänge

Kommunikations- und Informationsvorgänge sind bei den Abbildungen der Prozessketten dahingehen zu beachten, dass klar ersichtlich ist, an welcher Stelle in der Prozesskette welche Informationen bzw. Informationsprodukte von welchem Absender zu welchem Empfänger gehen. Dabei ist zu beachten, dass das primäre Kommunikationsmittel (z. B. E-Mail, Fax, Telefon, Brief, Lichtsignal, Sirene) mit aufgeführt wird. In bestimmten Fällen können auch Ersatzkommunikationsmittel bereitstehen, die eine Alternative zum primären Kommunikationsmittel darstellen, dabei aber gegebenenfalls Einschränkungen hinsichtlich des Empfängerkreises oder hinsichtlich der Information bzw. des Informationsproduktes verursachen. Dabei ist zu beachten, dass dies zu zeitlichen Verzögerungen bei der Umsetzung einer Maßnahme führen kann.

Es existieren Situationen, in denen der Absender eine Empfangsbestätigung erwartet. Durch geeignete Wahl von Kommunikationsmitteln ist dies umsetzbar. Teilweise kann dies jedoch nur durch zusätzliche Kommunikationsmittel ermöglicht werden (beispielsweise bei einer Alarmierung per Fax und einer Empfangsbestätigung per Telefon).

Die Zeitfenster für Kommunikationsvorgänge können festgelegt sein. Dies gilt z. B. für aktualisierte Informationen über die radiologische Lage oder Meldungen über den aktuellen Stand der Umsetzung einer Maßnahme.

3.2.3.4 Wirksamkeitsprüfung

Der Prozess der Wirksamkeitsprüfung (die Bestimmung von η) beinhaltet zunächst die Angaben der erwarteten Werte, die als Zielvorgaben definiert wurden. Ausgehend von diesem Wert müssen entsprechende Messungen vorgenommen werden, um den tatsächlichen Wert zu bestimmen. Hierfür sind entsprechende Vorgaben zur Bestimmung „tatsächlicher Werte“ vorzusehen (Messvorschriften, Anzahl von Messpunkten, Messverfahren etc.). Anschließend erfolgt der Abgleich zwischen dem erwarteten und dem bestimmten „tatsächlichen“ Wert, der dann in den Entscheidungsfindungs- und

Anpassungsprozess übergeben wird oder bereits Teil dieses Prozesses ist. Dies kann bei strahlenschutzrelevanten Zielsetzungen in einer Anpassung des Schutzfaktors S bzw. der vermiedenen Dosis D_A münden.

3.2.3.5 Akzeptanzprüfung

Unter Akzeptanz wird in diesem Bericht die grundlegende Hinnahme oder Annahme von Sachverhalten, Situationen, Subjekten oder Individuen verstanden (vergleiche Definition in /SAU 18/).

Die Prüfung der Akzeptanz kann dabei sehr umfangreich werden, da jede Maßnahme bzw. jeder Sachbereich eigene Kriterien zur Prüfung der Akzeptanz haben kann. Im Bereich Lebensmittel kann beispielsweise die Akzeptanz zum Kauf von geprüften und als nicht kontaminiert deklarierten Lebensmitteln aus kontaminierten Gebieten durch Absatzzahlen abgeschätzt werden. Das Kaufverhalten der Bevölkerung wurde beispielsweise in Japan untersucht /ARU 17/. Im Fall der Schutzmaßnahme „Evakuierung“ oder vergleichbarer Maßnahmen (Verbleiben im Haus, Einhaltung von Straßensperren etc.) kann die Anzahl unkooperativer Individuen (z.B. Weigerung das Haus zu verlassen etc.) im Verhältnis zur Gesamtzahl betroffener Personen als Maß für die Akzeptanz herangezogen werden. Weiter Möglichkeiten sind Bewertungssysteme in Fragebögen als Teil von Umfragen mit entsprechenden Vorgaben zur Auswertung. Bereits in der Vorsorge sollten Kriterien für die einzelnen Schutzmaßnahmen festgelegt werden, an denen die Akzeptanz gemessen werden kann.

In dem Prozess zur Akzeptanzprüfung wird dann gemäß den in der Vorsorge getroffenen Kriterien, entsprechende Meldungen über die benötigten Parameter erfasst werden. Anschließend folgen die Beurteilung und Interpretation der Daten. Sie können dann als Informationen in den Bewertungsprozess eingebracht werden. Hier können sie in den Wert der Risikobereitschaft ϵ und damit in den J-Wert eingehen.

3.2.3.6 Ermittlung und Analyse weiterer unerwünschter Nebeneffekte

Prinzipiell können immer unvorhergesehene Situationen eintreten, die zusätzliche unerwartete Nebeneffekte mit sich bringen. Solche Nebeneffekte können Versorgungspässe mit lebenswichtigen Gütern (Wegfall der Lebensmittelproduktion durch radiologische Kriterien im Lebensmittelbereich – Hungernde Bevölkerung), Flächenmangel für Deponien (Dekontaminationsmaßnahmen – Abfallmengen) etc. sein. Für solche

unerwünschten Nebeneffekte sollte es Ansprechpartner vor Ort geben, die solche ermitteln (entweder aktiv, durch gezielte Ansprache von Personen, oder passiv als Kontaktstelle für Personen) und gegebenenfalls den Sachstand prüfen, um dann an vorgeplante Kontaktstellen Meldung zu machen. Die Analyse erfolgt dann als Teil der Abschätzung des Ressourcenbedarfs (vgl. Abschnitt 3.2.3.1) oder geht in die Anpassung von Entscheidungen (vgl. Abschnitt 3.2.2) ein, etwa durch Änderung von Kriterien.

4 Algorithmus zur Operationalisierung optimierter Schutzstrategien

Basierend auf der in Kapitel 3 entwickelten Systematik wird in diesem Kapitel eine Operationalisierung der optimierten Schutzstrategien vorgenommen. Hierzu wird schrittweise vorgegangen und dabei die einzelnen Schritte erklärt oder auf die Analysen im jeweiligen Abschnitt dieses Berichtes verwiesen. Die nun nachfolgenden Schritte sind in Abb. 4.1 dargestellt.

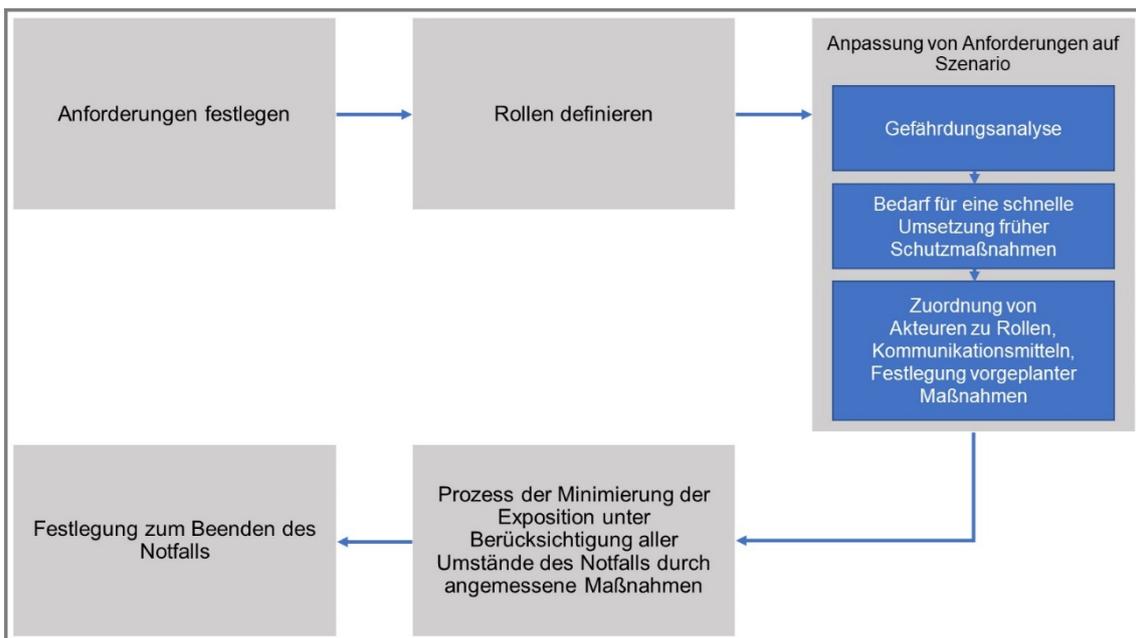


Abb. 4.1 Schritte zur Operationalisierung der optimierten Schutzstrategien

4.1 Schritt 1: Festlegung von Anforderungen

Wie in Abschnitt 3.1.1 aufgeführt, existieren bestimmte Anforderungen, die an eine Schutzstrategie gestellt werden, oder Ziele, die mit ihr verbunden werden.

4.2 Schritt 2: Definition von Rollen

Innerhalb der Schutzstrategie können bestimmte generische Rollen definiert werden, die Aufgaben übernehmen.

Diese Rollen sind:

- **Entscheider**
Die Rolle „Entscheider“ tritt an diversen Stellen auf. Es ist die Rolle mit der Hauptverantwortung in einem bestimmten Bereich.
- **Bewertungsstelle**
Die Rolle „Bewertungsstelle“ ist für die fachliche Bewertung in einem bestimmten Sachbereich zuständig. Dabei kann es um die Bewertung des Bedarfs an Ressourcen, der radiologischen Lage oder andere Sachgebiete wie Trinkwasser- oder Lebensmittelversorgung, öffentliche Sicherheit oder Abfallmanagement gehen. In den grafischen Darstellungen wird insbesondere zwischen der radiologischen Bewertungsstelle und den Bewertungsstellen anderer Sachgebiete unterschieden (siehe Abb. 4.2).
- **Einsatzzentrale**
Sind Entscheidungen getroffen, müssen diese auch umgesetzt werden. Die Umsetzung erfolgt durch die Rolle „Einsatzzentrale“, die die Koordinierung von Einsatzkräften oder das Zusammenwirken von Messstellen organisieren. Dazu zählt die Zuteilung von Ressourcen, die Erstellung von Handlungsanweisungen wie Vorgaben für die Dauer von Einsatzzeiten und die Verantwortung für Einsatzkräfte. Es kann für diverse Sachgebiete unterschiedliche Einsatzzentralen geben.
- **Ausführenden Stellen**
Einsatzkräfte, Messstellen und automatisierte Systeme können als ausführende Stellen zusammengefasst werden und sind jene Rollen, die durch eine Einsatzzentrale beauftragt werden, bestimmte Aufgaben gemäß Handlungsanweisungen durchzuführen. Dabei sind mit Einsatzkräften in der Regel Personen gemeint, die auch in Gefahrenbereichen vor Ort Arbeiten durchführen, während Messstellen aus der Entfernung bestimmte Aufgaben erfüllen.
- **Schutzbedürftige**
Die Rolle „Schutzbedürftige“ steht für jenen Personenkreis, der geschützt werden soll. Es kann sich dabei um die Bevölkerung eines Landes oder um Kleingruppen in einem bestimmten Bereich (Abfallmanagement, Trinkwassergewinnung) oder um bestimmte besonders schützenswerte Bevölkerungsgruppen (Kleinkinder, schwangere Frauen) handeln.



Abb. 4.2 Generische Rollen innerhalb der Schutzstrategie

Die generischen Rollen wurden in Abb. 4.2 farblich unterlegt. Diese farbliche Zuordnung wird nachfolgend aufgegriffen, um beispielsweise bestimmte Aktionen in Prozessdarstellungen diesen Rollen zuzuordnen.

4.3 Schritt 3: Anpassung von Anforderungen auf Szenarien

Abhängig vom zu Grunde gelegten Szenario kann zunächst eine Gefährdungsanalyse durchgeführt werden, die eine möglichst abdeckende Vorstellung darüber ergibt, mit welchen Risiken und Gefahren zu rechnen ist. Daraus ergeben sich beispielsweise Abschätzungen darüber, wie groß der Bedarf an personellen und materiellen Ressourcen für eine Umsetzung von bestimmten frühen Schutzmaßnahmen in einem Bereich mit erhöhtem Gefährdungspotential ist und wie schnell diese im Ereignisfall umsetzbar wären. Abhängig vom Ort des Szenarios sind die dort vorhandenen Akteure (Behörden, Institutionen und andere Stellen eines entsprechenden Krisenmanagements) den Rollen aus Schritt 2 zuzuordnen. Dabei kann es durchaus vorkommen, dass – bedingt durch lokale Strukturen – Rollen mehrfach besetzt sind. Durch entsprechende Abstimmungen im Rahmen der Vorsorge sind gegebenenfalls Regelungsdefizite, Rollen-, Kompetenz oder Zuständigkeitskonflikte zu beseitigen. Anhand der Entscheidungen der verantwortlichen Stelle sind bestimmte Maßnahmen auf Basis der Ergebnisse der Gefährdungsanalyse vorzuplanen. Teil dieser Vorplanungen können technische, materielle und organisatorische Vorplanungen in bestimmten Bereichen (Planungsradien) sein, können sich aber auch auf bestimmte Kriterien (z. B. spezielle Alarmierungskriterien für eine kern-technische Anlagen, Umlaufbahn eines Satelliten) beziehen. Auch Aspekte wie die Verwendung von speziellen Kommunikationsmitteln können als Teil des Anpassungsprozesses gesehen werden. Dieser Aspekt wird jedoch vorwiegend durch die tatsächlichen Prozesse beeinflusst, die nachfolgend dargestellt werden. Weiter Details zum Thema Anpassung können Abschnitt 3.1.2 entnommen werden.

4.4 Schritt 4: Prozessdarstellung für die Minimierung der Exposition

Informationsbeschaffung

Ein zentraler Punkt der Schutzstrategie ist der Informationsfluss, also die Beschaffung, Verarbeitung und Weiterleitung von Informationen. Der vereinfachte Informationsfluss wird dabei in Abb. 4.3 dargestellt. Die Nummerierung der Pfeile geben Auskunft über mögliche Informationsinhalte. Die eingesetzten Kommunikationsmittel, für die Sicherstellung des Informationsflusses, sind dabei hier nicht aufgeführt.

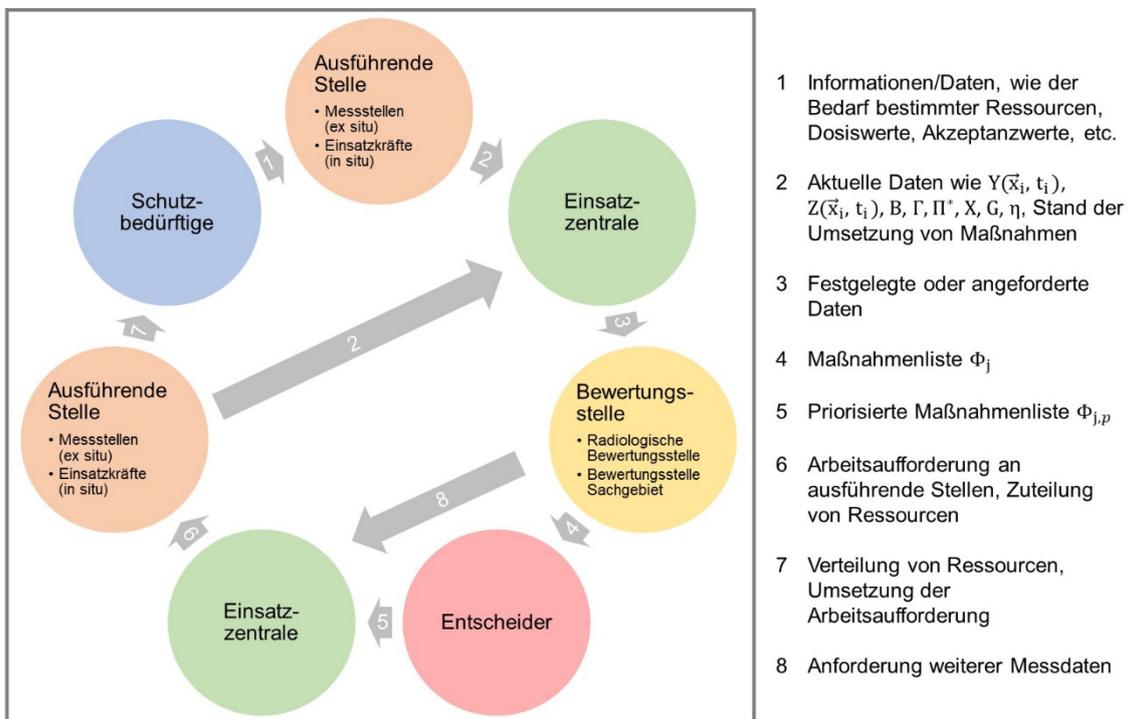


Abb. 4.3 Informationsfluss in einer Schutzstrategie

Wesentliche Informationen sind die benötigten Parameter zur Beurteilung der Lage. Sie werden, zusammen mit den bereitstellenden Stellen in Tab. 3.5 aufgeführt.

Informationsverarbeitung

Ausgehend von diesen Informationen kann in der radiologischen Bewertungsstelle die Maßnahmenliste aktualisiert werden, um die Entscheidung über die Anordnung von Maßnahmen zu ermöglichen. Zu Beginn wird diese Maßnahmenliste vorwiegend aus bereits ohne eine tiefere Bewertung ergriffene, zumeist ad hoc durchgeführte

Maßnahmen bestehen (siehe auch Abschnitt 3.2.2.1), die durch weitere im Rahmen der Beurteilung ermittelte Maßnahmen ergänzt (siehe Abb. 4.4).

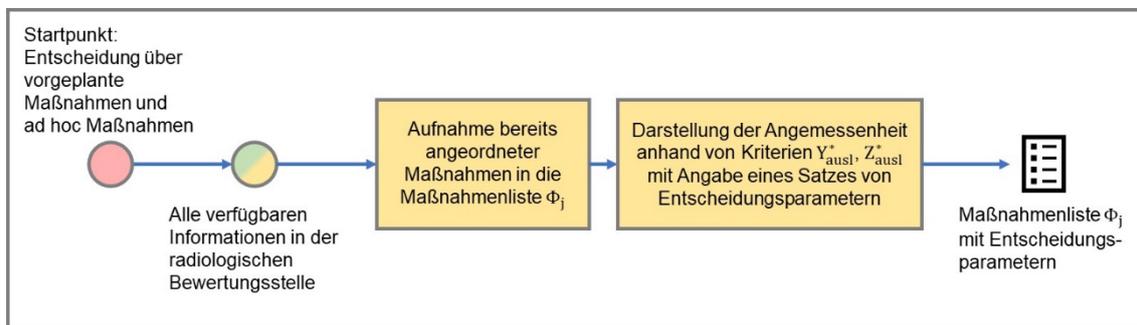


Abb. 4.4 Prozessdarstellung für die Erstellung einer Maßnahmenliste für den Entscheidungsprozess

Wichtig für den sich an die Bewertung anschließenden Entscheidungsprozess ist, dass dieser durch Angabe von Entscheidungsparametern erleichtert wird (siehe Abschnitt 3.2.2.2).

In den folgenden Beurteilungen wird immer auf die im vorherigen Beurteilungsschritt erstellte Maßnahmenliste Bezug genommen, bei der die für die Bewertung relevanten Parameter jeweils durch die bereitgestellten Informationen aktualisiert werden und anschließend die Angemessenheit der Maßnahme anhand von Auslösekriterien einer Maßnahme beurteilt, wobei eine Fallunterscheidung für die jeweilige Maßnahme durchgeführt wird (siehe Abb. 4.5). Die Aktualisierung der Parameter erfolgt dabei anhand von bestimmten im Vorfeld festgelegten Rechenoperationen (siehe Abschnitte 3.1.4.2, 3.1.4.3, 3.2.1 und 3.2.2.2), die entsprechend der Anforderungen an Anpassung an ein (Referenz-)Szenario skalierbar auf große Datenmengen sein müssen.

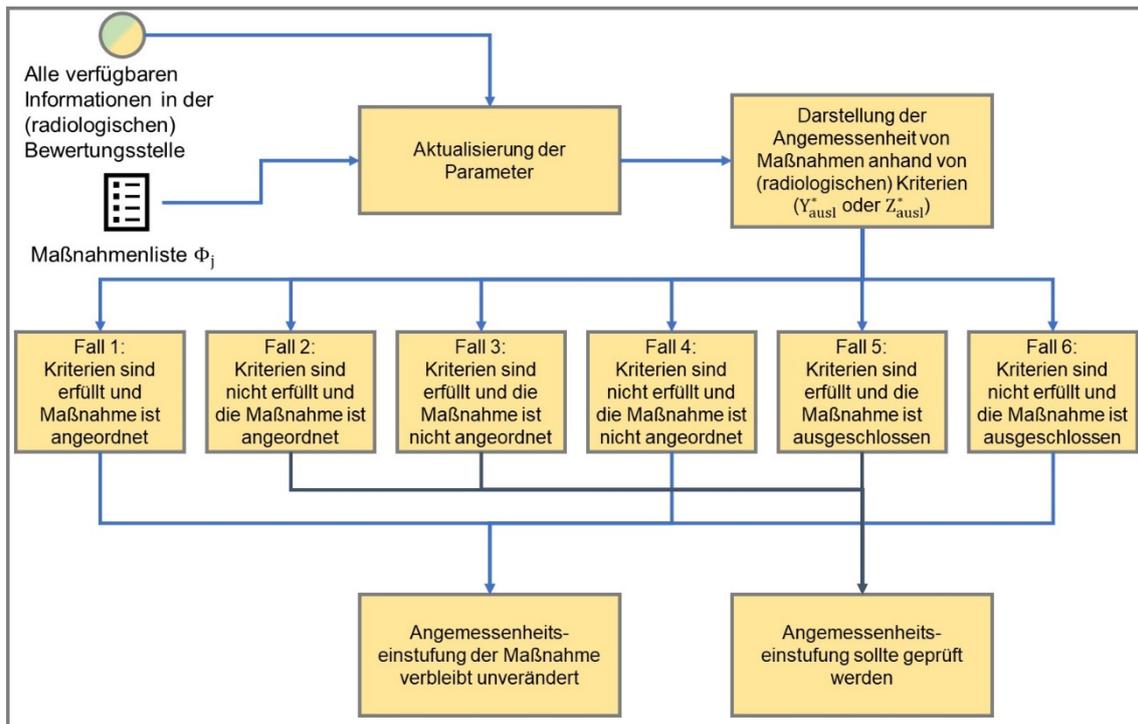


Abb. 4.5 Prozess zur Bewertung der Angemessenheit von Maßnahmen

Entscheidungsfindung

Um dem Entscheider die Entscheidung über Maßnahmen zu ermöglichen, wurden in Abschnitt 3.2.2.2 ein Entscheidungsparametersatz vorgeschlagen. Dieser Entscheidungsparametersatz muss so verständlich sein, dass der Entscheider zeitnah überblicken kann, worüber er entscheidet und welche Konsequenzen mit der Entscheidung verbunden sind. Dabei helfen zunächst festgelegte Kriterien (Y_{ausl}^* , Z_{ausl}^*). Diese stellen eine bereits in der Vorsorge getroffene Abwägung dar. Kommt es jedoch zu einem Interessenkonflikt, der durch eine Abweichung in Entscheidungsparameter ausgedrückt wird (als Beispiel wäre vorstellbar, dass eine Maßnahme eine Schutzfaktor S von kleiner 1 aufweist und in Folge mit der Umsetzung der Maßnahme eine Erhöhung von Dosiswerten einhergeht, diese Maßnahme aber aufgrund von anderen Entscheidungsparametern, wie beispielsweise dem J -Wert, dennoch sehr positiv wäre¹), müssen neue Abwägungen getroffen werden. Diese Abwägungen können zu Änderungen von radiologischen Kriterien führen (z. B. Änderung des Referenzwertes nach § 93 StrISchG), was zu einer globalen Änderung im Bewertungssystem führen kann, oder zu Änderungen in

¹ Als Beispiel für eine solche Abwägung sei der Medizinbereich genannt, bei dem die Strahlenexposition durch Röntgenuntersuchungen gegenüber anderen potenziellen Schäden abgewogen werden.

den in Abschnitt 3.2.2.3 aufgeführten Priorisierungsfaktoren führen, was eine lokale Änderung im Bewertungssystem ermöglicht. Der Prozess wird in Abb. 4.6 dargestellt.

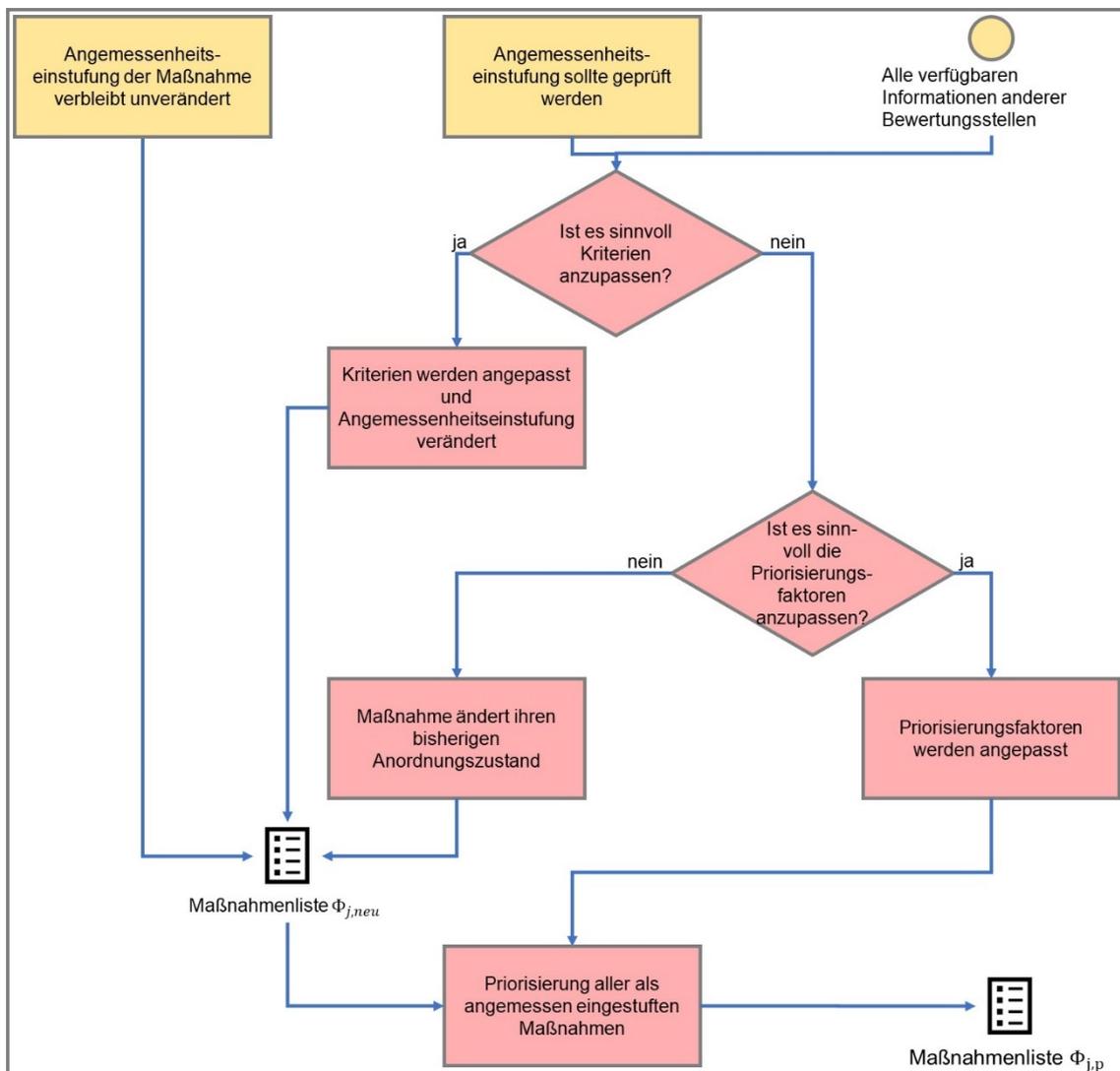


Abb. 4.6 Entscheidungsprozess für Maßnahmen

Wird keine Anpassung vorgenommen, wird nach einer festgelegten, durch den Entscheider erstellten Priorisierung, eine Maßnahmenliste $\Phi_{j,p}$ erstellt, die die Priorisierung von Maßnahmen entsprechend angibt.

Es ist denkbar, dass keine Maßnahmen mehr anzuordnen sind, weil alle definierten Ziele erreicht wurden und keine Kriterien für die Angemessenheit von Maßnahmen mehr überschritten sind. An diesem Punkt kann die Schutzstrategie beendet werden. Ansonsten wird die Maßnahmenliste an die Einsatzleitung übergeben, um die getroffenen Entscheidungen umzusetzen (siehe Prozess in Abb. 4.7).

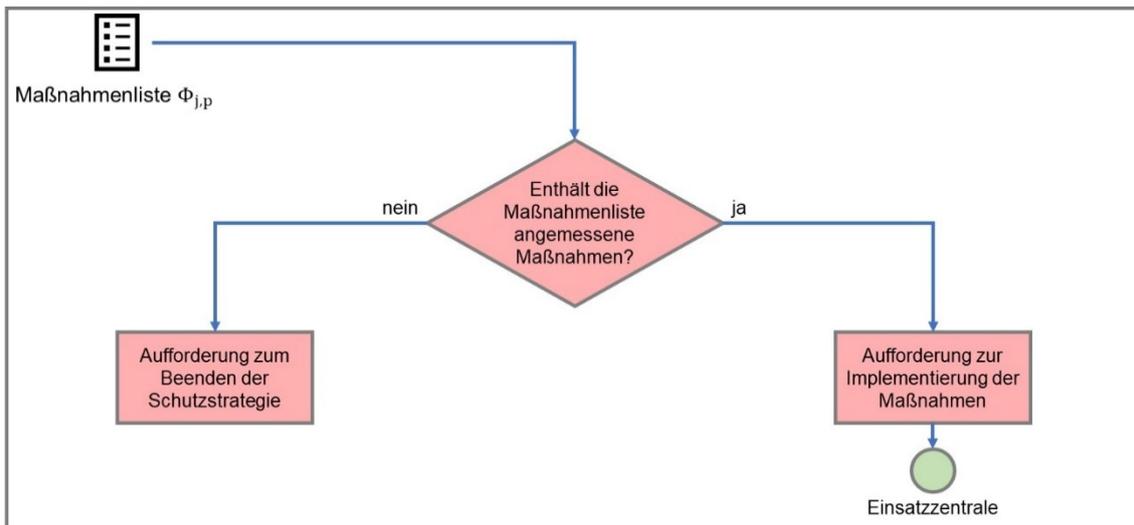


Abb. 4.7 Prozess zur Entscheidung über das Ende einer Schutzstrategie und Übergabe zur Umsetzung

Implementierung von Entscheidungen und Erfolgskontrolle

Die vom Entscheider bestimmten Maßnahmen werden in der Einsatzzentrale für die Umsetzung vorbereitet. Der Prozess hierfür wird in Abb. 4.8 dargestellt. Die Umsetzung bzw. Weiterführung der Umsetzung gehen mit einer Zuteilung von Ressourcen einher. Dabei werden vorhandene Ressourcen auf prioritäre Maßnahmen aufgeteilt, bis alle Ressourcen verteilt wurden. Für den Fall, dass weitere Ressourcen benötigt werden, ist eine entsprechende Stelle mit der Mobilisierung weiterer Ressourcen zu beauftragen. Die zugeteilten Ressourcen zusammen mit Anweisungen zum Vorgehen (Handlungsanweisungen) werden an die ausführenden Stellen übermittelt, die dann entsprechend vorgehen. Die ausführenden Stellen übermitteln relevante Daten an die Einsatzleitung, die ihrerseits damit eine gegebenenfalls kurzfristige Anpassung von Handlungsanweisungen vornimmt oder Meldungen an die Bewertungsstelle übergibt und damit den Prozess der Informationsverarbeitung (siehe Abb. 4.5) erneut beginnt.

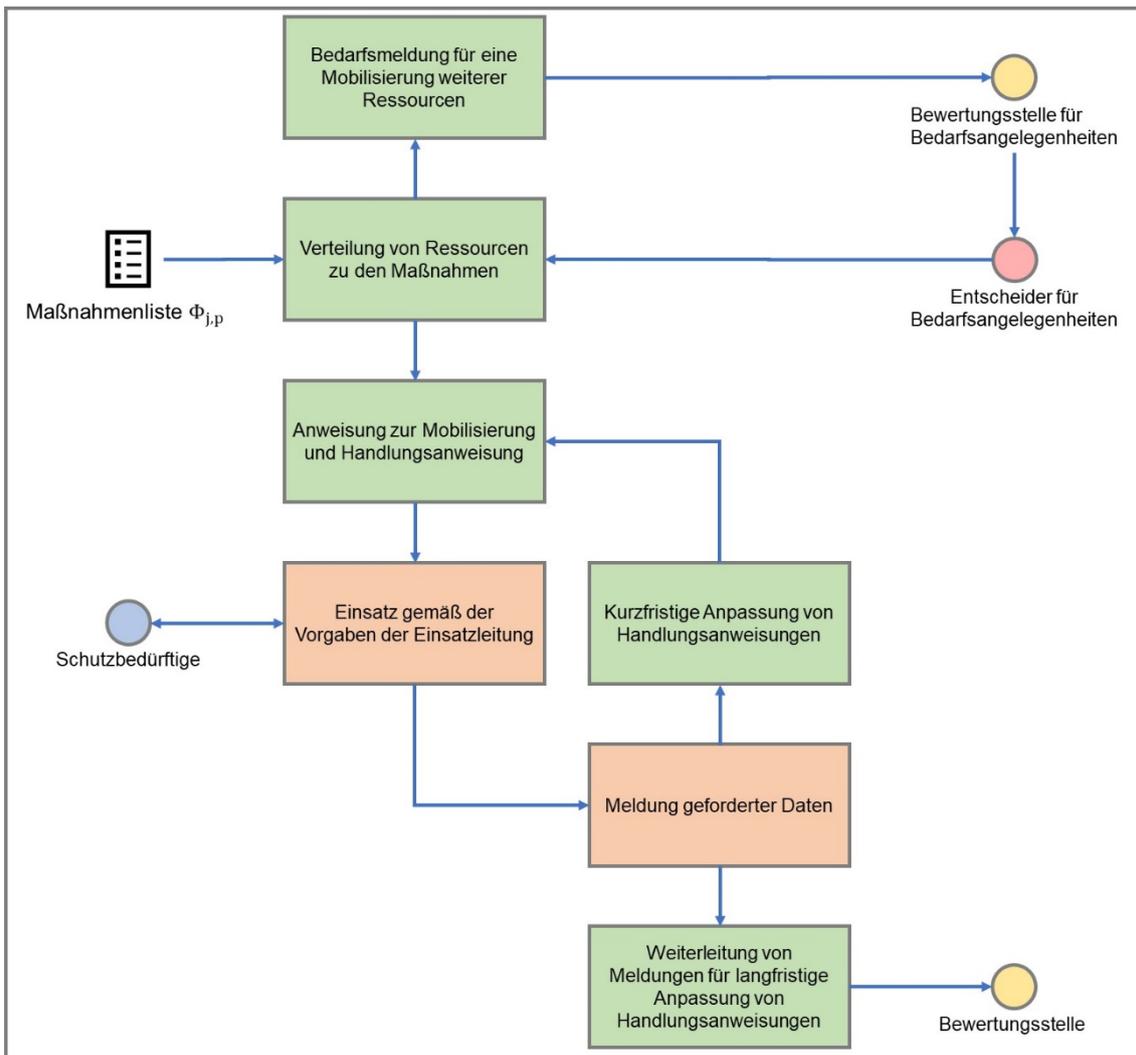


Abb. 4.8 Prozessdarstellung der Implementierung von Maßnahmen

5 Zusammenfassung

In diesem Vorhaben wurden Untersuchungen zur Operationalisierung optimierter Schutzstrategien in Notfallplänen vorgenommen. Dabei sollte das Anpassungspotential und die Probleme bei der Anpassung von Schutzstrategien näher beleuchtet werden.

Hierfür wurden die vom BfS entwickelten Entwürfe optimierter Schutzstrategien des allgemeinen Notfallplans des Bundes herangezogen, um die relevanten Elemente einer Schutzstrategie bzw. der Prozesse in dieser Schutzstrategie zu extrahieren. Teil dieser Elemente sind die Anforderungen an die Schutzstrategie und die Rollen und Zuständigkeiten innerhalb der Schutzstrategie. Ausgehend von einer Schutzstrategie ergaben sich aus logischen Schlussfolgerungen Anpassungspotentiale, die sich aus den Referenzszenarien des allgemeinen Notfallplan des Bundes ergeben. Diese wurden in Kapitel 3.1.3 dargestellt.

Auf Grundlage von Schutzziele des allgemeinen Notfallplans des Bundes und Vorgaben der SSK zur Berücksichtigung von bestimmten Aspekten bei der Beurteilung von Maßnahmen innerhalb einer Schutzstrategie, wurden in Kapitel 3.1.4 die als relevante Angaben zusammengefassten Ziele und Aspekte in ein mathematisches Konstrukt übertragen, um die Angaben für einen Algorithmus vorzubereiten. Dabei konnten radiologische Aspekte, die durch Größen wie Dosis- oder Dosisleistungswerte repräsentiert werden, aufgeführt werden. Hierbei wurden weitere Einflussfaktoren wie gesundheitliche, soziale und wirtschaftliche Folgen in dieses mathematische Konstrukt übertragen. Der Vorteil solcher mathematischen Überlegungen liegt in einer gewissen Möglichkeit zur Nachvollziehung bestimmter Einflüsse. Nachteil ist demgegenüber, dass diese Beschreibungen sehr schnell sehr komplex werden können und damit eine schnelle Auffassung bestimmter Sachverhalte erschwert wird.

In Kapitel 3.2 wurde die vorgenommene Parametrisierung auf die verschiedenen Prozesse innerhalb einer Schutzstrategie übertragen. Dabei wurde aufgeführt, welcher Parameter in welchem Prozess erzeugt wird bzw. wo ein Parameter genutzt und weiterverarbeitet wird. Hiermit kann in systematischer Weise, bedingt durch die mathematische Beziehung zwischen einzelnen Parametern, ein Zusammenhang innerhalb der Schutzstrategie geprüft werden.

In Kapitel 4 wurde dann basierend auf den Analysen in Kapitel 3 schrittweise das Vorgehen für eine Operationalisierung der Schutzstrategie dargestellt. Dabei wurden die

Anforderungen und Ziele einer Schutzstrategie berücksichtigt, die Zuständigkeiten und Rollen in einer generalisierten Form betrachtet, die Anpassungspotentiale berücksichtigt und ein generalisiertes Vorgehen in Form von Ablaufdiagrammen dargestellt.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass in diesem Bericht der Versuch unternommen wurde, das sehr komplexe und vielschichtige Vorgehen innerhalb einer Schutzstrategie auf wenige einfache Kernprozesse herunterzubrechen. Diese Modellierung berücksichtigt dabei nicht jeden Aspekt bis ins Detail, kann aber dennoch wichtige Teilabschnitte klarer herausstellen. Insbesondere die Problematik der Entscheidungsfindung wurde hier besonders hervorgehoben. Die in Kapitel 3.1.4.2 aufgeführten Einflussfaktoren auf die Schutzstrategie sind bedingt durch die schwer fassbaren Größen wie sozialer Einfluss oder gesundheitlicher Einfluss nur durch statistische Betrachtungen in eine Schutzstrategie zu integrieren. Dadurch wird die benötigte Datenmenge groß, unübersichtlich und sowohl innerhalb eines Bewertungsprozesses als auch nach außen hin schwer vermittelbar. Dennoch wurde in diesem Vorhaben der Frage nachgegangen, wie dies in einem Notfall auf vernünftige, nachvollziehbare Weise erfolgen könnte. In diesem Bericht wurde mit der Vorstellung eines Bewertungsparameters für die Angemessenheit von Maßnahmen unter bestimmten sozialen, wirtschaftlichen und gesundheitlichen Aspekten in Kapitel 3.1.4.2 und mit der Priorisierung in Kapitel 3.2.2.3 in der Literatur vorhandene Methodiken zusammengetragen und vorgestellt, die als Möglichkeiten herangezogen werden könnten. Ob und wie dies im deutschen Notfallmanagementsystem praktikabel umsetzbar wäre, wurde im Rahmen des Vorhabens nicht betrachtet.

Abkürzungsverzeichnis

AL	Action Level – Auslösekriterium
ADNS	Animal Disease Notification System
ADREP	Accident Incident Data Reporting System
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ANoPI	Allgemeiner Notfallplan des Bundes
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BBN	Bayesian Belief Network
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVg	Bundesministerium der Verteidigung
CECIS	Common Emergency Communication and Information System
CNS	Convention on Nuclear Safety
CSY	Countermeasure Subsystem
DEMIS	Deutsches Elektronisches Melde- und Informationssystem für den Infektionsschutz
deNIS	Deutsches Notfallvorsorge-Informationssystem
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DORIS	Digitales Online Repositorium und Informations-System
DV	Datenverarbeitung
DWD	Deutscher Wetterdienst
EADRCC	Euro-Atlantic Disaster Response Coordination Centre
ECHO	European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations
ECURIE	European Community Urgent Radiological Information Exchange

EERC	European Emergency Response Capacity
EFAS	European Flood Awareness System
EFFIS	European Forest Fire Information System
ELAN	Elektronisches Lage-Informationssystem
ELWAS	Elektronische Wasserwirtschaftliches Verbundsystem
ELWIS	Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice
EMS	Emergency Management Service
ENAC	Emergency Notification and Assistance Convention
EPRIMS	Emergency Preparedness and Response Information Management System
ERCC	Emergency Response Coordination Centre
ERL	Emergency Reference Levels
EU	Europäische Union
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft
EURDEP	European Radiological Data Exchange Platform
FAO	Food and Agriculture Organization
FaSTPro	Fast Source Term Prognosis
FDP	Fuel Data Provider
FE	Forschung und Entwicklung
FIGIS	Fisheries Global Information System
GDACS	Global Disaster Alert and Coordination System
GEMStat	Global Water Quality database and information system
GIEWS	Global Information and Early Warning System
GLD	Gewässerkundlicher Landesdienst Sachsen-Anhalt
GMLZ	Global Information and Early Warning System

GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH
GSR	General Safety Requirements
HERCA	Heads of the European Radiological protection Competent Authorities
HRQ	Hochradioaktive Strahlenquelle
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation
ICAO	International Civil Aviation Organization
ICRP	International Commission on Radiological Protection – Internationale Strahlenschutzkommission
ICWRGC	International Centre for Water Resources and Global Change
IEC	Incident and Emergency Centre
IfSG	Infektionsschutzgesetz
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem
IMO	International Maritime Organization
INES	International Nuclear and Radiological Event Scale
IRIX	International Radiation Information Exchange
IRMIS	International Radiation Monitoring Information System
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
ITDB	Incident and Trafficking Database
IVENA	Interdisziplinärer Versorgungsnachweis
KFÜ	Kernreaktor-Fernüberwachungssysteme
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
LNT	Linear-Non-Threshold
MCDA	Multi Criteria Decision Analysis
MPL	Maximum Permitted Level – Grenzwert
MS	Microsoft®

NEWS	Nuclear Event Web-based System
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NDWV	Notfall-Dosiswerte-Verordnung
NINA	Notfall-Informations- und Nachrichten-App
NRW	Nordrhein-Westfalen
OCHA	United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs
ODL	Ortsdosisleistung
OIL	Operational Intervention Levels
PC	Personal Computer
PRIS	Power Reactor Information System
PHE	Public Health England
PI	Presse- und Informationsstab
RANET	Response and Assistance Network
RAPEX	Rapid Exchange of Information System
RASFF	Rapid Alert System for Food and Feed
REMPAN	Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network
RFÜ	Radiologische Fernüberwachung kerntechnischer Anlagen
RKI	Robert Koch-Institut
RL	Reference Level
RLZ	Radiologisches Lagezentrum des Bundes
RODOS	Real Time Online Decision Support System
RRDB	Research Reactor Database
SIMONA	Schneller Einstieg in Maßnahmenoptionen für nukleare und radiologische Notfälle
SMS	Short Message Service

SSK	Strahlenschutzkommission
SSM	Strålsäkerhetsmyndigheten – Swedish Radiation Safety Authority
StBA	Statistisches Bundesamt
StrlSchG	Strahlenschutzgesetz
TECDO	Technische Dokumentation
TSIS	Tier Seuchen Informations System
UdSSR	Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken
UN	United Nations
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
USA	United States of America
USIE	Unified System for Information Exchange in Incidents and Emergencies
UvO	Umweltdaten vor Ort
VBA	Visual Basic for Applications
WebGIS	Web Geo-Informations-System
WENRA	Western European Nuclear Regulators' Association
WHO	World Health Organization
WINO	Wissensbasis für Notfälle
WILD	Wildtier-Informationssystem der Länder Deutschlands
WRLageZ	Weltraumlagezentrum
ZdB	Zentralstelle des Bundes
ZKI	Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation

Literaturverzeichnis

- /ALE 16/ Alexandra Rüttgen: Arbeitsunfall in Haan setzt Strahlung frei. Hrsg.: RP Digital GmbH, 2 S., Stand vom 28. Dezember 2016, erreichbar unter <http://www.rp-online.de/nrw/staedte/langenfeld/arbeitsunfall-in-haan-setzt-strahlung-frei-aid-1.6489975>, abgerufen am 4. April 2018.
- /ARM 19/ Republik Armenien (Hrsg.): Convention on Nuclear Safety, 8th National Report, Prepared by Government of Republic of Armenia for Eight Review Meeting in March/April 2020. August 2019.
- /ARU 17/ Aruga, K.: Consumer responses to food produced near the Fukushima nuclear plant. Environmental Economics and Policy Studies, Bd. 19, Nr. 4, S. 677–690, DOI 10.1007/s10018-016-0169-y, 2017.
- /AXE 17/ Axel Springer SE (Hrsg.): Lkw mit radioaktiver Ladung verunglückt auf A7. 1 S.: Bild, Stand vom 12. Januar 2017, erreichbar unter <https://www.bild.de/regional/hannover/lkw-crash/mit-radioaktiver-ladung-auf-der-a7-49743352.bild.html>, abgerufen am 4. April 2018.
- /BBK 15/ Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK): Abschaltung von deNIS. 1 S., erreichbar unter <https://web.archive.org/web/20150626140751/https://www.denis.bund.de/>, abgerufen am 17. Oktober 2019.
- /BBK 19/ Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK): Warn-App NINA. erreichbar unter <https://www.bbk.bund.de/DE/NINA/Warn-App-NINA.html>, abgerufen am 17. Oktober 2019.
- /BER 07/ Bertsch, V., Treitz, M., Geldermann, J., Rentz, O., Charnock, T., Benz, G.: User guide for Web-HIPRE 2.0 with RODOS. 30 S., 2007.
- /BfG 17/ Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (Hrsg.): Informationssysteme WasserBLICK. erreichbar unter http://www.bafg.de/DE/08_Ref/M4/01_Geoinformation/01_Informationssysteme/informationssysteme_node.html, abgerufen am 5. April 2018.

- /BFS 12/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (Hrsg.): Strahlenthemen, Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität – IMIS. 4 S., 2012.
- /BFS 16a/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (Hrsg.): Dokumentation und Information. 3 S., Stand vom 3. November 2016, erreichbar unter <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/notfallschutz/messnetz/imis/dokumentation.html>, abgerufen am 28. März 2018.
- /BFS 16b/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (Hrsg.): Wie funktioniert IMIS? 4 S., Stand vom 3. August 2016, erreichbar unter <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/notfallschutz/messnetz/imis/imis.html>, abgerufen am 28. März 2016.
- /BFS 17a/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (Hrsg.): Sicherheit von radioaktiven Strahlenquellen in Deutschland. Stand vom 9. März 2017, erreichbar unter http://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-alltag/strahlenquellen/strahlenquellen_node.html, abgerufen am 8. August 2018.
- /BFS 17b/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Aktuelle Messwerte von Jod-131. 2 S., Stand vom 14. März 2017, erreichbar unter <http://www.bfs.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/BfS/DE/2017/0221-jod-131.html>, abgerufen am 18. Oktober 2019.
- /BFS 18a/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): DORIS - Digitales Online Repository und Informations-System. erreichbar unter <https://doris.bfs.de/jspui/>, abgerufen am 20. April 2018.
- /BFS 18b/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): BfS-Mitarbeiter beteiligen sich an Aufklärung erhöhter Ruthenium-Werte. 3 S., Stand vom 22. Januar 2018, erreichbar unter <http://www.bfs.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BfS/DE/2018/001.html>, abgerufen am 18. Oktober 2019.
- /BFS 19a/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Grundsätze des Strahlenschutzes. Stand vom 25. Juni 2019, erreichbar unter https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/einfuehrung/grundsaeetze/grundsaeetze.html;jsessionid=027B3B4AB73511C6E02660485674C3C2.1_cid365, abgerufen am 10. September 2019.

- /BFS 19b/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): BeVoMed: Elektronische Meldung eines bedeutsamen Vorkommnisses durch die zuständige Behörde an die zentrale Stelle im BfS. Stand vom 6. März 2019, erreichbar unter http://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/bevomed/meldung/meldung_node.html, abgerufen am 3. Juli 2019.
- /BMU 05/ Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken in der Fassung vom 12. August 2005, zuletzt geändert 12. August 2005.
- /BMU 18a/ Verordnung zur Festlegung von Dosiswerten für frühe Notfallschutzmaßnahmen (Notfall-Dosiswerte-Verordnung - NDWV), zuletzt geändert 29. November 2018.
- /BMU 18b/ BMUB-Projekt "Verbesserung der Datengrundlage zur Bewertung hydrologischer Extreme" (Hrsg.): Informationsplattform Undine. erreichbar unter <http://undine.bafg.de/index.html>, abgerufen am 16. April 2018.
- /BMVG 17/ Bundesministerium der Verteidigung (BMVg): Weltraumlagezentrum - Der Auftrag. Stand vom 28.11.17, erreichbar unter http://www.luftwaffe.de/portal/a/luftwaffe/start!/ut/p/z1/hU_LDolwEPwWf4Ato-LUeMQghKqL4ohfTQIMYbEITiSZ-vCUx3JQ9TLI7uzOzQOEMVLC2KpmupGC16TOKL3Oy2q-cmeP4iYNRtE3T5c6duiF24QinoRVqaPSjPARpwSEzGtOfGms-MKVCgBbdyKbjuUHOHk4OIYloqq5FK1x3zUMowVIVAhm_xjnBvZb8JPoQktAmJ4mDTcd5Yy579Lcu7pyG7MIHUPJG59x38DbcYD6V3obkHJI4n7SvyRh-jrTxx/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/, abgerufen am 11. April 2018.
- /BSH 16/ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH): BSH schaltet umfassend überarbeitetes GeoSeaPortal frei. Hamburg, Oktober 2016.
- /BVL 18/ Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.): lebensmittelwarnung.de. erreichbar unter <http://www.lebensmittelwarnung.de/bvl-lmw-de/app/process/warnung?execution=e7s1>, abgerufen am 5. April 2018.

- /CEU 14/ Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom (Richtlinie 2013/59/Euratom) in der Fassung vom 5. Dezember 2013 (Amtsblatt der Europäischen Union), zuletzt geändert 17. Januar 2014 (Amtsblatt der Europäischen Union 2014, Nr. L 13, S. 1–73).
- /DIE 18/ Diercke, M.: Vorstellung aktueller Informationen zu DEMIS. Epidemiologisches Bulletin, Nr. 9, S. 91–93, 2018.
- /DJV 18/ Deutscher Jagdverband e. V. (DJV) (Hrsg.): WILD-Monitoring. Deutscher Jagdverbande. V. (DJV), erreichbar unter <https://www.jagdverband.de/content/wild-monitoring>, abgerufen am 6. April 2018.
- /DLR 18/ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) (Hrsg.): ZKI-DE - Service für Bundesbehörden. erreichbar unter https://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-12937/22595_read-51635/, abgerufen am 21. August 2018.
- /DÖP 42/ R. Döpel: Bericht über zwei Unfälle beim Umgang mit Uranmetall. 1942.
- /EUA 03/ Abkommen zwischen der Europäischen Atomgemeinschaft (Euratom) und Nichtmitgliedstaaten der Europäischen Union über die Teilnahme an Vereinbarungen in der Gemeinschaft für den schnellen Austausch von Informationen in einer radiologischen Notstandssituation (Ecurie) ((2003/C 102/02)) in der Fassung vom 29. Januar 2003 (Amtsblatt der Europäischen Union).
- /EUC 13/ Europäische Kommission: Hilfe und Katastrophenschutz, Hilfe für Opfer von Katastrophen und Konflikten sowie Schutz gefährdeter Personen. Die Europäische Union erklärt, 16 S., ISBN 978-92-79-24395-0, Publications Office: Luxembourg, 2013.
- /EUC 14/ Europäische Kommission: Global Disaster Alert and Coordination System. erreichbar unter <http://www.gdacs.org/>, abgerufen am 16. April 2018.

- /EUC 15a/ Europäische Kommission (Hrsg.): EURDEP - 20 years of radiation monitoring data exchange in Europe. 3 S., Stand vom 21. September 2016, erreichbar unter <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/eurdep-20-years-radiation-monitoring-data-exchange-europe>, abgerufen am 21. September 2016.
- /EUC 15b/ Europäische Kommission (Hrsg.): Monitoring tools. 4 S., Stand vom 19. November 2015, erreichbar unter http://ec.europa.eu/echo/what/civil-protection/monitoring-tools_en, abgerufen am 22. September 2016.
- /EUC 18a/ Europäische Kommission: RASFF - Food and Feed Safety Alerts. Stand vom 20. April 2018, erreichbar unter https://ec.europa.eu/food/safety/rasff_en, abgerufen am 20. April 2018.
- /EUC 18b/ Europäische Kommission (Hrsg.): Animal Disease Notification System (ADNS). Stand vom 20. April 2018, erreichbar unter https://ec.europa.eu/food/animals/animal-diseases/not-system_en, abgerufen am 20. April 2018.
- /EUC 18c/ Europäische Kommission: Rapid Exchange of Information System. erreichbar unter https://ec.europa.eu/consumers/consumers_safety/safety_products/rapex/alerts/repository/content/pages/rapex/index_en.htm, Stand von 2018.
- /EUU 16/ Europäische Union (Hrsg.): Humanitäre Hilfe und Katastrophenschutz. 5 S., Stand vom 22. September 2016, erreichbar unter http://europa.eu/european-union/topics/humanitarian-aid-civil-protection_de, abgerufen am 22. September 2016.
- /EUU 18/ Europäische Union: What is Copernicus? erreichbar unter <http://www.copernicus.eu/main/overview>, abgerufen am 20. April 2018.
- /FAO 19a/ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Fisheries Global Information System (FIGIS). erreichbar unter <http://www.fao.org/fishery/figis/en>, abgerufen am 17. Oktober 2019.
- /FAO 19b/ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (Hrsg.): GIEWS - Global Information and Early Warning System. erreichbar unter <http://www.fao.org/giews/en/>, abgerufen am 17. Oktober 2019.

- /FLI 18/ Friedrich-Loeffler-Institut (Hrsg.): TierSeuchenInformationssystem. erreichbar unter <https://www.fli.de/de/service/informationssysteme-und-datenbanken/tsis/>, abgerufen am 6. April 2018.
- /FZK 05/ Forschungszentrum Karlsruhe (FZK) (Hrsg.): The RODOS system, Version PV6.0. Institut für Kern- und Energietechnik (IKET), August 2005.
- /GER 17/ Gering, F.: 4ter_Zwischenbericht_Szenarienkatalog - Schutzstrategien. An Meinerzhagen, F., E-Mail, 186 S., 31. Juli 2017.
- /GRS 18/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH (Hrsg.): Kommunikation und Medien. 1 S., erreichbar unter <https://www.grs.de/kommunikation-und-medien>, abgerufen am 3. April 2018.
- /GRS 19/ Sogalla, M.: Untersuchungen zum Hintergrund der Explosion auf einem russischen Raketentestgelände am 08.08.2019 in der Nähe des Dorfs Njonnoksa, Oblast Archangelsk, Vorhaben 3616S62532 Unterstützung der Notfallschutzplanung, Entwurf - Aktualisierte Fassung mit Stand 13.09.2019. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, 22 S., 13. September 2019.
- /GUM 80/ Gummer, W. K., Campbell, F. R., Knight, G. B., Ricard, J. L.: COSMOS 954, The Occurrence and Nature of Recovered Debris. Atomic Energy Control Board, INFO-0006, Mai 1980.
- /IAEA 94/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Convention on Nuclear Safety. Information Circular, INFCIRC/449, 5. Juli 1994.
- /IAEA 03/ IAEA: Security of radioactive sources, Proceedings of an international conference held in Vienna, Austria, 10-13 March 2003, organized by the International Atomic Energy Agency. International Atomic Energy Agency, Proceedings series, 617 S., ISBN 9201074034, The Agency: Vienna, 2003.
- /IAEA 11/ International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, General Safety Guide. IAEA Safety Standards Series, No. GSG-2: Vienna, 2011.

- /IAEA 13a/ International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency in Light of Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. 69 S., 2013.
- /IAEA 13b/ International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): IAEA Response and Assistance Network. Emergency Preparedness and Response, EPR RANET: Vienna, September 2013.
- /IAEA 15a/ International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, General Safety Requirements. IAEA Safety Standards Series, No. GSR Part 7: Vienna, 2015.
- /IAEA 15b/ Kaiser, P.: Easier Information Exchange Strengthens Emergency Response. Hrsg.: International Atomic Energy Agency (IAEA), 6 S., Stand vom 24. Februar 2015, erreichbar unter <https://www.iaea.org/newscenter/news/easier-information-exchange-strengthens-emergency-response>, abgerufen am 21. September 2016.
- /IAEA 15c/ Meschenmoser, P.: IAEA Launches Self-Assessment Tool for Emergency Preparedness. Hrsg.: International Atomic Energy Agency (IAEA), 5 S., Stand vom 10. März 2016, erreichbar unter <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-launches-self-assessment-tool-emergency-preparedness>, abgerufen am 21. September 2016.
- /IAEA 16a/ International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): About NEWS. 1 S., erreichbar unter <https://www-news.iaea.org/AboutNews.aspx>, abgerufen am 30. November 2016.
- /IAEA 16b/ Harvey, S.: Visualising Data for Emergency Response: IAEA Launches International Radiation Mapping System. Hrsg.: International Atomic Energy Agency (IAEA), 5 S., Stand vom 25. Juni 2016, erreichbar unter <https://www.iaea.org/newscenter/news/visualising-data-for-emergency-response-iaea-launches-international-radiation-mapping-system>, abgerufen am 21. September 2016.

- /IAEA 16c/ International Atomic Energy Agency (IAEA) (Hrsg.): Research Reactor Section, Databases and Resources. Stand vom 14 Jun, 2016, erreichbar unter <https://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical-Areas/RRS/databases.html>, abgerufen am 5. Juni 2018.
- /IAEA 18a/ International Atomic Energy Agency: Arrangements for the termination of a nuclear or radiological emergency, Jointly sponsored by the Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Atomic Energy Agency, International Civil Aviation Organization, International Labour Office, International Maritime Organization, Interpol, OECD Nuclear Energy Agency, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, World Health Organization, World Meteorological Organization. IAEA safety standards series General safety guide, no. GSG-11, 189 Seiten, ISBN 978-92-0-108017-2, IAEA: Vienna, 2018.
- /IAEA 18b/ IAEA: PRIS Power Reactor Information System, What is PRIS. erreichbar unter <https://www.iaea.org/PRIS/About.aspx>, abgerufen am 10. April 2018.
- /IAEA 18c/ IAEA (Hrsg.): Incident and Trafficking Database. Wien, Österreich, erreichbar unter <https://www.iaea.org/resources/databases/itdb>, abgerufen am 8. August 2018.
- /ICAO 18/ International Civil Aviation Organization (ICAO): ADERP. erreichbar unter <https://www.icao.int/safety/Reporting/Pages/default.aspx>.
- /ICRP 07/ International Commission on Radiological Protection (ICRP): The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103. Annals of the ICRP, Bd. 37, 2-4, S. 1–332, DOI 10.1016/j.icrp.2007.10.003, 2007.
- /ICRP 09/ International Commission on Radiological Protection (ICRP): Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations, ICRP Publication 109, Approved by the Commission in October 2008. Annals of the ICRP, Bd. 39, Nr. 1, 2009.

- /ICW 18/ International Centre for Water Resources and Global Change (ICWRGC): The global water quality database GEMStat. erreichbar unter <http://gem-stat.org/about/>, abgerufen am 5. April 2018.
- /IMO 18/ International Maritime Organization (IMO): Global Integrated Shipping Information System GISIS. erreichbar unter <https://gisis.imo.org/Public/Default.aspx>, abgerufen am 10. April 2018.
- /INT 09/ International Measurement Confederation, IMEKO world congress: Fundamental and applied metrology, IMEKO XIX world congress, September 6 - 11, 2009, Lisbon, Portugal ; proceedings. 1 S., ISBN 978-963-88410-0-1, IMEKO: Budapest, 2009.
- /LfULG 18/ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (Hrsg.): Sanierung. erreichbar unter <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/2367.htm>, abgerufen am 20. April 2018.
- /LÖF 08/ Löffler, H., Cester, F., Sonnenkalb, M., Klein-Hessling, W., Voggenberger, T.: Erhöhung der Zuverlässigkeit der RODOS-Ergebnisse für eine SWR-Anlage. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3455: Köln, Oktober 2008.
- /MAI 18/ mainis IT-Service GmbH: Über IVENA eHealth. erreichbar unter <http://www.ivena.de/page.php?view=&lang=1&si=5ad481f129a77&k1=main&k2=ueber&k3=&k4=>, abgerufen am 16. April 2018.
- /MAR 83/ Marshall, W., Billington, D. E., Cameron, R. F., Curl, S. J.: Big nuclear accidents. [1 volume], ISBN 0705808777, UKAEA Atomic Energy Research Establishment: Harwell, 1983.
- /MÜN 16/ München Live TV Fernsehen GmbH & Co.KG (Hrsg.): Verkehrsunfall mit radioaktivem Transportgut. 7 S., Stand vom 14. Januar 2016, erreichbar unter <https://www.muenchen.tv/verkehrsunfall-mit-radioaktivem-transportgut-146900/>, abgerufen am 4. April 2018.

- /NAT 97/ Nathwani, J. S., Lind, N. C., Pandey, M. D.: Affordable safety by choice, The life quality method. XV, 230 Seiten ;, ISBN 0-9696747-9-1, University of Waterloo, Institute for Risk Research: Waterloo, Ontario, 1997.
- /NATO 17/ North Atlantic Treaty Organization (NATO): Euro-Atlantic Disaster Response Coordination Centre (EADRCC). Stand vom 12. September 2017, erreichbar unter https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_117757.htm, abgerufen am 16. April 2018.
- /NDJ 12/ The National Diet of Japan (NDJ): Chapter 4, Overview of the damage and how it spread. In: The National Diet of Japan (NDJ), The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission (NAIIC): The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, Main report. 2012.
- /PAN 03/ Pandey, M. D., Nathwani, J. S.: A conceptual approach to the estimation of societal willingness-to-pay for nuclear safety programs. Nuclear Engineering and Design, Bd. 224, Nr. 1, S. 65–77, DOI 10.1016/S0029-5493(03)00062-1, 2003.
- /PHE 19/ Public Health England (PHE): Public Health Protection in Radiation Emergencies. Mai 2019.
- /REP 19/ Republik Österreich (Hrsg.): Eighth National Report under the Convention on Nuclear Safety- Austria. Juli 2019.
- /SAU 18/ Sauer, F., Sauer, F. H.: Hrsg.: DA VINCI 3000 GmbH, Stand vom 24. Februar 2018, erreichbar unter <https://www.wertesysteme.de/akzeptanz/>, abgerufen am 6. September 2019.
- /SOG 15/ Sogalla, M., Büttner, U., Schnadt, H.: Generalisierte Konzepte für Maßnahmen bei nuklearen und radiologischen Notfällen. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, GRS-370, 121 S., ISBN 978-3-944161-51-8: Köln, 2015.

- /SSK 94/ Strahlenschutzkommission (SSK): Strahlenschutzüberlegungen zum Messen und Bergen von radioaktiven Satellitenbruchstücken. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 26, XII, 160 S., ISBN 3-437-11629-0, Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, 1994.
- /SSK 07/ Strahlenschutzkommission (SSK): Medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen, Leitfaden für ärztliche Berater der Katastrophenschutzleitung, Ärzte in Notfallstationen, Ärzte in der ambulanten und stationären Betreuung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 04, 3. Aufl., VII, 67 S, ISBN 978-3-87344-131-6, Hoffmann: Berlin, 2007.
- /SSK 10/ Strahlenschutzkommission (SSK) (Hrsg.): Übersicht über Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenexposition nach Ereignissen mit nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen (Maßnahmenkatalog), Teil 2: Hintergrundinformationen, Theorie und Anwendungsbeispiele, Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heft 60 Teil 2: Bonn, 2010.
- /SSK 14a/ Strahlenschutzkommission (SSK) (Hrsg.): Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden, Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Februar 2014.
- /SSK 14b/ Strahlenschutzkommission (SSK) (Hrsg.): Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken, Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Februar 2014.
- /SSK 15/ Strahlenschutzkommission (SSK): Abgeleitete Richtwerte für Maßnahmen zum Schutz von Personen bei Kontaminationen der Umwelt mit Alpha- und Betastrahlern. 2015.
- /THO 06a/ Thomas, P., Stupples, D.: J-Value/A Universal Scale for Health and Safety Spending. Measurement and Control, Bd. 39, Nr. 9, S. 273–276, DOI 10.1177/002029400603900902, 2006.

- /THO 06b/ Thomas, P. J., Stupples, D. W., Alghaffar, M. A.: The Life Extension Achieved by Eliminating a Prolonged Radiation Exposure. *Process Safety and Environmental Protection*, Bd. 84, Nr. 5, S. 344–354, DOI 10.1205/psep05007, 2006.
- /THO 06c/ Thomas, P. J., Stupples, D. W., Alghaffar, M. A.: The Extent of Regulatory Consensus on Health and Safety Expenditure. *Process Safety and Environmental Protection*, Bd. 84, Nr. 5, S. 329–336, DOI 10.1205/psep05005, 2006.
- /THO 16/ Thomas, P. J.: Measuring risk-aversion: The challenge. *Measurement*, Bd. 79, S. 285–301, DOI 10.1016/j.measurement.2015.07.056, 2016.
- /THO 17/ Thomas, P. J., Waddington, I.: Validating the J-value safety assessment tool against pan-national data. *Process Safety and Environmental Protection*, Bd. 112, S. 179–197, DOI 10.1016/j.psep.2017.08.034, 2017.
- /THW 18/ Bundesanstalt Technisches Hilfswerk THW: Das deutsche Notfallvorsorge-Informationssystem - deNIS. erreichbar unter <https://www.thw.de/Shared-Docs/Standardartikel/THW-LV-HBNI/DE/Landesverband/Partner/Dokumente/denis.html>, abgerufen am 9. April 2018.
- /UMW 19/ Umweltministerium Schweden: Sweden's Eighth National Report under the Convention on Nuclear Safety, Sweden's Implementation of the Obligations of the Convention. Stockholm, erreichbar unter , Stand von 2019.
- /UN 18a/ United Nations (UN): United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. erreichbar unter <http://www.unocha.org/about-us>, abgerufen am 20. April 2018.
- /UN 18b/ United Nations (UN): Food and Agriculture Organization of the United Nations. Stand von 2018, erreichbar unter <http://www.fao.org/countryprofiles/data-sources/en/>, 2018.

- /UNS 14/ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR): Sources, effects and risks of ionizing radiation, UNSCEAR 2013 Report, Volume I: Report to the General Assembly, Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami. ISBN 978-92-1-142291-7, United Nations: New York, 2014.
- /VOG 11/ Vogt, H.-G., Schultz, H. (Hrsg.): Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes. 6. Aufl., Online-Ressource, ISBN 3446425934, Hanser Verlag: München, 2011.
- /WAD 17a/ Waddington, I., Thomas, P. J., Taylor, R. H., Vaughan, G. J.: J-value assessment of remediation measures following the Chernobyl and Fukushima Daiichi nuclear power plant accidents. *Process Safety and Environmental Protection*, Bd. 112, S. 50–62, DOI 10.1016/j.psep.2017.07.003, 2017.
- /WAD 17b/ Waddington, I., Thomas, P. J., Taylor, R. H., Vaughan, G. J.: J-value assessment of relocation measures following the nuclear power plant accidents at Chernobyl and Fukushima Daiichi. *Process Safety and Environmental Protection*, Bd. 112, S. 16–49, DOI 10.1016/j.psep.2017.03.012, 2017.
- /WHO 12/ World Health Organization (WHO): Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami. ISBN 9789241503662, World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2012.
- /WSV 18/ Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV): ELWIS. Stand vom 9. April 2018, erreichbar unter <https://www.elwis.de/DE/Startseite/Startseite-node.html>, abgerufen am 20. April 2018.
- /YAB 16/ Yabe H, Suzuki Y, Mashiko H, Nakayama Y, Hisata M, Niwa S, Yasumura S, Yamashita S, Kamiya K, Abe M: Psychological distress after the Great East Japan Earthquake and Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: results of a mental health and lifestyle survey through the Fukushima Health Management Survey in FY2011 and FY2012. *Fukushima journal of medical science*, Nr. 60, S. 57–67, 2016.

- /YUM 17/ Yumashev, D., Johnson, P., Thomas, P. J.: Economically optimal strategies for medium-term recovery after a major nuclear reactor accident. *Process Safety and Environmental Protection*, Bd. 112, S. 63–76, DOI 10.1016/j.psep.2017.08.022, 2017.
- /ZYP 19/ Republik Zypern (Hrsg.): National Report of the Republic of Cyprus on the implementation of the obligations under the Convention on Nuclear Safety submitted for the purposes of the 8th Review Meeting of the Convention Vienna, Austria, 23 March – 3 April 2020. Nicosia, Cyprus, August 2019.

**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

ISBN 978-3-947685-66-0