



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

**Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung
von Kernkraftwerken**

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 268. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 13./14. Februar 2014

Inhaltsverzeichnis

Empfehlung	3
1 Einleitung.....	3
2 Hintergrund.....	3
3 Empfehlungen der SSK	3
4 Literatur	6
Wissenschaftliche Begründung	7
1 Einleitung.....	7
2 Überprüfung des Regelwerkes für den deutschen nuklearen Notfallschutz	7
3 Ausgangssituation	8
4 Erkenntnisse aus dem Unfall in Fukushima.....	9
5 Radiologische Schutzziele der Notfallschutzplanung	10
6 Grundlagen zur Festlegung von Planungsgebieten.....	10
6.1 Unfallspektrum	10
6.2 Konzept und radiologische Kriterien.....	11
7 Weitere Randbedingungen und Kriterien.....	14
7.1 Priorität der Umsetzung sicherstellen.....	14
7.2 Wirksamkeit der Maßnahmen sicherstellen.....	14
7.3 Berücksichtigung standortspezifischer Gegebenheiten	15
7.4 Nachvollziehbarkeit und Qualität von Planungen	15
7.5 Harmonisierung innerhalb Europas und weltweit	15
8 Methode zur Ermittlung der Planungsgebiete.....	16
8.1 Referenzquellterm	16
8.2 RODOS-Rechnungen.....	19
8.3 Auswerteverfahren	21
9 Ergebnisse der Berechnungen	22
10 Planungsgebiete im Kontext internationaler Entwicklungen	22
11 Literatur	23

I Empfehlung

1 Einleitung

Am 11. März 2011 erschütterte ein Erdbeben der Stärke 9,0 den Norden Japans. Das Beben löste einen Tsunami aus, der mit bis zu 15 m hohen Flutwellen die Küstenregion verwüstete. Von den Folgen des Erdbebens und des Tsunamis war auch das Kernkraftwerk Fukushima Dai-ichi betroffen, dort kam es zu einem sehr schweren Reaktorunfall, dessen radiologische Auswirkungen weitreichende Maßnahmen zum Schutz der betroffenen Bevölkerung notwendig machten.

Ausgehend von den in Zusammenhang mit dem Unfall in Japan gewonnenen Erkenntnissen hat die SSK die fachlichen Grundlagen für den Notfallschutz in Deutschland und das dazugehörige Regelwerk einer Überprüfung unterzogen. Dabei wurde die Festlegung des für die Notfallplanung zugrundeliegenden Unfallspektrums stärker an den potenziellen Auswirkungen als an der berechneten Eintrittswahrscheinlichkeit von Unfällen orientiert. Im Zuge dieser Überprüfung hat sich ergeben, dass eine Änderung der Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken notwendig ist.

2 Hintergrund

Die Gefahrenabwehr durch den Katastrophenschutz ist nach Artikel 70 des Grundgesetzes Aufgabe der Länder, die hierzu Katastrophenschutzgesetze erlassen haben. Auf der Basis dieser Gesetze erstellen die zuständigen Behörden allgemeine Katastrophenschutzpläne. Für die Umgebung von Kernkraftwerken sind – wie auch für andere Anlagen und Einrichtungen mit besonderem Gefährdungspotenzial – zusätzlich besondere Katastrophenschutzpläne zu erstellen.

Mit den Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (BMU 2008) soll erreicht werden, dass bei der besonderen Katastrophenschutzplanung im gesamten Bundesgebiet soweit wie möglich nach gleichen Grundsätzen verfahren wird. Teil der Rahmenempfehlungen ist die Festlegung von Planungsgebieten. Die Radiologischen Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden (SSK 2014) geben die radiologisch-fachliche Basis für diese besondere Planung.

Mit dieser Empfehlung werden geänderte Planungsgebiete für den Notfallschutz in Deutschland empfohlen. Da Art und Größe der Planungsgebiete eine wichtige Grundlage für die zum Schutz der Bevölkerung vorzusehenden Maßnahmen und Maßnahmenstrategien bilden, wurde die Empfehlung vorab als Grundlage für die anstehende Überarbeitung der Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz erarbeitet.

Die Empfehlung versteht sich als Grundlage für die besondere Katastrophenschutzplanung für deutsche Kernkraftwerke und solche ausländische Anlagen, die wegen ihrer grenznahen Lage besondere Planungsmaßnahmen im Sinne der Rahmenempfehlungen erfordern.

3 Empfehlungen der SSK

In den Planungsgebieten sind Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vorzubereiten, die in einem konkreten Notfall in Abhängigkeit von der Lage als Teil einer Maßnahmenstrategie zum

Einsatz kommen können. Die Strahlenschutzkommission empfiehlt, künftig die folgenden Planungsgebiete festzulegen:

– **Planungsgebiet „Zentralzone“**

Die Zentralzone ist ein Planungsgebiet, in dem die nach (BMU 2008) vorgesehenen Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung insbesondere „Aufenthalt in Gebäuden“, Verteilung und „Einnahme von Iodtabletten“ sowie „Evakuierung“ vorzubereiten sind. Die Zentralzone erstreckt sich bei Kernkraftwerken im Leistungsbetrieb bis zu einer Entfernung von etwa 5 km von der Anlage.

Örtliche Gegebenheiten wie Geländestruktur, Besiedlungsverhältnisse und Verwaltungsstrukturen sind bei der Festlegung des Planungsgebietes zu berücksichtigen.

Maßnahmen in der Zentralzone sind wegen der Nähe zur kerntechnischen Anlage besonders dringlich und werden unabhängig von der Ausbreitungsrichtung radioaktiver Stoffe durchgeführt.

Für die Zentralzone sollen die Maßnahmen so vorbereitet werden, dass sie möglichst vor dem Beginn einer unfallbedingten Freisetzung durchgeführt werden können.

Die Evakuierung der gesamten Bevölkerung aus der Zentralzone soll daher innerhalb von etwa 6 Stunden nach der Alarmierung der zuständigen Behörden abgeschlossen sein können.

Die Maßnahmen zur Vorbereitung der Iodblockade, d. h. die Verteilung der Iodtabletten an alle Personen, für die eine Iodblockade vorzusehen ist, sollen im selben Zeitraum abgeschlossen werden können.

– **Planungsgebiet „Mittelzone“**

Die Mittelzone umschließt die Zentralzone; bei Kernkraftwerken im Leistungsbetrieb beträgt der äußere Abstand von der kerntechnischen Anlage etwa 20 km.

Örtliche Gegebenheiten wie Geländestruktur, Besiedlungsverhältnisse und Verwaltungsstrukturen sind bei der Festlegung des Planungsgebietes zu berücksichtigen.

Für dieses Gebiet sind wie auch für die Zentralzone Maßnahmen zur Abwehr akuter Gefahren für Leben und Gesundheit der Bevölkerung vorzubereiten. Sie umfassen insbesondere die Maßnahmen „Aufenthalt in Gebäuden“, Verteilung und „Einnahme von Iodtabletten“ sowie „Evakuierung“. Maßnahmen in der Mittelzone können in Abhängigkeit von der prognostizierten bzw. der festgestellten Ausbreitungsrichtung radioaktiver Stoffe durchgeführt werden, sofern ausreichende Informationen zur Beurteilung der radiologischen Lage vorliegen.

Die Evakuierung ist so zu planen, dass sie in der Mittelzone innerhalb von 24 Stunden nach der Alarmierung der zuständigen Behörden abgeschlossen werden kann. Die Voraussetzungen für die Durchführung der Iodblockade, d. h. die Verteilung der Iodtabletten an alle Personen, für die eine Iodblockade vorzusehen ist, sollen innerhalb von 12 Stunden geschaffen werden können.

Die bisherige Sektoreneinteilung (12 Sektoren zu je 30 Grad, Sektor 1 in Nordrichtung) kann beibehalten werden.

– **Planungsgebiet „Außenzone“**

Die Außenzone umschließt die Mittelzone. Die äußere Begrenzung dieses Planungsgebietes liegt für Kernkraftwerke im Leistungsbetrieb etwa 100 km von der kerntechnischen Anlage entfernt.

Örtliche Gegebenheiten wie Geländestruktur, Besiedlungsverhältnisse und Verwaltungsstrukturen sind bei der Festlegung des Planungsgebietes zu berücksichtigen.

In diesem Planungsgebiet sollen Maßnahmen zur Ermittlung und Überwachung der radiologischen Lage vorbereitet werden, die es ermöglichen, die Notwendigkeit für weitere Maßnahmen festzustellen. Neben den Messprogrammen zur Ermittlung der radiologischen Lage sind die Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ und die Verteilung von Iodtabletten an alle Personen, für die eine Iodblockade vorzusehen ist und die Warnung der Bevölkerung vor dem Verzehr frisch geernteter Lebensmittel vorzubereiten. Maßnahmen in der Außenzone werden im Allgemeinen in Abhängigkeit von der prognostizierten oder durch Messungen bestimmten Ausbreitungsrichtung radioaktiver Stoffe durchgeführt.

Die bisherige Sektoreneinteilung (12 Sektoren zu je 30 Grad, Sektor 1 in Nordrichtung) kann beibehalten werden.

– **Gesamtes Staatsgebiet der Bundesrepublik Deutschland**

Für das gesamte Gebiet der Bundesrepublik Deutschland sollen durch konkrete Planungen der zuständigen Behörden folgende Maßnahmen vorbereitet sein:

- die Durchführung von Maßnahmen entsprechend dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG), insbesondere die Durchführung von Messprogrammen zur Ermittlung der radiologischen Lage.
- die Versorgung von Kindern und Jugendlichen unter 18 Jahren sowie Schwangeren mit Iodtabletten zur Herstellung einer Iodblockade. Sind Gebiete Teil der Zentral- oder Mittelzone, so finden die für diese Gebiete geltenden Regelungen zur Vorbereitung der Iodblockade Anwendung.

Die SSK empfiehlt, die geänderten Planungsgebiete in die besondere Katastrophenschutzplanung für Kernkraftwerke im Leistungsbetrieb aufzunehmen.

Sollten sich in der Zukunft Randbedingungen verändern oder erweitern, die für die Festlegung von Planungsgebieten relevant sein können, wie z. B. Eingreifrichtwerte, Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Strahlenexposition oder zu berücksichtigende Faktoren, die sich aus der Harmonisierung der Planung in Deutschland mit der in Nachbarstaaten ergeben haben, ist eine Überprüfung der Planungsgebiete durchzuführen.

4 Literatur

- BMU 2008 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, GMBI. 2008 Nr. 62/63; S. 1278
- SSK 2014 Strahlenschutzkommission. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden, Empfehlung verabschiedet in der 268. Sitzung der SSK am 13./14. Februar 2014

Wissenschaftliche Begründung

1 Einleitung

Am 11. März 2011 erschütterte ein Erdbeben der Stärke 9,0 den Norden Japans. Das Epizentrum des Bebens lag ca. 130 km vor der Ostküste des nördlichen Teils der Hauptinsel Honshu. Das Erdbeben löste einen Tsunami aus, der ca. eine Stunde später mit mehreren bis zu 15 m hohen Flutwellen die küstennahen Gebiete verwüstete.

Ausgelöst durch die Katastrophe kam es am Standort Fukushima Dai-ichi, an dem sechs Kraftwerksblöcke mit Leichtwasserreaktoren betrieben wurden, zu einem schweren kerntechnischen Unfall, der von der japanischen Regierung später in die Stufe 7 der internationalen Bewertungsskala für kerntechnische Unfälle (INES 7) eingeordnet wurde.

Von dem Unfall waren die Blöcke 1 bis 4 des Standortes betroffen. In den Blöcken 1, 2 und 3 wurden infolge des Ausfalls der externen Stromversorgung und der internen Notstromversorgung und des Ausfalls der Wärmeabfuhr die Reaktorkerne zerstört. Außerdem war in den Nasslagern, vor allem im Block 4, in dem aufgrund von Wartungsarbeiten zum Zeitpunkt des Unfalls der gesamte Reaktorkern zwischengelagert war, die Kühlwasserversorgung unterbrochen und damit die Integrität der Brennelemente gefährdet.

Infolge der eingetretenen Schäden in den Blöcken 1 bis 3 kam es über einen Zeitraum von mehr als einer Woche zu erheblichen Freisetzungen radioaktiver Stoffe in die Umgebung. Obwohl während der Hauptfreisetzungsphase Wetterbedingungen vorherrschten, die eine Ausbreitung der radioaktiven Stoffe in Richtung des Meeres begünstigten, waren weitreichende Maßnahmen zum Schutz der betroffenen Bevölkerung notwendig.

Mit der Empfehlung „Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken“ schlägt die Strahlenschutzkommission (SSK) ausgehend von den in Zusammenhang mit dem Reaktorunfall in Japan gemachten Erfahrungen und auf der Basis der überarbeiteten Radiologischen Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden (SSK 2014) geänderte Planungsgebiete für den Notfallschutz in Deutschland vor.

2 Überprüfung des Regelwerkes für den deutschen nuklearen Notfallschutz

Die in Japan ergriffenen Maßnahmen sowie die daraufhin gesammelten Erfahrungen und gewonnenen Erkenntnisse wurden weltweit aufmerksam verfolgt. Sie haben auch in Deutschland dazu geführt, dass die für den nuklearen Notfallschutz zuständigen Behörden des Bundes und der Länder umgehend eine Überprüfung der eigenen Vorkehrungen initiiert haben.

Im Juni 2011 beauftragte das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) die Strahlenschutzkommission, das fachliche Regelwerk zum nuklearen Notfallschutz vor dem Hintergrund des Unfalls zu überprüfen.

Der Überprüfungsauftrag umfasste die folgenden Fragestellungen:

- Entsprechen die im Regelwerk enthaltenen Forderungen oder Kriterien im Lichte der Ereignisse noch dem Stand von Wissenschaft und Technik?
- Bedürfen Einzelregelungen einer Anpassung oder Ergänzung?
- Bestehen Lücken im Regelwerk, die durch den Reaktorunfall selbst oder durch die Kombination von Naturkatastrophen erkennbar geworden sind?

- Sind zusätzliche neue Regelungen oder Regelungsentwürfe internationaler Organisationen (EU, IAEA, WHO) mit einzubeziehen, wenn ja, welche?

Die im Folgenden aufgeführten Unterlagen, die die fachliche Grundlage für den deutschen nuklearen Notfallschutz bilden, sollten einer besonderen Überprüfung unterzogen werden:

- Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden (SSK 2009)¹,
- Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (BMU 2008),
- Leitfaden zur Information der Öffentlichkeit bei kerntechnischen Notfällen (SSK 2008),
- Kriterien für die Alarmierung der Katastrophenschutzbehörde durch die Betreiber kerntechnischer Einrichtungen (RSK/SSK 2004)² und
- Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken (RSK/SSK 2010).

Das fachliche Regelwerk für den Notfallschutz wird in Deutschland regelmäßig und auch anlassbezogen überprüft und aktualisiert. Zum Zeitpunkt des Reaktorunfalls in Japan entsprach das Regelwerk daher dem Stand von Wissenschaft und Technik, wobei die Einbeziehung neuer Empfehlungen der ICRP (ICRP 2007) in die Radiologischen Grundlagen bereits in Bearbeitung war.

Die SSK hat sich eingehend mit den in Japan gewonnenen Erkenntnissen befasst, hat die zum Thema „Lessons Learned“ weltweit veröffentlichten Analysen diskutiert und geprüft, welche der in den Analysen erarbeiteten Erkenntnisse für den Notfallschutz in Deutschland von Bedeutung sein können. Daneben hat die SSK den nach dem Reaktorunfall begonnenen Prozess der Veränderung des internationalen Regelwerks beobachtet und die Ergebnisse der Veränderung in die Überprüfung einbezogen. Die Analyse der in Japan gemachten Erfahrungen ergab, dass unter anderem eine Überprüfung der Planungsgebiete notwendig ist.

Mit der Empfehlung „Planungsgebiete“ werden geänderte Planungsgebiete für den Notfallschutz in Deutschland empfohlen. Da Art und Größe der Planungsgebiete eine wichtige Grundlage für die zum Schutz der Bevölkerung vorzusehenden Maßnahmen und Maßnahmenstrategien bilden, wurde die Empfehlung vorab als Grundlage für die Überarbeitung der Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz (BMU 2008) erarbeitet. Eine von der SSK eingesetzte Arbeitsgruppe wurde dabei durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) sowie die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) unterstützt und stimmte sich eng mit der länderoffenen Arbeitsgruppe „Fukushima“ der Ständigen Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder (IMK) ab.

3 Ausgangssituation

Die Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken sind in den Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (BMU 2008) festgelegt. Die Rahmenempfehlungen wurden zuletzt im Jahr 2008 dem Stand von Wissenschaft und Technik angepasst. Sie finden Anwendung auf deutsche kerntechnische Anlagen und solche ausländische Anlagen, die wegen ihrer grenznahen Lage Planungen auf deutschem Gebiet erfordern.

¹ Überarbeitete Fassung aus 2014 (SSK 2014)

² Überarbeitete Fassung aus 2013 (RSK/SSK 2013)

Planungsgebiete sind Bereiche in der Umgebung der kerntechnischen Anlage, in denen besondere Schutzmaßnahmen vorbereitet werden müssen. Sie werden in den Rahmenempfehlungen als „Planungszonen“ bezeichnet, wobei zwischen Zentralzone, Mittelzone, Außenzone und Fernzone unterschieden wird.

Tab. 1: Planungszonen gemäß den Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (BMU 2008)

Zentralzone	Die Zentralzone ist eine Planungszone, in der alle Alarmmaßnahmen 2 (Alarmmaßnahmen 2 dienen der Abwehr akuter Gefahren für Leben und Gesundheit der Bevölkerung und umfassen insbesondere Maßnahmen wie „Aufenthalt in Gebäuden“, „Verteilung und Einnahme von Iodtabletten“ sowie „Evakuierung“) vorzubereiten sind. Sie hat bei Kernkraftwerken einen Radius von etwa 2 km. Maßnahmen in der Zentralzone sind wegen der Nähe zur betroffenen Anlage besonders dringlich und werden im Allgemeinen unabhängig von der Ausbreitungsrichtung durchgeführt.
Mittelzone	Die Mittelzone ist eine kreisringförmige Planungszone, in der alle Alarmmaßnahmen 2 vorzubereiten sind. Sie hat bei Kernkraftwerken einen inneren Radius von etwa 2 km und einen Außenradius von etwa 10 km. Maßnahmen in der Mittelzone werden im Allgemeinen in Abhängigkeit von der Ausbreitungsrichtung (orientiert an Sektoren) durchgeführt.
Außenzone	Die Außenzone ist eine kreisringförmige Planungszone, in der neben Messungen zur Ermittlung der radiologischen Lage die Ausgabe von Iodtabletten an alle Personen bis 45 Jahre sowie die Warnung der Bevölkerung vor dem Verzehr frisch geernteter Lebensmittel vorzubereiten ist. Sie hat bei Kernkraftwerken einen inneren Radius von etwa 10 km und einen Außenradius von etwa 25 km. Maßnahmen in der Außenzone werden im Allgemeinen in Abhängigkeit von der Ausbreitungsrichtung (orientiert an Sektoren) durchgeführt.
Fernzone	Die Fernzone ist eine kreisringförmige Planungszone, in der die Ausgabe von Iodtabletten an Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren sowie Schwangere und die Warnung der Bevölkerung vor dem Verzehr frisch geernteter Lebensmittel vorzubereiten ist. Sie hat bei Kernkraftwerken einen inneren Radius von etwa 25 km und einen Außenradius von etwa 100 km; sie kann ggf. im Hinblick auf die Verteilungsorganisation von Iodtabletten unterteilt werden. Maßnahmen in der Fernzone werden in Abhängigkeit von der Ausbreitungsrichtung (orientiert an Sektoren) durchgeführt.

Für alle Zonen außer der Zentralzone ist eine Einteilung in Sektoren vorgeschrieben.

Vorrangiges Ziel der Planungen ist es, Gesundheitsschäden durch Auswirkungen eines kerntechnischen Unfalls auf die Bevölkerung zu verhindern oder zu begrenzen (BMU 2008).

4 Erkenntnisse aus dem Unfall in Fukushima

Der Unfall in Fukushima ergab insbesondere in Bezug auf den zeitlichen Ablauf und die durch Kontamination beaufschlagte Fläche Anlass, die Übertragbarkeit dieser Ereignisse und damit mögliche Auswirkungen auf die Gegebenheiten in Deutschland zu untersuchen.

Nach Eintritt des Unfalls wurden in den ersten Tagen große Gebiete bis zu einer Entfernung von 20 km vom Kraftwerksstandort evakuiert, in einem Gebiet bis zu 30 km Entfernung wurden die Menschen aufgefordert, in ihren Häusern zu bleiben. Später wurden auf der Basis von Untersuchungen der Kontamination die Bewohner weiterer Gebiete aufgefordert, diese zu verlassen.

Das Gebiet, in dem unmittelbar nach dem Unfalleintritt Schutzmaßnahmen, insbesondere „Evakuierung“, durchgeführt wurden, ist damit erheblich größer als die entsprechenden bisherigen Planungszonen in Deutschland.

Aus diesen Erkenntnissen war abzuleiten, dass Art und Größe der Planungsgebiete einer Überprüfung bedürfen.

5 Radiologische Schutzziele der Notfallschutzplanung

Die radiologischen Schutzziele der Planung sind in den Radiologischen Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden (SSK 2014) festgelegt. Die Radiologischen Grundlagen basieren auf dem strahlenbiologischen und strahlenepidemiologischen Wissen, besonders hinsichtlich der Dosis-Risiko- und Dosis-Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte. Gemeinsames Ziel der Maßnahmen des Notfallschutzes ist nach (SSK 2014) das Reduzieren der Strahlenexposition des Menschen. Dabei sollen schwerwiegende deterministische Effekte vermieden werden durch Maßnahmen zur Beschränkung der individuellen Strahlendosis auf Werte unterhalb der Schwellendosen für diese Effekte. Nach (SSK 2014) versteht die ICRP unter schwerwiegenden deterministischen Effekten irreversible Erkrankungen, die direkt der Strahlenexposition zuzuordnen sind und schwere Beeinträchtigungen der Lebensqualität nach sich ziehen.

Neben der Vermeidung deterministischer Effekte soll das Risiko stochastischer Effekte für Einzelpersonen durch geeignete Maßnahmen herabgesetzt und hinreichend begrenzt werden.

Die Vermeidung schwerwiegender deterministischer Effekte und hoher Risiken stochastischer Effekte ist die Grundlage der Planung des Notfallschutzes in der Umgebung kerntechnischer Anlagen.

Die Planungsgebiete sind so zu bemessen, dass für das der Planung zugrunde gelegte Unfallspektrum die radiologischen Schutzziele erreicht werden können.

6 Grundlagen zur Festlegung von Planungsgebieten

6.1 Unfallspektrum

Die in Deutschland seit den 70er-Jahren vorgelegten Risikostudien und Unfallanalysen behandeln auch Unfälle, die in ihren Auswirkungen Unfällen der heutigen INES-Stufe 7 entsprechen. Das für deutsche Kernkraftwerke angenommene Spektrum an „INES-7-Unfällen“ wurde im Verlauf der letzten 40 Jahre entsprechend dem fortschreitenden Stand von Wissenschaft und Technik weiterentwickelt. Auch die neuesten Analysen (Löffler et al. 2010) beinhalten Unfälle, deren radiologische Folgen denen des Unfalls in Fukushima entsprechen. Insofern haben sich, was das Ausmaß von potenziellen Freisetzungen angeht, keine neuen Erkenntnisse aus dem Unfall in Fukushima ergeben. Die radiologischen Folgen des Unfalls in Japan sind mit den Ergebnissen von Analysen potenzieller schwerer Unfallabläufe in deutschen Kernkraftwerken somit vergleichbar.

Zwar wurden zur Festlegung von Planungsgebieten für den Katastrophenschutz und den Notfallschutz in Deutschland in der Vergangenheit auch die Ergebnisse von Risikostudien und Unfallanalysen herangezogen. Die Folgen von Ereignissen, die heute der INES-7-Einstufung entsprechen, wurden wegen ihrer geringen Eintrittswahrscheinlichkeit allerdings nicht als Grundlage von Anforderungen an die besondere Katastrophenschutzplanung herangezogen, die

in der Umgebung von Kernkraftwerken zusätzlich zur allgemeinen Katastrophenschutzplanung notwendig ist.

Die Festlegung des für die Notfallplanung zugrundeliegenden Unfallspektrums sollte sich nach Auffassung der SSK künftig stärker an den potenziellen Auswirkungen als an der berechneten Eintrittswahrscheinlichkeit von Unfällen orientieren.

Aus der Sicht der SSK ist es daher notwendig, das der besonderen Planung zugrundeliegende Unfallspektrum zu erweitern und zukünftig auch Unfälle der INES-7-Einstufung, deren radiologische Auswirkungen denen des Unfalls am Standort Fukushima entsprechen, in die Planung des Notfallschutzes und damit auch in die Festlegung von Planungsgebieten aufzunehmen.

Die SSK hat daher in Zusammenarbeit und in Abstimmung mit den für diese Thematik zuständigen Stellen des BMU und der GRS einen Referenzunfall vorgeschlagen, der zukünftig die Grundlage für die Planung bilden soll.

6.2 Konzept und radiologische Kriterien

Die Gliederung des von einem unterstellten Unfall möglicherweise betroffenen Gebietes orientiert sich an den vorgegebenen Zielen und an den Anforderungen an eine effektive und effiziente Maßnahmenabwicklung.

Das Konzept für die Dimensionierung der Planungsgebiete verfolgt ausgehend von der Auswahl eines geeigneten Referenzunfalls mit dem dazugehörigen Referenzquellterm einen dosisbezogenen Ansatz, wobei in die Auswertung der berechneten Dosisverteilung zusätzliche Anforderungen und Randbedingungen wie z. B. das Sicherstellen der prioritären Umsetzung von Schutzmaßnahmen gewichtend einfließen.

Unter Zugrundelegung des Referenzquellterms wurden zur Dimensionierung der Planungsgebiete Ausbreitungsrechnungen durchgeführt. Ziel der Rechnungen war die Ermittlung von Entfernungen von der Anlage, bis zu denen in einem solchen Fall Schutzmaßnahmen durchgeführt werden müssten. Unter Beachtung der festgelegten Anforderungen und Randbedingungen wurden auf der Grundlage dieser Berechnungsergebnisse dann die Planungsgebiete festgelegt.

Als Kriterien für die Ermittlung der Gebiete, in denen Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung durchzuführen wären, wurden die Eingreifrichtwerte für die verschiedenen Schutzmaßnahmen herangezogen.

Eingreifrichtwerte sind nach (SSK 2014) Dosiswerte, die Personen unter bestimmten Annahmen zu Expositionsbedingungen erhalten oder erhalten könnten. Sie fungieren als radiologische Auslösekriterien für die jeweilige Schutzmaßnahme. Eingreifrichtwerte sind Planungswerte. Die Eingreifrichtwerte für Schutzmaßnahmen beziehen sich auf die effektive Dosis oder im Fall der Schilddrüse auf die Organdosis. Die jeweiligen Eingreifrichtwerte sind Dosiswerte, die weit unterhalb von Dosiswellen für deterministische Effekte liegen.

Eingreifrichtwerte sind in den Radiologischen Grundlagen (SSK 2014) für die in Tabelle 2 aufgeführten Schutzmaßnahmen festgelegt. Mit Hilfe der Eingreifrichtwerte und unter Berücksichtigung der weiteren bewertenden Faktoren werden die Gebiete ermittelt, in denen die Durchführung von Schutzmaßnahmen zu planen ist.

Tab. 2: Eingreifrichtwerte für die Maßnahmen „Aufenthalt in Gebäuden“, „Einnahme von Iodtabletten“ und „Evakuierung“

Maßnahme	Eingreifrichtwerte		
	Organdosis (Schilddrüse)	Effektive Dosis	Integrationszeiten und Expositionspfade
Aufenthalt in Gebäuden		10 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaliierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
Einnahme von Iodtabletten	50 mSv Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren und Schwangere; 250 mSv Personen von 18 bis 45 Jahren		Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliiertes Radiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
Evakuierung		100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaliierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien

Mit den o. g. Eingreifrichtwerten lassen sich grundsätzlich drei Planungsgebiete ermitteln:

Ein Gebiet, das unmittelbar an das Anlagengelände anschließt, in dem die Bevölkerung wegen der möglichen Überschreitung des „100 mSv-Kriteriums“ evakuiert werden sollte. Ein daran anschließendes Gebiet, in dem alle Personen, für die eine Iodblockade vorgesehen ist, wegen einer möglichen Überschreitung des jeweiligen Eingreifrichtwertes (Schilddrüsendosis) Iodtabletten einnehmen sollten und ein wiederum daran anschließendes Gebiet, in dem Kinder und Jugendliche bis unter 18 Jahren Iodtabletten einnehmen sollten, da ein Überschreiten einer Schilddrüsendosis von 50 mSv unter den gegebenen Randbedingungen möglich wäre.

Die potenzielle Strahlenexposition nimmt grundsätzlich mit zunehmender Entfernung von der Anlage ab. Menschen, die sich im Nahbereich der Anlage aufhalten, wären daher stärker von den radiologischen Auswirkungen eines unterstellten Unfalls betroffen, als Menschen, die ihren Aufenthaltsort in größeren Entfernungen von der Anlage haben. Um den Schutz der Menschen entsprechend des Ausmaßes der möglichen Betroffenheit zu optimieren, muss das Planungsgebiet, in dem die Evakuierung zu planen ist, noch weiter unterteilt werden.

Es ist zu beachten, dass es bei einem unterstellten Unfall der INES-Stufe 7 in einem unmittelbar an das Anlagengelände anschließenden Gebiet, wenn keine Schutzmaßnahmen durchgeführt werden, zu schwerwiegenden deterministischen Effekten und hohen Risiken für stochastische Effekte kommen könnte. Es ist daher notwendig, in diesem Bereich Schutzmaßnahmen vorzubereiten, die mit höchster Priorität sehr schnell möglichst vor dem Beginn der unfallbedingten Freisetzung durchgeführt und abgeschlossen werden können. Bei der Ermittlung des Planungsgebietes höchster Priorität standen damit zwei Aspekte im Vordergrund: die Vermeidung schwerwiegender deterministischer Effekte und die Gewährleistung einer prioritären und damit optimierten Umsetzung von Schutzmaßnahmen.

Bei der Ermittlung des Planungsgebietes höchster Priorität wurde untersucht, bis zu welcher Entfernung von der Anlage das Auftreten schwerwiegender deterministischer Effekte bei angenommenem Daueraufenthalt von Personen im Freien während 7 Tagen noch wahrscheinlich wäre. Als Kriterium für das mögliche Auftreten solcher Effekte wurde dabei

die Schwellendosis des jeweiligen deterministischen Effekts herangezogen. In (SSK 2014) werden verschiedene deterministische Effekte und deren Dosissschwellen ausführlich behandelt. Bei den dort jeweils aufgeführten Schwellendosen handelt es sich in der Regel um Werte, die bei 99% der exponierten Personen keine Effekte hervorrufen.

Aus (SSK 2014) lässt sich in Bezug auf schwerwiegende deterministische Effekte ableiten, dass eine kurzzeitige Strahlenexposition des roten Knochenmarks zu einer bedeutsamen Beeinträchtigung der Blutzell-Bildung führen kann, für die eine Dosissschwelle von 1000 mGy angegeben wird. Im Vergleich zu den in (SSK 2014) erörterten sonstigen schwerwiegenden deterministischen Effekten entspricht eine kurzzeitige Bestrahlung des blutbildenden roten Knochenmarks bei einer Schwellendosis von 1000 mGy der restriktivsten Kombination für Erwachsene und Kinder. Die erhöhte Strahlenempfindlichkeit während der vorgeburtlichen Entwicklung erfordert gemäß (SSK 2014) gesonderte Schwellendosen für besonders strahlenempfindliche Entwicklungsphasen von Geweben und Organen. Als restriktivste Bedingungen im Hinblick auf schwerwiegende deterministische Effekte und zugeordneten Schwellendosen ergibt sich dabei eine Schwellendosis von 100 mGy bei kurzzeitiger Ganzkörper-Exposition während der fetalen Entwicklungsphase von der 2. bis 7. Woche und eine Schwellendosis von 300 mGy für das Gehirn während der besonders strahlenempfindlichen Entwicklungsphase von der 8. bis 15. Schwangerschaftswoche.

Die folgende Tabelle fasst die Schwellenwerte für das Auftreten schwerwiegender deterministischer Effekte zusammen, die bei der Festlegung des Planungsgebietes höchster Priorität berücksichtigt wurden. Alle Schwellenwerte wurden den Radiologischen Grundlagen (SSK 2014) entnommen.

Tab. 3: Schwellenwerte für das Auftreten schwerwiegender deterministischer Effekte

Dosiskriterium	Personengruppe	Schwellenwert	Integrationszeiten und Expositionspfade
Dosis rotes Knochenmark	Erwachsene, Kleinkinder	1000 mGy	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
Effektive Dosis bzw. Uterusdosis*	Fetus 2. bis 7. Woche	100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum von der Mutter inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
Dosis des Gehirns	Fetus 8. bis 15. Woche	300 mGy	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum von der Mutter inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien

* Da es für die Organogenese keine Berechnungsmöglichkeiten für Organdosen beim Fetus gibt, wird als Ersatzdosis durch Inhalation der Mutter die effektive Dosis für den Fetus verwendet und für die externe Exposition die Uterusdosis der Mutter (ICRP 2001).

Neben den Schwellenwerten für schwerwiegende deterministische Effekte hat die SSK zur Ermittlung des Planungsgebietes höchster Priorität ein weiteres Kriterium eingeführt, dessen Wert auf 1000 mSv effektive Dosis festgelegt wurde. Die verwendeten Personengruppen,

Integrationszeiten und Expositionspfade entsprechen den Randbedingungen der Eingreifrichtwerte aus (SSK 2014). Mit diesem Kriterium wurde das Gebiet ermittelt, in dem mit sehr hoher Priorität Maßnahmen durchzuführen sind und in dem die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen besonders groß ist. Bei diesem Kriterium handelt es sich ähnlich wie bei den Schwellenwerten für das Auftreten schwerwiegender deterministischer Effekte ausschließlich um eine Planungsgröße, die als Hilfsmittel dazu dient, das Gebiet zu ermitteln, in dem unverzüglich unabhängig von der herrschenden Wetterlage im 360 Grad Umkreis Schutzmaßnahmen durchgeführt werden müssen. Mit diesem Kriterium wird die Anforderung umgesetzt, im Rahmen der Planung die prioritäre Umsetzung von Maßnahmen zu gewährleisten.

In einem tatsächlichen Notfall haben die hier erläuterten Planungskriterien für das Gebiet höchster Priorität keine Bedeutung, die Entscheidungen über Schutzmaßnahmen werden in allen Planungsgebieten nach (SSK 2014) auf der Basis der Eingreifrichtwerte getroffen.

7 Weitere Randbedingungen und Kriterien

7.1 Priorität der Umsetzung sicherstellen

Es ist notwendig, Planungsgebiete und die dazugehörigen Maßnahmen vorab festzulegen und zu planen, damit insbesondere dringend notwendige Maßnahmen ohne Zeitverzug im notwendigen Umfang umgesetzt werden können. Mit Hilfe von Planungsgebieten soll die prioritäre Umsetzung von Schutzmaßnahmen gewährleistet werden, d. h. die am meisten von den radiologischen Auswirkungen bedrohten oder betroffenen Menschen sollen vorrangig durch angemessene Maßnahmen geschützt werden können.

Die Umsetzung von Maßnahmen in Gebieten, in denen deterministische Effekte und hohe Dosen auftreten können, hat höchste Priorität. Es ist daher notwendig, ein Planungsgebiet höchster Priorität zu definieren, das unmittelbar an das Anlagengelände anschließt.

7.2 Wirksamkeit der Maßnahmen sicherstellen

Die Planungsgebiete einschließlich der vorgesehenen Maßnahmen sind so zu planen, dass Schutzmaßnahmen ihre bestmögliche Wirksamkeit entfalten können.

Dazu gehört, dass die Größe der einzelnen Planungsgebiete mit Blick auf die durchzuführenden Maßnahmen überschaubar sein muss. Werden Planungsgebiete sehr groß dimensioniert, dann besteht die Gefahr, dass die den radiologischen Belastungen angemessene Priorität nicht sichergestellt werden kann. Wählt man Gebiete für eine schnelle Evakuierung sehr groß, dann könnte die gleichzeitige Evakuierung einer großen Personenanzahl die Evakuierung der am stärksten gefährdeten Personen im Nahbereich der Anlage so behindern, dass die radiologischen Schutzziele nicht erreicht werden könnten. Nach (IAEA 2013) sollte die äußere Begrenzung der inneren Planungszone eine Entfernung von 5 km von der Anlage nicht überschreiten.

Planungsgebiete, für die Evakuierungen zur Begrenzung stochastischer Effekte geplant werden müssen, sollten nach (IAEA 2013) ihre äußere Abgrenzung im Bereich zwischen 15 km und 30 km von der Anlage haben. Die Evakuierung sollte schrittweise entsprechend der bestehenden und prognostizierten Lage und den herrschenden meteorologischen Bedingungen erfolgen, wobei die bestehenden Ressourcen optimiert eingesetzt werden sollten.

7.3 Berücksichtigung standortspezifischer Gegebenheiten

Grundsätzlich sind anlagenspezifische und regionale Gegebenheiten wie Bevölkerungsstruktur, Verkehrsverbindungen und regional zu unterstellende Probleme bei der Festlegung der Abmessungen und äußeren Begrenzungen von Planungsgebieten zu berücksichtigen. Allgemeingültige Daten für Planungsgebiete für alle Standorte können daher nicht festgelegt werden. Die von der SSK vorgeschlagenen Planungsgebiete gelten grundsätzlich nur für den Notfallschutz in Deutschland.

7.4 Nachvollziehbarkeit und Qualität von Planungen

Die Wirksamkeit von Maßnahmen des Notfallschutzes ist abhängig von den in einem konkreten Notfall getroffenen Entscheidungen zur Anwendung der Maßnahmen, aber auch von der Qualität der Planung von Maßnahmen und darüber hinaus auch von der Akzeptanz der Maßnahmen durch die Menschen, die davon betroffen sind bzw. betroffen sein können.

Die Qualität einer Planung im Notfallschutz ist neben der fachlichen Qualität gekennzeichnet durch Vollständigkeit, Klarheit, Nachvollziehbarkeit und Aktualität. Eine gute Qualität der Planung stellt sicher, dass sich alle Beteiligten in einem Notfall an den Planungen orientieren. Damit wäre eine wichtige Grundlage für das Erreichen der Ziele geschaffen.

Die japanischen Untersuchungskommissionen haben Defizite in der Planung festgestellt und u. a. in dem Bericht der Untersuchungskommission des japanischen Parlamentes detailliert beschrieben (NAIIC 2012). So kam es in Japan nach dem Eintritt des Unfalls im Kernkraftwerk Fukushima Dai-ichi bei der Veranlassung und Durchführung von Schutzmaßnahmen zu Abweichungen von der Planung: Geplante Maßnahmen waren wegen der Folgen der Naturkatastrophe nicht umsetzbar und es fehlte an geplanten Alternativen, die Planungen waren den Zuständigen und Beteiligten gar nicht bekannt, waren seit vielen Jahren nicht mehr aktualisiert worden oder erwiesen sich als unvollständig.

Etwa 150 000 Menschen mussten evakuiert oder umgesiedelt werden, dabei herrschte z. T. Konfusion, weil mit veralteten und unvollständigen Plänen gearbeitet werden musste, vielfach fehlten Planungen z. B. zur Erhaltung der Infrastruktur und zur Sicherstellung der Betreuung von Hilfsbedürftigen z. B. in Krankenhäusern. Die Evakuierung hatte Todesfälle zur Folge, die mit einer besseren Qualität der Planung hätten vermieden werden können (NAIIC 2012).

Für die von Maßnahmen betroffenen Menschen waren Entscheidungen vielfach nicht nachvollziehbar, über bestehende Risiken wurde nur unzureichend informiert. Daraus folgte, dass die betroffene Bevölkerung über einen sehr langen Zeitraum mit erheblichen Unsicherheiten in der Beurteilung ihrer eigenen Situation leben musste, was zu einer erheblichen Einschränkung der Lebensqualität führte.

Aus der Sicht der SSK sind bei der Planung für Notfälle daher Qualität und Nachvollziehbarkeit unerlässlich. Dies gilt besonders für die Festlegung von Planungsgebieten, die eine wichtige Grundlage für die zum Schutz der Bevölkerung vorzusehenden Maßnahmen und Maßnahmenstrategien bilden. Für die Ermittlung der Planungsgebiete war daher eine nachvollziehbare Methode auszuwählen.

7.5 Harmonisierung innerhalb Europas und weltweit

Der Unfall in Fukushima Dai-ichi hat erneut gezeigt, dass die Auswirkungen von Unfällen in Kernkraftwerken mit schweren Schäden am Reaktorkern grenzüberschreitend sein können. Es ist daher notwendig, dass sich die Planungen einzelner Staaten und insbesondere benachbarter

Staaten nicht wesentlich unterscheiden. Diese Anforderung ist auch bei der Festlegung von Planungsgebieten zu beachten.

Die SSK hat daher internationale Regeln insbesondere der IAEA und der EU, soweit im Bereich der hier vorliegenden Aufgabenstellung verwendbar, berücksichtigt. So hat z. B. die IAEA in ihrem in 2013 veröffentlichten Dokument „EPR-NPP Public Protective Actions: Actions to Protect the Public in an Emergency Due to Severe Conditions at a Light Water Reactor“ (IAEA 2013) Empfehlungen zur Struktur der Planungsgebiete und zur Methode zur Ermittlung der Gebiete gegeben. Die von der SSK verwendete Methode verfolgt ebenso wie die der IAEA einen dosisbezogenen Ansatz auf der Grundlage von repräsentativen Quelltermen und ist damit vergleichbar, ebenso entspricht die von der SSK empfohlene Struktur der Planungsgebiete weitgehend den Empfehlungen der IAEA. Möglichen Harmonisierungen auf der Basis der Empfehlungen der IAEA steht die Empfehlung der SSK zu Planungsgebieten nicht entgegen.

8 Methode zur Ermittlung der Planungsgebiete

Zur Festlegung der Planungsgebiete wurde eine analytische Methode gewählt. Dabei wurden mit einem für die Festlegung der Planungsgebiete ausgewählten Referenzquellterm mittels des Entscheidungshilfesystems RODOS (Real-time Online Decision Support System) (Raskob und Gering 2010; siehe auch <http://www.rodos.fzk.de>) die Gebiete ermittelt, in denen unter den gegebenen Randbedingungen hohe Dosen und schwerwiegende deterministische Effekte auftreten könnten und in denen Eingreifrichtwerte für Schutzmaßnahmen überschritten werden könnten (siehe Abschnitt 8.2). Die auf diese Weise ermittelten Gebiete werden als Planungsgebiete vorgeschlagen. Weitere für den Notfallschutz wichtige Einflussfaktoren werden bei der Auswahl des Referenzquellterms und bei der Festlegung der Randbedingungen für die Berechnung und Auswertung berücksichtigt. Die einzelnen Schritte der Methode sind im Folgenden dargestellt:

- Festlegung von Parametern für die unterstellte Freisetzung radioaktiver Stoffe,
- Auswahl von Referenzquelltermen einschließlich von Szenarien, die mit dem Unfall am Standort Fukushima vergleichbar sind,
- Auswahl von repräsentativen Kraftwerksstandorten in Deutschland,
- Festlegung von Randbedingungen für die RODOS-Rechnungen,
- Festlegung der Auswerteverfahren zur Ermittlung der Planungsgebiete für Schutzmaßnahmen,
- Durchführung von RODOS-Rechnungen zur Ermittlung der Gebiete, in denen das 1000 mSv-Kriterium erreicht wird, schwerwiegende deterministische Effekte auftreten könnten und in denen auf der Basis der Eingreifrichtwerte nach (SSK 2014) Schutzmaßnahmen notwendig wären.

8.1 Referenzquellterm

Als Grundlage für die Ermittlung der Planungsgebiete werden ein oder mehrere Referenzquellterme benötigt. Die Referenzquellterme sind gekennzeichnet durch Parameter, die die Freisetzung radioaktiver Stoffe über den Luftpfad beschreiben. Die Betrachtung des Luftpfades ist für die Festlegung von Planungsgebieten ausreichend, da eine zusätzliche Berücksichtigung von Freisetzungen mit Wasser zu keinen anderen Ergebnissen führt.

Die Auswahl der Referenzquellterme sollte sich am Erfahrungsrückfluss aus dem Unfall in Fukushima orientieren, nach Möglichkeit aber einen Bezug zu Analysen und Risikostudien aufweisen, die für in Deutschland betriebene Kernkraftwerke erstellt worden sind.

Ein Referenzquellterm wird durch die Menge freigesetzter radioaktiver Stoffe (Freisetzungsmenge), Freisetzungsdauer und Freisetzungsort gekennzeichnet. Daneben ist für die Belange des Katastrophenschutzes auch die Dauer der Vorfreisetzungsphase (d. h. die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt, zu dem die Möglichkeit einer größeren Freisetzung von Radionukliden aus der Anlage erkannt wird und dem Beginn der Freisetzung) bedeutsam.

Die SSK hat die folgenden Anforderungen an den Referenzquellterm formuliert:

- Die Freisetzungsmenge soll Freisetzungen, die der INES-Stufe 7 entsprechen, einbeziehen. Die hierzu heranzuziehenden Szenarien sollen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik für Anlagen in Deutschland als repräsentativ angesehen werden können.
- Es soll sich um einen Quellterm handeln, der bei Unfällen mit Kernschmelzen und dem Versagen von Barrieren erwartet werden kann.
- Der „Fukushima-Quellterm“ soll durch die Freisetzungsmenge abgedeckt sein.
- Der Referenzquellterm soll als Postulat für alle Kernkraftwerke im Geltungsbereich dieser Empfehlung einsetzbar sein.
- Lang anhaltende Freisetzungsszenarien sollen einbezogen werden.
- Der Freisetzungsort soll typisch für Freisetzungen bei einem Versagen oder einer Umgehung des Sicherheitsbehälters sein.

Es wurde überprüft, ob in Deutschland Unfallanalysen vorliegen, die den oben genannten Anforderungen entsprechen.

Die GRS hat Ende 2010 im Rahmen eines Forschungsvorhabens repräsentative Ereignisabläufe für Druck- und Siedewasserreaktoren ermittelt, deren Quellterme der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS hinzugefügt wurden (Löffler et al. 2010). In Tabelle 4 sind die erarbeiteten Szenarien für Druckwasserreaktoren dargestellt.

Tab. 4: Freisetzungskategorien der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS nach (Löffler et al. 2010)
(zum Vergleich der ermittelte Quellterm des Unfalls in Fukushima aus (GRS 2013))

Name	Beschreibung	Freisetzung Iod-131 [Bq]	Freisetzung Cäsium-137 [Bq]	Beginn der erheblichen Freisetzungen Stunden nach Abschaltung des Reaktors	berechnete Häufigkeit [10 ⁻⁷ /Jahr]
FKA	Unbedecktes Dampferzeuger- Heizrohrleck	3,1·10 ¹⁷	2,9·10 ¹⁶	ca. 21	2,1
Fukushima	Ausfall der Kühlung in mehreren Reaktoren	1·10 ¹⁷ - 2·10 ¹⁷	1·10 ¹⁶ - 2·10 ¹⁶	ca. 13	-
FKI	Gefilterte Druck- entlastung über den Kamin	2,8·10 ¹⁵	2,8·10 ¹¹	ca. 57	8,8
FKH	Gefilterte Druck- entlastung über Dach	2,8·10 ¹⁵	2,8·10 ¹¹	ca. 57	2,6
FKF	Ungefilterte Druckentlastung über Dach	2,3·10 ¹⁶	2,8·10 ¹⁴	ca. 57	2,1
FKE	Sumpfansaug- rohrversagen	1,8·10 ¹⁷	9,4·10 ¹⁴	ca. 33	1,4

Für die Ermittlung der Planungsgebiete für den Katastrophen- und Notfallschutz wird das „FKA-Szenarium“ als geeignet angesehen. Die vorgegebenen Randbedingungen werden erfüllt, allerdings handelt es sich nicht um ein Szenarium mit einer lang andauernden Freisetzung. Um festzustellen, ob für die Festlegung der Planungsgebiete ein weiteres Freisetzungsszenarium benötigt wird, das langandauernde Freisetzungen repräsentiert, wurden vergleichende Berechnungen mit RODOS durchgeführt, wobei der „FKA-Quellterm“ für ein weiteres Freisetzungsszenarium auf 15 Tage Freisetzungszeitraum gestreckt wurde. Die Berechnungen ergaben, dass die kürzere Freisetzung zu den größeren Planungsgebieten führt, sodass für die Ermittlung der Planungsgebiete Rechnungen mit dem „FKA-Quellterm“ mit 50 Stunden Freisetzungsdauer als ausreichend angesehen werden konnten.

Der ausgewählte Referenzquellterm ist nicht als anlagenspezifischer oder anlagentyp-spezifischer Quellterm anzusehen, sondern er wird auf alle Anlagen mit Relevanz für die Notfallplanung in Deutschland angewendet. Das ist einerseits im Sinne der Genauigkeit von Unfallanalysen vertretbar und andererseits auch geboten, da die Grundlagen und Methoden zur Dimensionierung der Planungsgebiete schon allein aus Gründen der Harmonisierung der Planungen für alle Standorte einheitlich sein sollen. Nur hinsichtlich der Dauer der Vorfreisetzungsphase wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass es bei einigen Reaktortypen bei Kernschmelzunfällen zu frühzeitigeren Freisetzungen kommen kann als für die untersuchten Druckwasserreaktoren ermittelt. Es wurde daher eine Dauer der Vorfreisetzungsphase von 6 Stunden angenommen. Nach der vorliegenden Analyse des FKA-

Ereignisablaufs würde die Hauptfreisetzung, die umfangreiche Maßnahmen des Notfallschutzes erfordern würde, erst ca. 21 Stunden nach der Abschaltung des Reaktors beginnen. Mit Blick auf andere Reaktortypen einschließlich der in Deutschland betriebenen Siedewasserreaktoren der Baulinie 72 wurde die Vorfreisetzungsphase jedoch auf einen wesentlich kürzeren Zeitraum festgelegt. In der überwiegenden Mehrzahl möglicher Ereignisabläufe würde ein wesentlich längerer Zeitraum für die Durchführung von sofortigen Schutzmaßnahmen zur Verfügung stehen.

8.2 RODOS-Rechnungen

Auf der Basis dieses Quellterms wurden Rechnungen mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS durchgeführt, das seit 2003 operational im BfS betrieben wird und zusammen mit dem integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) und länderspezifischen Systemen die Basis für die Entscheidungshilfe bei nuklearen Stör- oder Unfällen in Deutschland darstellt.

Für die Durchführung dieser Rechnungen wurden drei Gebiete festgelegt, die möglichst die unterschiedlichen klimatologischen Bedingungen in Deutschland repräsentieren. Als Gebiete wurden ausgewählt:

- flache Orographie, im Mittel hohe Windgeschwindigkeit,
- moderat strukturierte Orographie mit Tallage, im Mittel mäßige Windgeschwindigkeit und
- ausgeprägte Tallage, moderate Orographie, im Mittel niedrige Windgeschwindigkeit, häufige Inversionswetterlage.

In diesen Gebieten wurden Standorte von Kernkraftwerken ausgewählt (Unterweser, Grohnde und Philippsburg) und auf dieser Basis die Rechnungen durchgeführt.

Für diese Standorte liegen langjährige Zeitreihen meteorologischer Messungen und statistische Auswertungen dieser Daten der Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) vor. Diese Daten wurden durch das BfS als Monatsmittel über mehrere Jahre ausgewertet. Damit kann gezeigt werden, dass der Zeitraum, für den die Rechnungen durchgeführt wurden, auch als repräsentativ angesehen werden kann und nicht durch besondere meteorologische Bedingungen zu begrenzt gültigen Aussagen führt.

Als Zeitraum für die Rechnungen (Jahresrechnungen) wurde das Intervall 01. Oktober 2011 bis 30. September 2012 ausgewählt. Damit ist gewährleistet, dass jede Jahreszeit und deren meteorologische Besonderheiten hinreichend berücksichtigt sind. Durch Überprüfung der meteorologischen Daten aus der KFÜ der einzelnen Standorte über mehrere Jahre hinweg kann darüber hinaus festgestellt werden, dass sich der untersuchte Zeitraum nicht signifikant von anderen Jahren unterscheidet und damit als typisches Jahr angesehen werden kann. In diesem Jahres-Zeitintervall wurde zum Erreichen einer guten statistischen Absicherung für jeden Tag und für jeden Standort der Start einer Ausbreitungsrechnung mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS auf der Basis des Referenzquellterms durchgeführt. Damit wurden für 365 Tage und 3 Standorte insgesamt 1 095 Rechnungen erstellt. Die Einzelrechnungen wurden um 00:00 Uhr des jeweiligen Tages gestartet. Infolge dieses Rechnungsbegins bleibt das Rechenergebnis konservativ, da zu Beginn der Emission, die zu diesem Zeitpunkt am höchsten ist, durch den nächtlichen Anteil der Wetterlage mit stabiler Schichtung der vertikale Austausch kontaminierter Luftmassen reduziert wird.

Als meteorologische Datenbasis für die Strömungsfelder stehen die Daten aus dem COSMO-EM System (Consortium for small scale modelling – Europa Modell) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zur Verfügung. Diese Datenfelder werden routinemäßig täglich vom DWD für das BfS bereitgestellt. Alternativ standen die meteorologischen Daten des KFÜ-

Systems des jeweiligen Standorts zur Verfügung. Hier war abzuwägen, ob genauere Standortdaten mit den meteorologischen Messungen am Emissionspunkt oder Daten des DWD, die für das gesamte Simulationsgebiet repräsentativ sind, einen größeren Vorteil bieten. Da für das Simulationsgebiet bei den Rechnungen eine Ausbreitung mit relevanter Exposition auf der Basis des Referenzquellterms größer als 100 km zu erwarten war, wurde den Datenfeldern des DWD der Vorzug gegeben.

Innerhalb von RODOS kann der Anwender zwischen den Ausbreitungsmodellen ATSTEP und RIMPUFF wählen. ATSTEP ist als Modell auf sehr schnell verfügbare Rechenergebnisse ausgelegt, weshalb ein einfacher Rechenalgorithmus implementiert wurde. Da die Rechenzeit bei diesen Untersuchungen eine untergeordnete Rolle spielte, wurde das Modell RIMPUFF gewählt, welches zwar rechenzeitaufwändiger ist, dafür aber eine detailliertere Modellierung ermöglicht und somit die meteorologischen Prozesse besser wiedergibt.

Bei jedem Rechenlauf wurden im Rechengbiet die Strahlendosen als effektive Dosen über die Expositionspfade externe Strahlung aus der Wolke und vom kontaminierten Boden und Inhalation für alle Radionuklide sowie die Organdosis für die Schilddrüse durch radioaktives Iod berechnet. Die Strahlendosen wurden für eine Integrationszeit von 7 Tagen (das betrifft die externe Dosis vom kontaminierten Boden) und unter der konservativen Annahme eines Daueraufenthaltes im Freien ermittelt. Als Dauer der Freisetzung wurde 50 h angenommen. Die Ergebnisse dieser Rechnungen wurden dann mit den Eingreifrichtwerten für die Maßnahmen

- „Aufenthalt in Gebäuden“,
- „Evakuierung“ und
- „Einnahme von Iodtabletten“

verglichen und so die jeweiligen Maßnahmenggebiete ermittelt.

Zusätzlich wurden die Gebiete ermittelt, in denen die berechneten Strahlendosen den Wert von 1 000 mSv effektive Dosis (1000 mSv-Kriterium) überschritten haben.

Alle Rechnungen wurden jeweils für Erwachsene und Kleinkinder (1 bis 2 Jahre) durchgeführt und ausgewertet. Die Einzelauswertung der Rechnung wurde so durchgeführt, dass für jede Maßnahme die maximale Entfernung vom Emissionspunkt ermittelt wurde, bis zu der eine Maßnahme bei Anwendung des jeweiligen Eingreifrichtwertes noch durchzuführen wäre.

Zur Ermittlung des Gebietes, in dem schwerwiegende deterministische Effekte auftreten könnten, wurden ergänzende Berechnungen der Dosis des roten Knochenmarks für Erwachsene und Kleinkinder (1 bis 2 Jahre) sowie der Dosis für den Fetus durchgeführt. Dazu wurden stichprobenartig für den Standort Grohnde für jeden vierten Tag im Zeitraum 01. Oktober 2011 bis 30. September 2012 eine Ausbreitungsrechnung mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS auf der Basis des Referenzquellterms durchgeführt. Für jede Rechnung wurde die maximale Entfernung vom Emissionspunkt ermittelt, bis zu der die berechneten Strahlendosen den Wert von 1 000 mGy (rotes Knochenmark) bei Erwachsenen und Kleinkindern überschreiten.

Die Berechnungen für den Fetus müssen die unterschiedlich strahlenempfindlichen Stadien der Entwicklung berücksichtigen. Es sind daher getrennte Betrachtungen der Organogenese (Woche 2 bis 7; Zeitraum der Induktion von Fehlbildungen durch ionisierende Strahlung) und der frühen Fetogenese (Woche 8 bis 15; Hauptrisikoz Zeitraum für geistige Retardierung durch ionisierende Strahlung) notwendig. Da es für die Organogenese keine Berechnungsmöglichkeiten für Organdosen beim Fetus gibt, wird als Ersatzdosis die effektive Dosis verwendet (ICRP 2001). Im Falle der frühen Fetogenese jedoch ist es möglich die Organdosis für das Gehirn zu ermitteln (ICRP 2001). Der dominierende Beitrag zur Dosis kommt über das

radioaktive Iod. Hier ist zu beachten, dass der Embryo/Fetus bis zur etwa 10. Schwangerschaftswoche kein Iod speichert, da noch keine Schilddrüse vorhanden ist. Auch in den Wochen 8 bis 15 ist die Iodspeicherung noch nicht maximal ausgeprägt. Bei der Auswertung der Rechnungen wurde für die 2. bis 7. Schwangerschaftswoche eine Schwellendosis von 100 mGy und für die 8. bis 15. Schwangerschaftswoche eine Schwellendosis von 300 mGy herangezogen. Auch hier wurde wieder für jede Rechnung die maximale Entfernung vom Emissionspunkt ermittelt, bis zu der die berechneten Strahlendosen die oben genannten Schwellendosen für den Fetus überschreiten.

8.3 Auswerteverfahren

Für jeden Standort und jede Katastrophenschutzmaßnahme ergibt sich damit die Möglichkeit zur Bestimmung einer statistischen Verteilung der maximalen Entfernung dieser Maßnahme. Für die Bestimmung der Entfernung, bis zu der eine bestimmte Maßnahme geplant werden soll, wird die kumulative Häufigkeit genutzt. Die kumulative Häufigkeit gibt den Anteil der gerechneten Wettersituationen an, bei denen die Gebiete, in denen der jeweilige Eingreifrichtwert überschritten wird, innerhalb der angegebenen Entfernung liegen. Bei der Wahl des Perzentilwerts der kumulativen Häufigkeit für die Festlegung von Planungsradien hat die SSK sich an folgenden Gesichtspunkten orientiert:

- Der Referenzquellterm stellt in Bezug auf Eintrittshäufigkeit und Auswirkung eine äußerst ungünstige Unfallkonstellation dar, die auch sehr gravierende Unfallabläufe abdeckt.
- Bei der Berechnung der Strahlenexposition sind konservative Annahmen und Parameter zugrunde gelegt worden, insbesondere die Annahme eines ungeschützten Daueraufenthalts im Freien über 7 Tage.
- Bei der Ermittlung der Strahlenexposition wurde das normale Verhalten der Menschen in der Umgebung des Kernkraftwerkes nicht berücksichtigt, so wurden Schutzwirkungen, die an den jeweiligen Aufenthaltsorten wirksam werden wie z. B. Abschirmeffekte, nicht in Ansatz gebracht.
- Die Ermittlung der Strahlenexposition erfolgte durch Berechnungen mit den an den Standorten in Deutschland vorliegenden meteorologischen Ausbreitungsbedingungen einschließlich der gelegentlich vorkommenden sehr ungünstigen Wetterlagen.
- Bei der Dimensionierung der Planungsgebiete ist zwischen der Abdeckung eines möglichst großen Gebietes und dem prioritären Schutz der potenziell am stärksten beaufschlagten Gebiete abzuwägen. Die Ausrichtung der Planungsgebiete auf extrem unwahrscheinliche Szenarien der radiologischen Konsequenzen würde in diesem Sinne die Schutzmöglichkeiten potenziell stark betroffener Gebiete in der näheren Umgebung reduzieren und wäre daher nicht zielführend.

Die SSK legt in Erwägung dieser Gesichtspunkte das 80. Perzentil für die kumulative Häufigkeit für die maximale Entfernung einer bestimmten Maßnahme fest. Für die Ableitung des Planungsradius des Gebietes höchster Priorität wurde für Erwachsene und Kinder der Mittelwert aller drei Standorte gebildet, für den Fetus wurden die Ergebnisse für die verschiedenen Entwicklungsstadien einbezogen, die für einen Standort ermittelt wurden. Für die Ermittlung des Planungsgebietes, in dem die Eingreifrichtwerte für alle vorgesehenen Schutzmaßnahmen überschritten werden können, wurden die Mittelwerte aller Standorte für Erwachsene zugrunde gelegt. Für die weiter von der Anlage entfernten Planungsgebiete sind die für die Iodblockade von Erwachsenen und Kindern ermittelten maximalen Entfernungen relevant.

9 Ergebnisse der Berechnungen

Die durchgeführten Berechnungen und Bewertungen führten zu folgenden Ergebnissen:

- Schwerwiegende deterministische Effekte können mit hoher Sicherheit vermieden werden, wenn ein Gebiet um die kerntechnische Anlage, dessen äußere Grenze etwa 5 km von der Anlage entfernt liegt, zügig evakuiert werden kann. Dies gilt auch für den im Vergleich zum Erwachsenen deutlich empfindlicheren Fetus. Die Schwellendosen von etwa 100 mGy für Fehlbildungen, die in den Wochen 3 bis 7 ausgelöst werden können, und von etwa 300 mGy für geistige Retardierung nach Exposition in den Wochen 8 bis 15 (ICRP 2007) werden außerhalb des 5 km Radius nicht mehr erreicht.
- Das Gebiet höchster Priorität, das mit Hilfe des 1000 mSv-Kriteriums bestimmt wurde, reicht bis zu einer Entfernung von ca. 5 km Entfernung von der Anlage.
- Bis zu einer Entfernung von ca. 20 km von der Anlage muss mit dem Überschreiten der Eingreifrichtwerte für „Evakuierung“, „Einnahme von Iodtabletten“ und „Aufenthalt in Gebäuden“ gerechnet werden.
- Bis zu einer Entfernung von 100 km können die Eingreifrichtwerte für die „Einnahme von Iodtabletten“ und für den Aufenthalt in Gebäuden erreicht werden. Außerdem sind für diesen Bereich Messprogramme vorzubereiten, damit die radiologische Lage zügig ermittelt werden kann, und ggf. weitere notwendige Maßnahmen (z. B. weitergehende Evakuierung von Gebieten in mehr als 20 km Entfernung) ergriffen werden können.
- Die Durchführung der Iodblockade kann für Kinder und Jugendliche sowie Schwangere in größeren Entfernungen (> 100 km) von der Anlage in Ausbreitungsrichtung notwendig werden. Mit den vorliegenden Berechnungen konnte nachgewiesen werden, dass Überschreitungen in Entfernungen bis zu 200 km möglich wären. Entfernungen über 200 km wurden nicht untersucht. Mit einem Radius von 200 km um die deutschen und grenznahen Anlagen wäre fast das gesamte deutsche Staatsgebiet abgedeckt. Es ist daher sinnvoll, im gesamten Gebiet der Bundesrepublik Deutschland entsprechende Vorbereitungen zu treffen.

10 Planungsgebiete im Kontext internationaler Entwicklungen

Die SSK hat geprüft, ob die Neufestlegung der Planungsgebiete den Planungen, die in anderen Ländern bestehen, entspricht. Derzeit liegen noch keine abschließenden Festlegungen in den betrachteten Ländern vor. Auch die diesbezüglichen Leitlinien der internationalen Atomenergiebehörde befinden sich noch im Entwurfsstadium. Die SSK geht aber nach Kenntnis des Standes der Diskussionen innerhalb der IAEA und Europas zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieser Empfehlung davon aus, dass die jetzt für Deutschland ermittelten Planungsgebiete den internationalen Anforderungen entsprechen werden.

11 Literatur

- BMU 2008 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, GMBI. 2008 Nr. 62/63; S. 1278
- Gering et al. 2012 Gering F, Gerich B, Wirth E, Kirchner G. Analyse der Vorkehrungen für den anlagenexternen Notfallschutz für deutsche Kernkraftwerke basierend auf den Erfahrungen aus dem Unfall in Fukushima, Bundesamt für Strahlenschutz. Report-Nr. BfS-SW-11/12, 19. April 2012
- GRS 2013 Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS). Fukushima Daiichi 11. März 2011 Unfallablauf/ Radiologische Folgen, GRS-S-53, 2. Auflage, 2013
- IAEA 2013 International Atomic Energy Agency (IAEA). EPR-NPP Public Protective Actions: Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor; Vienna, 2013
- ICRP 2001 International Commission on Radiological Protection (IAEA). Doses to the Embryo and Fetus from Intakes of Radionuclides by the Mother, ICRP Publication 88, Ann. ICRP 31 (1-3), 2001
- ICRP 2007 International Commission on Radiological Protection (ICRP). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37 (2-4), 2007
- Löffler et al. 2010 Löffler H, Mildenerger O, Sogalla M, Stahl T. Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb. Abschlussbericht zum Vorhaben S3609S60009, GRS-A-3580, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Oktober 2010.
- NAIIC 2012 The National Diet of Japan, Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission (NAIIC). The official report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, 2012
- Raskob und Gering 2010 Raskob W, Gering F. Key improvements in the simulation modelling for decision support systems developed in the EURANOS project, Radioprotection Vol. 45 (5), 149-159, 2010 DOI: 10.1051/radiopro/2010037
- RSK/SSK 2004 Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) und Strahlenschutzkommission (SSK). Kriterien für die Alarmierung der Katastrophenschutzbehörde durch die Betreiber kerntechnischer Einrichtungen, Gemeinsame Empfehlung verabschiedet in der 366. Sitzung der RSK am 16. Oktober 2003 und in der 186. Sitzung der SSK am 11./12. September 2003, BAnz Nr. 89 vom 23.07.2004

- RSK/SSK 2010 Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) und Strahlenschutzkommission (SSK). Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken, Empfehlung verabschiedet in der 242. Sitzung der SSK am 01./02. Juli 2010 und in der 429. Sitzung der RSK am 14. Oktober 2010, BAnz. 2011, Nr. 65a
- RSK/SSK 2013 Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) und Strahlenschutzkommission (SSK). Kriterien für die Alarmierung der Katastrophenschutzbehörde durch die Betreiber kerntechnischer Einrichtungen, Gemeinsame Empfehlung verabschiedet in der 366. Sitzung der RSK am 16. Oktober 2003 und in der 186. Sitzung der SSK am 11./12. September 2003, Ergänzung verabschiedet in der 453. Sitzung der RSK am 13. Dezember 2012 und der 260. Sitzung der SSK am 28. Februar 2013
- SSK 2008 Strahlenschutzkommission (SSK). Leitfaden zur Information der Öffentlichkeit in kerntechnischen Notfällen, Empfehlung verabschiedet in der 220. Sitzung der SSK am 05./06. Dezember 2007, BAnz (152a), 08.10.2008
- SSK 2009 Strahlenschutzkommission (SSK). Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden, Empfehlung verabschiedet in der 158. Sitzung der SSK am 17./18. Dezember 1998, redaktionelle Überarbeitung zustimmend zur Kenntnis genommen in der 223. Sitzung der SSK am 13. Mai 2008, Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 61, 2009
- SSK 2014 Strahlenschutzkommission (SSK). Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden, Empfehlung verabschiedet in der 268. Sitzung der SSK am 13./14. Februar 2014