

# Simulation potentieller Unfallszenarien für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken mit RODOS

## Schriften

H. Walter

F. Gering

K. Arnold

B. Gerich

G. Heinrich

U. Welte\*

\*) Strahlenschutzkommission



Bundesamt für Strahlenschutz

**BfS-SCHR-55/14**

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:

**urn:nbn:de:0221-2015021712440**

Zur Beachtung:

**BfS-Berichte und BfS-Schriften können von den Internetseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz unter <http://www.bfs.de> kostenlos als Volltexte heruntergeladen werden.**

Salzgitter, Dezember 2014

# **Simulation potentieller Unfallszenarien für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken mit RODOS**

## **Schriften**

**H. Walter**

**F. Gering**

**K. Arnold**

**B. Gerich**

**G. Heinrich**

**U. Welte\***

**\*) Strahlenschutzkommission**



<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>6</b>
1.1.	Hintergrund .....	6
1.2.	Überblick.....	6
<b>2.</b>	<b>RELEVANTE INFORMATION ZUM EREIGNISABLAUF IN FUKUSHIMA.....</b>	<b>7</b>
2.1.	Beschreibung Unfallablauf .....	7
2.2.	Gebiete mit Schutzmaßnahmen in Fukushima.....	7
<b>3.</b>	<b>KONZEPT FÜR DIE ERMITTLUNG VON MÖGLICHERWEISE BETROFFENEN GEBIETEN.....</b>	<b>8</b>
3.1.	Radiologische Grundlagen und Schutzkonzepte (Stand 2014) .....	8
3.2.	Radiologische Schutzziele der Notfallschutzplanung .....	9
3.3.	Konzept zur Ermittlung von möglicherweise betroffenen Gebieten und dazugehörige radiologische Kriterien.....	9
3.4.	Weitere für die vorliegende Untersuchung relevante Kriterien .....	12
3.5.	Methode zur Ermittlung möglicherweise betroffener Gebiete .....	12
<b>4.</b>	<b>FREISETZUNGS-SZENARIEN.....</b>	<b>14</b>
<b>5.</b>	<b>AUSWAHL DER UNTERSUCHTEN STANDORTE VON KERNKRAFTWERKEN</b>	<b>16</b>
5.1.	Auswahl der untersuchten Standorte.....	16
5.2.	Meteorologischer Vergleich einzelner Standorte .....	17
5.2.1.	Windgeschwindigkeit an den einzelnen Standorten .....	17
5.2.2.	Windrichtung .....	18
5.2.3.	Atmosphärische Stabilität .....	19
5.2.4.	Niederschlag .....	20
<b>6.</b>	<b>DAS ENTSCHEIDUNGSHILFESYSTEM RODOS.....</b>	<b>21</b>
6.1.	Ausbreitungsmodelle in RODOS.....	21
6.1.1.	ATSTEP .....	21
6.1.2.	RIMPUFF .....	22
6.2.	Dosisberechnungen in RODOS.....	23
<b>7.</b>	<b>RECHNUNGEN MIT RODOS .....</b>	<b>24</b>
7.1.	Randbedingungen .....	24
7.2.	Auswertung der RODOS-Rechnungen .....	26

<b>8.</b>	<b>ERGEBNISSE DER RODOS-RECHNUNGEN .....</b>	<b>28</b>
<b>8.1.</b>	<b>Maximale Ausdehnung der betroffenen Gebiete .....</b>	<b>29</b>
8.1.1.	Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden .....	29
8.1.2.	Maßnahme Evakuierung .....	33
8.1.3.	Maßnahme Temporäre Umsiedlung .....	37
8.1.4.	Maßnahme Permanente Umsiedlung .....	41
8.1.5.	Maßnahme Einnahme von Iodtabletten .....	45
8.1.6.	Deterministische Effekte und hohe Dosen .....	49
8.1.7.	Dosis des roten Knochenmarks .....	54
8.1.8.	Dosis des Fetus .....	56
<b>8.2.</b>	<b>Größe der betroffenen Gebiete .....</b>	<b>58</b>
<b>8.3.</b>	<b>Anzahl an Personen in betroffenen Gebieten .....</b>	<b>63</b>
<b>8.4.</b>	<b>Anzahl der betroffenen Sektoren .....</b>	<b>65</b>
<b>8.5.</b>	<b>Größe der Gebiete mit hohen Bodenkontaminationen .....</b>	<b>70</b>
<b>8.6.</b>	<b>Verbleibende Dosis nach ICRP .....</b>	<b>74</b>
<b>9.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>77</b>
<b>9.1.</b>	<b>Maximale Ausdehnung der betroffenen Gebiete .....</b>	<b>77</b>
<b>9.2.</b>	<b>Größe der betroffenen Gebiete und Anzahl der betroffenen Personen .....</b>	<b>79</b>
<b>9.3.</b>	<b>Anzahl der betroffenen Sektoren .....</b>	<b>80</b>
<b>10.</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>83</b>

## Summary

Triggered by the Fukushima disaster, the Federal Office for Radiation Protection (BfS) in Germany started in March 2011 to investigate the potential radiological consequences of a "Fukushima-like" accident in a German nuclear power plant and conducted appropriate simulations in 2012. Between end 2012 and end 2013, the first study was followed by a much more detailed and comprehensive investigation comprising more than 5.000 case studies for three nuclear power plant (NPP) sites in Germany. Based on these results the German Commission on Radiological Protection (SSK) has released a new recommendation in March 2014 for the extension of current emergency planning zones for nuclear power plants in Germany.

Key results of this study are maximum distances, in which dose criteria for protective actions for the population are exceeded; all results are given for the largest source term scenario "FKA" (INES scale 7):

- Threshold values for deterministic effects and high doses (effective doses higher than 1.000 mSv) can be exceeded within a distance of about 3 km on average.
- The dose criterion for "evacuation" can be exceeded within a distance of about 9 – 18 km (adults) resp. 14 -24 km (infants) on average (the given interval considers minimum and maximum values for the median value for all three NPP sites).
- The dose criterion for "sheltering" can be exceeded within a distance of about 62 – 80 km (adults) resp. 91 - 114 km (infants) on average.
- The dose criteria for "iodine thyroid blocking" can be exceeded within a distance of about 24 – 34 km (adults) resp. 148 - 161 km (infants) on average.

## Zusammenfassung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hatte sich nach dem Unfall in Fukushima im März 2011 mit der Frage befasst, welche Auswirkungen ein Unfall in einem deutschen Kernkraftwerk mit einem ähnlichen Verlauf wie in Fukushima haben würde und 2012 entsprechende Berechnungen durchgeführt. Eine systematische Vertiefung dieser ersten Untersuchung wurde zwischen Ende 2012 und Ende 2013 mit mehr als 5000 Fallbeispielen an drei verschiedenen Kernkraftwerksstandorten fortgesetzt. Die Ergebnisse dieser Studien bilden die Grundlage für eine neue Empfehlung der Strahlenschutz-Kommission SSK, die im März 2014 verabschiedet wurde und eine Ausdehnung der bisherigen Planungsgebiete für den Notfallschutz für Kernkraftwerke in Deutschland beinhaltet.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie bezüglich der maximalen Ausdehnung der betroffenen Gebiete, in denen Dosiskriterien überschritten werden können, sind im Folgenden aufgeführt; alle genannten Ergebnisse beziehen sich auf das größte betrachtete Freisetzungsszenario „FKA“ (INES Skala 7):

- Schwellenwerte für das Auftreten schwerwiegender deterministischer Effekte und hohe Dosen (größer als 1000 mSv effektive Dosis) können im Mittel bis zu einer Entfernung von etwa 3 km erreicht oder überschritten werden.
- Der Eingreifrichtwert für die Maßnahme „Evakuierung“ kann im Mittel bis zu einer Entfernung von 9 bis 18 km (Erwachsene) bzw. 14 bis 24 km (Kleinkinder) erreicht oder überschritten werden (das angegebene Intervall beschreibt den minimalen und maximalen Wert für den Median für die drei Standorte).
- Der Eingreifrichtwert für die Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ kann im Mittel bis zu einer Entfernung von 62 bis 80 km (Erwachsene) bzw. 91 bis 114 km (Kleinkinder) erreicht oder überschritten werden.
- Die Eingreifrichtwerte für die Maßnahme „Einnahme von Iodtabletten“ können im Mittel bis zu einer Entfernung von 24 bis 34 km (für Erwachsene) bzw. 148 bis 161 km (für Kinder, Jugendliche und Schwangere) erreicht oder überschritten werden.

**Schlagwörter, key words:** Fukushima accident, RODOS, Notfallschutz, Katastrophenschutz, Planungsgebiete, Ausbreitungsmodelle.

# 1. EINLEITUNG

## 1.1. Hintergrund

Nach dem Reaktorunglück in Fukushima wurden von verschiedener Seite Fragen nach entsprechenden Konsequenzen für den Notfall- bzw. Katastrophenschutz gestellt. Diese Fragen beziehen sich dabei auf die fachlichen, wissenschaftlichen und rechtlichen Grundlagen.

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hatte sich nach dem Unfall in Fukushima im März 2011 mit der Frage befasst, welche Auswirkungen ein Unfall in einem deutschen Kernkraftwerk mit einem ähnlichen Verlauf wie in Fukushima haben würde und hatte entsprechende Berechnungen durchgeführt (Gering 2012). Besonders interessant erschien dabei die Frage, ob die deutschen Notfallschutzvorbereitungen auch für einen derartigen Unfall angemessen sind und ob es konzeptionellen Verbesserungsbedarf gibt. Die Ergebnisse zeigen, dass die bisherigen Planungen nicht alle möglichen Verlaufsszenarien berücksichtigen.

Diese erste BfS-Untersuchung wurde zwischen Herbst 2012 und Herbst 2013 erweitert und vertieft. Die Vorgehensweise und die Ergebnisse dieser zweiten BfS-Studie sind in dem vorliegenden Bericht beschrieben.

Zeitgleich zu den ersten BfS-Untersuchungen wurde von Seiten des BMUB ein Beratungsauftrag an die Strahlenschutzkommission gegeben. Dabei sollte unter Berücksichtigung der in Fukushima gesammelten Erfahrungen insbesondere geprüft werden, ob die in den entsprechenden Regelwerken zum kerntechnischen Notfallschutz enthaltenen Randbedingungen, Forderungen und Kriterien noch dem aktuellen Stand von Forschung, Wissenschaft und Technik entsprechen.

Um die durch den Reaktorunfall in Japan erhaltenen Erkenntnisse in Deutschland nutzen zu können und um angepasst an die hier bestehenden Randbedingungen auch in das hier gültige Regelwerk einbringen zu können, war es u.a. notwendig, die möglichen radiologischen Auswirkungen solcher Unfälle genau zu untersuchen. Das Übertragen der in Japan festgestellten radiologischen Auswirkungen auf deutsche Standorte wäre nur ein erster grober, aber unzureichender Ansatz. So handelt es sich bei den in Japan aufgetretenen Auswirkungen um einen Einzelfall, der sich aus Höhe und zeitlichem Verlauf der Freisetzung radioaktiver Stoffe, aus der dortigen Orographie und den während der Freisetzung herrschenden meteorologischen Bedingungen ergeben hat. So hätte ein gleich ablaufender Unfall auch in Japan bei anderen meteorologischen Situationen eine Vielzahl von möglichen Auswirkungen haben können.

Dies gilt umso mehr für Deutschland, da sich Orographie und klimatische Bedingungen von denen an dem Standort in Japan erheblich unterscheiden. Daher wurde entschieden, für drei hinsichtlich Orographie und regionalem Klima typische deutsche Standorte von Kernkraftwerken die möglichen radiologischen Auswirkungen solcher Unfälle über Simulationsrechnungen zu ermitteln. Um die meteorologischen Einflüsse zu berücksichtigen, wurde entschieden, den angenommenen unfallbedingten Freisetzungen radioaktiver Stoffe die realistischen meteorologischen Daten eines Jahres zu überlagern, die an den drei Standorten registriert worden waren.

Ausgehend von Erkenntnissen aus der ersten BfS-Studie wurden die Ziele, die Methodik und die Randbedingungen für die Simulationsrechnungen durch die von der SSK eingesetzte Arbeitsgruppe in Abstimmung mit dem BfS festgelegt und fortentwickelt. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte in zahlreichen gemeinsamen Diskussionen.

Die Ergebnisse der neuen Rechnungen des BfS bilden die Grundlage für eine neue Empfehlung der Strahlenschutz-Kommission „Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken“ (SSK 2014b), die im Februar 2014 verabschiedet wurde. Sie werden darüber hinaus auch Grundlage für weitere Entwicklungen des externen Notfallschutzes sein, die sich aus der Umsetzung der Erfahrungen aus dem Reaktorunfall ergeben haben.

## 1.2. Überblick

Ziel dieser Studie ist es zu analysieren, welche Strahlenexpositionen der Bevölkerung bei einem Unfall mit Kernschmelze in einem deutschen Kernkraftwerk auftreten könnten und in welchen Gebieten Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung zu veranlassen wären. Dabei wurden verschiedene Freisetzungsszenarien (Kap. 4) und Randbedingungen (Kap. 3) nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik - unter der Berücksichtigung der

Ereignisse in Fukushima (Kap. 2) - zugrunde gelegt. Anhand dieser Annahmen wurde geprüft, welche Schutzmaßnahmen gemäß der bestehenden und weiterentwickelten Notfallschutzkonzepte (Kap. 3) bei derartigen massiven Freisetzungen erforderlich wären. Dazu wurden die Gebiete ermittelt, in denen bei der angenommenen Freisetzung und der betrachteten Wettersituation hohe Dosen und schwerwiegende deterministische Effekte auftreten und in denen Eingreifrichtwerte für Schutzmaßnahmen überschritten werden könnten.

Die radiologischen Auswirkungen dieser Freisetzungen wurden exemplarisch für drei KKW-Standorte untersucht (KKW Unterweser, KKW Grohnde und KKW Philippsburg, siehe Kap. 5). Die radiologischen Auswirkungen wurden mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS ermittelt (Kap. 6). Für die Ausbreitungsrechnungen mit RODOS wurden numerische Wetterprognosen des DWD für den Zeitraum November 2011 bis Oktober 2012 berücksichtigt. An jedem Standort und für jeden betrachteten Quellterm wurde für jeden Tag des o.g. Zeitraums eine separate RODOS-Rechnung durchgeführt und die radiologischen Auswirkungen analysiert (Kap. 7). Die Ergebnisse der Rechnungen wurden anhand verschiedener Kriterien ausgewertet, insbesondere im Hinblick auf Größe, Ausdehnung und Lage der Gebiete, in denen Dosiskriterien überschritten und Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung ergriffen werden müssten (Kap. 8). Eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse schließt diesen Bericht ab (Kap. 9).

## **2. RELEVANTE INFORMATION ZUM EREIGNISABLAUF IN FUKUSHIMA**

### **2.1. Beschreibung Unfallablauf**

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 (siehe auch GRS 2013, BfS 2012).

### **2.2. Gebiete mit Schutzmaßnahmen in Fukushima**

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 Messungen der Ortsdosisleistung die Bewohner weiterer Gebiete – in nord-westlicher Richtung bis zu einer Entfernung von ca. 47 km vom Kernkraftwerk - aufgefordert, diese zu verlassen, siehe folgende Abbildung.

Revised Evacuation Zones in Fukushima Prefecture (As of Aug. 8, 2013)  
 Translation of the map created by Fukushima Minyu Shimibun

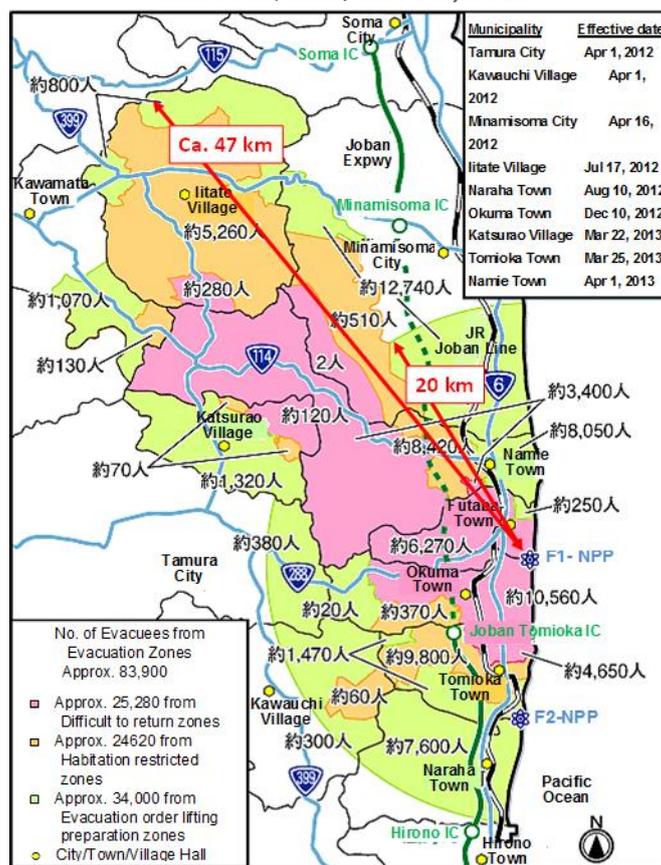


Abb. 2.2: Evakuierungsgebiete und Anzahl der davon betroffenen Personen nach dem Unfall in Fukushima Dai-ichi; dargestellt ist die aktuelle Einteilung der Evakuierungsgebiete bezüglich der zukünftigen Aufhebung der Evakuierungsmaßnahme (Quelle: Fukushima Minyun Shimibun, bearbeitet durch Kenji Nanba, Univ. of Fukushima).

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

### 3. KONZEPT FÜR DIE ERMITTLUNG VON MÖGLICHERWEISE BETROFFENEN GEBIETEN

#### 3.1. Radiologische Grundlagen und Schutzkonzepte (Stand 2014)

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde grundsätzlich das bisherige für den deutschen Notfallschutz gültige Konzept für die Planung und Durchführung von Schutzmaßnahmen bei einem Ereignis mit einer erheblichen Freisetzung radioaktiver Stoffe als Bewertungsmaßstab zugrunde gelegt. Dieses Schutzkonzept ist in den Radiologischen Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden (SSK 2014) dargestellt. Die Radiologischen Grundlagen basieren auf dem strahlenbiologischen und strahlenepidemiologischen Wissen, besonders hinsichtlich der Dosis-Risiko- und Dosis-Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte. Daneben konnten durch das Zusammenwirken des BFS mit der SSK aber auch Weiterentwicklungen des Schutzkonzeptes in die Studie einbezogen werden.

Die Strahlenschutzkommission hat in 2014 die Überarbeitung der Radiologischen Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden (SSK 2014) abgeschlossen. Im Rahmen dieser Überarbeitung wurden die konzeptionellen Weiterentwicklungen und Präzisierungen zum Radiologischen Notfallschutz eingebracht, die in der jüngeren Vergangenheit auf internationaler Ebene erfolgt sind.

Sie basieren ganz wesentlich auf den Empfehlungen von 2007 der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP 103 (ICRP 2007). Die mit der Veröffentlichung ICRP 103 neu eingeführten Konzepte für Expositionssituationen, die sich aus einem radiologischen Notfall ergeben können, sind in weiteren nachfolgenden Publikationen ICRP 109 (ICRP 2009a), ICRP 111 (ICRP 2009b) näher erläutert und im Hinblick auf eine Umsetzung in der Praxis eingehender behandelt worden.

In der ICRP-Empfehlung 103 wird ein Referenzwert der verbleibenden Dosis eingeführt, der sich vornehmlich auf die effektive Dosis bezieht und Dosisbeiträge über alle Expositionspfade (Inhalation, externe Strahlung, Ingestion) berücksichtigt. Für radiologisch schwerwiegende Ereignisse kann als Referenzwert der effektiven Dosis in der Folgezeit von einem Jahr ein oberer Wert von 100 mSv festgelegt werden. Als typischer Wertebereich für die im Rahmen der Notfallplanung festzulegende verbleibende Dosis wird 20 mSv bis 100 mSv im ersten Jahr vorgeschlagen (ICRP 103), wobei für die Festlegung eines Referenzwertes die erwartbare Schwere der radiologischen Folgen zu berücksichtigen ist.

Das BfS hat im Rahmen der hier dargestellten Studie auch die Frage untersucht, wie das neue ICRP-Konzept eines Referenzwertes der verbleibenden Dosis im ersten Jahr mit den deutschen Eingreifrichtwerten verträglich ist (Kap. 8.6).

Gleichzeitig beinhaltet die Studie im Sinne des bis 2014 gültigen Schutzkonzeptes auch Untersuchungen zu den Schutzmaßnahmen „Temporäre Umsiedlung“ und „Permanente Umsiedlung“, die aber praktisch durch die Einführung der Referenzwerte nach ICRP an Bedeutung verloren haben.

### **3.2. Radiologische Schutzziele der Notfallschutzplanung**

Das BfS hat den hier vorgestellten Untersuchungen die Radiologischen Schutzziele der Radiologischen Grundlagen (SSK 2014) und die damit verbundenen Bewertungskriterien zugrunde gelegt. Die Strahlenschutzkommission hat die radiologischen Schutzziele der Notfallschutzplanung im Rahmen ihrer Überarbeitung der Radiologischen Grundlagen präzisiert. Gemeinsames Ziel der Maßnahmen des Notfallschutzes ist nach (SSK 2014) die Reduzierung 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.

### **3.3. Konzept zur Ermittlung von möglicherweise betroffenen Gebieten und dazugehörige radiologische Kriterien**

Ziel dieser Studie ist es zu analysieren, welche Strahlenexpositionen der Bevölkerung bei einem Unfall mit Kernschmelze in einem deutschen Kernkraftwerk auftreten könnte und in welchen Gebieten Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung zu veranlassen wären. Das Konzept zur Ermittlung der von Schutzmaßnahmen betroffenen Gebiete ist in der SSK-Empfehlung „Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken (SSK 2014b) beschrieben. Danach orientiert sich die Gliederung des von einem unterstellten Unfall betroffenen Gebietes an den vorgegebenen Zielen und an den Anforderungen an eine effektive und effiziente Maßnahmenabwicklung. Das Konzept für die Ermittlung der möglicherweise betroffenen Gebiete 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 eines Referenzquellterms (Kap. 4) wurden zur Ermittlung der möglicherweise betroffenen Gebiete Ausbreitungsrechnungen durchgeführt. Ein Ziel der Rechnungen war z.B. die Ermittlung von Entfernungen ab der Quelle, bis zu denen in einem solchen Fall Schutzmaßnahmen durchgeführt werden müssten. 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 Dosissschwellen für deterministische Effekte liegen. Eingreifrichtwerte sind in den Radiologischen Grundlagen (SSK 2014) für die in Tabelle 3.2 aufgeführten Schutzmaßnahmen festgelegt. Mit Hilfe der Eingreifrichtwerte werden die Gebiete ermittelt, in denen die Durchführung von Schutzmaßnahmen aus Sicht des Strahlenschutzes erforderlich ist.

Tab. 3.3.1: 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 inhalieren 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 inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
Evakuierung		100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalieren Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien

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

1. Ein Gebiet, das unmittelbar an das Anlagengelände anschließt, in dem die Bevölkerung wegen der möglichen Überschreitung des „100 mSv-Kriteriums“ evakuiert werden sollte.
2. 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
3. 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 zu schwerwiegenden deterministischen Effekten und hohen Risiken für stochastische Effekte kommen könnte, wenn keine Schutzmaßnahmen durchgeführt werden. Es ist daher notwendig, in diesem Bereich Schutzmaßnahmen vorzubereiten, die mit höchster Priorität sehr schnell und möglichst vor dem Beginn der unfallbedingten Freisetzung durchgeführt und abgeschlossen werden können. Bei der Ermittlung des Planungsgebietes höchster Priorität stehen damit zwei Aspekte im Vordergrund: die Vermeidung schwerwiegender deterministischer Effekte und die Gewährleistung einer prioritären und damit optimierten Umsetzung von Schutzmaßnahmen.

Zur 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 Dosis-schwellen 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 Dosis-schwelle 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 Bedingung 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. 3.3.2: 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* (siehe unten)	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 können Gebiete ermittelt werden, in denen mit sehr hoher Priorität Maßnahmen durchzuführen sind und in denen 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 Schutzmaßnahmen durchgeführt werden müssen.

### 3.4. Weitere für die vorliegende Untersuchung relevante Kriterien

Die vorliegenden Untersuchungen gehen über den zur Ermittlung von Planungsgebieten notwendigen Untersuchungsumfang hinaus. So wurde entsprechend dem bisherigen Schutzkonzept untersucht, in welchen Gebieten sich unter den zugrunde gelegten Randbedingungen die Notwendigkeit für temporäre oder permanente Umsiedlungen ergeben könnte. Die für diese Untersuchungen relevanten radiologischen Kriterien sind in der folgenden Tabelle 3.4 zusammengefasst:

Tab. 3.4: Eingreifrichtwerte für die Maßnahmen langfristige Umsiedlung und temporäre Umsiedlung (aus SSK 2008)

Maßnahme	Eingreifrichtwerte		
	Organdosis (Schilddrüse)	Effektive Dosis	Integrationszeiten und Expositionspfade
Langfristige Umsiedlung		100 mSv	Äußere Exposition in 1 Jahr durch abgelagerte Radionuklide
Temporäre Umsiedlung		30 mSv	Äußere Exposition in 1 Monat

### 3.5. Methode zur Ermittlung möglicherweise betroffener Gebiete

Zur Ermittlung von möglicherweise betroffenen Gebieten wurde eine analytische Methode gewählt. Dabei wurden verschiedene Freisetzungsszenarien berücksichtigt (siehe Kap. 4), u.a. ein für die Festlegung der Planungsgebiete von der SSK ausgewählter Referenzquellterm. Mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS (Real-time Online Decision Support System) (Raskob und Gering 2010; siehe auch <http://www.rodos.fzk.de>) wurden 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. 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 möglicherweise betroffenen Gebiete in denen Schutzmaßnahmen aus radiologischer Sicht erforderlich sind,
- Durchführung von RODOS-Rechnungen zur Ermittlung der Gebiete, in denen auf der Basis der Eingreifrichtwerte nach (SSK 2014) Schutzmaßnahmen notwendig wären, in denen das 1000 mSv-Kriterium erreicht wird oder schwerwiegende deterministische Effekte auftreten könnten.

Zur übersichtlichen Darstellung der Ausgangssituation werden nachfolgend die bisherigen Planungsgebiete dargestellt.

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, siehe folgende Tabelle. 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.



## 4. FREISETZUNGS-SZENARIEN

In der vorliegenden Studie werden verschiedene Freisetzungsszenarien (Quellterme) berücksichtigt, um die daraus resultierenden Strahlenexpositionen der Bevölkerung abzuschätzen und notwendige Schutzmaßnahmen zu bestimmen.

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

Tab. 4.1 : Freisetzungskategorien der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS nach (Löffler et al. 2010); (zum Vergleich – in kursiver Schrift - der ermittelte Quellterm des Unfalls in Fukushima aus (GRS 2013))

Name	Art	Freisetzung Iod-131 [Bq]	Freisetzung Cäsium-137 [Bq]	Beginn der Hauptfreisetzung Stunden [h] nach Abschaltung des Reaktors	berechnete Häufigkeit [10 <sup>-7</sup> /Jahr]
<b>FKA</b>	Unbedecktes Dampferzeuger-Heizrohrleck	3,1·10 <sup>17</sup>	2,9·10 <sup>16</sup>	ca. 21	2,1
<i>Fukushima</i>	<i>Ausfall der Kühlung in mehreren Reaktoren</i>	<i>1 - 2·10<sup>17</sup></i>	<i>1-2·10<sup>16</sup></i>	<i>ca. 13</i>	<i>-</i>
<b>FKI</b>	Gefilterte Druckentlastung über den Kamin	2,8·10 <sup>15</sup>	2,8·10 <sup>11</sup>	ca. 57	8,8
FKH	Gefilterte Druckentlastung über Dach	2,8·10 <sup>15</sup>	2,8·10 <sup>11</sup>	ca. 57	2,6
<b>FKF</b>	Ungefilterte Druckentlastung über Dach	2,3·10 <sup>16</sup>	2,8·10 <sup>14</sup>	ca. 57	2,1
FKE	Sumpfansaugrohrversagen	1,8·10 <sup>17</sup>	9,4·10 <sup>14</sup>	ca. 33	1,4

In der vorliegenden Studie wurden die Freisetzungsszenarien FKA, FKF und FKI berücksichtigt (in obiger Tabelle in fetter Schrift markiert). Diese Freisetzungsszenarien entsprechen den höchsten Kategorien 5 (FKI), 6 (FKF) und 7 (FKA) nach der international gebräuchlichen INES-Skala (International Nuclear Event Scale) zur Bewertung nuklearer und radiologischer Ereignisse.

Ein Quellterm wird durch die Menge freigesetzter radioaktiver Stoffe (Freisetzungsmenge), Freisetzungsdauer und Freisetzungsort gekennzeichnet. Daneben ist für die Belange des Katastrophenschutzes auch die Zeitdauer 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; entspricht dem „Beginn der Hauptfreisetzung“ in obiger Tabelle) bedeutsam.

Die folgenden Abbildungen zeigen den zeitlichen Verlauf der Freisetzungsraten für die drei berücksichtigten Quellterme FKA, FKF und FKI.

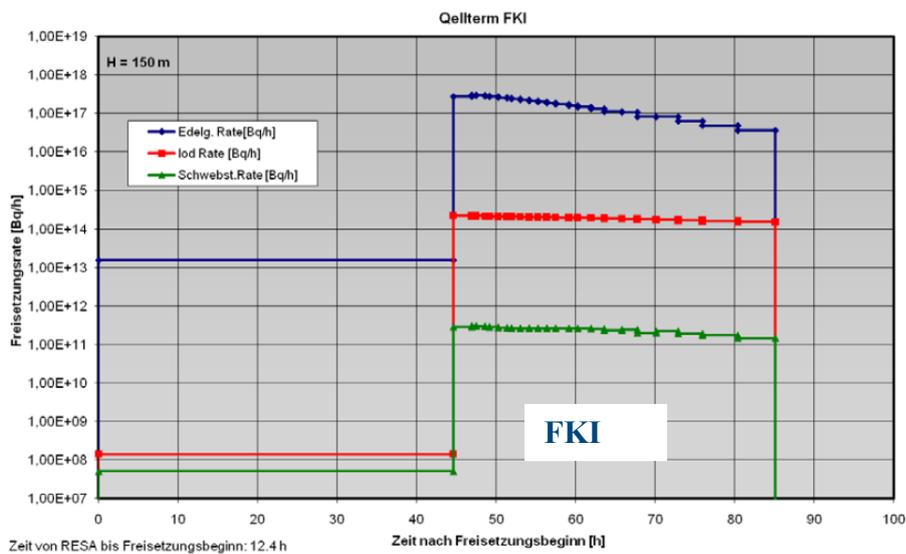
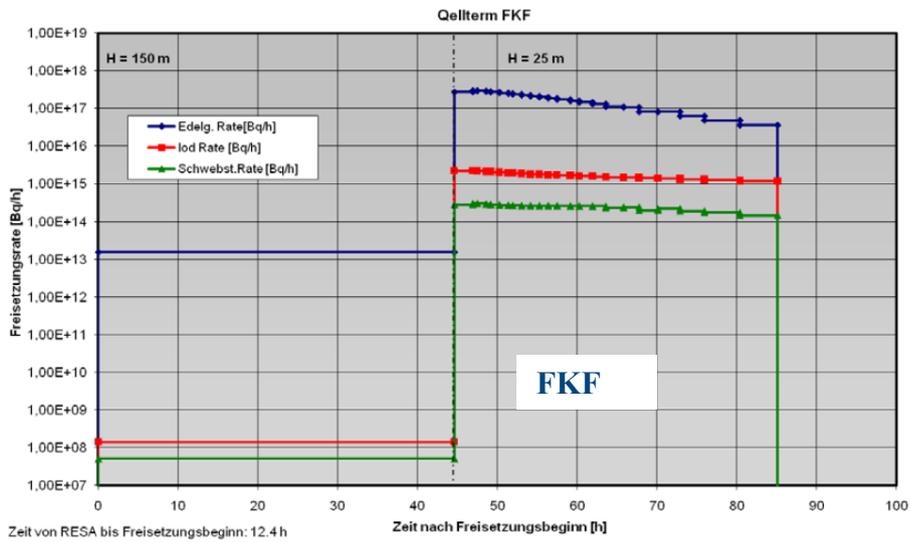
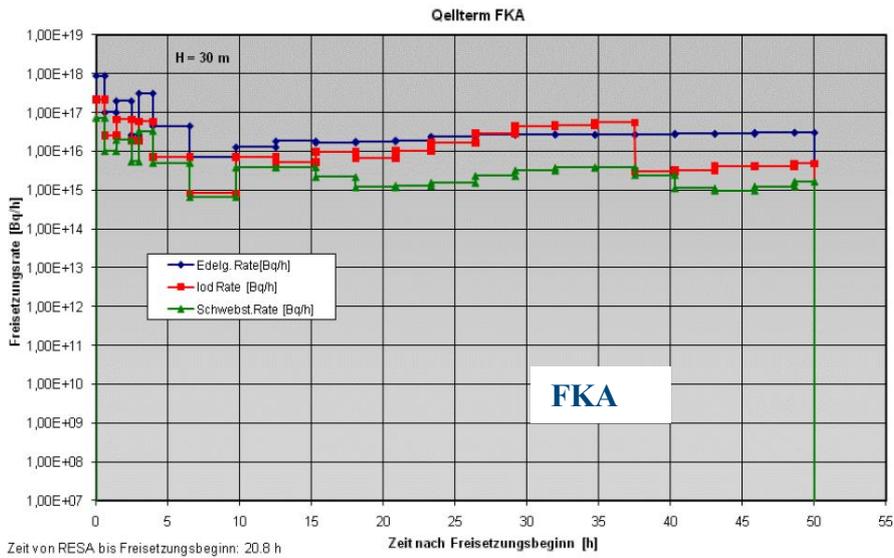


Abb. 4.1: Zeitlicher Verlauf der Freisetzungsraten (über Nuklidgruppen summiert) der berücksichtigten Quellterme FKA, FKF und FKI. Die jeweilige Freisetzungshöhe (über Grund) ist links oben in jeder Abbildung mit angegeben.

# 5. AUSWAHL DER UNTERSUCHTEN STANDORTE VON KERNKRAFTWERKEN

## 5.1. Auswahl der untersuchten Standorte

Für die vorliegende Untersuchung 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 die radiologischen Auswirkungen für Unfälle an diesen Standorten berechnet.

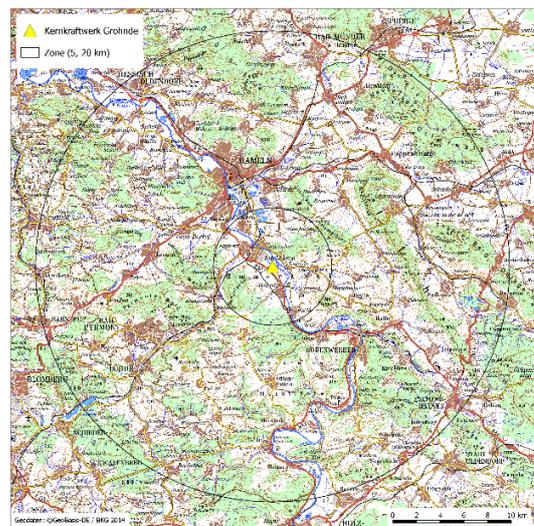
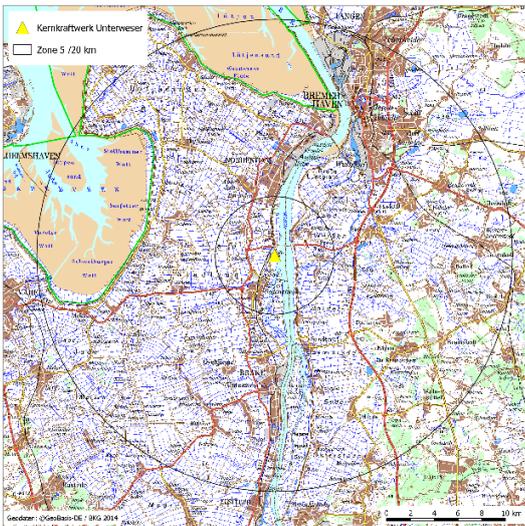


Abb. 5.1 a, b: Darstellung der Umgebung des KKW Unterweser (links) und des KKW Grohnde (rechts) auf einer topografischen Karte mit Maßstab (unten rechts) und Entfernungskreisen von 5 und 20 km



Abb. 5.1 c: Darstellung der Umgebung des KKW Philippsburg auf einer topografischen Karte mit Maßstab (unten rechts) und Entfernungskreisen von 5 und 20 km.

## 5.2. Meteorologischer Vergleich einzelner Standorte

Für die Standorte Unterweser, Grohnde und Philippsburg liegen langjährige Zeitreihen meteorologischer Messungen aus der Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) vor. Diese Daten wurden durch das BfS als Monatsmittel statistisch über mehrere Jahre ausgewertet. Damit kann gezeigt werden, dass auch der Zeitraum, für den die Rechnungen durchgeführt wurden (01. November 2011 – 31. Oktober 2012), als repräsentativ für einen längeren Zeitraum (2008 – 2012) angesehen werden kann und nicht durch besondere meteorologische Bedingungen zu nur begrenzt gültigen Aussagen führt.

### 5.2.1. Windgeschwindigkeit an den einzelnen Standorten

Die Windgeschwindigkeit ist ein wesentlicher ausbreitungsrelevanter Parameter. In den nachfolgenden Grafiken wird die statistische Verteilung der Windgeschwindigkeit in einzelnen Geschwindigkeitsklassen und verschiedenen Jahren (2008 – 2012) für die einzelnen Standorte (Unterweser, Grohnde und Philippsburg) dargestellt.

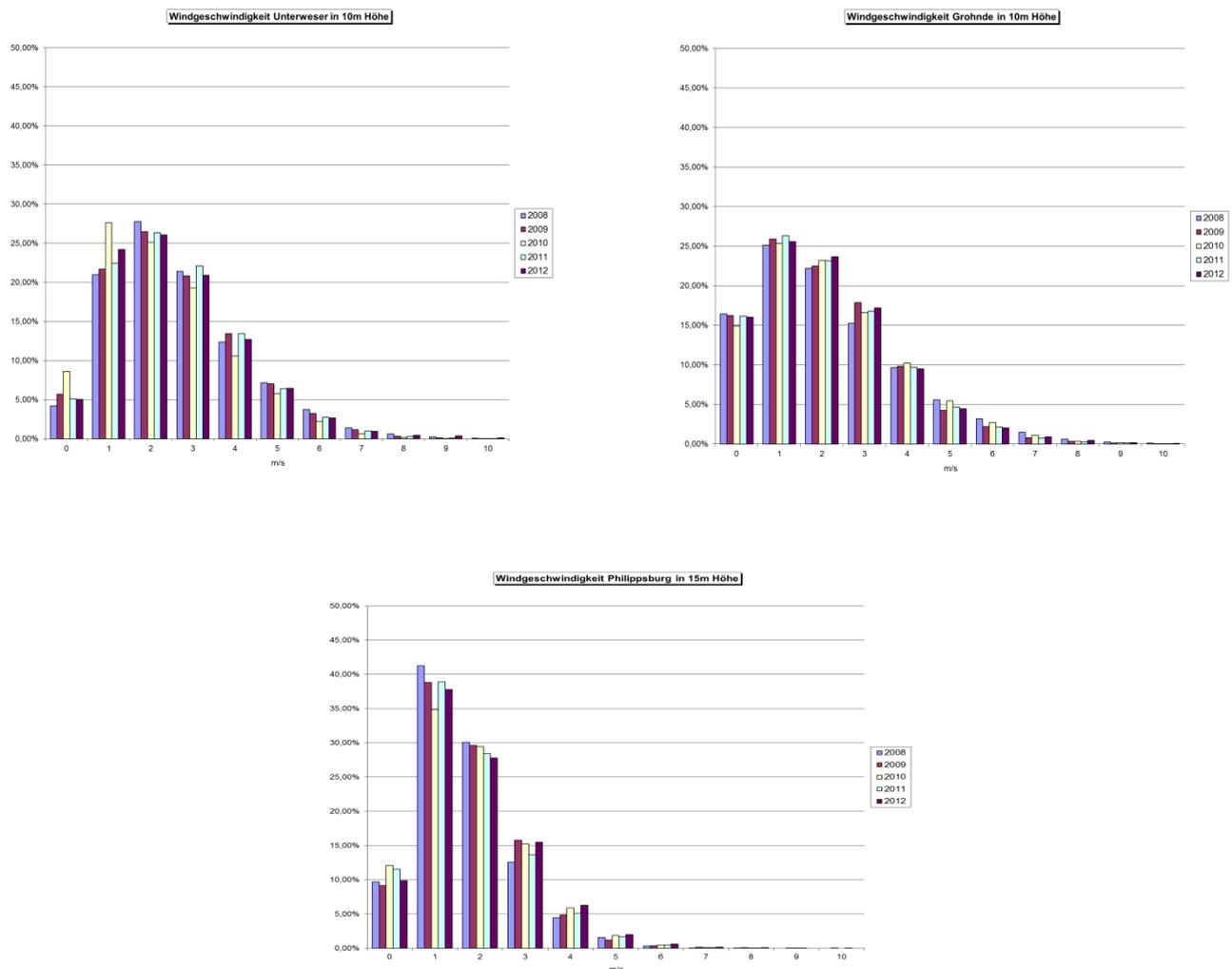


Abb.5.2.1 a, b, c: Grafiken zur Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit an den Standorten Unterweser, Grohnde und Philippsburg im Zeitraum 2008 bis 2012

Die Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit zeigen das für die klimatische Region Deutschlands typische Aussehen

- mit relativ hohen Windgeschwindigkeiten in der Norddeutschen Tiefebene (Unterweser),
- die leicht niedrigeren Windgeschwindigkeiten für den Bereich der moderat strukturierten Orographie (Grohnde mit gut erkennbarer Zunahme der Häufigkeit bei niedrigen Windgeschwindigkeiten durch die Tallage) und
- die Verlagerung in den Bereich der niedrigen Windgeschwindigkeiten durch die ausgeprägte Tallage
- und häufige Inversionen im Oberrheingraben (Philippsburg).

Die farblich unterlegten einzelnen Balken repräsentieren das jeweilige Jahr. Es ist gut erkennbar, dass in dem hier zur Verfügung stehenden Datensatz 2008 – 2012 keine großen Unterschiede in den einzelnen Jahren auftreten. Allenfalls im Jahr 2010 erscheint bei Unterweser die Häufigkeit im niedrigen Windgeschwindigkeitsbereich (0 und 1 m/s) etwas größer, dies ist jedoch im Rahmen der statistischen Schwankungen zu sehen und für die weiteren Auswertungen nicht relevant.

## 5.2.2. Windrichtung

Bei der Windrichtung wurde die Darstellung in Form einer Häufigkeitsverteilung der Windrichtung als Funktion der Zeit ausgegeben. Je weiter ein betrachteter Punkt vom Zentrum entfernt ist desto häufiger tritt diese Windrichtung im jeweils betrachteten Jahr (farblich unterschiedliche Linie) auf.

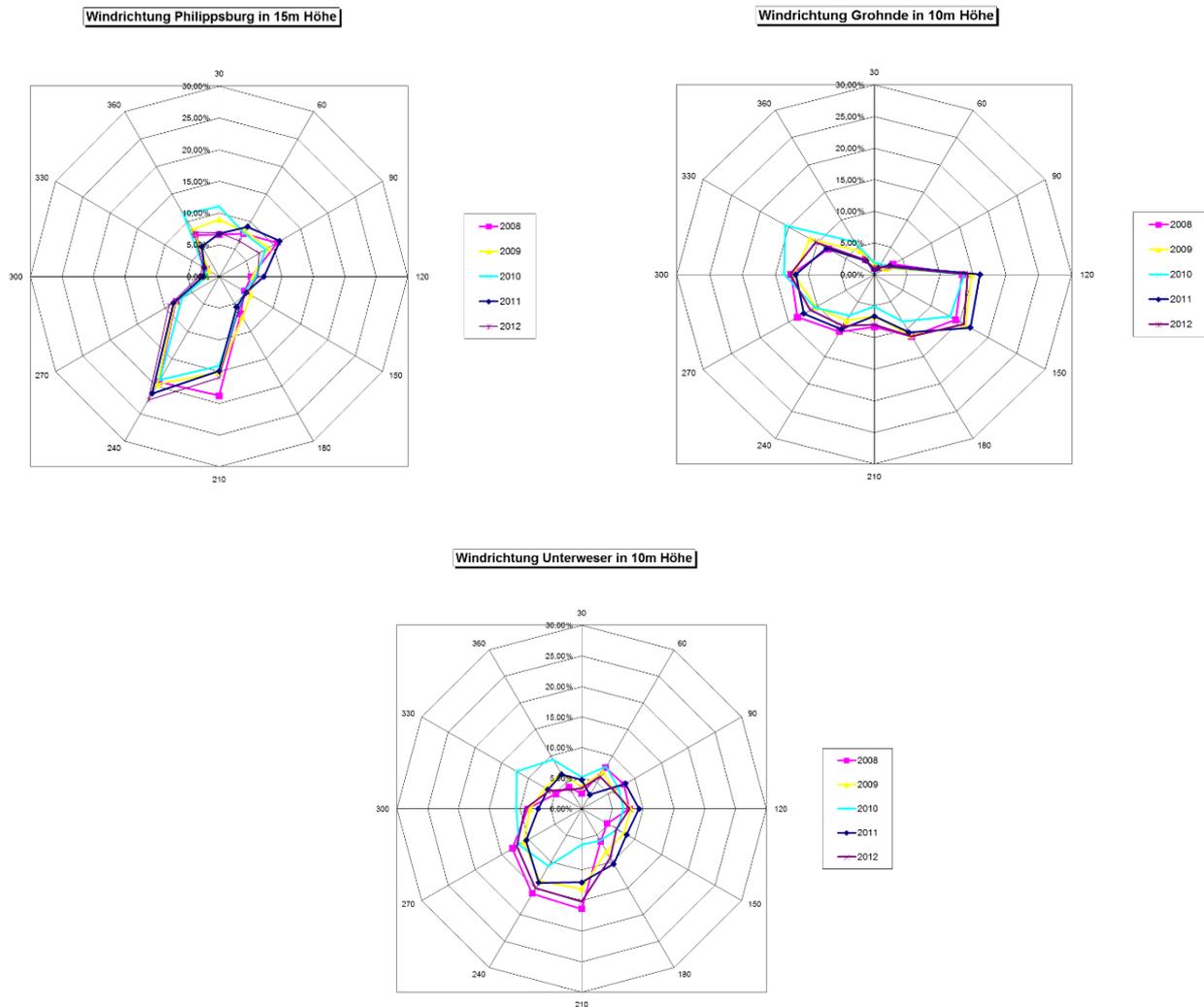


Abb.5.2.2 a, b, c: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung an den Standorten Philippsburg, Grohnde und Unterweser im Zeitraum 2008 bis 2012. Die Windrichtung ist dabei in Sektoren von jeweils 30° zusammengefasst

Für Norddeutschland ist eine breite Verteilung für Windrichtungen aus Süd-West erkennbar was dem typischen Verlauf (Hauptwindrichtung) in dieser Region entspricht. Bei den Graphiken für Grohnde und Philippsburg ist eine Dominanz bestimmter Windrichtungen zu erkennen; diese Häufigkeit beruht auf den Führungseffekt der Luftströmung aufgrund der Tallage bzw. Talausrichtung.

Damit kann auch für die Windrichtung der für die Rechnungen zugrunde gelegte Zeitraum (01. November 2011 – 31. Oktober 2012) in Bezug auf die meteorologisch untersuchten Jahre 2008 bis 2012 als repräsentativ angesehen werden.

### 5.2.3. Atmosphärische Stabilität

Auch die atmosphärische Stabilität hat einen erheblichen Einfluss auf die atmosphärische Ausbreitung und wird daher als ausbreitungsrelevanter Parameter mit untersucht. Bei der Darstellung der Stabilität wurde die Klassifizierung nach Pasquill gewählt; hier wird eine sehr labile Schichtung mit A, übergehend auf leicht labil (B), leichtlabil – neutral (C), neutral - leicht stabil (D), stabil E und stark stabil (F) bezeichnet.

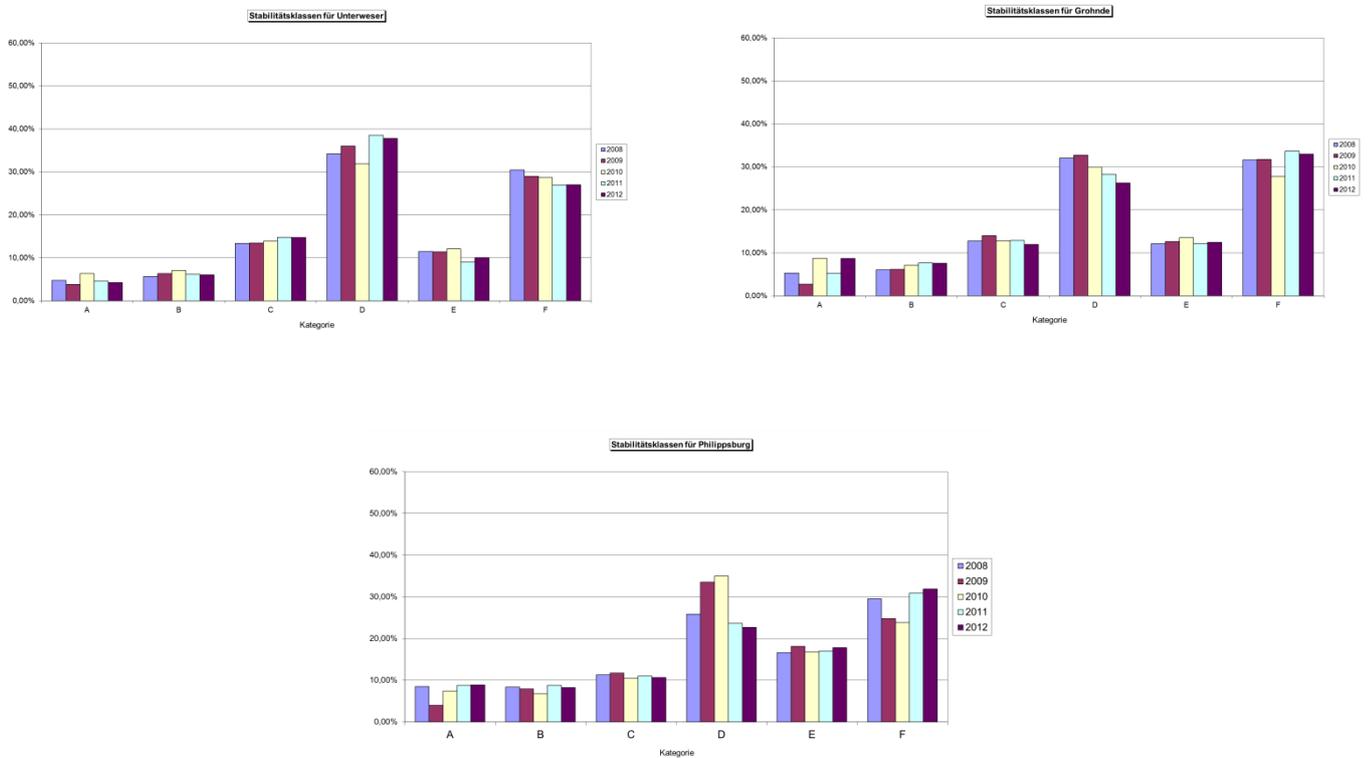


Abb.5.2.3 a, b, c: Häufigkeitsverteilung der Stabilität (nach Pasquill) an den Standorten Unterweser, Grohnde und Philippsburg im Zeitraum 2008 bis 2012.

Die Häufigkeitsverteilung der Stabilitätsklassen ist an allen Standorten sehr ähnlich. Insgesamt dominieren die neutral- leicht stabilen Fälle (Klasse D) sowie die sehr stabilen Fälle (Klasse F). Die neutralen – leicht stabilen Fälle haben die größte Häufigkeit am Küstenstandort und sind etwas seltener an den Standorten im Landesinneren. Bei den insgesamt labilen Fällen (A – C) ist eine leicht geringere Häufigkeit am Küstenstandort festzustellen; bei den Tallagen (Grohnde und Philippsburg) ist die Anzahl demgegenüber leicht erhöht.

Größere Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung über die einzelnen Jahre betrachtet sind nicht festzustellen. Es gibt leicht Fluktuationen bei der Klasse D an allen Standorten sowie noch schwächer ausgeprägt bei der Klasse F. Diese Unterschiede liegen in den einzelnen Jahren untereinander im einstelligen Prozentbereich und haben damit auf die Gesamtrechnungen keinen signifikanten Einfluss.

## 5.2.4. Niederschlag

Der Niederschlag wirkt sich insbesondere durch die nasse Deposition auf die atmosphärische Ausbreitung von Radionukliden aus; daher sollte auch er als ausbreitungsrelevanter Parameter bezüglich der statistischen Verteilung in den einzelnen Jahren betrachtet werden.

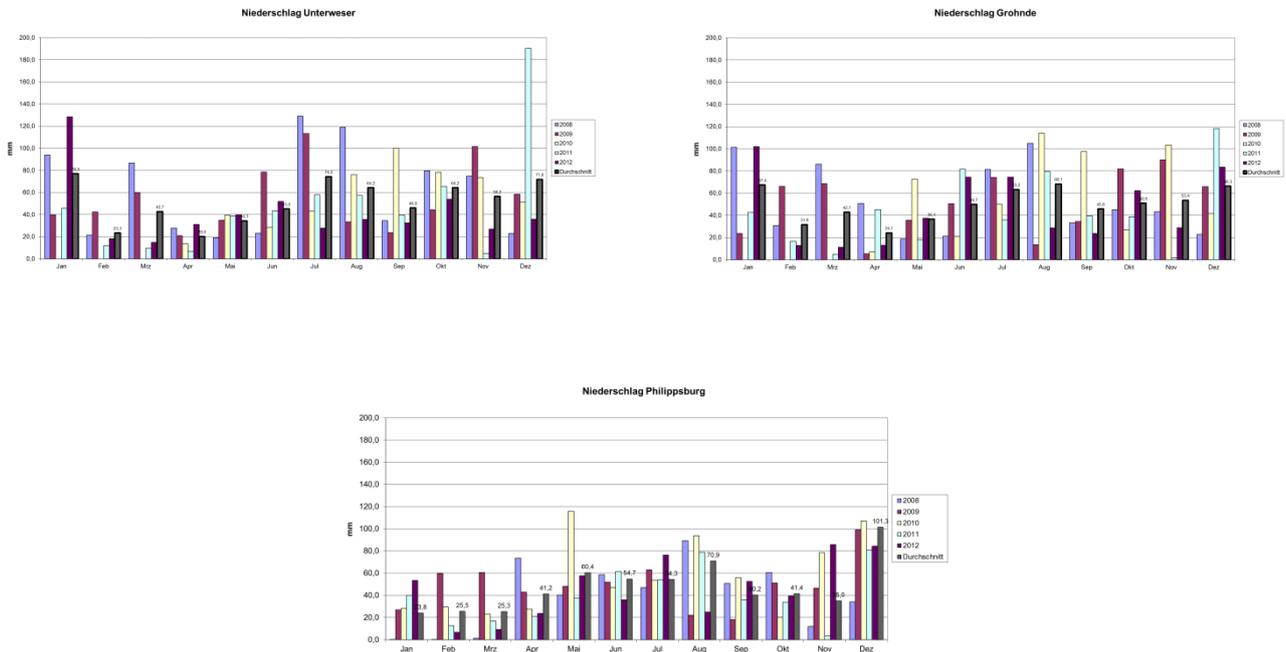


Abb.5.2.4 a, b, c: Häufigkeitsverteilung des Niederschlags an den Standorten Unterweser, Grohnde und Philippsburg im Zeitraum 2008 bis 2012.

Bei den Niederschlägen sind durchaus Unterschiede bei den einzelnen Standorten und insbesondere bei den verschiedenen Jahren zu erkennen. Beim Niederschlag erscheint insbesondere das Jahr 2010 an einzelnen Monaten größere Unterschiede aufzuweisen; diese werden jedoch durch die Häufigkeit in vorangehenden -bzw. folgenden Monate egalisiert, so dass von einer normalen und für den Niederschlag typischen Fluktuation ausgegangen werden kann. Eine Auswirkung auf die nasse Deposition bei den RODOS Rechnungen durch diese Fluktuation ist nicht zu erwarten.

Zusammengefasst kann bei den meteorologischen Messungen dieser ausbreitungsrelevanter Parameter festgestellt werden, dass der für diese Untersuchung gewählte Zeitraum 01.November 2011 bis 31.Oktober 2012 als repräsentativ für einen längeren Zeitraum (2008 – 2013) angesehen werden kann.

## 6. DAS ENTSCHEIDUNGSHILFESYSTEM RODOS

Die hier vorgestellten Untersuchungen des BfS zu möglichen Auswirkungen von schweren Kernkraftwerks-Unfällen in Deutschland wurden mit dem Computerprogramm RODOS durchgeführt (Raskob und Gering 2010; <http://www.rodos.fzk.de/>). Das Entscheidungshilfesystem RODOS (Real-time Online Decision Support System) wird im BfS - und auch in vielen anderen europäischen Staaten - betrieben, um Ausbreitungs- und Dosisberechnungen bei einem kerntechnischen Unfall (oder bei anderen Freisetzungen von Radionukliden in die Umwelt) durchzuführen und mögliche Konsequenzen abzuschätzen.

Die Entwicklung von RODOS wird vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) koordiniert und wurde durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und die Europäische Kommission gefördert. Begleitet wurde das Vorhaben unter anderem von einer Bund-Länder-Arbeitsgruppe. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betreibt seit über 10 Jahren eine Notfall-Zentrale, in der das deutsche RODOS-System implementiert und im operationellen Betrieb einsatzbereit ist. Das System zeichnet sich dadurch aus, dass Echtzeitmessdaten der länderspezifischen Kernreaktor-Fernüberwachungssysteme (KFÜ), meteorologische Prognosedaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sowie bundesweite Daten des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) online übermittelt und in die Berechnungen integriert werden können.

RODOS beinhaltet eine Vielzahl von Modellen, z.B.

- für die Verarbeitung meteorologischer Eingangsdaten,
- zur Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung,
- zur Simulation des Transfers von Radionukliden innerhalb der menschlichen Nahrungskette,
- zur Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung,
- zur Simulation des Effekts verschiedenster Gegenmaßnahmen.

### 6.1. Ausbreitungsmodelle in RODOS

In RODOS sind verschiedene Ausbreitungsmodelle implementiert; aufgrund verschiedener Randbedingungen (z.B. Rechenzeit, räumliche und zeitliche Auflösung) kommen für die umfangreichen Rechnungen mit RODOS im Rahmen dieser Studie im Wesentlichen zwei Modelle in Betracht; sie werden nachfolgend skizziert. Beide Modelle wurden in der Studie verwendet, u.a. aufgrund der besseren physikalischen Eigenschaften des RIMPUFF-Modells und der Möglichkeit für größere Entfernungen vom Freisetzungsort zu rechnen beruhen alle in dieser Studie vorgestellten Ergebnisse auf Rechnungen mit RIMPUFF.

#### 6.1.1. ATSTEP

ATSTEP basiert auf dem Algorithmus eines Gauß-Puff-Modells und wird bei Entfernungen bis etwa 50 km vom Emissionsort angewandt [[http://www.rodos.fzk.de/Documents/Public/Handbook/Volume3/4\\_2\\_5\\_ATSTEP.pdf](http://www.rodos.fzk.de/Documents/Public/Handbook/Volume3/4_2_5_ATSTEP.pdf)]. Es wurde insbesondere für sehr schnelle Berechnungen bei einer unfallbedingten Freisetzung von luftgetragenen radioaktiv kontaminierten Substanzen entwickelt. ATSTEP kann eine Echtzeit-Diagnose der radiologischen Situation nach einer Freisetzung und Ausbreitung für bis zu 24 Stunden berechnen.

Eine radiologische Situation kann damit durch folgende, mit ATSTEP berechnete Ergebnisse beschrieben werden:

- bodennahe Konzentration (kurzzeitig oder zeitintegriert),
- Kontamination der Bodenoberfläche durch trockene oder nasse Deposition,
- Gamma-Strahlung (vom Boden, aus der Wolke).

Diese Ergebnisse werden als zeitabhängige, nuklidspezifische Felder im gesamten Rechengebiet ausgegeben.

In ATSTEP werden folgende ausbreitungs- bzw. radiologische relevante Phänomene betrachtet:

- zeitabhängige Meteorologie (Mastmessung, SODAR, Prognosedaten, inhomogene Windfelder)
- zeitabhängige und nuklidspezifische Freisetzungsraten, Berücksichtigung des thermischen Auftriebs (Schornsteinüberhöhung).

Im Unterschied zu klassischen Puff-Modellen (z.B. RIMPUFF) werden in ATSTEP keine kurzzeitigen Puffs sondern zeitintegrierte, ausgedehnte Puffs freigesetzt. Der Transport jedes ausgedehnten Puffs in der Atmosphäre wird durch zwei Trajektorien repräsentiert, die jeweils mit beiden Enden des Puffs gekoppelt sind. Dieses Paar an

Trajektorien und damit der ausgedehnte Puff selbst folgen einem inhomogenen und variablen 2d-Windfeld, so dass die entsprechende Wolke alle erforderlichen Änderungen in der Lage, Ausdehnung und Orientierung wie z.B. Erstreckung, Drehung, Schrumpfen oder Seitwärtsbewegungen mit vollzieht.

Aufgrund der ausgedehnten Puffs kann die Simulation der Wolke durch eine wesentlich kleinere Anzahl von Puffs dargestellt werden. Demzufolge ist die Anzahl an Zeitschritten für die Simulation der Freisetzung und des Transports deutlich kleiner. Damit reduziert diese Art der Approximation die Rechenzeit des Programms, so dass in einem zehnminütigen Echtzeitintervall eine komplette Ausbreitungs- und Expositionsprognose für eine Freisetzung für mehrere Stunden durchgeführt werden kann.

Im Vergleich zum klassischen Puffmodell bedingt die Approximation durch ausgedehnte Puffs eine Reduktion der Auflösung in Raum und Zeit. Diese höhere Auflösung wird jedoch nur bei sehr variablen und inhomogenen Ausbreitungsbedingungen benötigt.

### **6.1.2. RIMPUFF**

Das RIMPUFF Modell (Risø Mesoscale PUFF Model) ist ein Lagrange, mesoskaliges, atmosphärisches Puff-Ausbreitungsmodell welches die Berechnung der Aktivität und Dosen von luftgetragenen radioaktiven Stoffen durchführt. Das Modell kann sowohl instationäre als auch inhomogene meteorologische Situationen behandeln, die insbesondere im Zusammenhang mit der Abschätzung von kurzzeitigen (unfallbedingten) Freisetzungen von luftgetragenen Radionukliden in der Atmosphäre von Interesse sind.

Das Modell kann in homogenem und inhomogenem Gelände mit gemäßigter Orographie in einem Entfernungsbereich von bis zu einigen hundert Kilometer vom Emissionsort angewandt werden. Zeitlich variable Freisetzungen können durch eine Reihe von gaußförmigen Puffs dargestellt werden; bei welchen jeder einzelne Puff die Menge der Freisetzung innerhalb eines Zeitintervalls repräsentiert.

RIMPUFF wurde für die Echtzeitberechnung von Aktivitäten, zeitintegrierten Aktivitäten, der Deposition und der Dosis aus Wolken-Gammastrahlung und auch der Boden-Gammastrahlung optimiert. Im RIMPUFF Berechnungsverfahren sind stabilitätsabhängige Ausbreitungsparameter, Berechnungsverfahren für die Schonsteinüberhöhung, Möglichkeiten zur Berücksichtigung einer Inversion und Reflektion am Boden sowie die Berücksichtigung der trockenen und nassen Deposition enthalten. Das Modell kann auch in moderat gegliedertem Gelände angewandt werden; dabei wird ein puff-split Verfahren angewandt.

## 6.2. Dosisberechnungen in RODOS

Die Dosisberechnung in RODOS berücksichtigt alle bei Freisetzungen von Radionukliden in die Umwelt relevanten Expositionspfade des Menschen, diese sind:

- externe Strahlenexposition durch Radionuklide in der Luft,
- externe Strahlenexposition durch Radionuklide, die auf dem Boden abgelagert wurden,
- externe Strahlenexposition durch Radionuklide, die auf der Kleidung oder Haut abgelagert wurden,
- interne Strahlenexposition durch Inhalation von Radionukliden in der Luft,
- interne Strahlenexposition durch Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung.

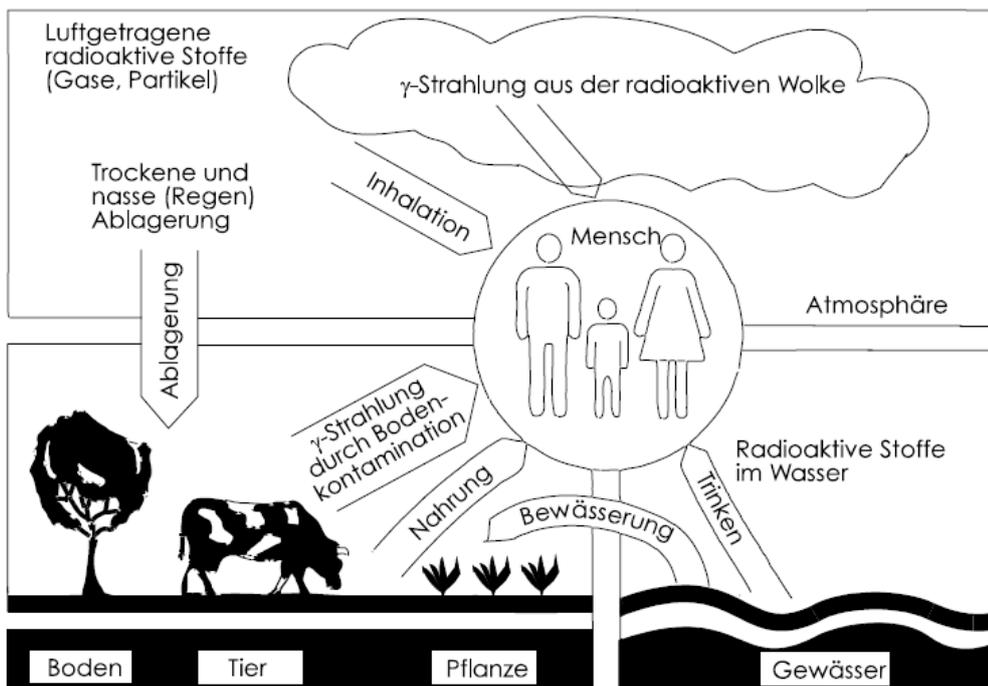


Abb. 6.2 : Schematische Darstellung von Expositionspfaden, die zur Strahlenexposition des Menschen führen können (aus (SSK 2008)).

In RODOS können bei der Dosisberechnung verschiedene Faktoren berücksichtigt werden, so z.B.

- die Abhängigkeit der Dosis von der betrachteten Altersgruppe (Erwachsene mit 50-Jahresfolgedosis bei Inkorporation, Jugendliche, Kinder und Kleinkinder mit 70-Jahresfolgedosis bei Inkorporation),
- die Abhängigkeit der Dosis vom betrachteten Organ (z.B. effektive Dosis, Schilddrüsendosis, etc.), bzw. von Atemraten,
- die Reduktion der Dosis durch den Aufenthalt innerhalb von Gebäuden,
- die langfristige Abnahme der externen Dosisrate durch Witterungseffekte,
- der Einfluss von Pflanzenwachstum, Ernte, Verarbeitung und Lagerung von Lebens- und Futtermittel auf die interne Dosis durch Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung,
- der Einfluss von Verzehrsgewohnheiten auf die interne Dosis durch Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung.

In der Dosisberechnung kommt den Dosiskoeffizienten eine zentrale Bedeutung zu: diese beschreiben den Zusammenhang zwischen der Konzentration von Radionukliden in verschiedenen Umweltmedien (z.B. auf der Bodenoberfläche, in der Luft oder in Lebensmitteln) und der daraus resultierenden Strahlenexposition des Menschen. In RODOS werden zur Berechnung der internen Exposition die Dosiskoeffizienten der International Commission on Radiological Protection (ICRP) verwendet (ICRP 2012, BMU 2001). Für die Berechnung der internen Exposition -speziell des Fetus- werden ebenfalls durch ICRP veröffentlichte Dosiskoeffizienten berücksichtigt (ICRP 2001). Für die externe Exposition gibt es bisher noch keine internationale Empfehlung für Dosisleistungskoeffizienten, in RODOS werden Daten der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF) verwendet (Jacob 1990).

## 7. RECHNUNGEN MIT RODOS

### 7.1. Randbedingungen

Ziel dieser Studie ist es zu analysieren, zu welchen Auswirkungen ein Unfall in einem deutschen Kernkraftwerk, bei dem es zu einer Kernschmelze kommt, führen könnte. Dazu wurden mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS die Gebiete ermittelt, in denen bei der angenommenen Freisetzung und der betrachteten Wettersituation hohe Dosen und schwerwiegende deterministische Effekte auftreten und in denen Eingreifrichtwerte für Schutzmaßnahmen überschritten werden. Die Berechnungen mit RODOS wurden exemplarisch für drei KKW-Standorte durchgeführt (KKW Unterweser, KKW Grohnde und KKW Philippsburg, siehe Kap. 5).

Auf der Basis der in Kap. 4 „Freisetzungsszenarien“ aufgelisteten Freisetzungen und realer prognostischer Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) wurden Berechnungen für einen frei gewählten Zeitraum (01. November 2011 – 31. Oktober 2012; 365 Tage mit jeweils einer Rechnung pro Tag und einem Prognosezeitraum von 96 h) mit RODOS durchgeführt. Aufgrund der großen Zahl an Ergebnissen (aus über 5000 Einzelrechnungen) steht damit eine gesicherte statistische Grundlage für Aussagen zu möglichen radiologischen Auswirkungen zur Verfügung.

Mit dem gewählten Zeitraum von einem vollen Jahr ist gewährleistet, dass jede Jahreszeit und deren meteorologische Besonderheiten hinreichend berücksichtigt sind. Durch Überprüfung der meteorologischen Daten aus der Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) der einzelnen Standorte über mehrere Jahre hinweg (siehe Kap. 5.2) wurde gezeigt, dass sich der untersuchte Zeitraum nicht signifikant von anderen Jahren unterscheidet und damit als repräsentatives 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 der drei betrachteten Quellterme (siehe Kap. 4) durchgeführt. Damit wurden für 365 Tage und 3 Standorte über 3000 Rechnungen erstellt. Zusätzlich wurden über 2000 ergänzende Rechnungen durchgeführt (z.B. um den Einfluss des verwendeten Ausbreitungsmodells, der gewählten Startzeit und anderer getroffener Annahmen zu untersuchen). Die Einzelrechnungen wurden um 00:00 Uhr des jeweiligen Tages gestartet. Infolge dieses Rechnungsbegins bleibt das Rechenergebnis in der Regel 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 zweimal 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 FKA 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 ausgerichtet, 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 (insbesondere bei größeren Entfernungen vom Freisetzungsort) ermöglicht und somit die meteorologischen Prozesse besser wiedergibt.

Bei jedem Rechenlauf wurde im Rechengbiet die Strahlenexposition der Bevölkerung als effektive Dosis und als Organdosis für Schilddrüse und Knochenmark berechnet. Die Strahlendosen wurden typischerweise - d.h. wenn nicht anders angegeben - für eine Integrationszeit von 7 Tagen (das betrifft die externe Dosis durch Radionuklide, die auf dem Boden abgelagert wurden) und unter der konservativen Annahme eines ungeschützten Daueraufenthaltes im Freien ermittelt (d.h. es wurde keine Abschirmung durch einen möglichen Aufenthalt in Gebäuden berücksichtigt). Berücksichtigt wurden dabei die externen Expositionspfade und die interne Exposition durch Inhalation. Nicht berücksichtigt wurde hingegen die interne Exposition durch Radionuklide in Nahrungsmitteln (Ingestion), da angenommen wird, dass bei einer Anwendung der EU-Höchstwerte für Radionuklide in Nahrungsmitteln sowie durch Nutzungseinschränkungen der Dosisbeitrag durch Ingestion gering sein würde gegenüber den anderen Expositionspfaden.

Alle Rechnungen wurden jeweils für Erwachsene und Kleinkinder (1 bis 2 Jahre) teilweise auch für den Embryo/Fetus in der 2. bis 7. Woche (Zeitraum der Induktion von Fehlbildungen durch ionisierende Strahlung; SSK 2014a) und der 8. bis 15. Woche (Hauptrisikozeitraum für geistige Retardierung durch ionisierende Strahlung; SSK 2014a) durchgeführt.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft eines der RODOS-Ergebnisse, hier die effektive Dosis für Erwachsene durch Inhalation, Wolken- und Bodenstrahlung über 7 Tage. Die Maßnahmen „Aufenthalt in Gebäuden“ sowie „Evakuierung“ beziehen sich auf diese Dosisgröße. Dargestellt ist das Ergebnis für den Standort Grohnde, den Quellterm FKA und für einen fiktiven Freisetzungsbeginn am 1. November 2011. Die RODOS-Rechnungen überdecken jeweils ein Quadrat mit ca. 320 km Seitenlänge, wobei das betrachtete KKW in der Mitte des Quadrats liegt. Radiologische Auswirkungen lassen sich so mindestens bis zu einer Entfernung von ca. 160 km vom KKW-Standort berechnen. Die roten Kreise zeigen die bisherigen Planungsgebiete für den Notfallschutz um Kernkraftwerke (2, 10, 25 km). Diese sind zwischen 2 und 10 sowie zwischen 10 und 25 km in jeweils 12 Sektoren eingeteilt. In der farbigen Ergebnisdarstellung der Dosis zeigt der Wechsel von gelb auf orange das Überschreiten des Richtwertes für die Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“, der Wechsel von Rot auf Magenta das Überschreiten des Richtwertes für die Maßnahme „Evakuierung“ an.

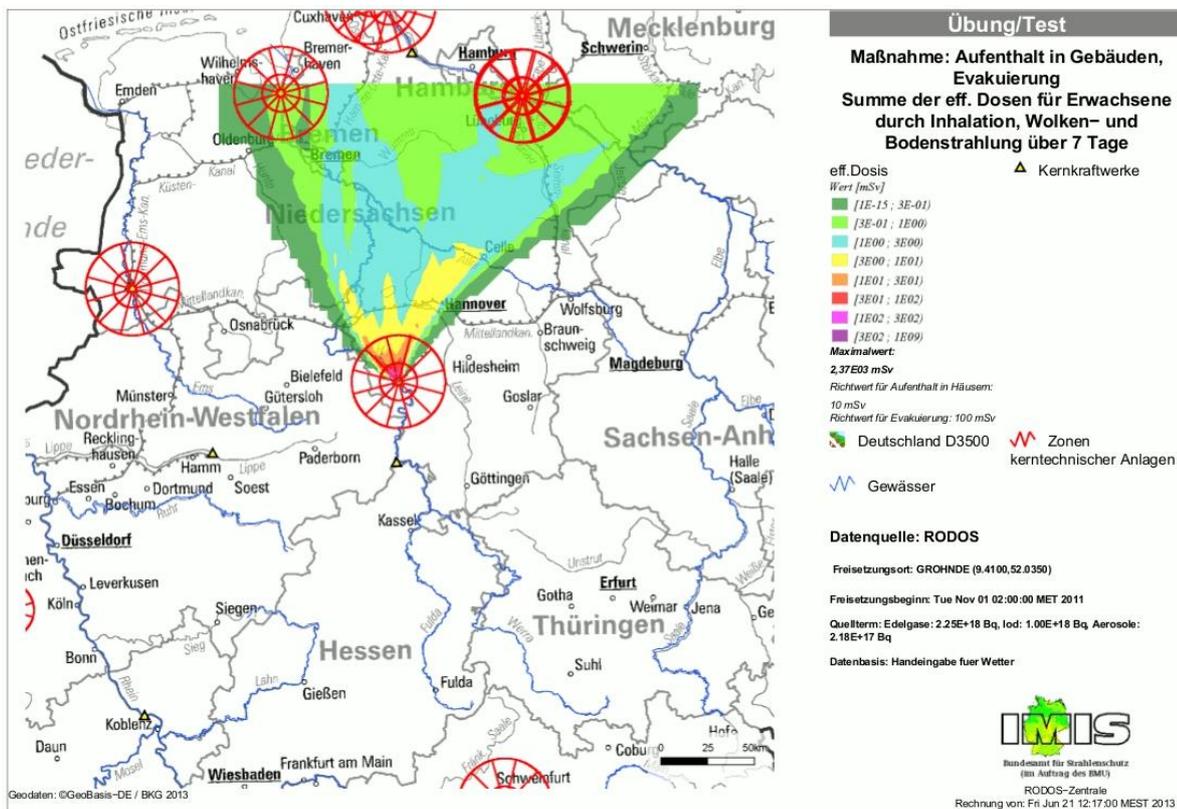


Abb. 7.1 : Effektive Dosis für Erwachsene durch Inhalation, Wolken- und Bodenstrahlung über 7 Tage für den Standort Grohnde, den Quellterm FKA und für einen fiktiven Freisetzungsbeginn am 1. November 2011.

## 7.2. Auswertung der RODOS-Rechnungen

Die Ergebnisse der RODOS-Rechnungen für die Strahlenexposition der Bevölkerung wurden mit verschiedenen Dosiskriterien verglichen (Kap. 3.3 und 3.4) und die Gebiete bestimmt, in denen das jeweilige Dosiskriterium überschritten wird. Die folgenden Dosiskriterien wurden berücksichtigt:

1. Eingreifrichtwerte für die Maßnahmen
  - Aufenthalt in Gebäuden (10 mSv effektive Dosis),
  - Evakuierung (100 mSv effektive Dosis),
  - Einnahme von Iodtabletten (50 mSv Schilddrüsendosis bei Kinder, Jugendlichen und Schwangeren sowie 250 mSv Schilddrüsendosis bei Personen von 18 bis 45 Jahren),
  - temporäre Umsiedlung (30 mSv effektive Dosis in einem Monat),
  - permanente Umsiedlung (100 mSv effektive Dosis in einem Jahr).
2. Schwellenwerte für das Auftreten schwerwiegender deterministischer Effekte (SSK 2014a):
  - 1.000 mGy für die Dosis des roten Knochenmarks,
  - 300 mGy für die Dosis des Gehirns eines Fetus in der 8. bis 15. Woche,
  - 100 mSv für die effektive Dosis für den Fetus in der 2. bis 7. Woche.
3. Dosiskriterium 1.000 mSv effektive Dosis (SSK 2014a).

Für die Gebiete mit Überschreitung eines der Dosiskriterien wurden jeweils die folgenden Parameter bestimmt:

- die Fläche (siehe Abb. 7.2.1 a),
- die Anzahl der betroffenen Personen (teilweise),
- die Anzahl der betroffenen Sektoren in verschiedenen Entfernungsklassen (siehe Abb. 7.2.1 b),
- die maximale Entfernung vom Kernkraftwerk, in der noch das jeweilige Dosiskriterium überschritten wird (siehe Abb. 7.2.1 c).

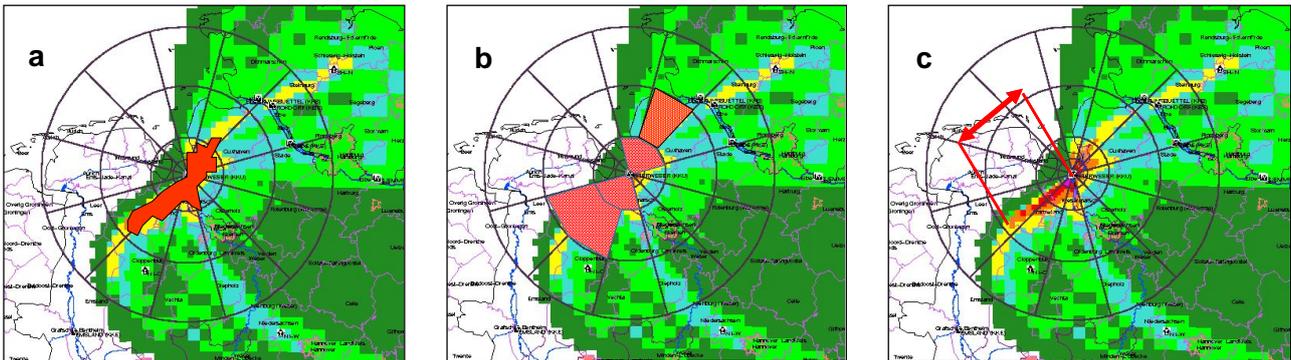


Abb. 7.2.1 a, b, c : Beispiel für die Bestimmung der Gebiete mit Überschreitung eines der Dosiskriterien: (a) Fläche, (b) Anzahl der betroffenen Sektoren, (c) maximale Entfernung vom Kernkraftwerk.

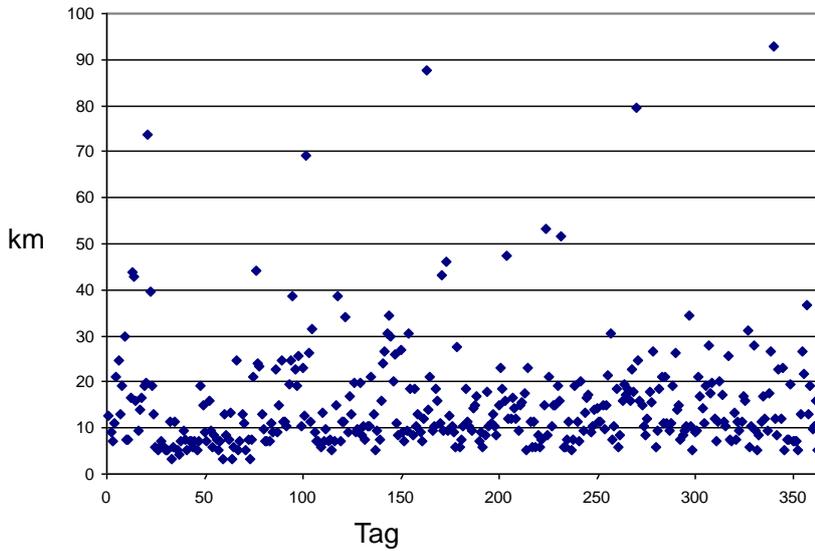
Für jeden Standort, jede Freisetzung und jedes Dosiskriterium ergibt sich aus der Vielzahl der Rechnungen – die sich aus den verschiedenen Wetterszenarien eines Jahres ergeben - die Möglichkeit zur Bestimmung einer statistischen Verteilung der Parameter, welche die betroffenen Gebiete charakterisieren. Diese Verteilung zeigt, wie häufig bestimmte Parameterwerte - z.B. eine maximale Entfernung, in der noch eine Maßnahme ergriffen werden muss - innerhalb eines Jahres auftreten können.

Abb. 7.2.2 a zeigt beispielhaft für jeden Tag eines Jahres die maximale Entfernung, in der an dem Standort Unterweser bei einer Freisetzung mit Quellterm „FKA“ der Eingreifrichtwert für Evakuierung überschritten worden wäre. Man erkennt eine starke Variabilität der Ergebnisse, in den meisten Fällen liegt die maximale Entfernung in einem Bereich von etwa 5 bis 30 km, in einigen Einzelfällen werden größere Werte bis über 90 km erreicht.

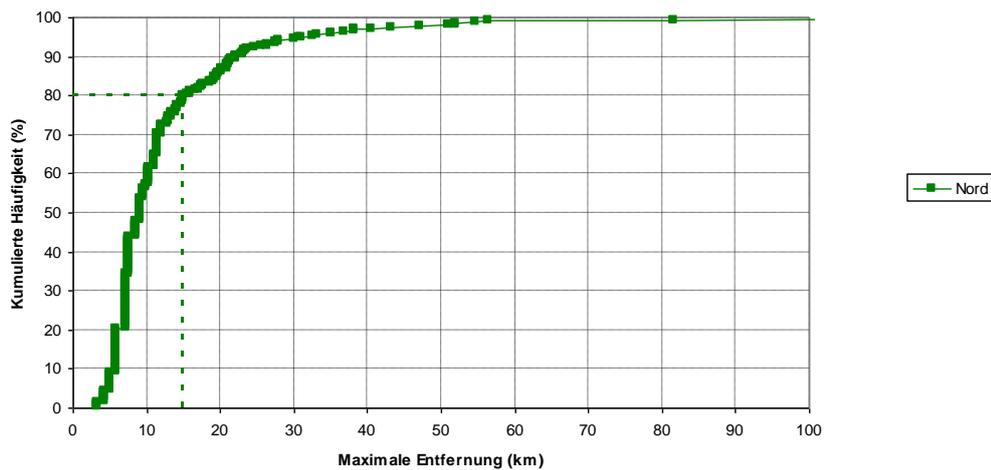
Stellt man diese Ergebnisse als kumulative Häufigkeit dar, so erhält man Abb. 7.2.2 b. Die kumulative Häufigkeit gibt hier den Anteil der gerechneten Wettersituationen an, bei denen alle Gebiete, in denen der jeweilige Eingreifrichtwert überschritten wird, innerhalb der angegebenen Entfernung liegen.

Die Abb. 7.2.2 c zeigt dasselbe Ergebnis im Vergleich der drei betrachteten Standorte. Man erkennt, dass für den Standort „Süd“ (d.h. KKW Philippsburg) tendenziell etwas größere maximale Entfernungen für die Maßnahme „Evakuierung“ auftreten als für die anderen beiden Standorte („Nord“ = KKW Unterweser, „Mitte“ = KKW Grohnde).

a)



b)



c)

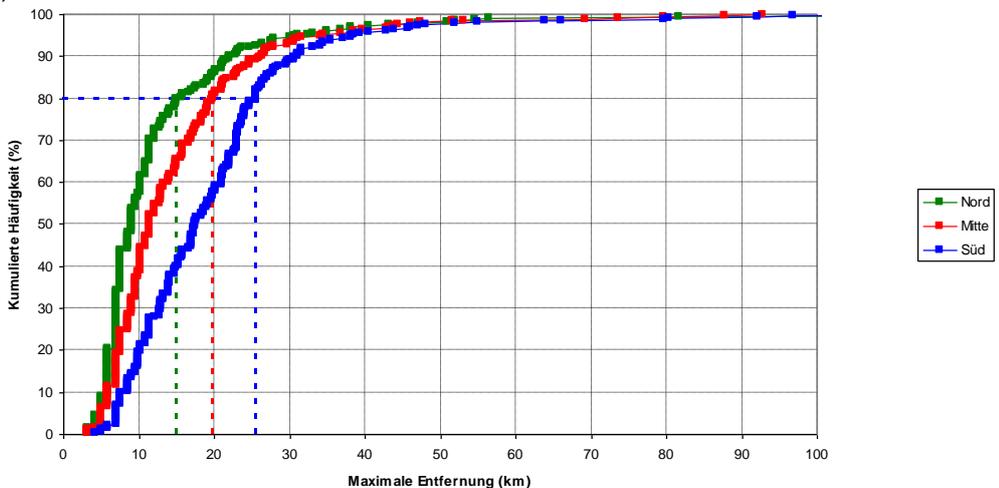


Abb.7.2.2 a, b, c: Darstellung der maximalen Entfernung, in der an dem Standort Unterweser (a, b) bzw. an allen drei Standorten (c) bei einer Freisetzung mit Quellterm „FKA“ der Eingreifrichtwert für Evakuierung überschritten worden wäre.

## 8. ERGEBNISSE DER RODOS-RECHNUNGEN

Die Ergebnisse der RODOS-Rechnungen wurden bezüglich der Dosiskriterien und den daraus folgenden Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung ausgewertet, insbesondere im Hinblick auf die maximale Ausdehnung und die gesamte Größe der betroffenen Gebiete, auf die Anzahl der betroffenen Personen sowie die Anzahl der betroffenen Sektoren (d.h. der betroffene Winkelbereich um das KKW).

Um die Ergebnisse der Vielzahl von Simulationen übersichtlich darstellen zu können, wurden die Ergebnisse aller Einzelrechnungen zusammengefasst und statistisch ausgewertet. Die Darstellung erfolgt über die kumulative Häufigkeit z.B. als Funktion der Entfernung. Die kumulative Häufigkeit gibt hier den Anteil der gerechneten Wettersituationen an, bei denen alle Gebiete, in denen der jeweilige Eingreifrichtwert überschritten wird, innerhalb der angegebenen Entfernung liegen. Beispielsweise kann aus Abb. 8.1.1 a entnommen werden, dass die Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ für den Standort „Nord“ in 50 % der betrachteten Fälle bis zu einer Entfernung von kleiner oder gleich 62 km empfohlen werden müsste, in der anderen Hälfte der Fälle bis zu einer maximalen Entfernung von mehr als 62 km.

Für die weitere Auswertung wird die statistische Größe „Perzentil“ benutzt. Das Perzentil ist eine Bewertungsgröße aus der statistischen Auswertung von Ergebnissen, bezogen auf das Gesamtkollektiv (100 % der Simulationen) der durchgeführten Rechnungen mit RODOS. Das Perzentil ist ein Wert auf einer Skala von Null bis Hundert, der den Prozentsatz an Simulationsrechnungen angibt, bei denen ein Ergebniswert gleich oder niedriger als ein vorher definierter Wert ist. Das Perzentil wird oft genutzt um die Extremwerte einer Verteilung abzuschätzen. So kann bei den RODOS Rechnungen z.B. das 80. Perzentil verwendet werden um die Schwelle für die obere Entfernung einer Maßnahme zu bestimmen. D.h. die Angabe des 80. Perzentilwertes für eine Entfernung (z.B. X km) sagt aus, dass in 80 % der Fälle, eine Maßnahme maximal bis zu dieser Entfernung X km erforderlich wird und in 20 % der Fälle die Maßnahme über diese Entfernung X km hinaus erforderlich ist.

## 8.1. Maximale Ausdehnung der betroffenen Gebiete

### 8.1.1. Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden

#### Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Erwachsene, Quellterm FKA

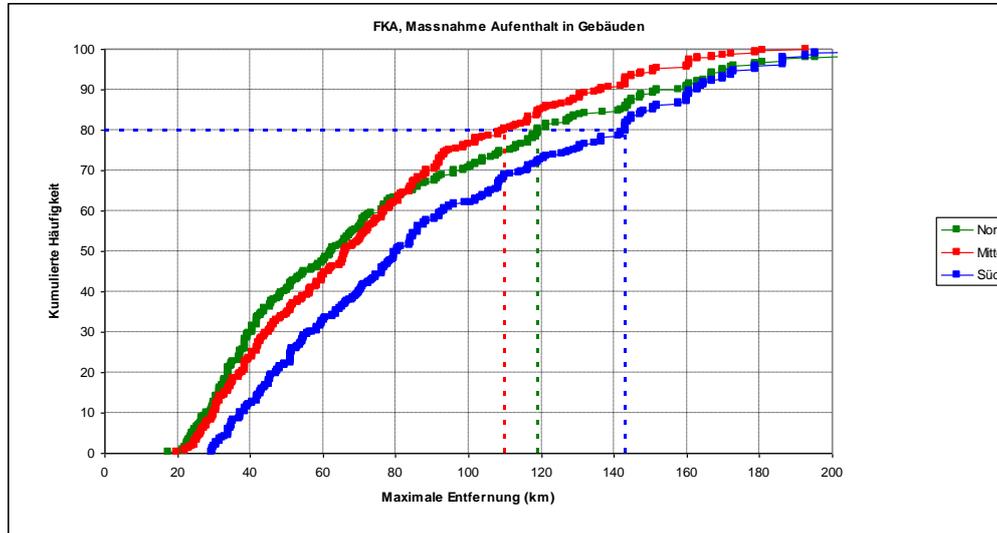


Abb.8.1.1 a : Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Erwachsene, Quellterm FKA

Tabelle 8.1.1 a : Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Erwachsene, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Aufenthalt in Gebäuden	Effektive Dosis	Erwachsene	10 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaleden Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			62	119	152	
Mitte (Grohnde)			66	110	137	
Süd (Philippsburg)			80	143	163	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 10 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaleden Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Dabei wurden die Gebiete bestimmt, in denen die Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden wegen Überschreiten des Eingreifrichtwertes von 10 mSv erforderlich wäre. Der äußere Rand dieser Gebiete wird als maximale Entfernung festgelegt; in 80 % der betrachteten Fälle reicht dieser äußere Rand in eine Entfernung von mindestens 20 km und maximal 110 km.

Analog ergibt sich für den Standort Nord ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 18 bis 119 km, für den Standort Süd ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 30 bis 143 km. Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

## Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Kleinkinder, Quellterm FKA

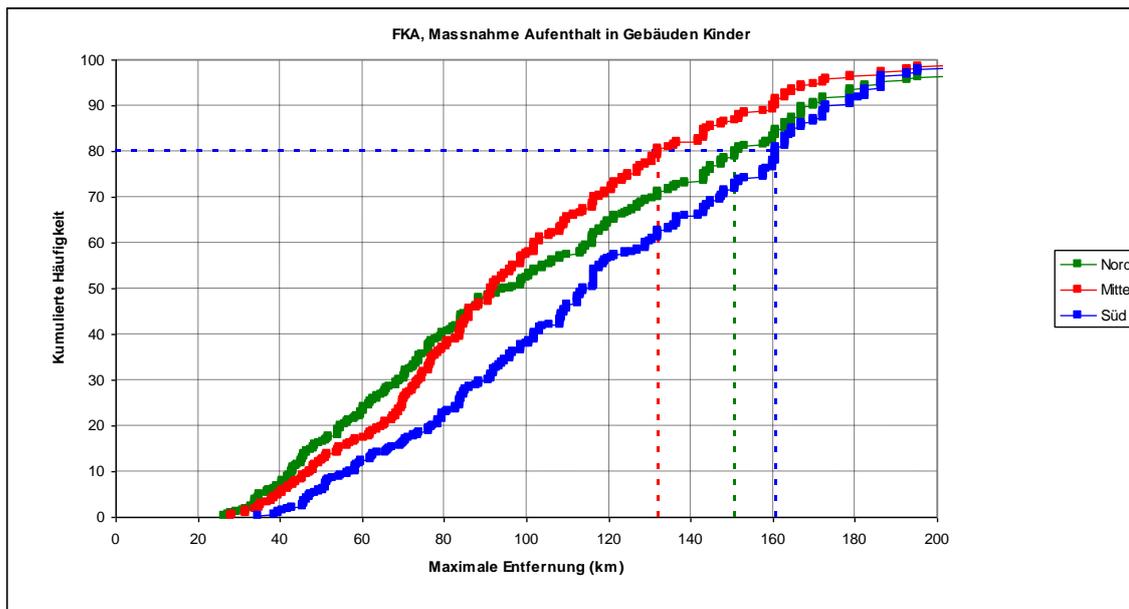


Abb. 8.1.1 b: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Aufenthalt im Gebäude, Kleinkinder, Quellterm FKA

Tabelle 8.1.1 b : Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Kleinkinder, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Aufenthalt in Gebäuden	Effektive Dosis	Kleinkinder	10 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			95	151	170	
Mitte (Grohnde)			91	132	161	
Süd (Philippsburg)			114	161	173	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden bei Kleinkindern mit dem Eingreifrichtwert 10 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 10 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von mindestens 28 bis 132 km zu empfehlen. Analog ergibt sich für den Standort Nord ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 26 bis 151 km, für den Standort Süd ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 35 bis 161 km.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

## Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Erwachsene, Quellterm FKF

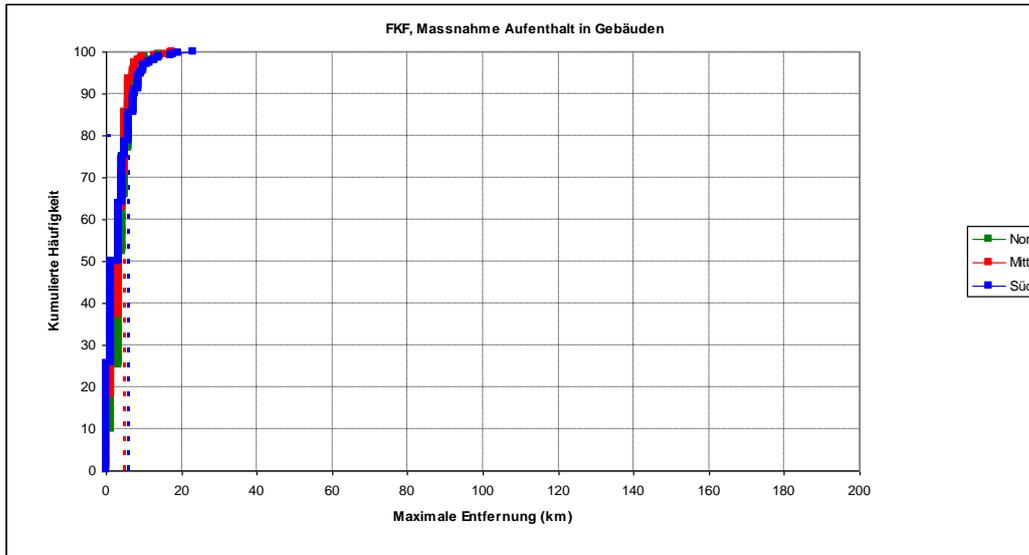


Abb.8.1.1 c : Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Erwachsene, Quellterm FKF

Tabelle 8.1.1 c : Daten zur kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Erwachsene, Quellterm FKF

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade
Aufenthalt in Gebäuden	Effektive Dosis	Erwachsene	10 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.	
			50 Perzentil	80 Perzentil      90 Perzentil
Nord (Unterweser)			3	6      7
Mitte (Grohnde)			3	5      6
Süd (Philippsburg)			3	6      8

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 10 mSv und dem Quellterm FKF. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 10 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 0 bis 5 km zu empfehlen; analog ergibt sich für den Standort Nord ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 0 bis 6 km, für den Standort Süd ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von ebenfalls 0 bis 6 km.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Maximale Entfernung für die Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Kleinkinder, Quellterm FKF

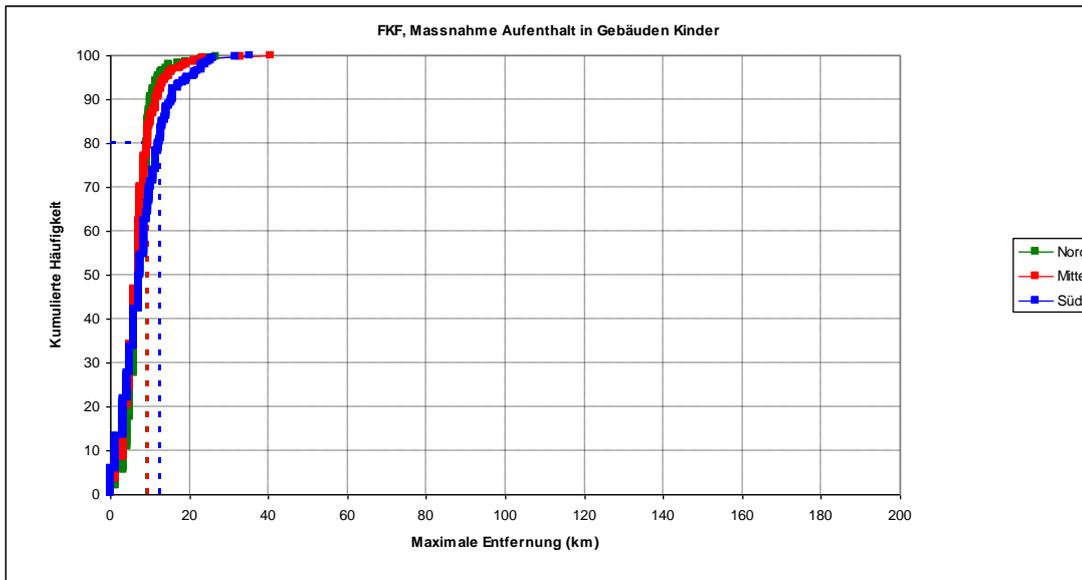


Abb. 8.1.1 d : Kumulierte Häufigkeit für die maximale Entfernung der Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Kleinkinder, Quellterm FKF

Tabelle 8.1.1 d : Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Kleinkinder, Quellterm FKF

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Aufenthalt in Gebäuden	Effektive Dosis	Kleinkinder	10 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			7	9	10	
Mitte (Grohnde)			7	10	11	
Süd (Philippsburg)			8	13	16	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 10 mSv und dem Quellterm FKF. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 10 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 0 bis 10 km zu empfehlen; analog ergibt sich für den Standort Nord ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 0 bis 9 km, für den Standort Süd ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 0 bis 13 km.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

## 8.1.2. Maßnahme Evakuierung

### Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKA

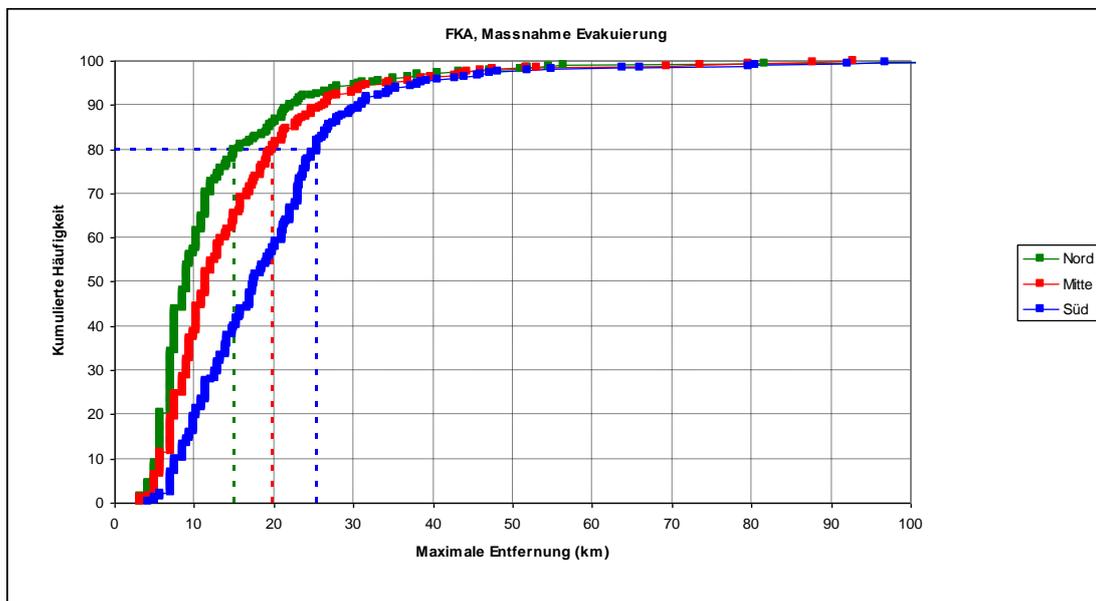


Abb. 8.1.2 a: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKA

Tabelle 8.1.2.a: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade
Evakuierung	Effektive Dosis	Erwachsene	100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaleden Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.	
			50 Perzentil	80 Perzentil
			90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			9	15
Mitte (Grohnde)			11	20
Süd (Philippsburg)			18	26

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Evakuierung bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 100 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaleden Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 100 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Evakuierung in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 3 bis 20 km zu empfehlen; analog ergibt sich für den Standort Nord ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 3 bis 15 km, für den Standort Süd ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 4 bis 26 km.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

## Maßnahme Evakuierung, Kleinkinder, Quellterm FKA

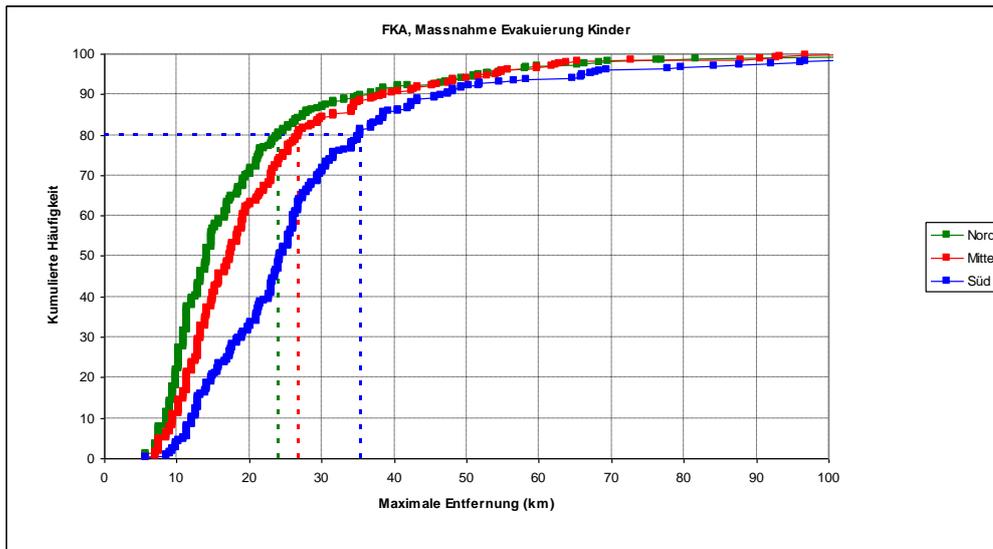


Abb.8.1.2. b: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Evakuierung, Kleinkinder, Quellterm FKA

Tabelle 8.1.2. b: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Evakuierung, Kleinkinder, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade
Evakuierung	Effektive Dosis	Kleinkinder	100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.	
			50 Perzentil	80 Perzentil
Nord (Unterweser)			14	24
Mitte (Grohnde)			17	27
Süd (Philippsburg)			24	35

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Evakuierung bei Kleinkindern mit dem Eingreifrichtwert 100 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 100 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Evakuierung in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 6 bis 27 km zu empfehlen; analog ergibt sich für den Standort Nord ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 6 bis 24 km, für den Standort Süd ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 6 bis 35 km.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKF

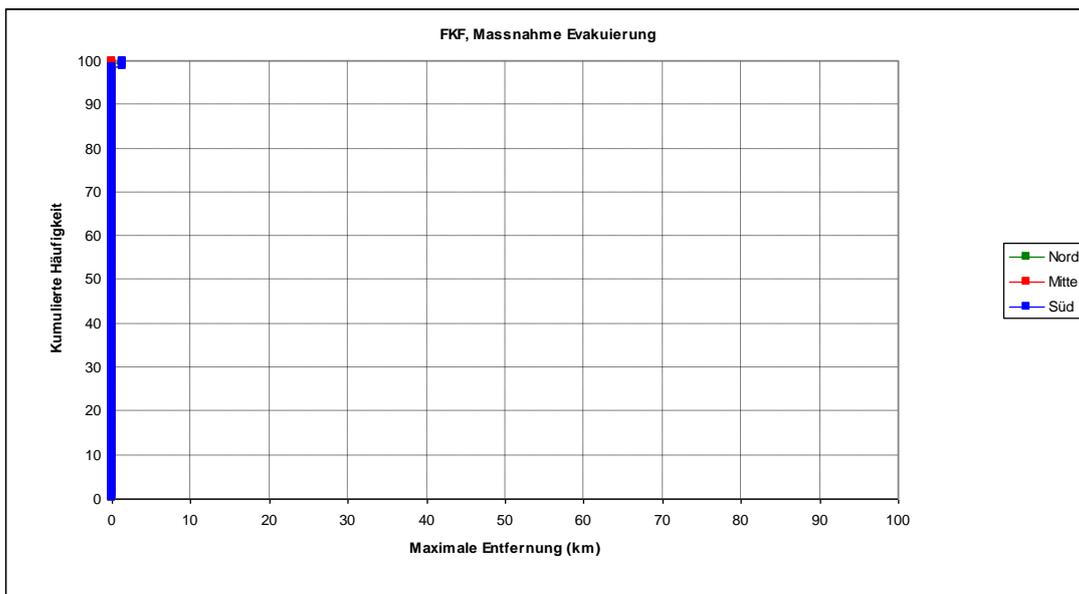


Abb. 8.1.2. c: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKF

Tabelle 8.1.2. c: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKF

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Evakuierung	Effektive Dosis	Erwachsene	100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			0	0	0	
Mitte (Grohnde)			0	0	0	
Süd (Philippsburg)			0	0	0	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Evakuierung bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 100 mSv und dem Quellterm FKF. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Der Eingreifrichtwert von 100 mSv wird am Standort Nord einmal, am Standort Mitte nie und am Standort Süd 5-mal überschritten; die Entfernung für den äußeren Rand beträgt dabei jeweils 1,4 km. Damit wird das 90 Perzentil nicht erreicht.

## Maßnahme Evakuierung, Kleinkinder, Quellterm FKF

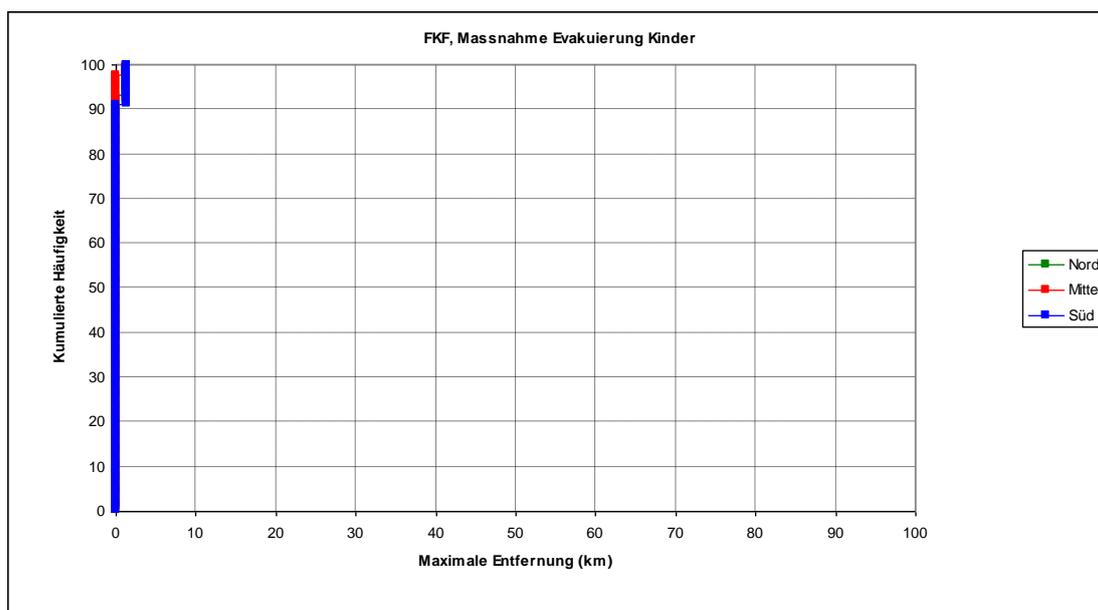


Abb. 8.1.2.d: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Evakuierung, Kleinkinder, Quellterm FKF

Tabelle 8.1.2. d: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Maßnahme Evakuierung, Kleinkinder, Quellterm FKF

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Evakuierung	Effektive Dosis	Kleinkinder	100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			0	0	0	
Mitte (Grohnde)			0	0	0	
Süd (Philippsburg)			0	0	0	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Evakuierung bei Kleinkindern mit dem Eingreifrichtwert 100 mSv und dem Quellterm FKF. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Der Eingreifrichtwert von 100 mSv wird bei 365 Rechnungen am Standort Nord 24-mal, am Standort Mitte 9-mal und am Standort Süd 33-mal überschritten; die Entfernung für den äußeren Rand beträgt dabei jeweils 1,4 km. Damit wird das 90 Perzentil nicht erreicht.

### 8.1.3. Maßnahme Temporäre Umsiedlung

#### Temporäre Umsiedlung Erwachsene, Quellterm FKA

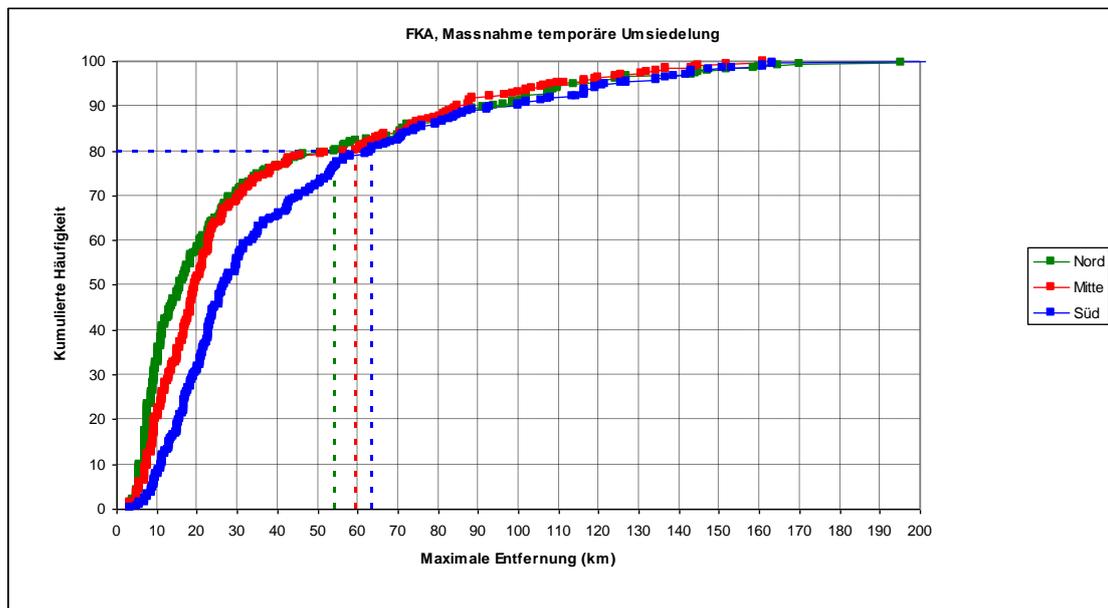


Abb. 8.1.3.a: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Temporäre Umsiedlung, Quellterm FKA

Tabelle 8.1.3.a: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Maßnahme Temporäre Umsiedlung, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade	
Temporäre Umsiedlung	Effektive Dosis	Erwachsene	30 mSv	Äußere Exposition in 1 Monat	
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.		
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil
Nord (Unterweser)			16	54	91
Mitte (Grohnde)			20	60	85
Süd (Philippsburg)			27	64	100

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Temporäre Umsiedlung bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 30 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition durch abgelagerte Radionuklide am Boden in 1 Monat.

Aufgrund des bisherigen Eingreifrichtwertes von 30 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Temporäre Umsiedlung in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 3 bis 60 km zu empfehlen; analog ergibt sich für den Standort Nord ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 3 bis 54 km, für den Standort Süd ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 3 bis 63 km.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

## Temporäre Umsiedlung Kleinkinder, Quellterm FKA

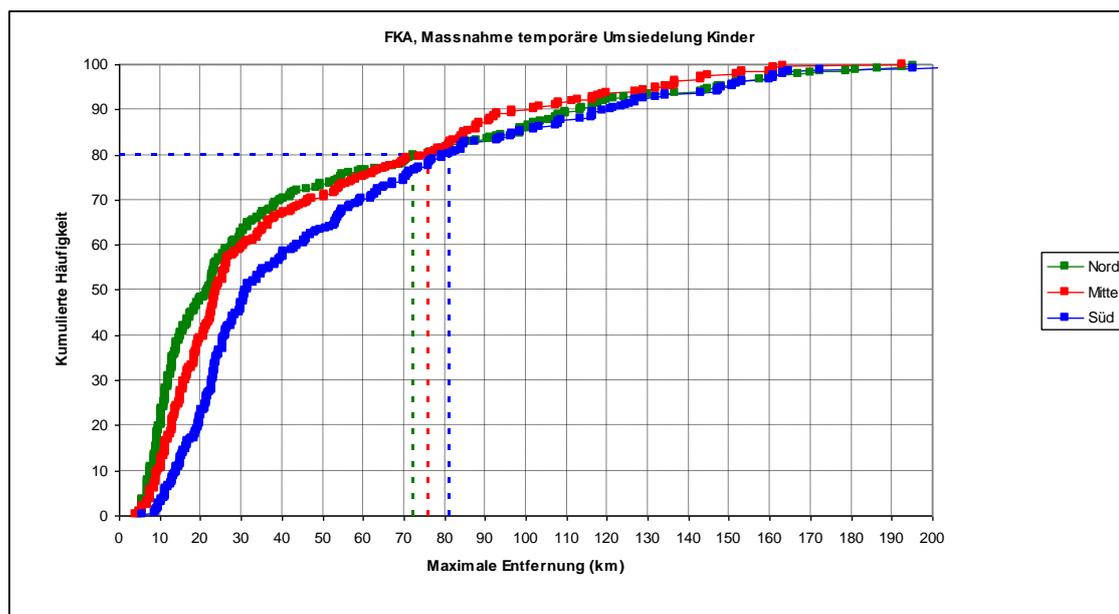


Abb. 8.1.3. b: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Temporäre Umsiedlung, Kleinkinder, Quellterm FKA

Tabelle 8.1.3. b: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Maßnahme Temporäre Umsiedlung, Kleinkinder, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Temporäre Umsiedlung	Effektive Dosis	Kleinkinder	30 mSv	Äußere Exposition in 1 Monat		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			22	72	113	
Mitte (Grohnde)			24	76	102	
Süd (Philippsburg)			32	81	121	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Temporäre Umsiedlung bei Kleinkindern mit dem Eingreifrichtwert 30 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition durch abgelagerte Radionuklide am Boden in 1 Monat.

Aufgrund des bisherigen Eingreifrichtwertes von 30 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Temporäre Umsiedlung in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 5 bis 76 km zu empfehlen; analog ergibt sich für den Standort Nord ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 4 bis 72 km, für den Standort Süd ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 6 bis 81 km.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen

## Temporäre Umsiedlung Erwachsene, Quellterm FKF

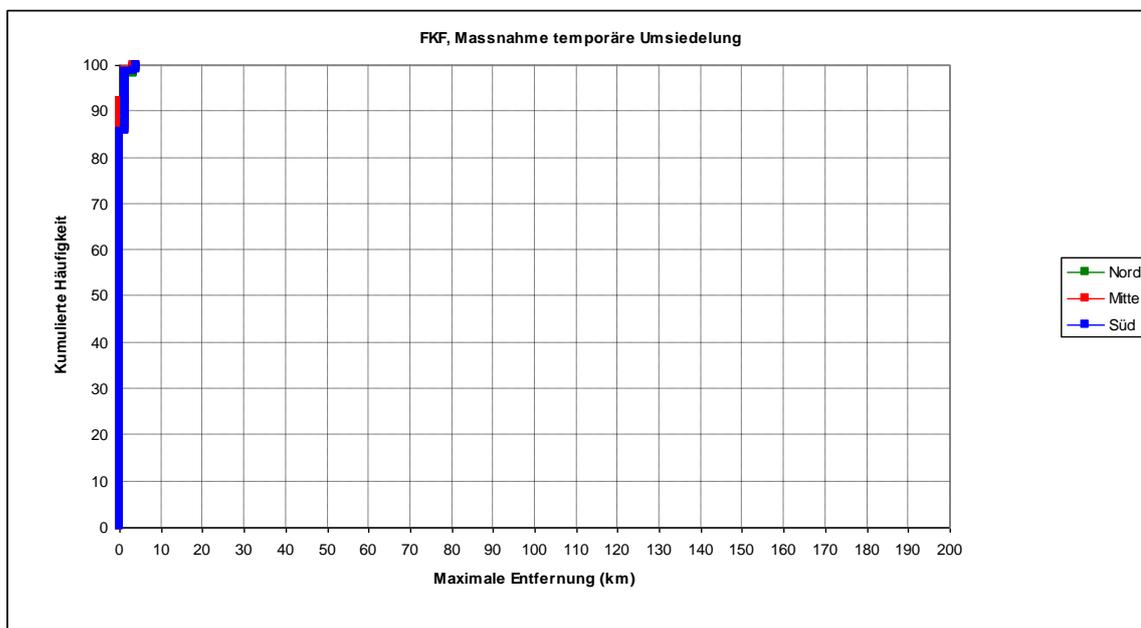


Abb. 8.1.3. c: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Temporäre Umsiedlung, Quellterm FKF

Tabelle 8.1.3. c: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Maßnahme Temporäre Umsiedlung, Quellterm FKF

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Temporäre Umsiedlung	Effektive Dosis	Erwachsene	30 mSv	Äußere Exposition in 1 Monat		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			0	0	1,4	
Mitte (Grohnde)			0	0	0	
Süd (Philippsburg)			0	0	1,4	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Temporäre Umsiedlung bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 30 mSv und dem Quellterm FKF. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition durch abgelagerte Radionuklide am Boden in 1 Monat.

Der Eingreifrichtwert von 30 mSv wird bei 365 Rechnungen am Standort Nord 41-mal, am Standort Mitte 28-mal und am Standort Süd 53-mal überschritten; die Entfernung für den äußeren Rand beträgt dabei maximal 4,2 km, in den meisten Fällen 1,4 km. Damit wird das 80 Perzentil nicht erreicht.

Temporäre Umsiedlung Kleinkinder, Quellterm FKF

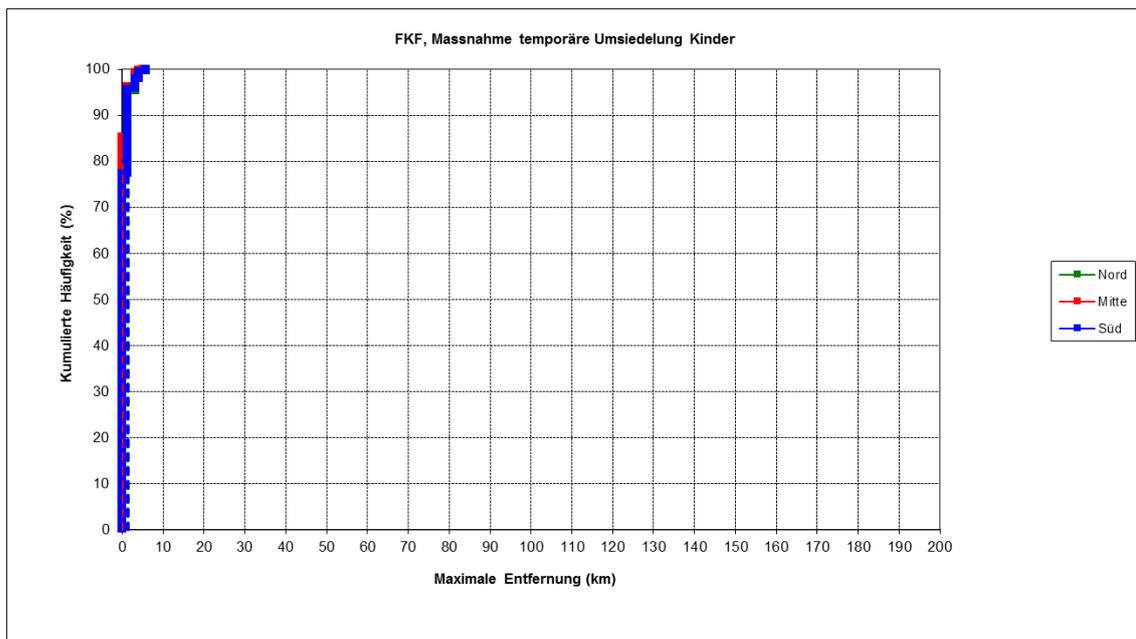


Abb. 8.1.3. d: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Temporäre Umsiedlung, Kleinkinder, Quellterm FKF

Tabelle 8.1.3. d: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Maßnahme Temporäre Umsiedlung, Kleinkinder, Quellterm FKF

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Temporäre Umsiedlung	Effektive Dosis	Kleinkinder	30 mSv	Äußere Exposition in 1 Monat		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			0	0	1,4	
Mitte (Grohnde)			0	0	1,4	
Süd (Philippsburg)			0	1,4	1,4	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Temporäre Umsiedlung bei Kleinkindern mit dem Eingreifrichtwert 30 mSv und dem Quellterm FKF. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition durch abgelagerte Radionuklide am Boden in 1 Monat.

Der Eingreifrichtwert von 30 mSv wird bei 365 Rechnungen am Standort Nord 68-mal, am Standort Mitte 53-mal und am Standort Süd 82-mal überschritten; die Entfernung für den äußeren Rand beträgt dabei am Standort Nord und Mitte maximal jeweils 5,1 km und am Standort Süd maximal 5,8 km. Das 50 Perzentil wird nie erreicht.

## 8.1.4. Maßnahme Permanente Umsiedlung

### Maßnahme Permanente Umsiedlung, Erwachsene, Quellterm FKA

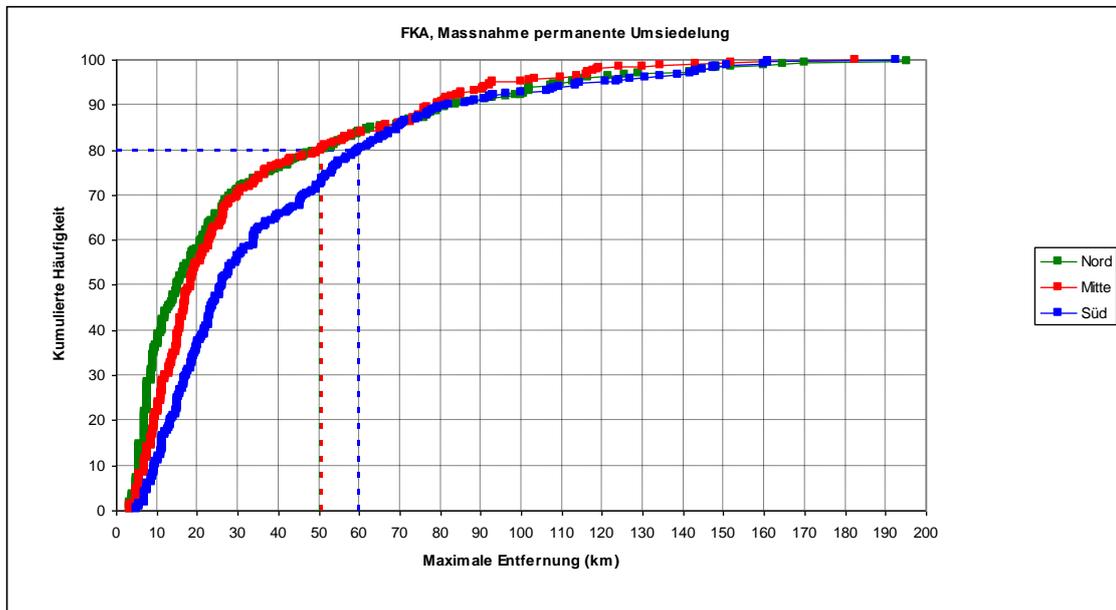


Abb. 8.1.4. a: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Permanente Umsiedlung Erwachsene, Quellterm FKA

Tabelle 8.1.4. a: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Maßnahme Permanente Umsiedlung Erwachsene, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Permanente Umsiedlung	Effektive Dosis	Erwachsene	100 mSv	Äußere Exposition in 1 Jahr durch abgelagerte Radionuklide		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			15	50	81	
Mitte (Grohnde)			18	51	80	
Süd (Philippsburg)			26	60	82	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme "Permanente Umsiedlung" bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 100 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 1 Jahr durch abgelagerte Radionuklide am Boden.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 100 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Permanente Umsiedlung in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 3 bis 51 km zu empfehlen; analog ergibt sich für den Standort Nord ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 3 bis 50 km, für den Standort Süd ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 5 bis 60 km.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Maßnahme Permanente Umsiedlung, Kleinkinder, Quellterm FKA

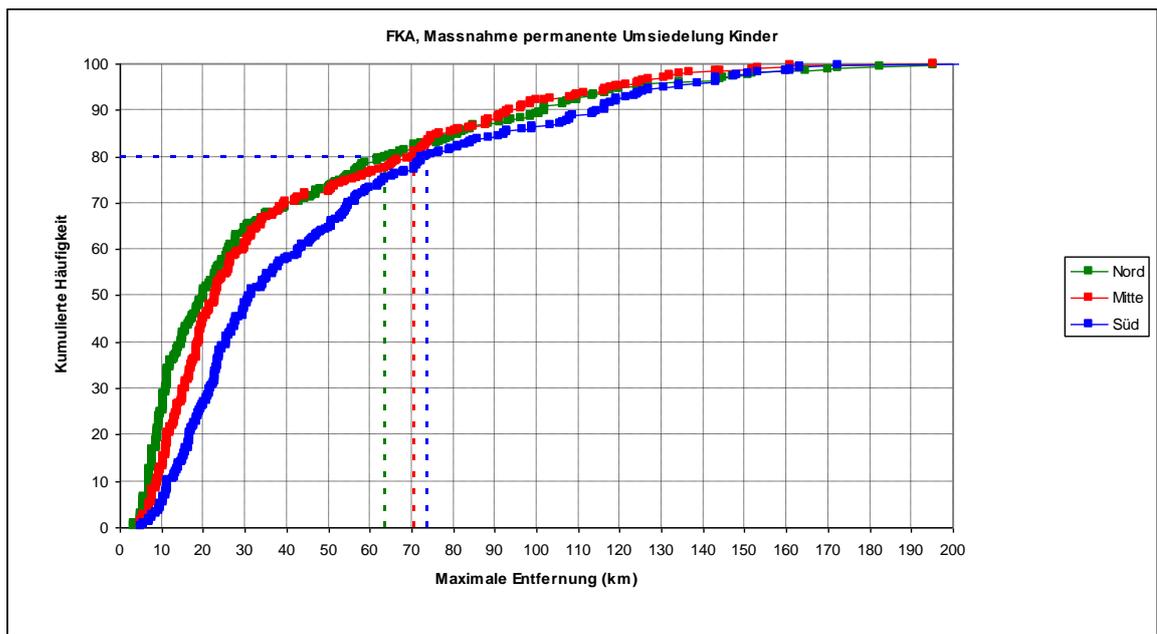


Abb. 8.1.4. b: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Permanente Umsiedlung Kleinkinder, Quellterm FKA

Tabelle 8.1.4. b: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Maßnahme Permanente Umsiedlung, Kleinkinder, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Permanente Umsiedlung	Effektive Dosis	Kleinkinder	100 mSv	Äußere Exposition in 1 Jahr durch abgelagerte Radionuklide		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			20	64	102	
Mitte (Grohnde)			23	71	94	
Süd (Philippsburg)			32	74	117	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Permanente Umsiedlung bei Kleinkinder mit dem Eingreifrichtwert 100 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 1 Jahr durch abgelagerte Radionuklide am Boden.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 100 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Permanente Umsiedlung in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 5 bis 71 km zu empfehlen; analog ergibt sich für den Standort Nord ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 3 bis 64 km, für den Standort Süd ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 5 bis 74 km.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Maßnahme Permanente Umsiedlung, Erwachsene, Quellterm FKF

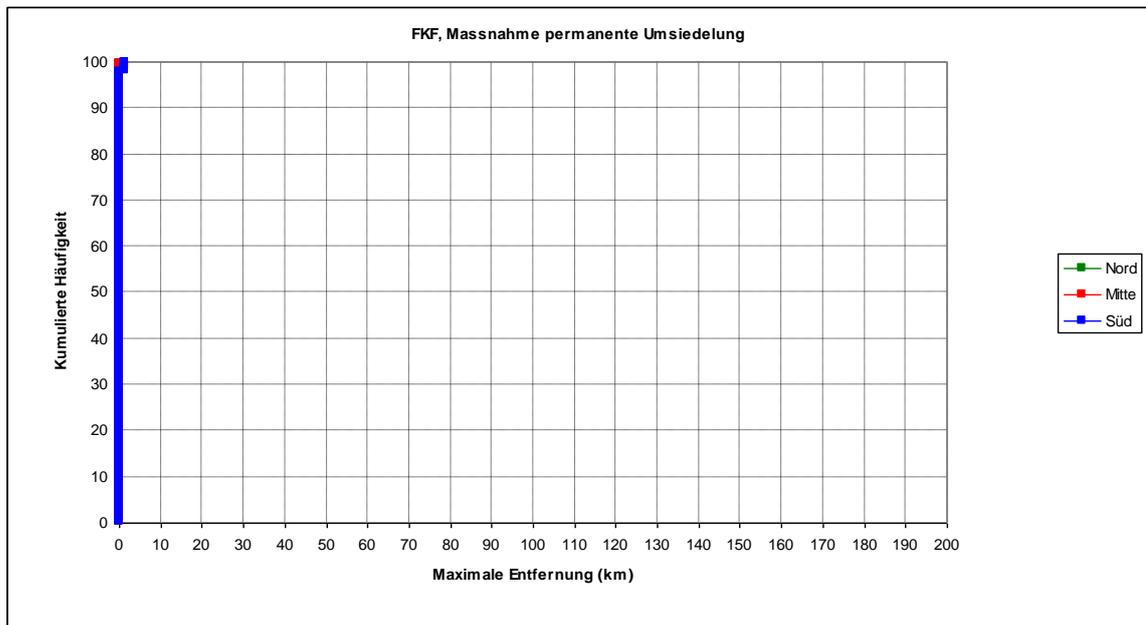


Abb. 8.1.4. c: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Permanente Umsiedlung, Quellterm FKF

Tabelle 8.1.4. c: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Maßnahme Permanente Umsiedlung, Quellterm FKF

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Permanente Umsiedlung	Effektive Dosis	Erwachsene	100 mSv	Äußere Exposition in 1 Jahr durch abgelagerte Radionuklide		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			0	0	0	
Mitte (Grohnde)			0	0	0	
Süd (Philippsburg)			0	0	0	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Permanente Umsiedlung bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 100 mSv und dem Quellterm FKF. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 1 Jahr durch abgelagerte Radionuklide am Boden.

Der Eingreifrichtwert von 100 mSv wird bei 365 Rechnungen am Standort Nord 3-mal, am Standort Mitte nie und am Standort Süd 8-mal überschritten; die Entfernung für den äußeren Rand beträgt dabei jeweils 1,4 km. Damit wird das 80 Perzentil nicht erreicht.

## Maßnahme Permanente Umsiedlung, Kleinkinder, Quellterm FKF

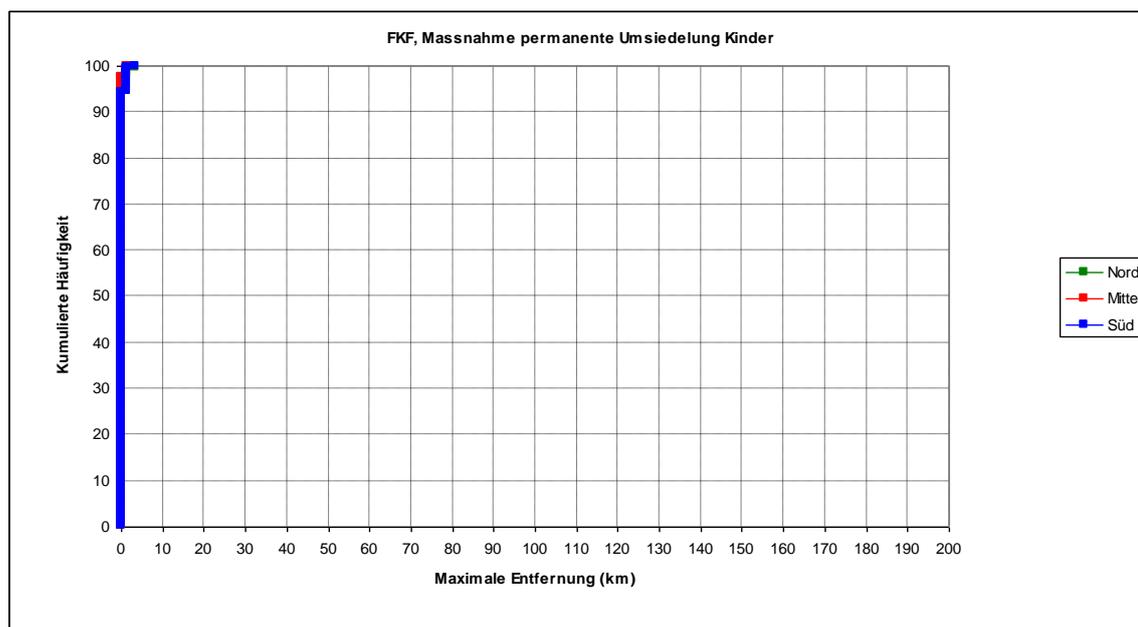


Abb.8.1.4. d: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Permanente Umsiedlung, Kleinkinder, Quellterm FKF

Tabelle 8.1.4. d: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Maßnahme Permanente Umsiedlung, Kleinkinder, Quellterm FKF

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Permanente Umsiedlung	Effektive Dosis	Kleinkinder	100 mSv	Äußere Exposition in 1 Jahr durch abgelagerte Radionuklide		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			0	0	0	
Mitte (Grohnde)			0	0	0	
Süd (Philippsburg)			0	0	0	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Permanente Umsiedlung bei Kleinkindern mit dem Eingreifrichtwert 100 mSv und dem Quellterm FKF. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 1 Jahr durch abgelagerte Radionuklide am Boden.

Der Eingreifrichtwert von 100 mSv wird bei 365 Rechnungen am Standort Nord 10-mal, am Standort Mitte 9-mal und am Standort Süd 21-mal überschritten; die Entfernung für den äußeren Rand beträgt dabei maximal 3,2 km, in den meisten Fällen 1,4 km. Damit wird das 80 Perzentil nicht erreicht

## 8.1.5. Maßnahme Einnahme von Iodtabletten

Einnahme von Iodtabletten, Erwachsene, Quellterm FKA

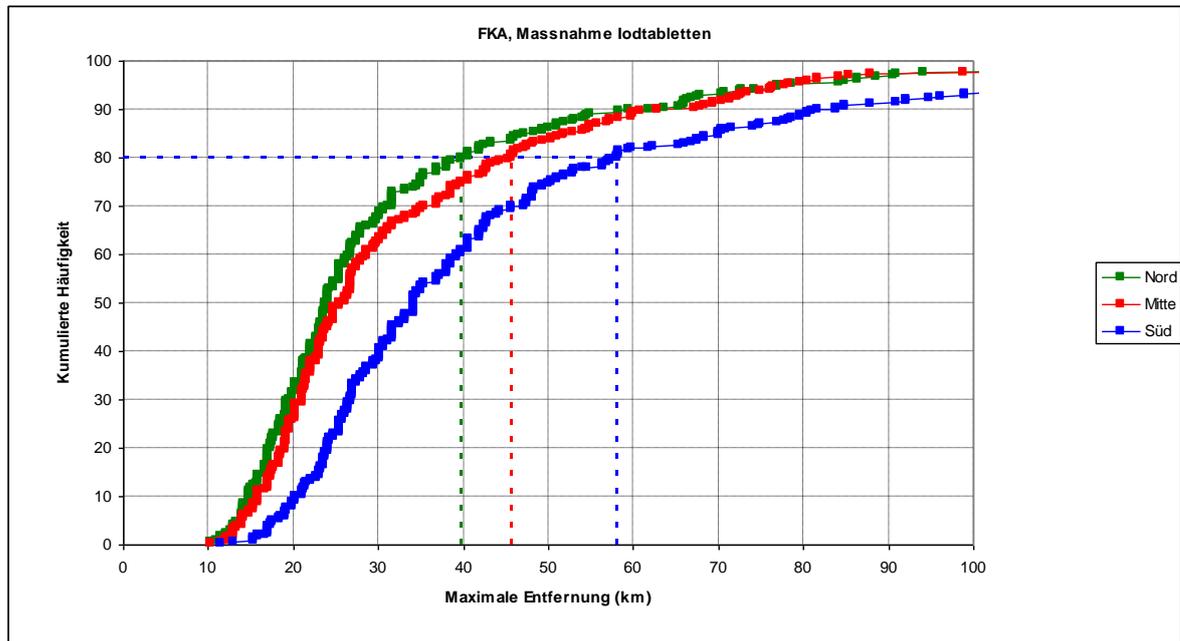


Abb. 8.1.5. a: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Einnahme von Iodtabletten, Quellterm FKA

Tabelle 8.1.5. a : Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Einnahme von Iodtabletten, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Einnahme von Iodtabletten	Organdosis (Schilddrüse)	Erwachsene (18 - 45 Jahre)	250 mSv	Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			24	40	59	
Mitte (Grohnde)			26	46	63	
Süd (Philippsburg)			34	58	84	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Einnahme von Iodtabletten bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert von 250 mSv für Personen von 18 bis 45 Jahren und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 250 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Einnahme von Iodtabletten in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von bis zu 46 km zu empfehlen; analog ergibt sich für den Standort Nord eine Entfernung für den äußeren Rand bis 40 km, für den Standort Süd eine Entfernung bis 58 km.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

## Einnahme von Iodtabletten, Kleinkinder und Schwangere, Quellterm FKA

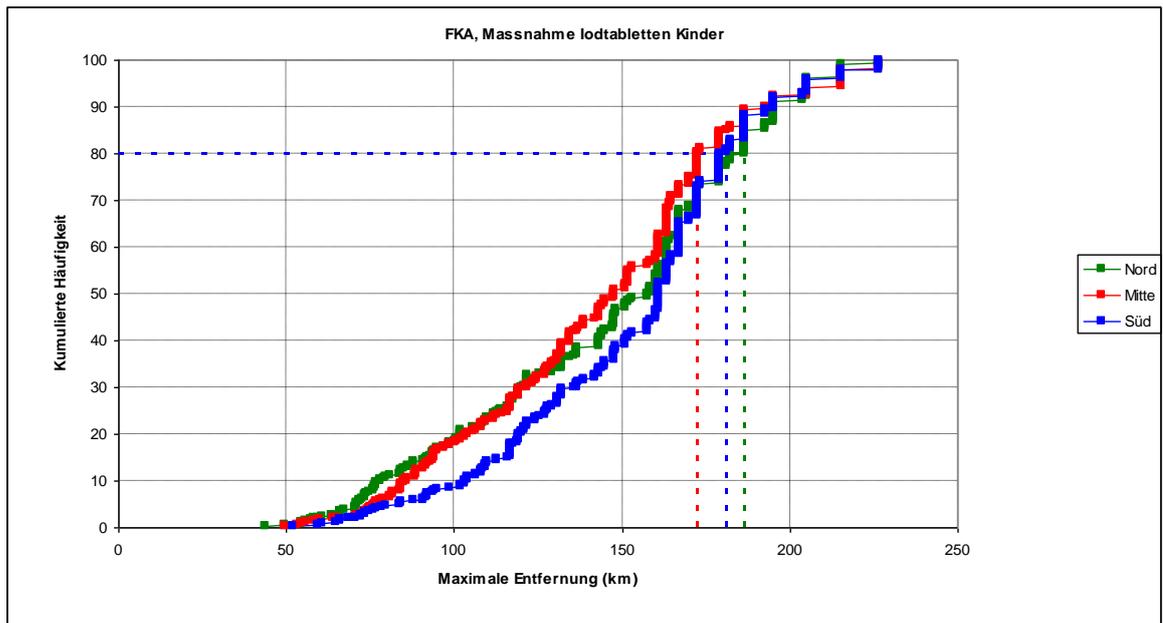


Abb. 8.1.5. b: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Einnahme von Iodtabletten, Quellterm FKA

Tabelle 8.1.5. b : Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Einnahme von Iodtabletten, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Einnahme von Iodtabletten	Organdosis (Schilddrüse)	Kinder und Jugendliche unter 18 Jahre und Schwangere	50 mSv	Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			158	187	195	
Mitte (Grohnde)			148	172	195	
Süd (Philippsburg)			161	181	195	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Einnahme von Iodtabletten für Kinder und Jugendliche unter 18 Jahre und Schwangere mit dem Eingreifrichtwert von 50 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 50 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Einnahme von Iodtabletten in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von bis zu 172 km zu empfehlen. Analog ergibt sich für den Standort Nord eine Entfernung für den äußeren Rand bis 187 km, für den Standort Süd eine Entfernung für den äußeren Rand bis 181 km.

Entfernungen über 160-225 km (je nach Ausbreitungsrichtung) wurden nicht untersucht; ein Wert größer als 160 km bedeutet daher, dass das jeweilige Dosiskriterium mindestens bis zu der angegebenen Entfernung überschritten werden kann, eventuell auch darüber hinaus. Eine genauere Analyse, bis zu welcher Entfernung tatsächlich das jeweilige Dosiskriterium überschritten werden kann, kann nur mit Hilfe von weitreichenderen Ausbreitungsberechnungen erfolgen (diese sind geplant, aber bisher noch nicht durchgeführt).

Einnahme von Iodtabletten, Erwachsene, Quellterm FKF

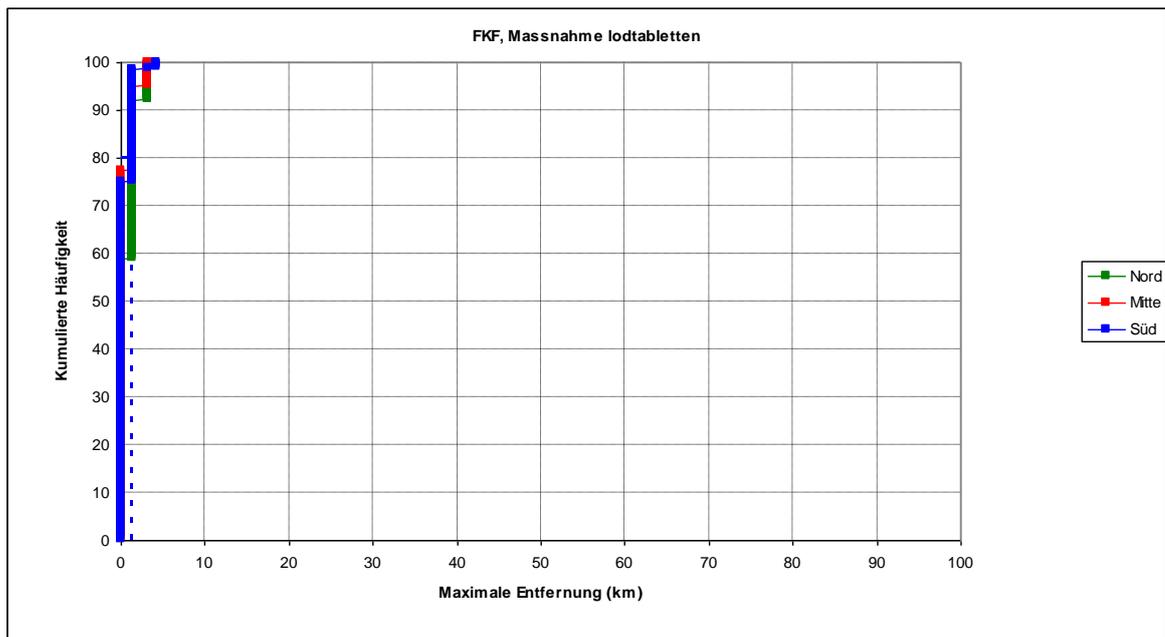


Abb. 8.1.5. c: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Einnahme von Iodtabletten, Quellterm FKF

Tabelle 8.1.5. c: Daten zur kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Einnahme von Iodtabletten, Quellterm FKF

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Einnahme von Iodtabletten	Organdosis (Schilddrüse)	Erwachsene (18 - 45 Jahre)	250 mSv	Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			0	1,4	1,4	
Mitte (Grohnde)			0	1,4	1,4	
Süd (Philippsburg)			0	1,4	1,4	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Einnahme von Iodtabletten bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert von 250 mSv für Personen von 18 bis 45 Jahren und dem Quellterm FKF. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 250 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Einnahme von Iodtabletten in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von bis zu 1,4 km zu empfehlen; das gleiche ergibt sich für den Standort Nord und für den Standort Süd.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Einnahme von Iodtabletten (Kinder, Jugendliche, Schwangere) Quellterm FKF

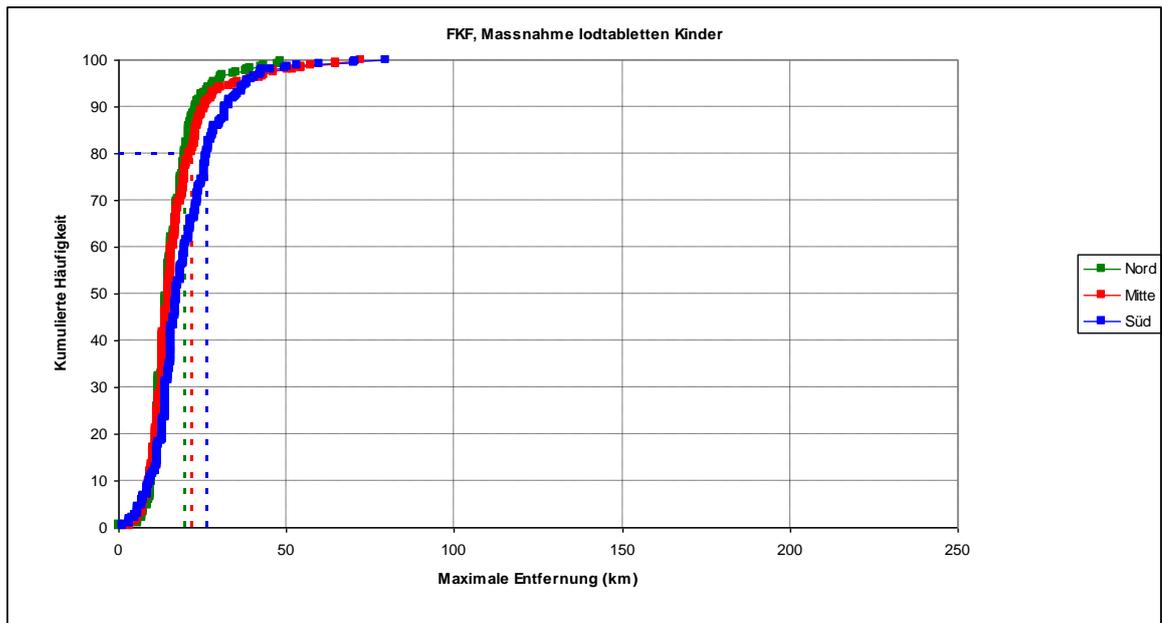


Abb.8.1.5. d: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Einnahme von Iodtabletten, Quellterm FKF

Tabelle 8.1.5. d: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung zur Maßnahme Einnahme von Iodtabletten, Quellterm FKF

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Einnahme von Iodtabletten	Organdosis (Schilddrüse)	Kinder und Jugendliche unter 18 Jahre und Schwangere	50 mSv	Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			15	20	23	
Mitte (Grohnde)			15	22	26	
Süd (Philippsburg)			18	26	32	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die Maßnahme Einnahme von Iodtabletten für Kinder und Jugendliche unter 18 Jahre und Schwangere mit dem Eingreifrichtwert von 50 mSv und dem Quellterm FKF. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 50 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte die Maßnahme Einnahme von Iodtabletten in einem Entfernungsbereich für den äußeren Rand von bis zu 22 km zu empfehlen. Analog ergibt sich für den Standort Nord eine Entfernung für den äußeren Rand bis 20 km, für den Standort Süd eine Entfernung für den äußeren Rand bis 26 km

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen

## 8.1.6. Deterministische Effekte und hohe Dosen

Im Rahmen dieser Untersuchung werden grundsätzlich zwei verschiedene Quellterme betrachtet, FKA und FKF (siehe Kapitel 4). Insbesondere bei einer Freisetzung mit dem Quellterm FKA ist mit schwerwiegenden deterministischen Effekten und hohen stochastischen Effekten im Nahbereich der Anlage zu rechnen sofern keine Schutzmaßnahmen eingeleitet oder durchgeführt werden. Daher ist es von Interesse, die Auswirkungen bei dem Quellterm FKA auch in Bezug auf Schwellendosen für deterministische Effekte zu untersuchen. Von der SSK wurden kürzlich Schwellenwerte für das Auftreten schwerwiegender deterministischer Effekte von

- 1.000 mGy für die Dosis des roten Knochenmarks bei Erwachsenen und Kleinkindern sowie
- 100 mSv für die effektive Dosis bzw. Uterusdosis des Fetus (2. – 7. Woche) und
- 300 mGy für die Dosis des Gehirns beim Fetus (8. – 15. Woche)

definiert (SSK 2014a). Zusätzlich zu diesen Schwellenwerten wurde von der SSK ein weiteres Dosiskriterium mit dem Wert von 1000 mSv effektive Dosis eingeführt. 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 (Priorisierung der Schutzmaßnahmen).

Nachfolgend werden die Ergebnisse von Berechnungen zu Gebieten, in denen die genannten Schwellenwerte und das zusätzliche Dosiskriterium erreicht oder überschritten werden, dargestellt und erläutert.

### Erläuterung zu den Dosis-Einheiten Gy und Sv:

Im Strahlenschutz interessieren in der Regel die über biologische Gewebe oder ein Organ gemittelten Energiedosen. Die Energiedosis ist die Energie, die in ein Volumenelement eingetragen wird, dividiert durch die Masse dieses Volumens. Die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy,  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ ).

Die biologische Wirkung ist nicht nur von der Energie, sondern auch von der Strahlenart abhängig. Alpha-Teilchen und Neutronen haben eine andere biologische Wirksamkeit als Röntgen-, Beta- oder Gammastrahlung. Um ein für alle Strahlenarten gültiges Maß für die stochastischen Strahleneffekte zu erhalten, wird die Energiedosis mit einem dimensionslosen Wichtungsfaktor multipliziert, der für jede Strahlenart definiert ist und die biologische Wirksamkeit relativ zu der von Photonen charakterisiert. Die mit dem Strahlungswichtungsfaktor multiplizierte mittlere Energiedosis in einem Gewebe oder Organ heißt Organdosis. Die Einheit der Organdosis ist das Sievert (Sv,  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ ).

Die biologische Wirkung der ionisierenden Strahlung ist ferner in den verschiedenen Geweben und Organen des Körpers unterschiedlich. Diese Unterschiede sind besonders im Hinblick auf die stochastischen Effekte zu bewerten, da die Wahrscheinlichkeit der strahleninduzierten Krebsentstehung in den verschiedenen Geweben und Organen des Körpers unterschiedlich hoch ist. Um diese unterschiedliche Empfindlichkeit in der Dosis zum Ausdruck zu bringen, wurden dimensionslose Gewebewichtungsfaktoren eingeführt, die gemäß ICRP 103 definiert sind (ICRP 2007). Die Summe der so gewichteten Organdosen wird effektive Dosis genannt; auch sie wird in Sievert (Sv) angegeben.

Die Organdosis und die effektive Dosis sollten nicht im Zusammenhang mit deterministischen Effekten verwendet werden, da die Umrechnungsfaktoren, mit der die Energiedosis multipliziert wird, deutlich niedriger sind als diejenigen für stochastische Effekte.

Hohe Dosen (effektive Dosis > 1.000 mSv), Erwachsene, Quellterm FKA

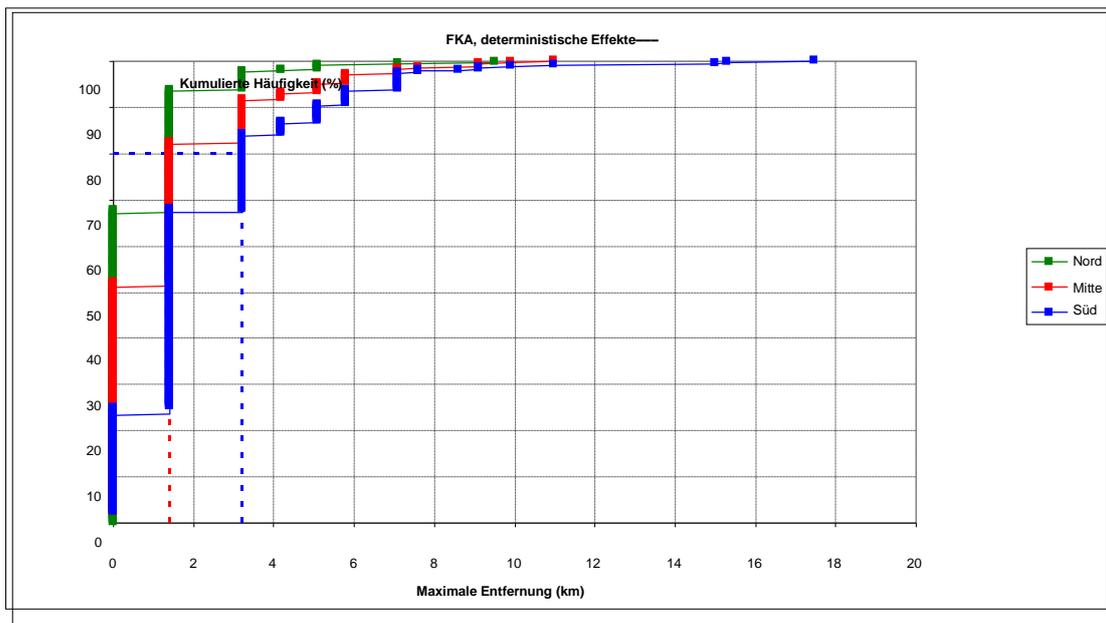


Abb. 8.1.6. a: Kumulative Häufigkeitsverteilung des maximalen Entfernungsbereichs mit einer effektiven Dosis größer 1.000 mSv, Erwachsene, Quellterm FKA:

Tabelle 8.1.6 a: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung des maximalen Entfernungsbereichs mit einer effektiven Dosis größer 1.000 mSv, Erwachsene, Quellterm FKA

	Dosiskriterium	Personengruppe	Kriterium	Integrationszeiten und Expositionspfade		
	Effektive Dosis	Erwachsene	1.000 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaliierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher das Kriterium überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			0	1,4	1,4	
Mitte (Grohnde)			0	1,4	3,2	
Süd (Philippsburg)			1,4	3,2	5,1	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die maximale Entfernung für das Überschreiten der effektiven Dosis von 1.000 mSv bei Erwachsenen bei dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaliierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Das Kriterium 1.000 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte in einer Entfernung für den äußeren Rand von bis zu 1,4 km überschritten. Analog ergibt sich für den Standort Nord ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand bis 1,4 km, für den Standort Süd ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand bis 3,2 km.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Hohe Dosen (effektive Dosis > 1.000 mSv), Kleinkinder, Quellterm FKA

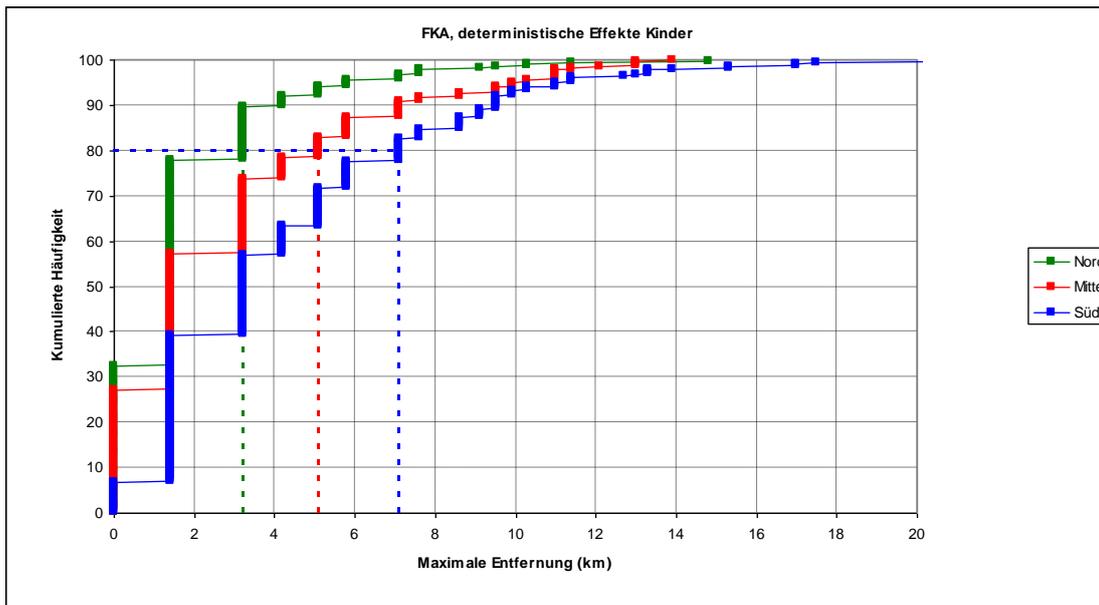


Abb. 8.1.6. b: Kumulative Häufigkeitsverteilung des maximalen Entfernungsbereichs mit einer effektiven Dosis größer 1.000 mSv, Kleinkinder, Quellterm FKA

Tabelle 8.1.6. b: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung des maximalen Entfernungsbereichs mit einer effektiven Dosis größer 1.000 mSv, Kleinkinder, Quellterm FKA

	Dosiskriterium	Personengruppe	Kriterium	Integrationszeiten und Expositionspfade		
	Effektive Dosis	Kleinkinder	1.000 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaliierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher das Kriterium überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			1,4	3,2	4,2	
Mitte (Grohnde)			1,4	5,1	7,1	
Süd (Philippsburg)			3,2	7,1	9,5	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die maximale Entfernung für das Überschreiten der effektiven Dosis von 1.000 mSv bei Kleinkindern bei dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaliierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Das Kriterium 1.000 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte in einer Entfernung für den äußeren Rand von bis zu 5,1 km überschritten. Analog ergibt sich für den Standort Nord ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand bis 3,2 km, für den Standort Süd ein Entfernungsbereich für den äußeren Rand von 7,1 km.

Die Entfernungsbereiche bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Hohe Dosen (effektive Dosis > 1.000 mSv), Erwachsene, Quellterm FKF

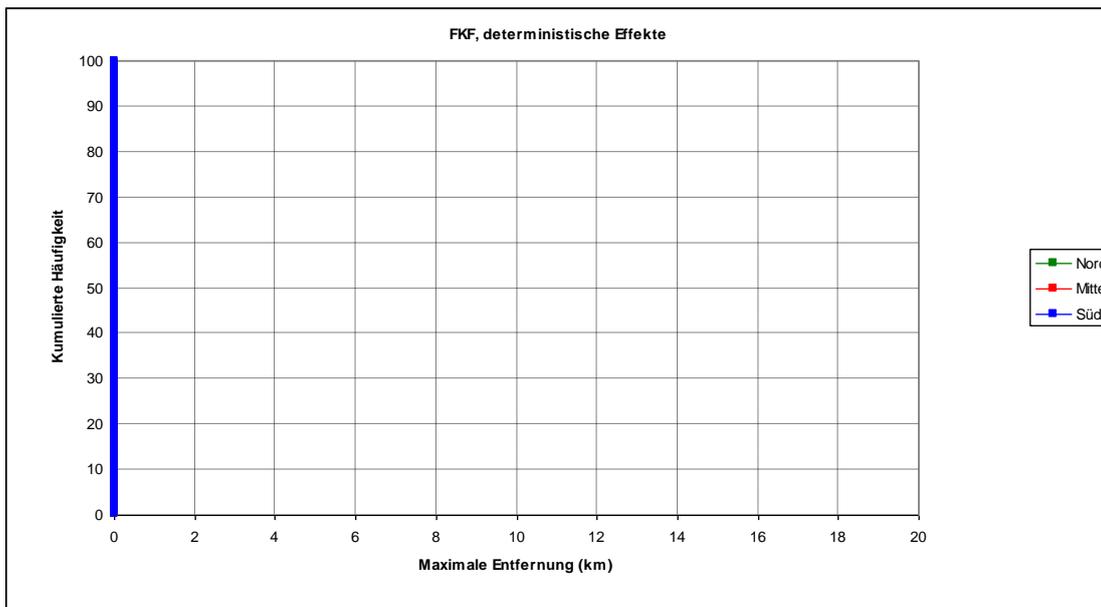


Abb. 8.1.6. c: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung mit einer effektiven Dosis größer 1.000 mSv, Erwachsene, Quellterm FKF:

Tabelle 8.1.6. c: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung mit einer effektiven Dosis größer 1.000 mSv, Erwachsene, Quellterm FKF

	Dosiskriterium	Personengruppe	Kriterium	Integrationszeiten und Expositionspfade		
	Effektive Dosis	Erwachsene	1.000 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher das Kriterium überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			0	0	0	
Mitte (Grohnde)			0	0	0	
Süd (Philippsburg)			0	0	0	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die maximale Entfernung für das Überschreiten der effektiven Dosis von 1.000 mSv bei Erwachsenen bei dem Quellterm FKF. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Die Rechnungen zeigen, dass das Kriterium von 1.000 mSv in keinem Fall erreicht wird (Entfernungen kleiner als ca. 1,4 km vom Kernkraftwerk wurden hierbei nicht untersucht).

Hohe Dosen (effektive Dosis > 1.000 mSv), Kleinkinder, Quellterm FKF

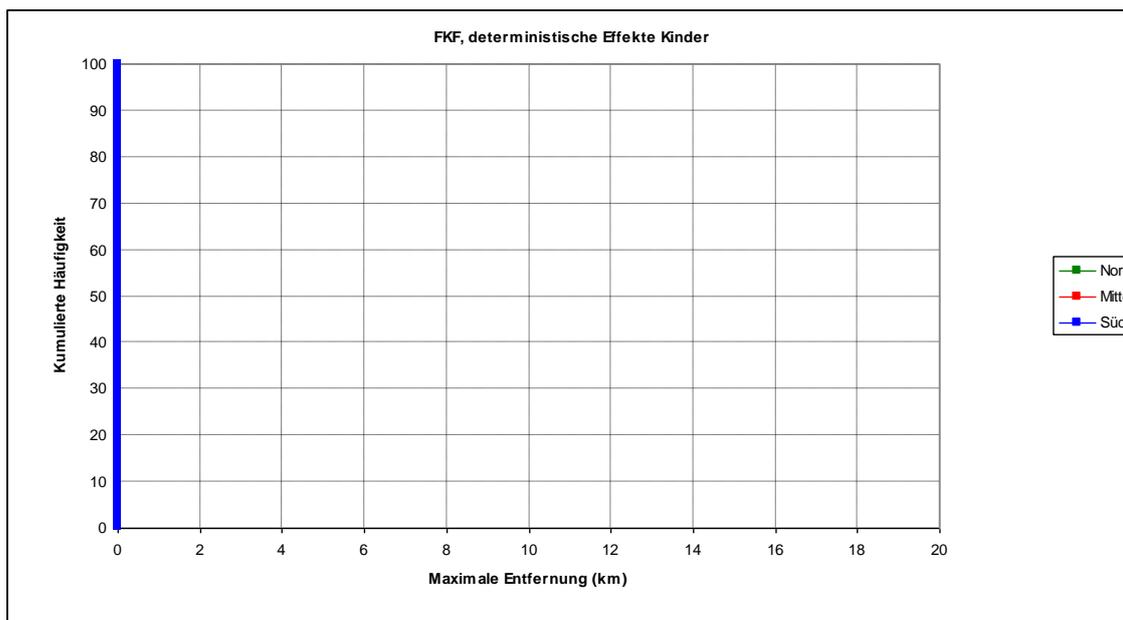


Abb. 8.1.6. d: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung mit einer effektiven Dosis größer 1.000 mSv, Kleinkinder, Quellterm FKF:

Tabelle 8.1.6. d : Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung mit einer effektiven Dosis größer 1.000 mSv, Kleinkinder, Quellterm FKF

	Dosiskriterium	Personengruppe	Kriterium	Integrationszeiten und Expositionspfade		
	Effektive Dosis	Kleinkinder	1.000 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaliierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Maximale Entfernung (km) bei welcher das Kriterium überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			0	0	0	
Mitte (Grohnde)			0	0	0	
Süd (Philippsburg)			0	0	0	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die maximale Entfernung für das Überschreiten der effektiven Dosis von 1.000 mSv bei Kleinkindern bei dem Quellterm FKF. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaliierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Die Rechnungen zeigen, dass das Kriterium von 1.000 mSv in keinem Fall erreicht wird (Entfernungen kleiner als ca. 1,4 km vom Kernkraftwerk wurden hierbei nicht untersucht).

## 8.1.7. Dosis des roten Knochenmarks

Dosis rotes Knochenmark, Erwachsene, Grohnde, Quellterm FKA

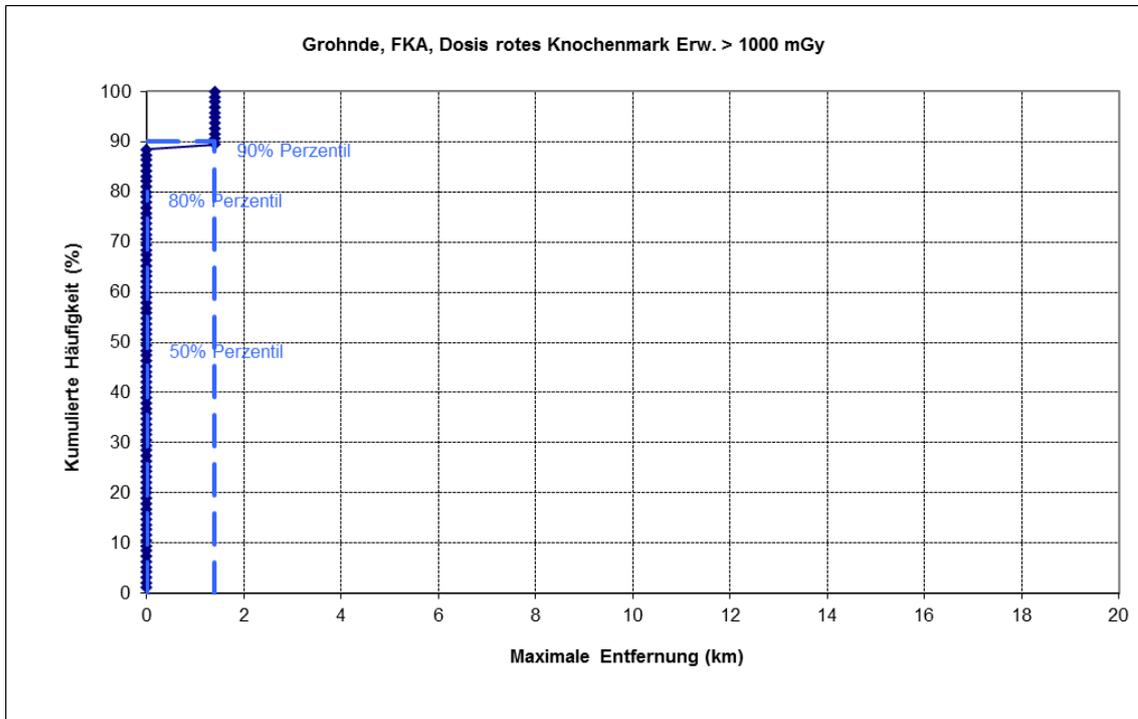


Abb. 8.1.7 a: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung für die Dosis größer 1.000 mGy beim roten Knochenmark eines Erwachsenen, Quellterm FKA.

Tabelle 8.1.7. a: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung für die Dosis größer 1.000 mGy beim roten Knochenmark eines Erwachsenen, Quellterm FKA

	Dosiskriterium	Personengruppe	Schwellenwert	Integrationszeiten und Expositionspfade
	Dosis rotes Knochenmark	Erwachsene	1.000 mGy	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
Erwachsene	Maximale Entfernung (km) bei welcher der Schwellenwert überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil      90 Perzentil
Mitte (Grohnde)			0	0                      1,4

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die maximale Entfernung für die Dosis größer 1.000 mGy beim roten Knochenmark eines Erwachsenen und dem Quellterm FKA. Diese Rechnungen wurden nur für den Standort Grohnde und für 95 Fälle eines Jahres (ungefähr jeder 4. Tag) durchgeführt. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Die Rechnungen zeigen, dass das Kriterium von 1.000 mGy nur bei 10 % der betrachteten Fälle (effektiv 11 Fälle) überschritten wird; die Entfernungen sind dabei kleiner oder gleich ca. 1,4 km von der Anlage.

Dosis rotes Knochenmark, Kleinkinder, Grohnde, Quellterm FKA

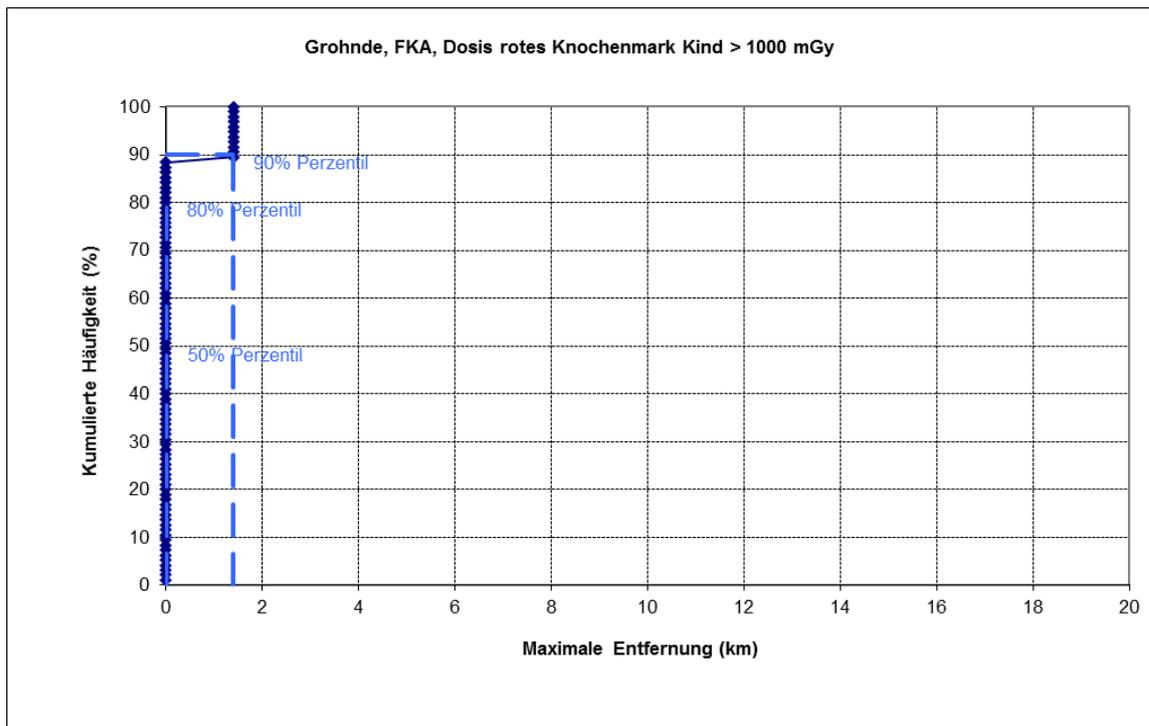


Abb. 8.1.7. b: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernungsbereich für die Energiedosis größer 1.000 mGy beim roten Knochenmark für Kleinkinder, Quellterm FKA.

Tabelle 8.1.7. b: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung für die Energiedosis größer 1.000 mGy beim roten Knochenmark für Kleinkinder, Quellterm FKA

	Dosiskriterium	Personengruppe	Schwellenwert	Integrationszeiten und Expositionspfade
	Dosis rotes Knochenmark	Kleinkinder	1.000 mGy	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
Kleinkinder			Maximale Entfernung (km) bei welcher der Schwellenwert überschritten wird.	
			50 Perzentil	80 Perzentil
	Mitte (Grohnde)		0	0
				90 Perzentil
				1,4

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die maximale Entfernung für die Dosis größer 1.000 mGy beim roten Knochenmark eines Kleinkinds und dem Quellterm FKA. Diese Rechnungen wurden nur für den Standort Grohnde und für 95 Fälle eines Jahres (ungefähr jeder 4. Tag) durchgeführt. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Die Rechnungen zeigen, dass das Kriterium von 1.000 mGy nur bei 90 % der betrachteten Fälle (effektiv 11 Fälle) überschritten wird; die Entfernungen sind dabei kleiner oder gleich ca. 1,4 km von der Anlage.

## 8.1.8. Dosis des Fetus

### Dosis Fetus, 2.-7. Woche

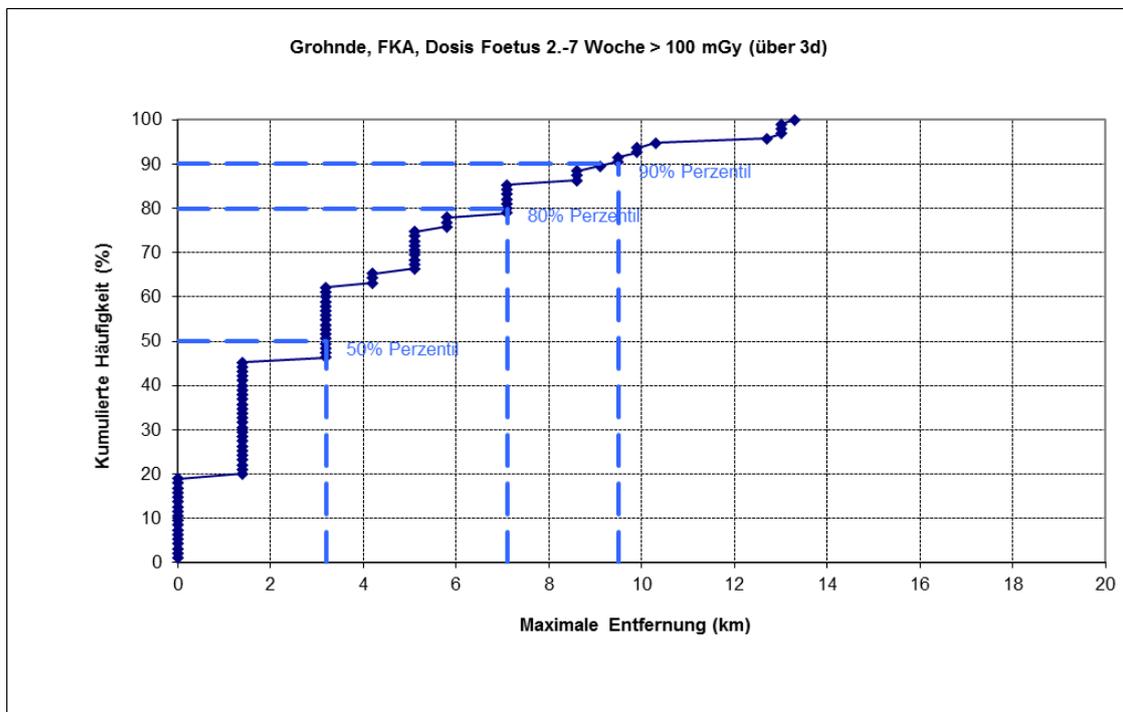


Abb. 8.1.8 a: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung für die Energiedosis größer 100 mGy beim Fetus (2.-7. Woche), Quellterm FKA.

Tabelle 8.1.8 a: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung für die Energiedosis größer 100 mGy beim Fetus (2.-7. Woche), Quellterm FKA

Wirkung	Dosiskriterium	Personengruppe	Schwellenwert	Integrationszeiten und Expositionspfade
Energiedosis	Dosis des Gehirns	Fetus (2.-7. Woche)	100 mGy	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum von der Mutter inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
Fetus (2.-7. Woche)			Maximale Entfernung (km) bei welcher der Schwellenwert überschritten wird.	
			50 Perzentil	80 Perzentil
Mitte (Grohnde)			3,2	7,1
				9,5

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die maximale Entfernung für die Dosis größer 100 mGy beim Fetus (2.-7. Woche) und dem Quellterm FKA. Diese Rechnungen wurden nur für den Standort Grohnde und für 95 Fälle eines Jahres (ungefähr jeder 4. Tag) durchgeführt. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum von der Mutter inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Die Rechnungen zeigen, dass das Kriterium von 100 mGy beim 80 Perzentil bis zu einer Entfernung von 7,1 km von der Anlage entfernt überschritten wird. Das 50 Perzentil wird bis zur Entfernung von 3,2 km von der Anlage überschritten, beim 90 Perzentil beträgt die Entfernung 9,5 km.

Dosis des Fetus, 8.-15. Woche

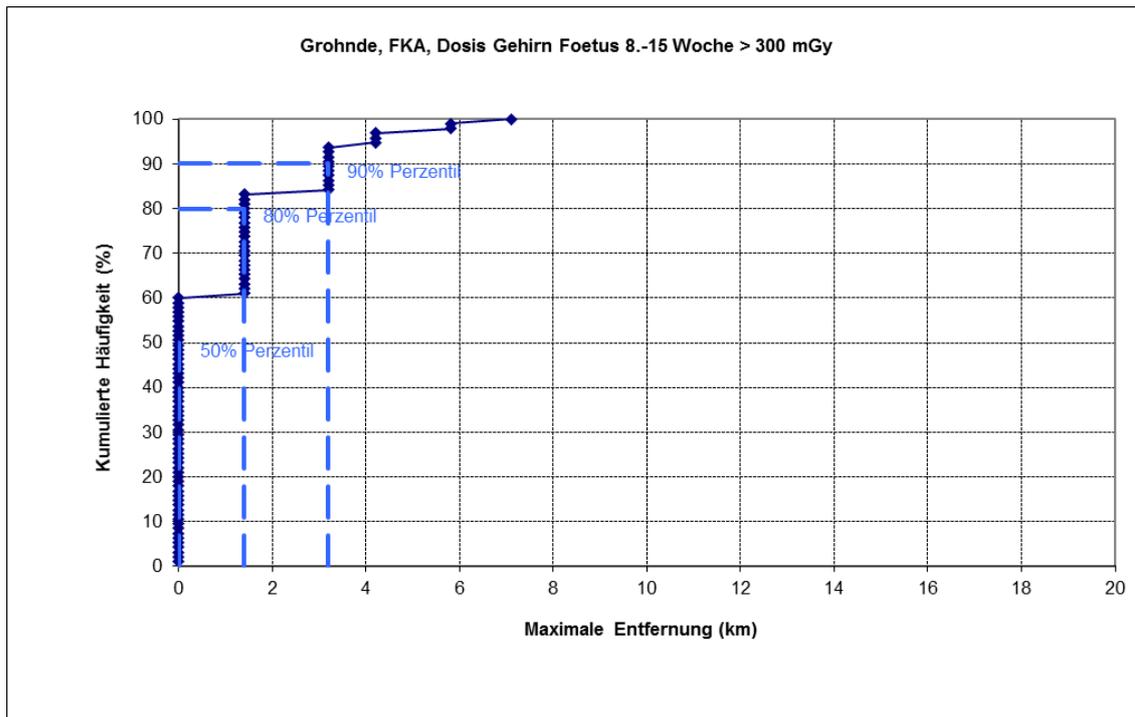


Abb. 8.1.8. b: Kumulative Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung für die Energiedosis größer 300 mGy beim Fetus (8.-15 Woche), Quellterm FKA.

Tabelle 8.1.8. b: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der maximalen Entfernung für die Energiedosis größer 300 mGy beim Fetus (8.-15. Woche), Quellterm FKA

Wirkung	Dosiskriterium	Personengruppe	Schwellenwert	Integrationszeiten und Expositionspfade
Energiedosis	Dosis des Gehirns	Fetus (8.-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
Fetus (8.-15. Woche)			Maximale Entfernung (km) bei welcher der Schwellenwert überschritten wird.	
			50 Perzentil	80 Perzentil
Mitte (Grohnde)			0	1,4
				3,2

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit für die maximale Entfernung für die Dosis größer 300 mGy beim Fetus (8.-15. Woche) und dem Quellterm FKA. Diese Rechnungen wurden nur für den Standort Grohnde und für 95 Fälle eines Jahres (ungefähr jeder 4. Tag) durchgeführt. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum von der Mutter inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Die Rechnungen zeigen, dass das Kriterium von 300 mGy beim 80 Perzentil bis zu einer Entfernung von 1,4 km von der Anlage entfernt überschritten wird. Das 50 Perzentil wird nicht erreicht (Entfernungen kleiner als ca. 1,4 km vom Kernkraftwerk wurden hierbei nicht untersucht), beim 90 Perzentil beträgt die Entfernung 3,2 km.

## 8.2. Größe der betroffenen Gebiete

### Betroffene Flächen bei der Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden

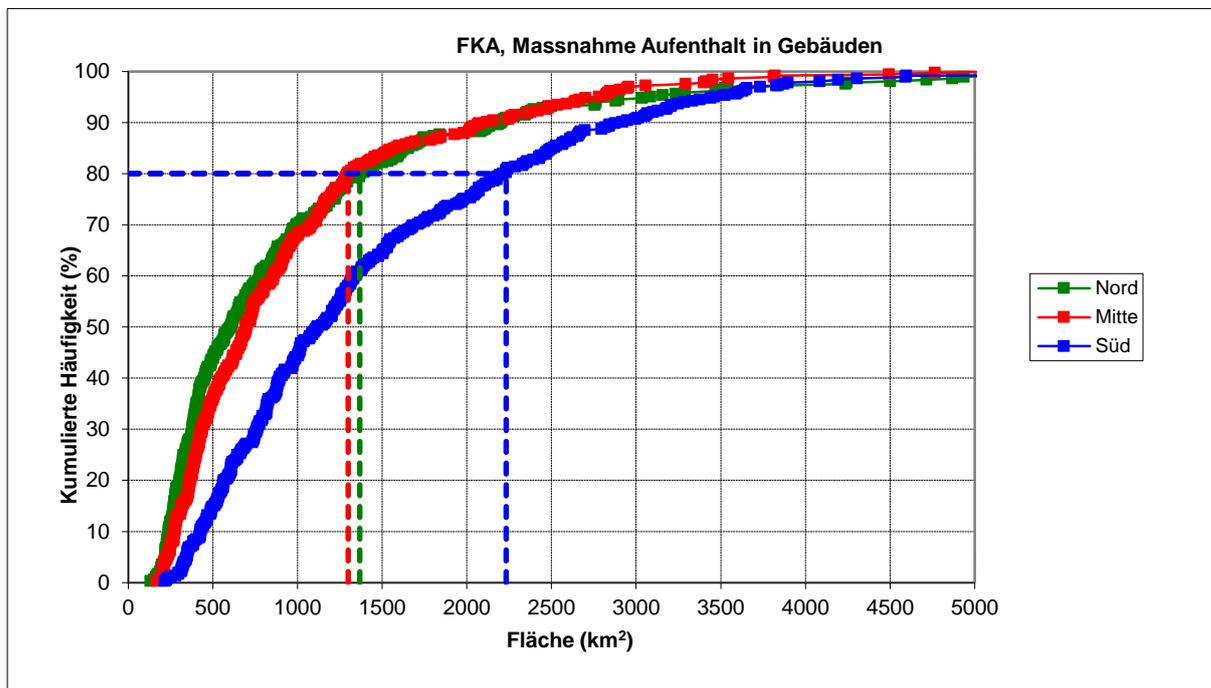


Abb. 8.2. a: Kumulative Häufigkeitsverteilung der betroffenen Flächen bei Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Erwachsene, Quellterm FKA

Tabelle 8.2. a: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der betroffenen Flächen bei der Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Erwachsene, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade
Aufenthalt in Gebäuden	Effektive Dosis	Erwachsene	10 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
			Fläche (km²) bei welcher der ERW überschritten wird.	
			50 Perzentil	80 Perzentil
Nord (Unterweser)			600	1368
Mitte (Grohnde)			696	1300
Süd (Philippsburg)			1120	2232

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit der betroffenen Fläche für die Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 10 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 10 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte bei der Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden eine Fläche von bis zu 1300 km<sup>2</sup> betroffen; analog ergibt sich für den Standort Nord eine maximale Fläche von 1368 km<sup>2</sup>, für den Standort Süd eine maximale Fläche von 2232 km<sup>2</sup>. Die Flächen bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Betroffene Flächen bei der Maßnahme Evakuierung

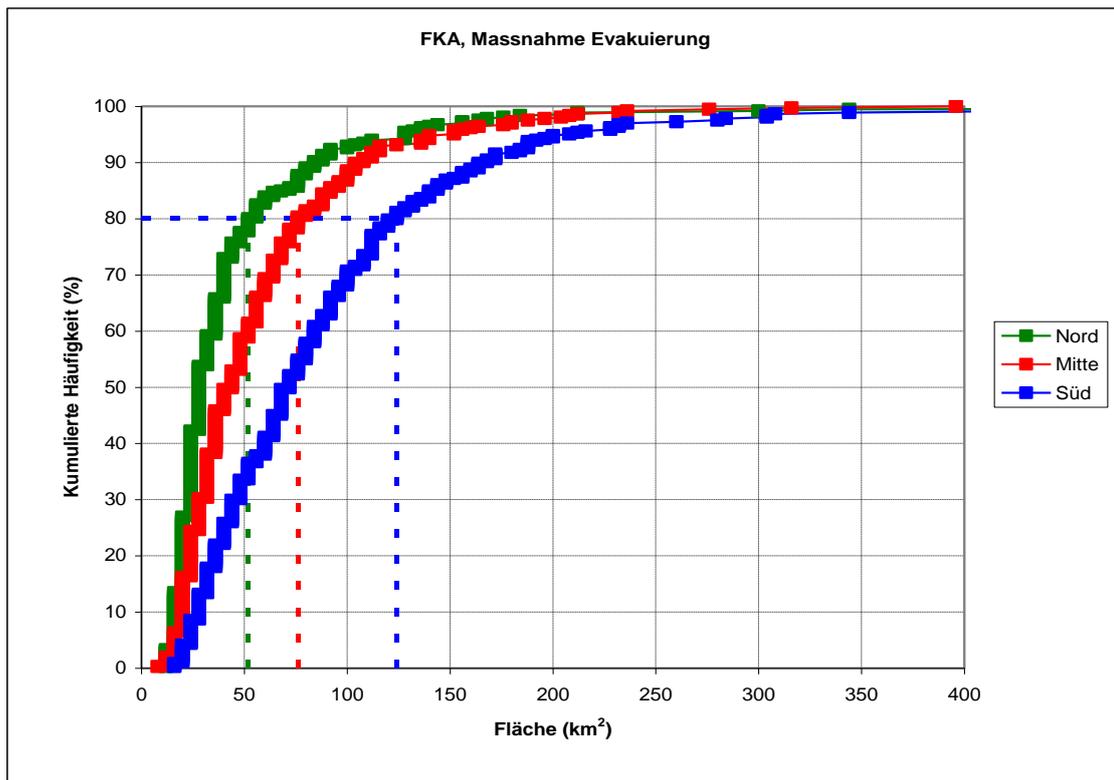


Abb. 8.2. b: Kumulative Häufigkeitsverteilung der betroffenen Flächen bei Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKA

Tabelle 8.2. b: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der betroffenen Flächen bei der Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Evakuierung	Effektive Dosis	Erwachsene	100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaleden Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
				Fläche (km²) bei welcher der ERW überschritten wird.		
				50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil
Nord (Unterweser)				28	52	84
Mitte (Grohnde)				44	76	108
Süd (Philippsburg)				72	124	168

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit der betroffenen Fläche für die Maßnahme Evakuierung bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 100 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaleden Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 100 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte bei der Maßnahme Evakuierung eine Fläche von bis zu 76 km² betroffen; analog ergibt sich für den Standort Nord eine Fläche von bis zu 52 km², für den Standort Süd eine Fläche von bis zu 124 km². Die Flächen bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Betroffene Flächen bei der Maßnahme Einnahme von Iodtabletten für Erwachsene

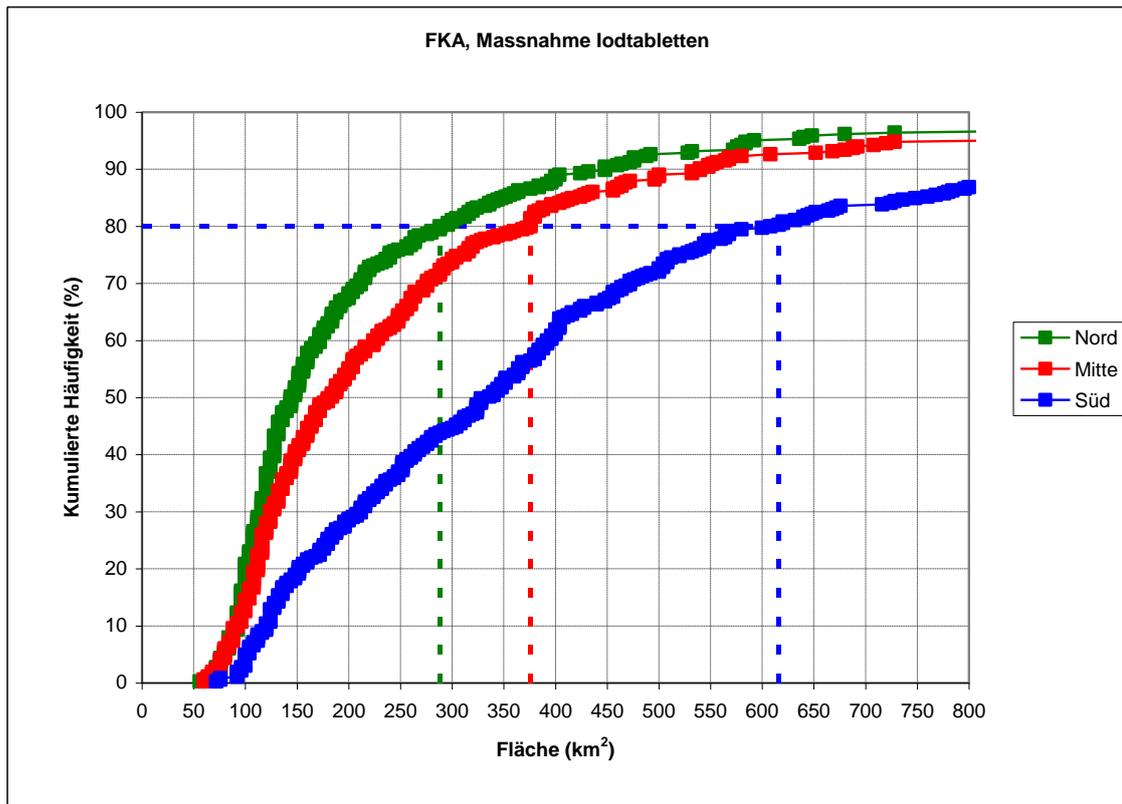


Abb. 8.2. c: Kumulative Häufigkeitsverteilung der betroffenen Flächen bei Maßnahme Einnahme von Iodtabletten, Erwachsene (18 bis 45 Jahre), Quellterm FKA

Tabelle 8.2. c: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der betroffenen Flächen bei der Maßnahme Einnahme von Iodtabletten, Erwachsene (18 bis 45 Jahre), Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Einnahme von Iodtabletten	Effektive Dosis	Erwachsene (18 bis 45 Jahre)	250 mSv	Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Fläche (km <sup>2</sup> ) bei welcher der ERW überschritten wird.			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
Nord (Unterweser)			144	288	448	
Mitte (Grohnde)			184	376	540	
Süd (Philippsburg)			336	616	956	

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit der betroffenen Fläche für die Maßnahme "Einnahme von Iodtabletten" bei Erwachsenen (18 bis 45 Jahre) mit dem Eingreifrichtwert 250 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 250 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte bei der Maßnahme Einnahme von Iodtabletten eine Fläche von maximal 376 km<sup>2</sup> betroffen; analog ergibt sich für den Standort Nord eine Fläche von maximal 288 km<sup>2</sup>, für den Standort Süd eine Fläche von maximal 616 km<sup>2</sup>.

Die Flächen bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Betroffene Flächen bei der Maßnahme Einnahme von Iodtabletten für Kinder

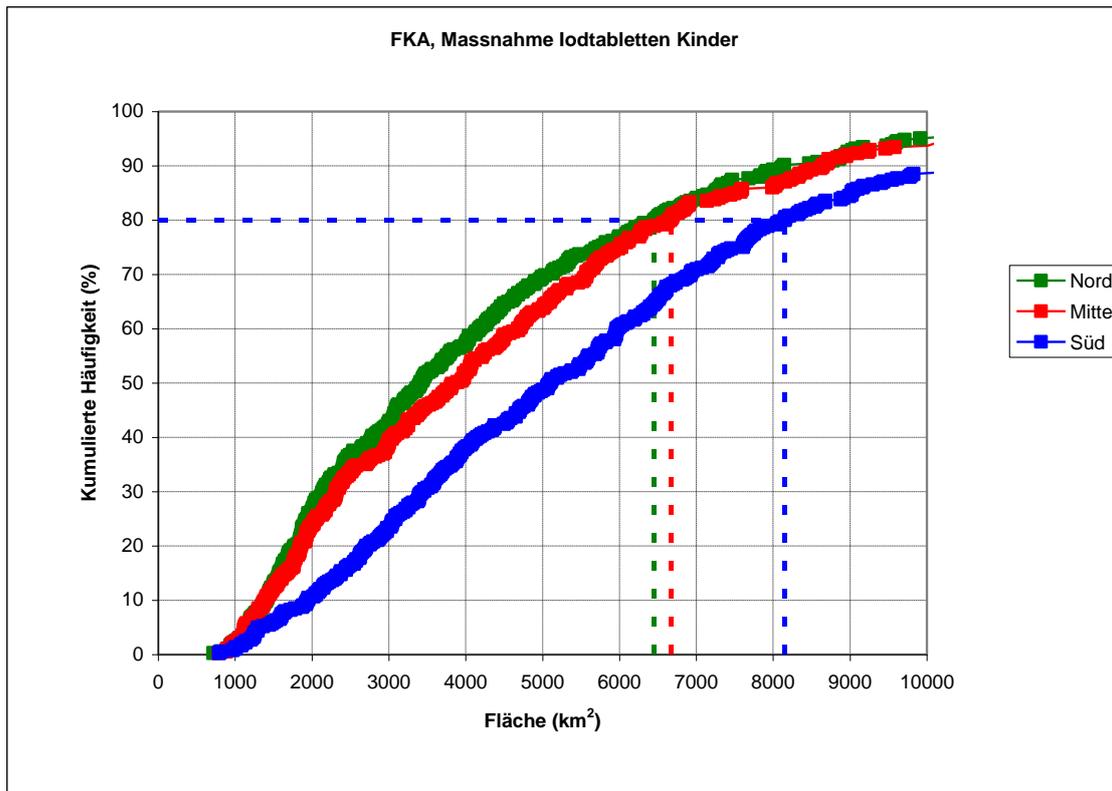


Abb. 8.2. d: Kumulative Häufigkeitsverteilung der betroffenen Flächen bei Maßnahme Einnahme von Iodtabletten, Kinder, Jugendliche unter 18 Jahren und Schwangere, Quellterm FKA.

Tabelle 8.2. d: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der betroffenen Flächen bei der Maßnahme Einnahme von Iodtabletten, Kinder Jugendliche unter 18 Jahren und Schwangere, Quellterm FKA

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Einnahme von Iodtabletten	Effektive Dosis	Kinder, Jugendliche unter 18 Jahren und Schwangere	50 mSv	Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
				Fläche (km <sup>2</sup> ) bei welcher der ERW überschritten wird.		
				50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil
Nord (Unterweser)				3408	6456	8124
Mitte (Grohnde)				3892	6676	8648
Süd (Philippsburg)				5104	8156	10.444

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit der betroffenen Fläche für die Maßnahme Einnahme von Iodtabletten bei Kinder, Jugendliche unter 18 Jahren und Schwangere mit dem Eingreifrichtwert 50 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 50 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte bei der Maßnahme Einnahme von Iodtabletten eine Fläche von maximal 6676 km<sup>2</sup> betroffen; analog ergibt sich für den Standort Nord eine Fläche von maximal 6456 km<sup>2</sup>, für den Standort Süd eine Fläche von maximal 8156 km<sup>2</sup>. Die Flächen bei einer Betrachtung von 50 bzw. 90 % der Fälle sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Betroffene Flächen für Maßnahme Evakuierung außerhalb eines Radius von 20 km,

Standort Grohnde

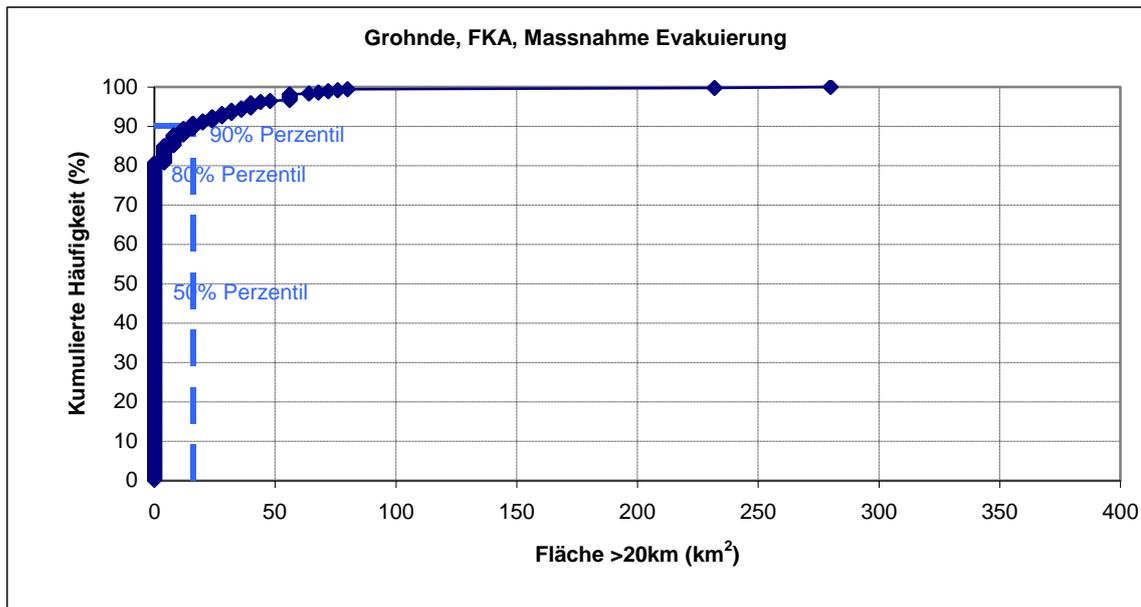


Abb. 8.2. e: Kumulative Häufigkeitsverteilung der betroffenen Flächen in einer Entfernung größer als 20 km bei der Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKA, Standort Grohnde

Tabelle 8.2. e: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der betroffenen Flächen in einer Entfernung größer als 20 km bei der Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKA, Standort Grohnde

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade
Evakuierung	Effektive Dosis	Erwachsene	100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
			Fläche (km <sup>2</sup> ) in einer Entfernung größer als 20 km, bei welcher der ERW überschritten wird	
			50 Perzentil	80 Perzentil      90 Perzentil
Mitte (Grohnde)			0	0                      16

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit der betroffenen Fläche für die Maßnahme Evakuierung bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 100 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 100 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle für den Standort Mitte bei der Maßnahme Evakuierung keine Fläche außerhalb einer Entfernung von 20 km betroffen; das gilt auch für das 50 Perzentil. Erst bei 90 % der betrachteten Fälle ist die betroffene Fläche 16 km<sup>2</sup> groß.

### 8.3. Anzahl an Personen in betroffenen Gebieten

Anzahl der Personen in von der Maßnahme Evakuierung betroffenen Gebieten, Erwachsene, Grohnde

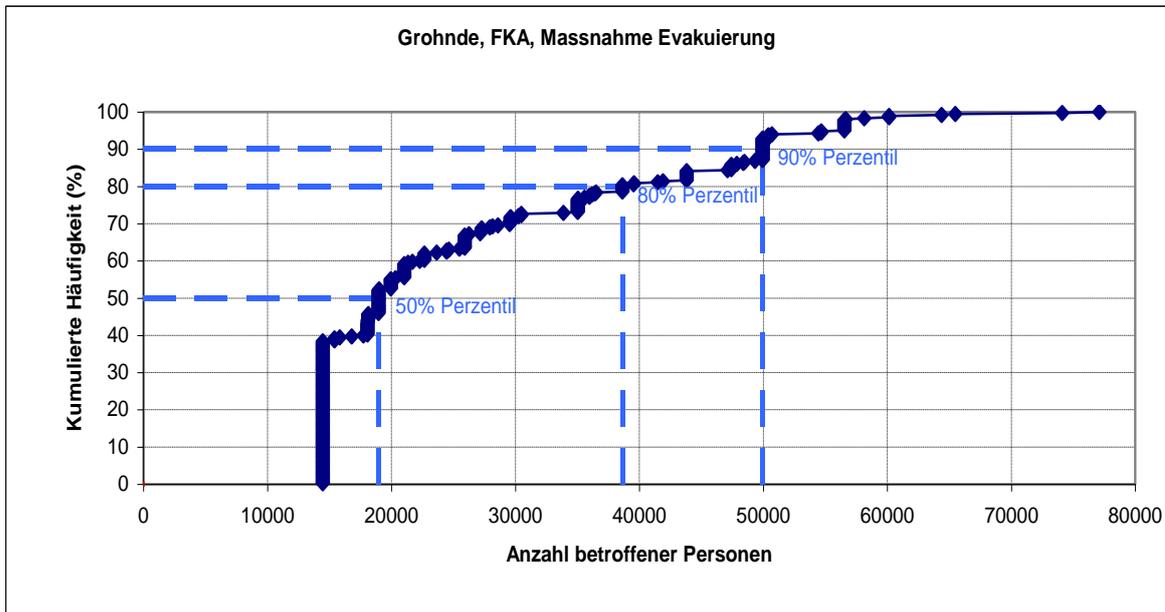


Abb. 8.3. a: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Personen innerhalb eines Radius von 20 km bei der Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKA, Standort Grohnde

Tabelle 8.3. a: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Personen innerhalb eines Radius von 20 km bei der Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKA, Standort Grohnde

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade
Evakuierung	Effektive Dosis	Erwachsene	100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaleden Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
			Anzahl an Personen in Gebieten innerhalb eines Radius von 20 km, in denen der ERW überschritten wird	
			50 Perzentil	80 Perzentil
Mitte (Grohnde)			18.959	38.632
				90 Perzentil
				49.945

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit der Anzahl an Personen innerhalb eines Radius von 20 km von der Anlage für die Maßnahme Evakuierung bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 100 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaleden Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 100 mSv sind in 80 % der betrachteten Fälle bei der Maßnahme Evakuierung innerhalb einer Entfernung von 20 km bis zu 38.632 Personen betroffen. Beim 50 Perzentil sind bis zu 18.959 Personen, beim 90 Perzentil sind bis zu 49.945 Personen betroffen.

Anzahl der Personen in betroffenen Gebieten bei der Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Philippsburg

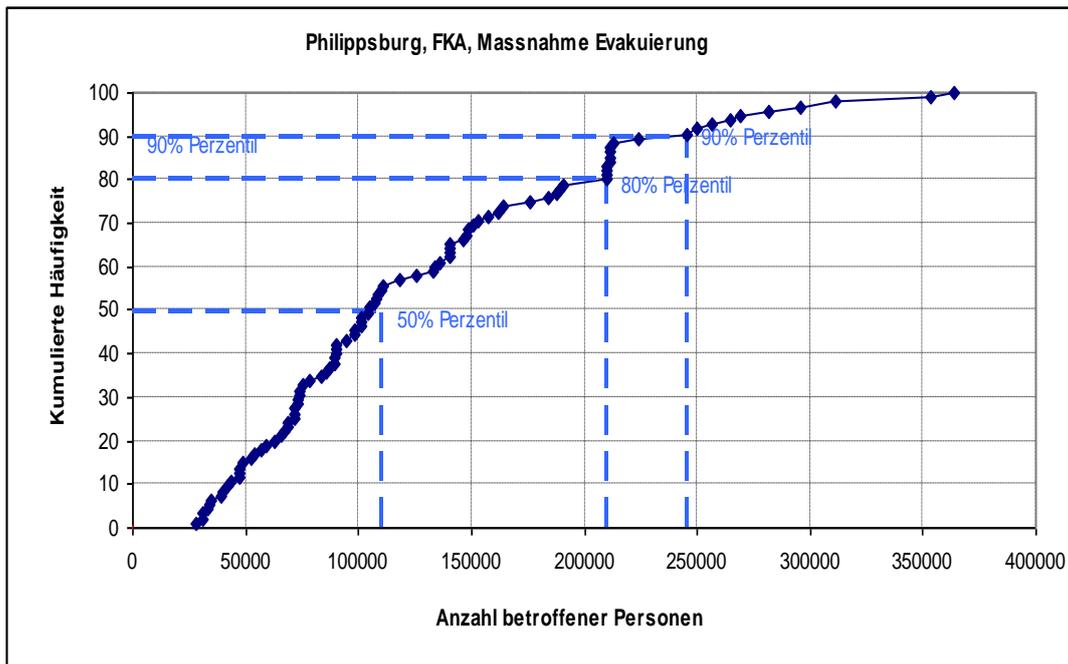


Abb. 8.3. b: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Anzahl der Personen in betroffenen Gebieten bei der Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKA, Standort Philippsburg

Tabelle 8.3. b: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Anzahl der Personen in betroffenen Gebieten bei der Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKA, Standort Philippsburg

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade
Evakuierung	Effektive Dosis	Erwachsene	100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien
			Anzahl an Personen in Gebieten innerhalb eines Radius von 20 km, in denen der ERW überschritten wird	
			50 Perzentil	80 Perzentil      90 Perzentil
Philippsburg			109.881	210.176      245.169

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit der Anzahl der Personen in betroffenen Gebieten bei der Maßnahme Evakuierung, Standort Philippsburg bei Erwachsenen mit dem Eingreifrichtwert 100 mSv und dem Quellterm FKA. Die Integrationszeiten und Expositionspfade sind äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Aufgrund des geltenden Eingreifrichtwertes von 100 mSv ist in 80 % der betrachteten Fälle eine Personenzahl von bis zu 210.176 betroffen; analog ergibt sich für 50 % der betrachteten Fälle eine Personenzahl von bis zu 109.881 und bei 90 % der betrachteten Fälle eine Personenzahl von maximal 245.169.

## 8.4. Anzahl der betroffenen Sektoren

### Anzahl der betroffenen Sektoren für Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden, Erwachsene

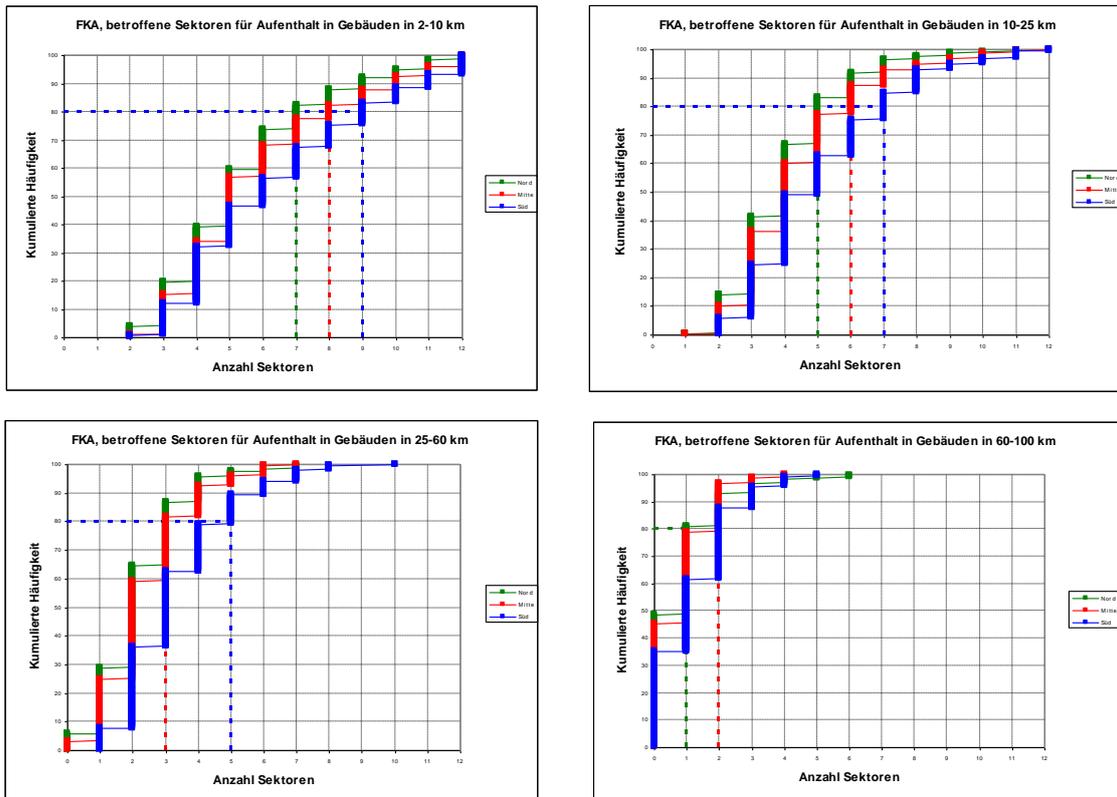


Abb. 8.4.1 a,b,c,d: Kumulative Häufigkeitsverteilung der von der Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden betroffenen Sektoren für Erwachsene und Quellterm FKA in verschiedenen Entfernungsbereichen

Tabelle 8.4.1: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der von der Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden betroffenen Sektoren für Erwachsene und Quellterm FKA in verschiedenen Entfernungsbereichen

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade	
Aufenthalt in Gebäuden	Effektive Dosis	Erwachsene	10 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaleden Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien	
			Anzahl der Sektoren, bei welcher der ERW überschritten wird.		
Entfernungsbereich (km)			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil
2 - 10			5 - 6	7 - 9	9 - 11
10 - 25			4 - 5	5 - 7	6 - 8
25 - 60			2 - 3	3 - 5	4 - 6
60 - 100			0 - 1	1 - 2	2 - 3

Die Grafik und Tabelle zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der von der Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden betroffenen Sektoren für Erwachsene und Quellterm FKA zeigen im Nahbereich bei allen Standorten die Beaufschlagung von relativ vielen Sektoren (80 Perzentil zwischen 5 und 9 Sektoren); damit ist die betroffene Fläche im Nahbereich ein Halb- bis Dreiviertelkreis mit Zentrum Emissionspunkt. In größerer Entfernung nimmt die Anzahl an betroffenen Sektoren ab und reduziert sich in großer Entfernung (60 – 100 km) auf einige wenige Sektoren (max. 3 Sektoren). Diese Beaufschlagung von Sektoren ist mit der meteorologischen Ausbreitungssituation korreliert.

Anzahl der betroffenen Sektoren für Maßnahme Evakuierung, Quellterm FKA, Erwachsene

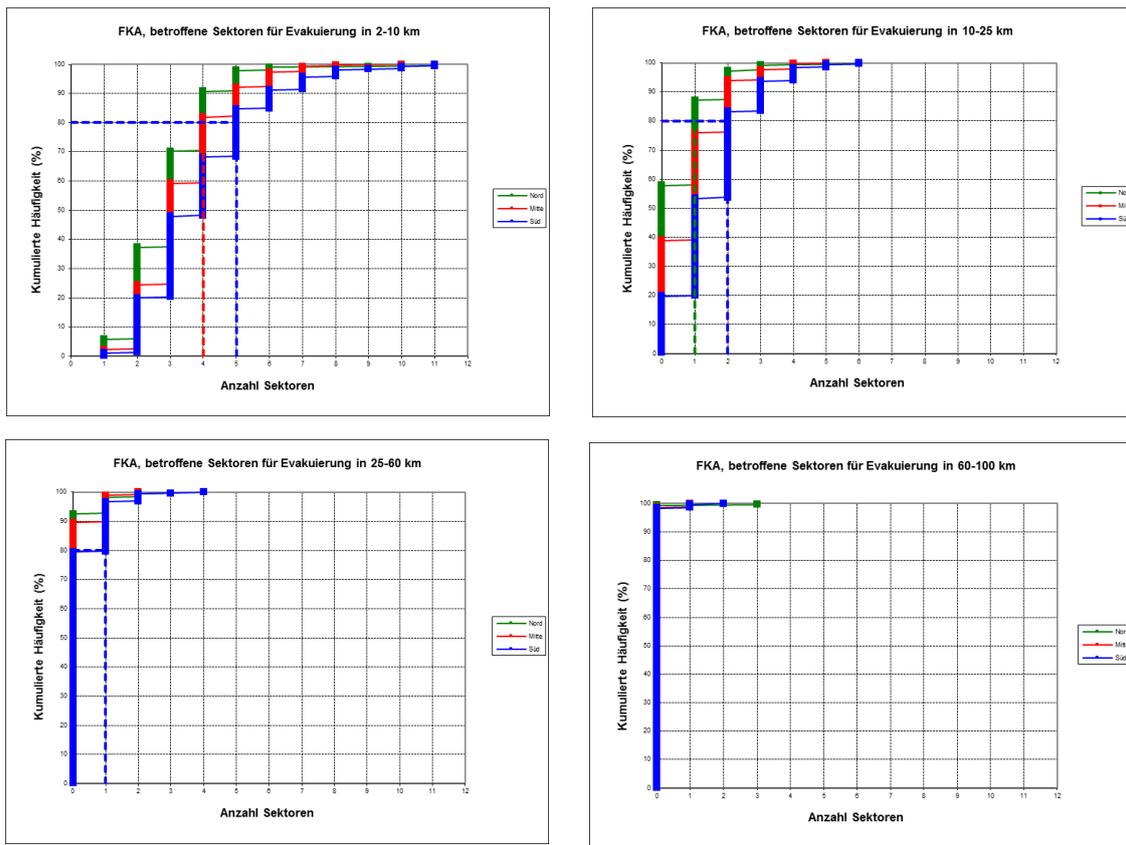


Abb.8.4.2, a, b, c, d: Kumulative Häufigkeitsverteilung der von der Maßnahme Evakuierung bei Erwachsenen mit Quellterm FKA betroffenen Sektoren an den Standorten Nord, Mitte und Süd.

Tabelle 8.4.2: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Anzahl der betroffenen Sektoren bei der Maßnahme Evakuierung, Erwachsene, Quellterm FKA, Standorte Nord, Mitte und Süd

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositions-pfade		
Evakuierung	Effektive Dosis	Erwachsene	100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalede Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
Entfernung in km			Anzahl der Sektoren, bei welchen der ERW überschritten wird			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
2 - 10			3 - 4	4 - 5	4 - 6	
10 - 25			0 - 1	1 - 2	2 - 3	
25 - 60			0	0 - 1	0 - 1	
60 - 100			0	0	0	

Die Grafik und Tabelle zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der von der Maßnahme Evakuierung betroffenen Sektoren für Erwachsene und Quellterm FKA zeigen im Nahbereich für das 80 Perzentil bei allen Standorten die Beaufschlagung von 4 bis 5 Sektoren; die Anzahl der Sektoren sinkt mit zunehmender Entfernung deutlich ab. In größerer Entfernung (bis 60 km) geht die Anzahl an betroffenen Sektoren auf einen Sektor zurück. Diese Beaufschlagung von Sektoren ist mit der meteorologischen Ausbreitungssituation korreliert.

Anzahl der betroffenen Sektoren für Maßnahme Einnahme Iodtabletten für Personen von 18 - 45 Jahren

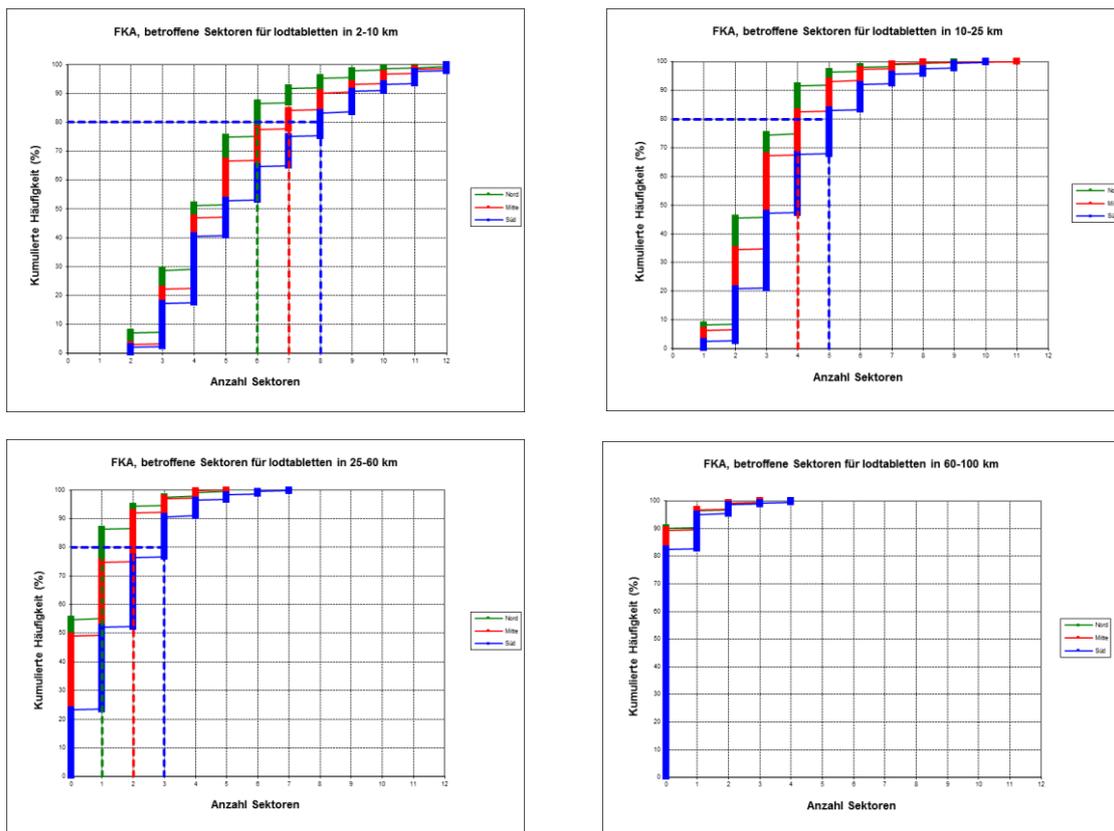


Abb.8.4.3, a, b, c, d: Kumulative Häufigkeitsverteilung der von der Maßnahme Einnahme Iodtabletten für Personen von 18 bis 45 Jahren mit Quellterm FKA betroffenen Sektoren an den Standorten Nord, Mitte und Süd.

Tabelle 8.4.3: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der Anzahl der betroffenen Sektoren bei der Maßnahme Einnahme Iodtabletten für Personen von 18 bis 45 Jahren, Quellterm FKA, Standorte Nord, Mitte und Süd

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Einnahme von Iodtabletten	Effektive Dosis	Personen von 18 bis 45 Jahren	100 mSv	Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
Entfernung in km			Anzahl der Sektoren, bei welchen der ERW überschritten wird			
			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
2 - 10			4-5	6-8	7-9	
10 - 25			3-4	4-5	4-6	
25 - 60			0-1	1-3	2-3	
60 - 100			0	0	0-1	

Die Grafik und Tabelle zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der von der Maßnahme Einnahme von Iodtabletten betroffenen Sektoren für Personen von 18 bis 45 Jahren und dem Quellterm FKA zeigen für alle Standorte im Nahbereich die Beaufschlagung von relativ vielen Sektoren (80 Perzentil zwischen 6 und 8 Sektoren). Damit ist im Nahbereich die betroffene Fläche ein Kreisabschnitt mit einem Winkel von 180° – 240° um den Emissionspunkt. In größerer Entfernung nimmt die Anzahl an betroffenen Sektoren ab und reduziert sich in großer Entfernung (25 – 60 km) auf 1 - 3 Sektoren (immer für das 80. Perzentil). Die anderen Perzentilangaben sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Diese Beaufschlagung von Sektoren ist mit der meteorologischen Ausbreitungssituation korreliert.

Anzahl der betroffenen Sektoren für Maßnahme Einnahme Iodtabletten für Kinder, Jugendliche unter 18 Jahre und Schwangere

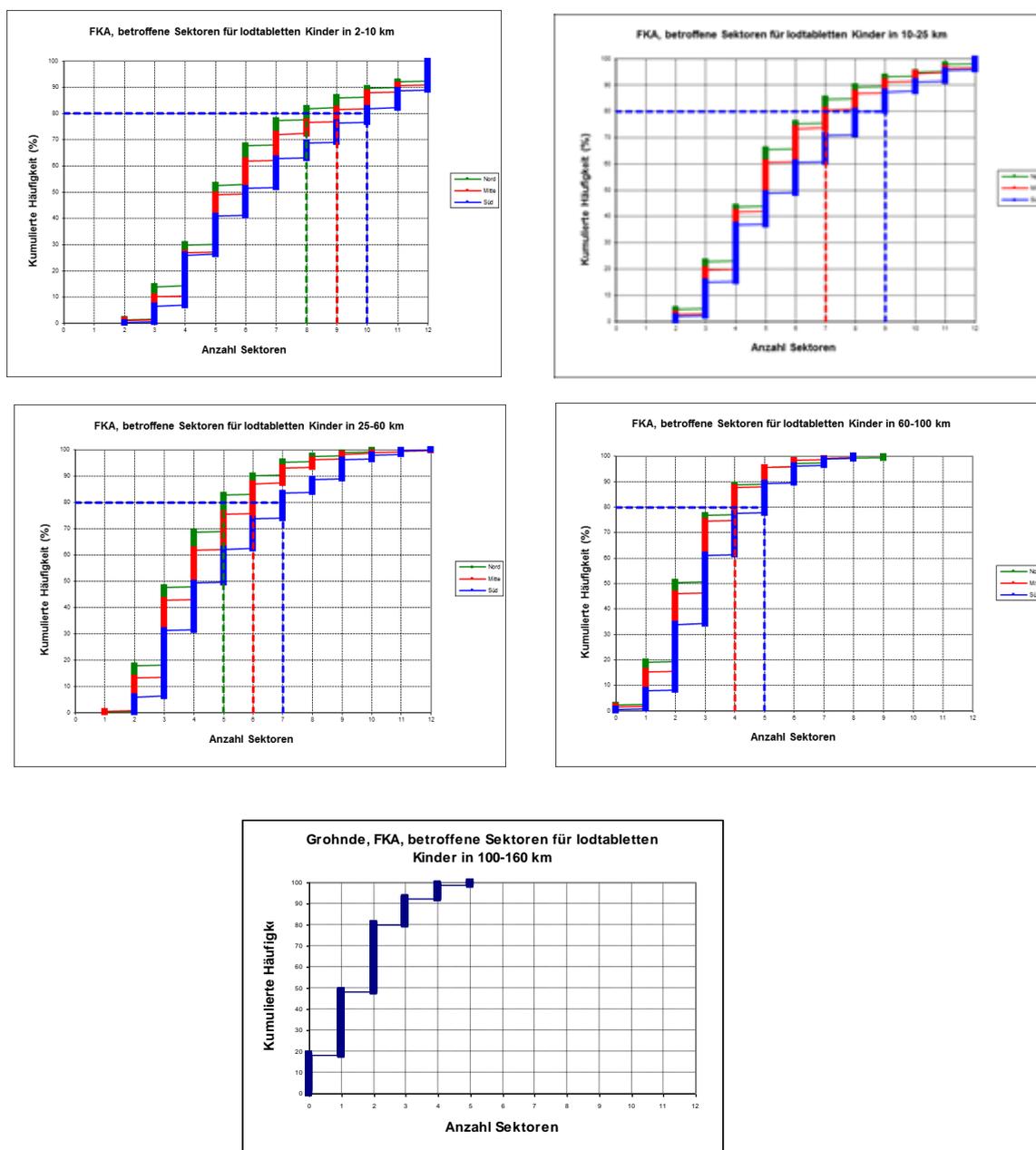


Abb. 8.4.4. a, b, c, d, e: Darstellung der kumulativen Häufigkeitsverteilung der von der Maßnahme Einnahme von Iodtabletten für Kinder, Jugendliche unter 18 Jahre und Schwangere betroffenen Sektoren an den Standorten Nord, Mitte und Süd. (Für die Entfernung 100 – 160 km wurde nur noch für Grohnde gerechnet, Abb 8.4.4. e).

Tabelle 8.4.4: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der von der Maßnahme Einnahme von Iodtabletten für Kinder, Jugendliche unter 18 Jahre und Schwangere betroffenen Sektoren an den Standorte Nord, Mitte und Süd.

Maßnahme	Dosiskriterium	Personengruppe	Eingreifrichtwert	Integrationszeiten und Expositionspfade		
Einnahme von Iodtabletten	Effektive Dosis	Kinder, Jugendliche unter 18 Jahren und Schwangere	50 mSv	Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien		
			Anzahl der Sektoren, bei denen der ERW überschritten wird.			
Entfernungsbereich (km)			50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil	
2 - 10			5-6	8-10	10-12	
10 - 25			5-6	7-9	9-10	
25 - 60			4-5	5-7	6-9	
60 - 100			2-3	4-5	5-6	
100 - 160			2 <sup>1)</sup>	2 <sup>1)</sup>	3 <sup>1)</sup>	

1) Ergebnisse im Entfernungsbereich 100 – 160 km liegen nur für Standort Nord vor.

Die Grafik und Tabelle zur kumulativen Häufigkeitsverteilung der von der Maßnahme Einnahme von Iodtabletten betroffenen Sektoren für Kinder, Jugendliche unter 18 Jahre und Schwangere und den Quellterm FKA zeigen für alle Standorte im Nahbereich die Beaufschlagung von relativ vielen Sektoren (80. Perzentil zwischen 8 und 10 Sektoren). Damit ist im Nahbereich die betroffene Fläche ungefähr ein Kreisabschnitt mit einem Winkel von 240° – 300° um den Emissionspunkt. In größerer Entfernung nimmt die Anzahl an betroffenen Sektoren ab und reduziert sich in großer Entfernung (60 – 100 km) auf 4 - 5 Sektoren (immer für das 80 Perzentil). Die anderen Perzentilangaben sind der Tabelle oben zu entnehmen.

Diese Beaufschlagung von Sektoren ist mit der meteorologischen Ausbreitungssituation korreliert.

## 8.5. Größe der Gebiete mit hohen Bodenkontaminationen

Gebiete mit Bodenkontaminationen größer 4.000 kBq/m<sup>2</sup>, Quellterm FKA

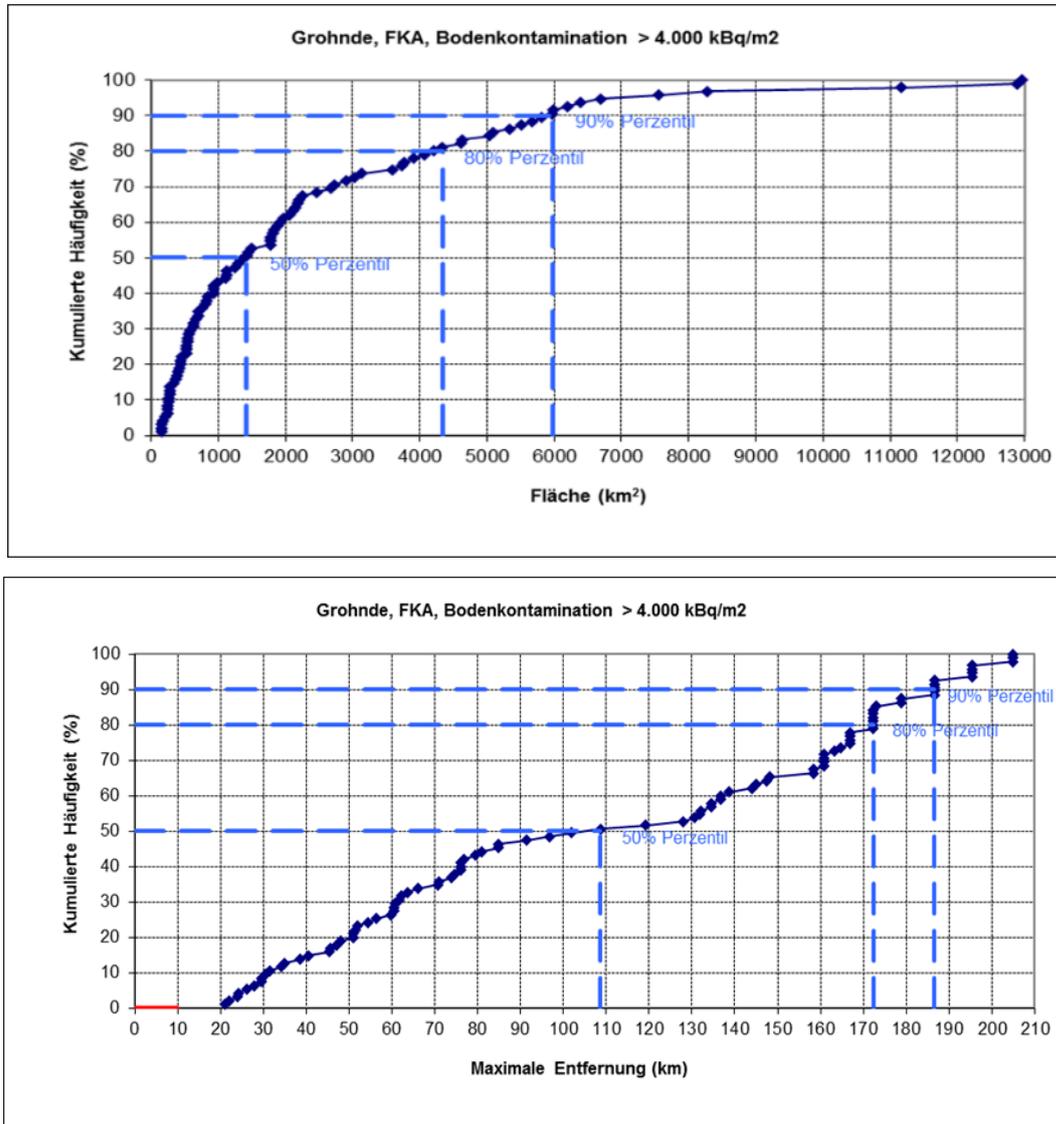


Abb.8.5.1 a,b: Darstellung der kumulativen Häufigkeitsverteilung von maximaler Entfernung bzw. betroffene Fläche der Gebiete mit einer Bodenkontamination größer als 4.000 kBq/m<sup>2</sup> bei dem Quellterm FKA für den Standort Grohnde

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit der maximalen Entfernung (km), bis zu der die Aktivität von 4.000 kBq/m<sup>2</sup> überschritten wird. In 50 % der betrachteten Fälle wird dabei eine Entfernung von bis zu 109 km erreicht; analog dazu in 80 % der Fälle eine Entfernung von bis zu 172 km und in 90 % der betrachteten Fälle eine Entfernung von bis zu 187 km.

Die kumulative Häufigkeit, bei welcher die Aktivität von 4.000 kBq/m<sup>2</sup> überschritten beträgt in 50 % der betrachteten Fälle eine Fläche von bis zu 1416 km<sup>2</sup>, in 80 % der Fälle eine Fläche von 4336 km<sup>2</sup> und in 90 % der Fälle eine Fläche von 5972 km<sup>2</sup>.

Tabelle 8.5.1 : Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung von maximaler Entfernung bzw. betroffene Fläche der Gebiete mit einer Bodenkontamination größer als 4.000 kBq/m<sup>2</sup> bei dem Quellterm FKA für den Standort Grohnde

Standort	Maximale Entfernung (km), bei welcher die Aktivität von 4.000 kBq/m <sup>2</sup> überschritten wird		
	50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil
Mitte (Grohnde)	109	172	187
	Fläche (km <sup>2</sup> ), bei welcher die Aktivität von 4.000 kBq/m <sup>2</sup> überschritten wird		
	50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil
Mitte (Grohnde)	1416	4336	5972

Gebiete mit Bodenkontaminationen größer 40.000 kBq/m<sup>2</sup>, Quellterm FKA

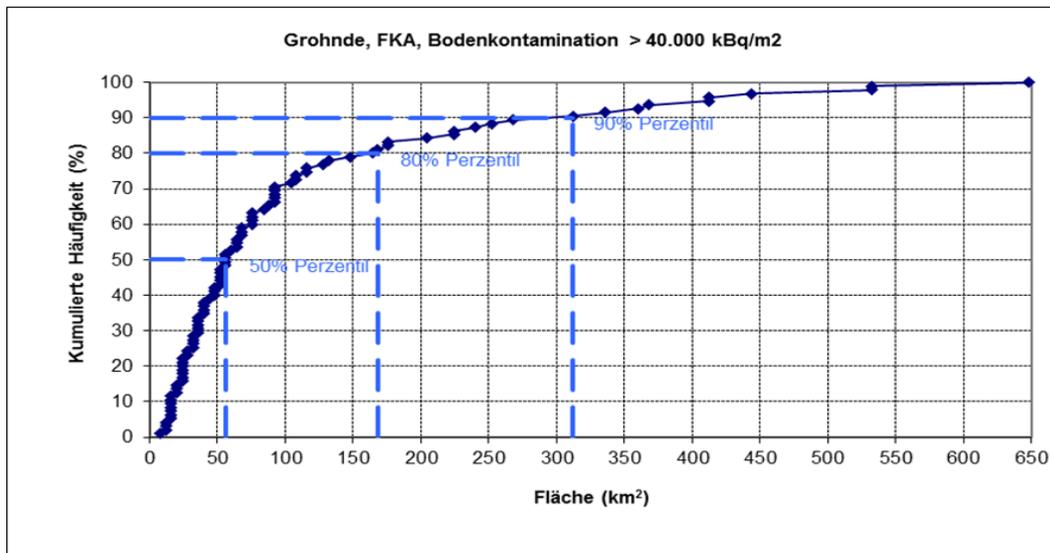
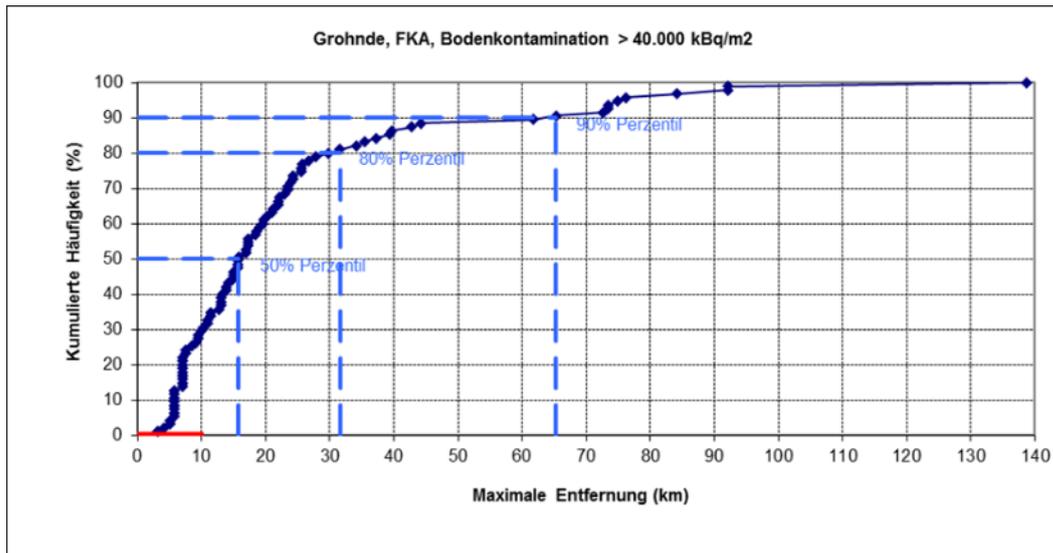


Abb.8.5.2 a, b Darstellung der kumulativen Häufigkeitsverteilung von maximaler Entfernung bzw. betroffene Fläche der Gebiete mit einer Bodenkontamination größer als 40.000 kBq/m<sup>2</sup> bei dem Quellterm FKA für den Standort Grohnde

Tabelle 8.5.2: Daten zur kumulativen Häufigkeitsverteilung von maximaler Entfernung bzw. betroffene Fläche der Gebiete mit einer Bodenkontamination größer als 40.000 kBq/m<sup>2</sup> bei dem Quellterm FKA für den Standort Grohnde

Standort	Maximale Entfernung (km), bei welcher die Aktivität von 40.000 kBq/m <sup>2</sup> überschritten wird		
	50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil
Mitte (Grohnde)	16	32	65
Standort	Fläche (km <sup>2</sup> ), bei welcher die Aktivität von 40.000 kBq/m <sup>2</sup> überschritten wird		
	50 Perzentil	80 Perzentil	90 Perzentil
Mitte (Grohnde)	56	168	312

Die Abbildung oben zeigt die kumulative Häufigkeit der maximalen Entfernung (km), bei welcher die Aktivität von 40.000 kBq/m<sup>2</sup> überschritten wird. In 50 % der betrachteten Fälle wird dabei eine Entfernung von bis zu 16 km erreicht; analog dazu in 80 % der Fälle eine Entfernung von bis zu 32 km und in 90 % der betrachteten Fälle eine Entfernung von bis zu 65 km.

Die kumulative Häufigkeit, bei welcher die Aktivität von 40.000 kBq/m<sup>2</sup> überschritten beträgt in 50 % der betrachteten Fälle eine Fläche von bis zu 56 km<sup>2</sup>, in 80 % der Fälle eine Fläche von 168 km<sup>2</sup> und in 90 % der Fälle eine Fläche von 312 km<sup>2</sup>.

## 8.6. Verbleibende Dosis nach ICRP

Das BfS hat im Rahmen der hier dargestellten Studie auch die Frage untersucht, wie das neue ICRP-Konzept eines Referenzwerts der verbleibenden Dosis im ersten Jahr mit den deutschen Eingreifrichtwerten verträglich ist. Dazu wurden knapp 100 RODOS-Einzelrechnungen mit Freisetzungsbeginn an jedem 4. Tag zwischen 01.11.2011 und 31.10.2012 für den Standort Grohnde und den Quellterm FKA (d.h. Freisetzung über ca. 50 Stunden) ausgewertet. Die Reduktion der Dosis durch Schutzmaßnahmen wurde für alle Orte berücksichtigt, an denen die deutschen Eingreifrichtwerte überschritten werden. Nach Ende der Schutzmaßnahmen wurde die Dosisreduktion durch natürliche Aufenthaltsgewohnheiten berücksichtigt. Für jede der Einzelrechnungen wurde jeweils die maximale verbleibende effektive Dosis für Erwachsene bestimmt, die im gesamten betrachteten Rechengebiet auftritt. Der Median der maximalen verbleibenden Dosis und die 10. bzw. 90. Perzentile über alle Rechnungen sind in Tabelle 8.6.1 angegeben.

Tabelle 8.6.1 : Statistische Auswertung der maximalen verbleibenden Dosis für knapp 100 Einzelrechnungen für den Standort Grohnde und den Quellterm FKA.

			Maximale verbleibende Dosis (effektive Dosis, Erwachsene., in mSv)		
Schutzmaßnahmen	Zusätzlich: Umsiedlung	Fall	10%	Median	90%
Evakuierung, Aufenthalt in Gebäuden, Iodblockade	Nein	1a	46	77	296
	Nach 30 d	1b	20	29	69
	Nach 7 d	1c	14	18	32

Schutzmaßnahmen wurden an allen Orten berücksichtigt, an denen die deutschen Eingreifrichtwerte für die jeweilige Maßnahme überschritten wurden. Dabei wurde unterstellt, dass die Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ zwei Tage aufrechterhalten wird, dass die Wirkung der Maßnahme „Iodblockade“ über die Wolkendurchzugszeit anhält, sowie dass bei Evakuierung keine Rückkehr im ersten Jahr erfolgt und somit die verbleibende Dosis für die evakuierten Orte gleich Null ist. Dies bedeutet auch, dass an den evakuierten Orten weder Aufenthalt in Gebäuden noch Iodblockade noch Umsiedlung berücksichtigt werden musste, da die verbleibende Dosis allein durch Evakuierung auf Null reduziert wurde. Anders ausgedrückt: die in Tabelle 8.6.1 ausgewertete maximale verbleibende Dosis tritt immer nur in nicht evakuierten Gebieten auf, in denen lediglich die Maßnahmen Aufenthalt in Gebäuden zusammen mit Iodblockade angewandt wurden. Die Orte mit der maximalen verbleibenden Dosis liegen dabei im Mittel in etwa 10 km Entfernung vom KKW, da bei geringeren Entfernungen meist der Evakuierungsrichtwert überschritten wird und somit aufgrund von Evakuierung die verbleibende Dosis gleich Null ist.

Annahmen zur Dosisreduktion bei Schutzmaßnahmen und natürlichen Aufenthaltsgewohnheiten sind wie folgt: Reduktionsfaktor für externe Exposition und Inhalation bei Evakuierung = 0, bei Umsiedlung = 0, bei Aufenthalt in Gebäuden = 0,33 (Ingestion wurde nicht berücksichtigt). Zusätzlicher Reduktionsfaktor für Dosis durch Inhalation von Iod Isotopen bei Iodblockade = 0,1. Reduktionsfaktor für externe Exposition bei natürlichen Aufenthaltsgewohnheiten = 0,55 (Annahme: Aufenthalt im Freien 8 h pro Tag, 16 h im Haus, Reduktionsfaktor im Haus = 0,33).

Man erkennt aus Tabelle 8.6.1, dass bei Anwendung der drei Schutzmaßnahmen (Evakuierung, Aufenthalt in Gebäuden, Iodblockade jeweils an den Orten, an denen der jeweilige Eingreifrichtwert überschritten wird) der Median der verbleibenden Dosis bei allen Szenarien unter 100 mSv liegt. Für den Fall, dass Umsiedlung nicht zusätzlich betrachtet wird (Fall 1a) liegt allerdings ein erheblicher Teil der Szenarien (ca. 40%, siehe Abb. 8.6. a) oberhalb von 100 mSv (bei einem Median von 77 mSv). Unter Berücksichtigung einer Umsiedlung nach 30 d ist das 90-Perzentil aller Szenarien mit 69 mSv deutlich kleiner als 100 mSv (Fall 1 b) und die verbleibende Dosis ist in fast allen (außer einem) Szenario kleiner als 100 mSv (Abb. 8.6. b). Allerdings ist hier die verbleibende Dosis in ca. 1/3 aller Fälle größer als 50 mSv (Abb. 1b). Unter Berücksichtigung einer Umsiedlung nach 7 d ist das 90-Perzentil aller Szenarien mit 32 mSv sogar deutlich kleiner als 50 mSv (Fall 1c) und die verbleibende Dosis ist in allen Szenarien kleiner als 50 mSv (Abb. 8.6. c).

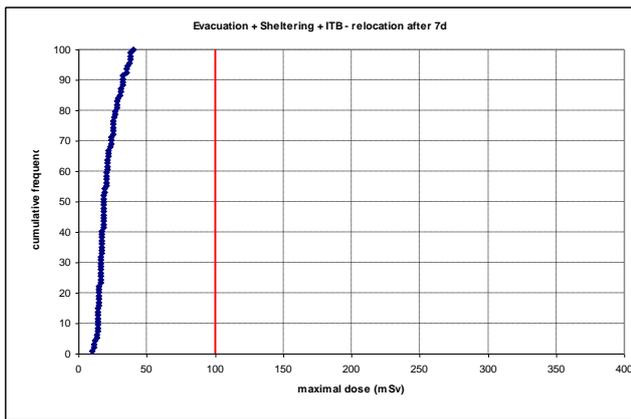


Abb. 8.6 a: Kumulative Häufigkeit der maximalen verbleibenden Dosis für Fall 1a (Evakuierung + Aufenthalt in Gebäuden + Iodblockade, Umsiedlung nach 7 Tagen)

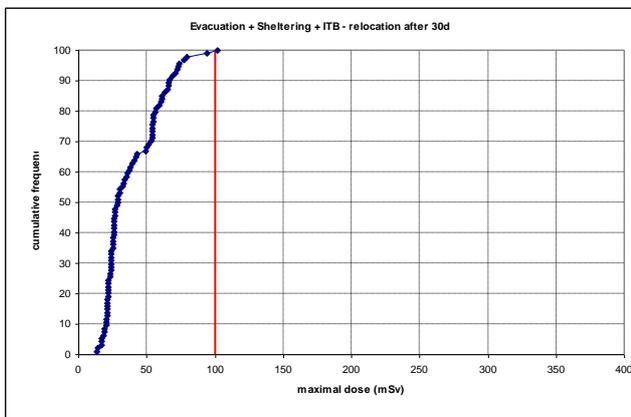


Abb. 8.6 b: Kumulative Häufigkeit der maximalen verbleibenden Dosis für Fall 1b (Evakuierung + Aufenthalt in Gebäuden + Iodblockade, Umsiedlung nach 30 Tagen)

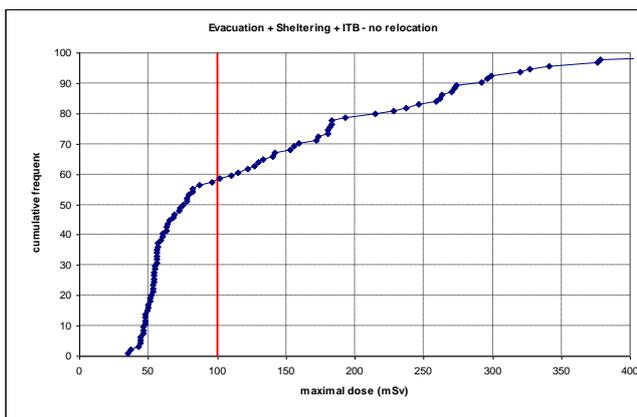


Abb. 8.6 c: Kumulative Häufigkeit der maximalen verbleibenden Dosis für Fall 1c (Evakuierung + Aufenthalt in Gebäuden + Iodblockade, keine Umsiedlung)

Ergänzend wurde untersucht, welche verbleibende Dosis auftreten kann, wenn eine Evakuierung trotz Überschreitung des Eingreifrichtwertes nicht möglich ist (z.B. aufgrund der herrschenden Wetterbedingungen oder einer zu geringen Vorwarnzeit; Fälle 2a, b und c) oder sogar Evakuierung und Verteilung von Iodtabletten nicht möglich ist (Fälle 3a, b und c).

Die in den Grafiken eingezeichnete rote Linie stellt den maximalen Wert für die im Rahmen der Notfallplanung festzulegende verbleibende Dosis von 100 mSv im ersten Jahr gemäß ICRP 103 dar.

Tabelle 8.6.2: Statistische Auswertung der maximalen verbleibenden Dosis für knapp 100 Einzelrechnungen für die Fälle 2 und 3, d.h. unter der Annahme, dass Evakuierung (Fälle 2 a, b, c) – trotz Überschreitung des Eingreifrichtwertes – oder Evakuierung und Verteilung von Iodtabletten (Fälle 3 a, b, c) nicht durchgeführt werden kann.

			Maximale verbleibende Dosis (effektive Dosis, Erwachsene, in mSv)		
Schutzmaßnahmen	Zusätzlich: Umsiedlung	Fall	10%	Median	90%
Aufenthalt in Gebäuden, Iodblockade	Nein	2a	238	694	2036
	Nach 30 d	2b	88	271	925
	Nach 7 d	2c	54	171	568
Aufenthalt in Gebäuden	Nein	3a	300	835	2723
	Nach 30 d	3b	151	412	1381
	Nach 7 d	3c	123	331	1090

Ist eine Evakuierung nicht möglich (Fälle 2) oder sogar Evakuierung und Verteilung von Iodtabletten nicht möglich (Fälle 3), so liegt der Median der verbleibenden Dosis in allen Fällen oberhalb von 100 mSv (zum Teil sogar sehr deutlich). Dies zeigt, dass insbesondere im Nahbereich ohne Evakuierung selbst bei früh erfolgreicher Umsiedlung (nach 7 d) eine verbleibende Dosis größer als 100 mSv bei einer Vielzahl von Wetterbedingungen auftreten kann. Für die Fälle 2 und 3 liegen die Orte mit der maximalen verbleibenden Dosis fast immer im direkten Nahbereich (1-3 km Abstand) um das KKW.

Aus den oben dargestellten Ergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Ein Referenzwert von 100 mSv für die verbleibende effektive Dosis im ersten Jahr ist mit den deutschen Eingreifrichtwerten nur dann verträglich, wenn eine Umsiedlung - zusätzlich zu den frühen Schutzmaßnahmen - erfolgt.
- Bei einer Umsiedlung 30 Tage nach Freisetzungsbeginn wird bereits in ca. 1/3 aller Fälle ein Wert von 50 mSv für die verbleibende effektive Dosis im ersten Jahr überschritten. Ein Wert von 100 mSv für die verbleibende Dosis kann in nahezu allen Szenarien auch bei einer Umsiedlung erst nach 30 Tagen eingehalten werden.
- Eine Strategie nur mit Berücksichtigung der frühen Schutzmaßnahmen – d.h. ohne Umsiedlung – würde bei einem beträchtlichen Teil (ca. 40%) der betrachteten Szenarien zu einer verbleibenden Dosis größer als 100 mSv führen.
- Für den Fall, dass eine Evakuierung nicht möglich ist, können im Nahbereich um das KKW sehr hohe verbleibende Dosen auftreten, bei denen selbst schwere deterministische Schäden nicht mehr ausgeschlossen werden können. Dies verdeutlicht die zentrale Bedeutung einer geeigneten Planung, die eine Evakuierung des Nahbereichs um ein KKW unter fast allen Umständen innerhalb kürzester Zeit ermöglicht.

## 9. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

### 9.1. Maximale Ausdehnung der betroffenen Gebiete

In den Tabellen 9.1a und 9.1b sind die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie bezüglich der maximalen Ausdehnung der betroffenen Gebiete dargestellt, in denen die angegebenen Dosiskriterien überschritten werden. So wird beispielsweise das Dosiskriterium 100 mSv effektive Dosis für die Maßnahme Evakuierung in 80% der betrachteten Wetterszenarien in einem Gebiet mit einer maximalen Entfernung vom Freisetzungsort zwischen 6 und 31 km überschritten (für die Freisetzungskategorie FKA, siehe Tab. 9.1a). Bei dieser Bereichsangabe der maximalen Entfernung wurden jeweils 10% der Wetterszenarien, die zu größeren oder kleineren maximalen Entfernungen führen, nicht berücksichtigt, da diesen Fällen selten auftretende meteorologische Bedingungen zugrunde liegen. Im Mittel (Median) hat das betroffene Gebiet für eine Evakuierung eine Ausdehnung von bis zu 9 bis 18 km (je nach Standort des KKW) um den Freisetzungsort. Die angegebenen Entfernungen lassen keinen Rückschluss auf die Form, Lage oder Größe des betroffenen Gebiets zu; derartige Auswertungen zeigen die folgenden Tabellen 9.2 und 9.3.

Tab. 9.1 a: Zusammenfassung der Ergebnisse für die maximale Ausdehnung der betroffenen Gebiete, in der Dosiskriterien überschritten werden (für die Freisetzungskategorie FKA).

Dosiskriterium	Maßnahme	Personengruppe	Bereich für die maximale Entfernung, in der das Dosiskriterium überschritten wird <sup>1)</sup> (in km)	Median für die maximale Entfernung, in der das Dosiskriterium überschritten wird <sup>2)</sup> (in km)
Schwellenwerte für das Auftreten schwerwiegender deterministischer Effekte:				
1000 mGy für die Dosis des roten Knochenmarks	-	Erwachsene	0 - 1	0
(s.o.)	-	Kleinkinder	0 - 1	0
300 mGy für die Dosis des Gehirns eines Fetus in der 8. bis 15. Woche	-	Fetus	0 - 3	0
100 mSv für die effektive Dosis für den Fetus in der 2. bis 7. Woche	-	Fetus	3 - 11	3
Hohe Dosen:				
1.000 mSv effektive Dosis	-	Erwachsene	0 - 5	0 - 1
~	-	Kleinkinder	0 - 10	1 - 3
Eingreifrichtwerte für Notfallschutz-Maßnahmen:				
100 mSv effektive Dosis	Evakuierung	Erwachsene	6 – 31	9 – 18
~		Kleinkinder	9 – 47	14 – 24
10 mSv effektive Dosis	Aufenthalt in Gebäuden	Erwachsene	29 – 163	62 – 80
~	~	Kleinkinder	43 – 173	91 – 114
250 mSv Schilddrüsens dosis	Einnahme von Iodtabletten	Personen von 18 bis 45 Jahren	15 – 84	24 – 34
50 mSv Schilddrüsens dosis	Einnahme von Iodtabletten	Kinder, Jugendliche und Schwangere	20 – 195 <sup>3)</sup>	148 – 161
30 mSv effektive Dosis in einem Monat	temporäre Umsiedlung	Erwachsene	7 – 100	16 – 27
~	~	Kleinkinder	8 – 121	22 – 32
100 mSv effektive Dosis in einem Jahr	permanente Umsiedlung	Erwachsene	6 – 82	15 – 26
~	~	Kleinkinder	7 – 117	20 – 32

- 1) Der kleinere Wert des angegebenen Bereichs enthält die maximale Ausdehnung des betroffenen Gebiets, wenn 10% aller Wetterszenarien betrachtet werden, die zu den niedrigsten Entfernungen führen. Der größere Wert des angegebenen Bereichs enthält die maximale Ausdehnung des betroffenen Gebiets, wenn 90% aller Wetterszenarien betrachtet werden, die zu den niedrigsten Entfernungen führen. Es wurden jeweils alle drei Standorte (Unterweser, Grohnde, Philippsburg) berücksichtigt.
- 2) Das angegebene Intervall beschreibt den minimalen und maximalen Wert für den Median für die drei Standorte.
- 3) Entfernungen über 160-225 km (je nach Ausbreitungsrichtung) wurden nicht untersucht; ein Wert größer als 160 km bedeutet daher, dass das jeweilige Dosiskriterium mindestens bis zu der angegebenen Entfernung überschritten werden kann, eventuell auch darüber hinaus.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie bezüglich der maximalen Ausdehnung der betroffenen Gebiete, in denen Dosiskriterien überschritten werden können, sind im Folgenden aufgeführt (alle genannten Ergebnisse beziehen sich auf das größte betrachtete Freisetzungsszenario „FKA“):

- Schwellenwerte für das Auftreten schwerwiegender deterministischer Effekte und hohe Dosen (größer als 1000 mSv effektive Dosis) können im Mittel bis zu einer Entfernung von etwa 3 km erreicht oder überschritten werden.
- Der Eingreifrichtwert für die Maßnahme „Evakuierung“ kann im Mittel bis zu einer Entfernung von 9 bis 18 km (Erwachsene) bzw. 14 bis 24 km (Kleinkinder) erreicht oder überschritten werden (das angegebene Intervall beschreibt den minimalen und maximalen Wert für den Median für die drei Standorte).
- Der Eingreifrichtwert für die Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ kann im Mittel bis zu einer Entfernung von 62 bis 80 km (Erwachsene) bzw. 91 bis 114 km (Kleinkinder) erreicht oder überschritten werden.
- Die Eingreifrichtwerte für die Maßnahme „Einnahme von Iodtabletten“ können im Mittel bis zu einer Entfernung von 24 bis 34 km (für Erwachsene) bzw. 148 bis 161 km (für Kinder, Jugendliche und Schwangere) erreicht oder überschritten werden.

Tab. 9.1 b: Zusammenfassung der Ergebnisse für die maximale Ausdehnung der betroffenen Gebiete, in der Dosiskriterien überschritten werden (für die Freisetzungskategorie FKF).

Dosiskriterium	Maßnahme	Personengruppe	Bereich für die maximale Entfernung, in der das Dosiskriterium überschritten wird <sup>1)</sup> (in km)	Median für die maximale Entfernung, in der das Dosiskriterium überschritten wird <sup>2)</sup> (in km)
<b>Hohe Dosen:</b>				
1.000 mSv effektive Dosis	-	Erwachsene	0 - 0	0
~	-	Kleinkinder	0 - 0	0
<b>Eingreifrichtwerte für Notfallschutz-Maßnahmen:</b>				
100 mSv effektive Dosis	Evakuierung	Erwachsene	0 - 0	0
~		Kleinkinder	0 - 0	0
10 mSv effektive Dosis	Aufenthalt in Gebäuden	Erwachsene	0 - 8	3
~	~	Kleinkinder	1 - 16	7 - 8
250 mSv Schilddrüsens dosis	Einnahme von Iodtabletten	Personen von 18 bis 45 Jahren	0 - 1	0
50 mSv Schilddrüsens dosis	Einnahme von Iodtabletten	Kinder, Jugendliche und Schwangere	10 - 32	15 - 18
30 mSv effektive Dosis in einem Monat	temporäre Umsiedlung	Erwachsene	0 - 1	0
~	~	Kleinkinder	0 - 1	0
100 mSv effektive Dosis in einem Jahr	permanente Umsiedlung	Erwachsene	0 - 0	0
~	~	Kleinkinder	0 - 0	0

- 1) Der kleinere Wert des angegebenen Bereichs enthält die maximale Ausdehnung des betroffenen Gebiets, wenn 10% aller Wetterszenarien betrachtet werden, die zu den niedrigsten Entfernungen führen. Der größere Wert des angegebenen Bereichs enthält die maximale Ausdehnung des betroffenen Gebiets, wenn 90% aller Wetterszenarien betrachtet werden, die zu den niedrigsten Entfernungen führen. Es wurden jeweils alle drei Standorte (Unterweser, Grohnde, Philippsburg) berücksichtigt.
- 2) Das angegebene Intervall beschreibt den minimalen und maximalen Wert für den Median für die drei Standorte.

Die Rechnungen für die Freisetzungskategorie FKF zeigen (siehe Tabelle 9.1 b), dass das Kriterium von 1.000 mSv effektive Dosis sowie der Eingreifrichtwert von 100 mSv effektive Dosis in keinem Fall erreicht wird. Entfernungen kleiner als ca. 1,4 km vom Kernkraftwerk wurden hierbei nicht untersucht.

## 9.2. Größe der betroffenen Gebiete und Anzahl der betroffenen Personen

Tabelle 9.2 zeigt die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie bezüglich der Größe der betroffenen Gebiete, in denen die angegebenen Dosiskriterien überschritten werden. So wird beispielsweise das Dosiskriterium „100 mSv effektive Dosis“ für die Maßnahme „Evakuierung“ in 80% der betrachteten Wetterszenarien in einem Gebiet mit einer Größe von 16 bis 168 km<sup>2</sup> überschritten. Bei dieser Auswertung wurden jeweils 10% der Wetterszenarien, die zu größeren oder kleineren Gebieten führen, nicht berücksichtigt, da diesen Fällen selten auftretende meteorologische Bedingungen zugrunde liegen. Im Mittel (Median) hat das betroffene Gebiet für eine Evakuierung eine Fläche von 28 bis 72 km<sup>2</sup> (je nach Standort des KKW).

Tab. 9.2: Zusammenfassung der Ergebnisse für die die Größe der betroffenen Gebiete, in denen Dosiskriterien überschritten werden (für die Freisetzungskategorie FKA).

Dosiskriterium	Maßnahme	Personengruppe	Größe der betroffenen Flächen, in der das Dosiskriterium überschritten wird <sup>1)</sup> (in km <sup>2</sup> )	Median für die Größe der betroffenen Flächen, in der das Dosiskriterium überschritten wird <sup>2)</sup> (in km <sup>2</sup> )
Eingreifrichtwerte für Notfallschutz-Maßnahmen:				
100 mSv Effektive Dosis	Evakuierung	Erwachsene	16 - 168	28 - 72
10 mSv Effektive Dosis	Aufenthalt in Gebäuden	Erwachsene	240 - 2920	604 - 1120
250 mSv Schilddrüsendosis	Einnahme von Iodtabletten	Personen von 18 bis 45 Jahren	92 - 956	144 - 336
50 mSv Schilddrüsendosis	Einnahme von Iodtabletten	Kinder, Jugendliche und Schwangere	1400 - 10444 <sup>3)</sup>	3410 - 5104

- 1) Der kleinere Wert des angegebenen Bereichs enthält die maximale Fläche des betroffenen Gebiets, wenn 10% aller Wetterszenarien betrachtet werden, die zu den kleinsten betroffenen Gebieten führen. Der größere Wert des angegebenen Bereichs enthält die maximale Fläche des betroffenen Gebiets, wenn 90% aller Wetterszenarien betrachtet werden, die zu den kleinsten betroffenen Gebieten führen. Es wurden jeweils alle drei Standorte (Unterweser, Grohnde, Philippsburg) berücksichtigt.
- 2) Das angegebene Intervall beschreibt den minimalen und maximalen Wert für den Median für die drei Standorte.
- 3) Entfernungen über 160-225 km (je nach Ausbreitungsrichtung) wurden nicht untersucht; der obere Wert des angegebenen Bereichs ist daher nur eine Untergrenze für das tatsächlich betroffene Gebiet, das möglicherweise größer sein kann als hier angegeben.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie bezüglich der Größe der betroffenen Gebiete, in denen Dosiskriterien überschritten werden können, sind (alle genannten Ergebnisse beziehen sich auf das größte betrachtete Freisetzungsszenario „FKA“):

- Der Eingreifrichtwert für die Maßnahme Evakuierung kann im Mittel in einem Gebiet mit einer Größe von 28 bis 72 km<sup>2</sup> (für Erwachsene) erreicht oder überschritten werden.
- Der Eingreifrichtwert für die Maßnahme Aufenthalt in Gebäuden kann im Mittel in einem Gebiet mit einer Größe von etwa 600 bis etwa 1100 km<sup>2</sup> (für Erwachsene) erreicht oder überschritten werden.
- Die Eingreifrichtwerte für die Maßnahme „Einnahme von Iodtabletten“ können im Mittel in einem Gebiet mit einer Größe von 144 bis 336 km<sup>2</sup> (für Erwachsene) bzw. etwa 3400 bis etwa 5100 km<sup>2</sup> (für Kinder, Jugendliche und Schwangere) erreicht oder überschritten werden.

Die Anzahl der Personen, die von einer Evakuierung aufgrund der Überschreitung des Dosiskriterium 100 mSv effektive Dosis betroffen wäre, liegt für 80% der betrachteten Wetterszenarien zwischen etwa 14.000 und etwa 50.000 Personen für den Standort Grohnde bzw. zwischen etwa 45.000 und 245.000 Personen für den Standort Philippsburg. Bei dieser Auswertung wurden jeweils 10% der Wetterszenarien, die zu größeren oder kleineren Anzahl von betroffenen Personen führen, nicht berücksichtigt.

### **9.3. Anzahl der betroffenen Sektoren**

Tabelle 9.3 enthält die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie bezüglich der Anzahl der betroffenen Sektoren, in denen die angegebenen Dosiskriterien überschritten werden (ein Sektor umfasst einen Winkel von 30 Grad, zwölf Sektoren bilden somit einen Vollkreis um das Kernkraftwerk; ein Sektor gilt als betroffen, wenn irgendwo in seinem Gebiet das Dosiskriterium überschritten wird). So wird beispielsweise das Dosiskriterium 100 mSv effektive Dosis für die Maßnahme Evakuierung in 80% der betrachteten Wetterszenarien in 2 bis 6 Sektoren (dies entspricht einem Winkelbereich von 60 bis 180 Grad) im Entfernungsbereich von 2 bis 10 km überschritten. Bei dieser Auswertung wurden jeweils 10% der Wetterszenarien, die zu einer größeren oder kleineren Zahl von betroffenen Sektoren führen, nicht berücksichtigt, da diesen Fällen selten auftretende meteorologische Bedingungen zugrunde liegen. Im Mittel (Median) erstreckt sich das betroffene Gebiet für eine Evakuierung über 3 bis 4 Sektoren (dies entspricht einem Winkelbereich von 90 bis 120 Grad) im Entfernungsbereich von 2 bis 10 km (je nach Standort des KKW).

Tab. 9.3: Zusammenfassung der Ergebnisse für die die Anzahl der betroffenen Sektoren<sup>3)</sup>, in denen Dosiskriterien überschritten werden (für die Freisetzungskategorie FKA).

Dosiskriterium	Maßnahme	Personengruppe	Entfernung vom KKW	Anzahl der betroffenen Sektoren, in der das Dosiskriterium überschritten wird <sup>1)</sup>	Median für die Anzahl der betroffenen Sektoren, in der das Dosiskriterium überschritten wird <sup>2)</sup>
Eingreifrichtwerte für Notfallschutz-Maßnahmen:					
100 mSv effektive Dosis	Evakuierung	Erwachsene	2 - 10 km	2 - 6	3 - 4
			10 - 25 km	0 - 3	0 - 1
			25 - 60 km	0 - 1	0
			60 - 100 km	0	0
10 mSv effektive Dosis	Aufenthalt in Gebäuden	Erwachsene	2 - 10 km	3 - 11	5 - 6
			10 - 25 km	2 - 8	4 - 5
			25 - 60 km	1 - 6	2 - 3
			60 - 100 km	0 - 3	0 - 1
250 mSv Schilddrüsendosis	Einnahme von Iodtabletten	Personen von 18 bis 45 Jahren	2 - 10 km	3 - 9	4 - 5
			10 - 25 km	2 - 6	3 - 4
			25 - 60 km	0 - 3	0 - 1
			60 - 100 km	0 - 1	0 - 0
50 mSv Schilddrüsendosis	Einnahme von Iodtabletten	Kinder, Jugendlichen und Schwangeren	2 - 10 km	3 - 12	5 - 6
			10 - 25 km	3 - 10	5 - 6
			25 - 60 km	2 - 9	4 - 5
			60 - 100 km	1 - 6	2 - 3
			100 - 160 km	0 - 3	2

- 1) Der kleinere Wert des angegebenen Bereichs enthält die maximale Fläche des betroffenen Gebiets, wenn 10% aller Wetterszenarien betrachtet werden, die zu den kleinsten betroffenen Gebieten führen. Der größere Wert des angegebenen Bereichs enthält die maximale Fläche des betroffenen Gebiets, wenn 90% aller Wetterszenarien betrachtet werden, die zu den kleinsten betroffenen Gebieten führen. Es wurden jeweils alle drei Standorte (Unterweser, Grohnde, Philippsburg) berücksichtigt.
- 2) Das angegebene Intervall beschreibt den minimalen und maximalen Wert für den Median für die drei Standorte.
- 3) Ein Sektor umfasst einen Winkel von 30 Grad; ein Sektor gilt als betroffen, wenn irgendwo in seinem Gebiet das Dosiskriterium überschritten wird.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie bezüglich der Anzahl der betroffenen Sektoren, in denen Dosiskriterien überschritten werden können, sind (alle genannten Ergebnisse beziehen sich auf das größte betrachtete Freisetzungsszenario „FKA“):

- Der Eingreifrichtwert für die Maßnahme „Evakuierung“ kann im Mittel in 3 bis 4 Sektoren im Entfernungsbereich von 2 bis 10 km und in 0 bis 1 Sektor im Entfernungsbereich von 10 bis 25 km erreicht oder überschritten werden.
- Der Eingreifrichtwert für die Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ kann im Mittel in 5 bis 6 Sektoren im Entfernungsbereich von 2 bis 10 km, in 4 bis 5 Sektoren im Entfernungsbereich von 10 bis 25 km, in 2 bis 3 Sektoren im Entfernungsbereich von 25 bis 60 km sowie in 0 bis 1 Sektor im Entfernungsbereich von 60 bis 100 km erreicht oder überschritten werden.
- Die Eingreifrichtwerte für die Maßnahme „Einnahme von I odtabletten“ für Kinder, Jugendliche und Schwangere können im Mittel in 5 bis 6 Sektoren im Entfernungsbereich von 2 bis 10 km, in 5 bis 6 Sektoren im Entfernungsbereich von 10 bis 25 km, in 4 bis 5 Sektoren im Entfernungsbereich von 25 bis 60 km, in 2 bis 3 Sektoren im Entfernungsbereich von 60 bis 100 km sowie in 2 Sektoren im Entfernungsbereich von 100 bis 160 km erreicht oder überschritten werden.

## 10. LITERATUR

BMU 2001, Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition. RS II 1-11413/28 vom 23.07.2001. BAnz Nr. 160a und b vom 28.08.2001

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

BfS 2012, Die Katastrophe im Kernkraftwerk Fukushima nach dem Seebeben vom 11. März 2011 : Beschreibung und Bewertung von Ablauf und Ursachen, Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Fachbereich Sicherheit in der Kerntechnik. Report-Nr. BfS-SK-18/12, 7-Mär-2012. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201203027611>

Gering 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. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201204128010>

GRS 2013, Fukushima Dai-ichi 11. März 2011 - Unfallablauf, radiologische Folgen (2., überarbeitete Auflage), GRS-S-53, März 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, Annals of the ICRP Volume 37(2-4), 2007

ICRP 2009a. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations, ICRP Publication 109, Annals of the ICRP Volume 39 (1), 2009.

ICRP 2009b. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas After a Nuclear Accident or a Radiation Emergency, ICRP Publication 111, Annals of the ICRP Volume 39 (3), 2009.

ICRP 2012, Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.).

Jacob 1990. Jacob, P., Rosenbaum, H., Petoussi, N., Zankl, M.: Calculation of Organ Doses from Environmental Gamma Rays Using Human Phantoms and Monte Carlo Methods. Part II: Radionuclides Distributed in the Air or Deposited on the Ground. München, Germany, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF), Report GSF-12/90 (1990).

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.

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

SSK 2008, Strahlenschutzkommission. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden, Redaktionelle Überarbeitung der gleichnamigen Veröffentlichung aus dem Jahr 1999, veröffentlicht im GMBI Nr. 62/63 vom 19. Dezember 2008

SSK 2014a, 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. <http://www.ssk.de>

SSK 2014b, Strahlenschutzkommission. Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken, Empfehlung verabschiedet in der 268. Sitzung der SSK am 13./14. Februar 2014. <http://www.ssk.de>

## Bisher erschienene BfS-Schriften

---

### **BfS-SCHR-1/90**

*Warnecke, E.; Odoj, R.; Simon, R.* (Editors)

Requirements for Waste Acceptance and Quality Control.

Proceedings of the 2nd International Seminar on Radioactive Waste Products.

28 May - 1 June 1990, Research Centre Jülich, Federal Republic of Germany.

Salzgitter 1990

### **BfS-SCHR-2/91**

Sicherheitsreihe Nr. 6.

IAEO-Empfehlungen für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe. Ausgabe 1985.

(Diese Übersetzung enthält auch die von der IAEO im Nachtrag 1988 zu den Empfehlungen vorgenommenen Ergänzungen).

Salzgitter 1991

### **BfS-SCHR-3/91**

*Schüttmann, W.; Aurand, K.*

Die Geschichte der Außenstelle Oberschlema des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Biophysik Frankfurt am Main.

Salzgitter 1991

### **BfS-SCHR-4/91**

*Bornemann, O.* (mit einem Beitrag von *R. Fischbeck*)

Zur Geologie des Salzstocks Gorleben nach den Bohrergebnissen.

Salzgitter 1991

### **BfS-SCHR-5/92**

*Herrmann, A.G.*

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungszuflüsse in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung. Eine Dokumentation.

Zweiter Bericht. Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1991. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1992

### **BfS-SCHR-6/92**

Bestandsaufnahme IMIS-IT.

Seminar zum Projektstand IMIS am 3. Mai 1991.

Salzgitter 1992

### **BfS-SCHR-7/92**

Empfehlungen der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) 1987 - 1991 (Band 7).

Zusammengestellt von der RSK-Geschäftsstelle.

Salzgitter 1992

### **BfS-SCHR-8/92**

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum ersten Teilprojekt.

Salzgitter 1992

### **BfS-SCHR-9/93**

*Grosche, B.; Burkart, W.* (Editors)

Radiation epidemiology after the Chernobyl accident.

Proceedings of a workshop held at the Institute for Radiation Hygiene, Federal Office of Radiation Protection, Neuherberg, October 23-25, 1991

## Bisher erschienene BfS-Schriften

---

### **BfS-SCHR-10/93**

*von Borstel, L.E.*

Lösungen in marinen Evaporiten.

Salzgitter 1993

### **BfS-SCHR-11/93**

*Herrmann, A.G.*

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungsvorkommen in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft,

Entstehung.

Eine Dokumentation.

Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1992. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1993

### **BfS-SCHR-12/93**

IMIS-Statusgespräch.

Seminar zum Projektstand IMIS am 1. Februar 1993.

Salzgitter 1993

### **BfS-SCHR-13/94**

*Przyborowski, S.; Röhnsch, W.*

ICRP-Publikation 65

über den Schutz gegenüber Radon-222 in Wohnung und an Arbeitsplätzen und die Situation in der Bundesrepublik Deutschland.

Salzgitter, 1994

### **BfS-SCHR-14/95**

*Kammerer, L.; Peter, J.; Burkhardt, J.; Trugenberger-Schnabel, A.; Bergler, I.*

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1992 und 1993. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Dezember 1995

### **BfS-SCHR-15/96**

Solare terrestrische UV-Strahlung in Deutschland.

Meßergebnisse und strahlenhygienische Bewertung der Daten aus dem UV-Meßnetz des BFS/UBA für den Zeitraum Januar bis Dezember 1994.

Salzgitter, März 1996

### **BfS-SCHR-16/98**

*Kammerer, L.*

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1994 bis 1995. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, März 1998

### **BfS-SCHR-17/98**

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum zweiten Teilprojekt.

Salzgitter, März 1998

### **BfS-SCHR-18/98**

*Sonnek, C.*

Die Euratom-Grundnormen für den Strahlenschutz 1996 und 1997.

Ausblick auf zukünftiges Strahlenschutzrecht in Deutschland.

Salzgitter, Juli 1998

## Bisher erschienene BfS-Schriften

---

### **BfS-SCHR-19/99**

Strahlenschutz und Sicherheit in der Medizin.

ICRP-Veröffentlichung 73.

Ein Bericht einer Arbeitsgruppe des Komitees 3 der Internationalen Strahlenschutzkommission.

Von der Kommission angenommen im März 1996.

Salzgitter, Mai 1999

### **BfS-SCHR-20/99**

WORKSHOP

Strahlenüberwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhten Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten und Qualitätssicherung der Überwachungsmessungen.

22. bis 24. Juni 1998, Berlin.

Salzgitter, November 1999

### **BfS-SCHR-21/00**

*Kammerer, L.*

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1996 und 1997. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Oktober 2000

### **BfS-SCHR-22/01**

*Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.*

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlussbericht.

Salzgitter, März 2001

### **BfS-SCHR-23/01** (ist nicht als Druck erschienen, nur im Internet)

*Steinmetz, M.*

UV-Index in practical use

Proceedings of an International Workshop

Institute of radiation hygiene, Munich, Germany, December 4-7, 2000

Salzgitter, 2001

### **BfS-SCHR-24/02**

*Peter J.; Schneider G.; Bayer A.; Trugenberger-Schnabel A.*

High Levels of Natural Radiation and Radon Areas:

Radiation Dose and Health Effects

Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas held in Munich, Germany on September 4 to 7 2000

Neuherberg, März 2002

### **BfS-SCHR-25/02**

*Brix, J.; Matthes, R.; Schulz, O.; Weiss, W.*

Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks.

Bundesamt für Strahlenschutz

21. und 22. Juni 2001

Salzgitter, Juni 2002

### **BfS-SCHR-26/02**

*Bruchertseifer, F.; Pohl, H.*

Fachgespräch

Begrenzung der Strahlenexposition als Folge von Störfällen bei kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen.

1. und 2. März 2001

Salzgitter, Juni 2002

## Bisher erschienene BfS-Schriften

---

### **BfS-SCHR-27/03**

*Trugenberger-Schnabel, A.; Peter J.;  
Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.*  
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1998 bis 2001  
Daten und Bewertung  
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz  
Salzgitter, Januar 2003

### **BfS-SCHR-28/03**

*Walter, H.*  
2.Fachgespräch SODAR  
19. u. 20. März 2003  
Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Zusammenfassung der Vorträge  
Salzgitter, Juni 2003

### **BfS-SCHR-29/03**

*Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.*  
Strahlenschutzforschung  
- Programmreport 2001 -  
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsgemäß begleitete  
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums  
Salzgitter, Juni 2003

### **BfS-SCHR-30/04**

*Lennartz, H.-A.; Mussel, Ch.; Thieme, M.*  
Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Standortauswahl für die Endlagerung radioaktiver Abfälle  
Abschlussbericht  
Salzgitter, April 2004

### **BfS-SCHR-31/04**

*Weiß, D.; Bönigke, G.; Spoden, E.; Warnecke, E.*  
Übersicht zu stillgelegten kerntechnischen Anlagen in Deutschland und in Europa – Januar 2004  
Salzgitter, September 2004

### **BfS-SCHR-32/04**

*Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.*  
Strahlenschutzforschung  
Programmreport 2003  
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete  
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit  
Salzgitter, Dezember 2004

### **BfS-SCHR-33/05**

*Hartmann, M.; Beyer, D.; Dalheimer, A.; Hänisch, K.*  
Ergebnisse der In-vitro-Ringversuche: S-35 in Urin sowie Am-241 und Pu-Isotope in Urin  
Workshop zu den In-vitro-Ringversuchen 2001 und 2002 der Leitstelle Inkorporationsüberwachung  
des BfS am 1. Juli 2003 im Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, Kulmbach  
Salzgitter, Januar 2005

### **BfS-SCHR-34/05** (nur als CD vorhanden)

*Trugenberger-Schnabel, A.; Peter, J.; Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.*  
Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland  
Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz  
Daten und Bewertung für 2002 und 2003  
Salzgitter, Juni 2005

## Bisher erschienene BfS-Schriften

---

### **BfS-SCHR-35/05** (nur als CD vorhanden)

*Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.*

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2004

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete

Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und

Reaktorsicherheit

Salzgitter, August 2005

### **BfS-SCHR-36/05** (nur als CD vorhanden)

*Steinmetz, M.*

200 Jahre solare UV-Strahlung

Geschichte und Perspektiven

Wissenschaftliches Kolloquium

Salzgitter, Oktober 2005

### **BfS-SCHR-37/05**

*Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke*

Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

### **BfS-SCHR-38/05**

*Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke*

Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

### **BfS-SCHR-39/06**

*Borrmann, F.; Brennecke, P.; Koch, W.; Kugel, K.; Rehs, B.; Steyer, S.; Warnecke, E.*

Management of Decommissioning Waste in Germany

Contribution to the IAEA CRP on „Disposal Aspects of Low and Intermediate level Decommissioning

Waste“! (T2.40.06)

Stand: August 2006

Salzgitter, Dezember 2006

### **BfS-SCHR-40/06**

*Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.*

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2005

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrative begleitete

Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und

Reaktorsicherheit

Salzgitter, Dezember 2006

### **BfS-SCHR-41/07**

*Schkade, U.-K.; Arnold, D.<sup>\*)</sup>; Döring, J.; Hartmann, M.; Wershofen, H.<sup>\*)</sup>*

<sup>\*)</sup> *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Gammaspektrometrische Bestimmung der spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide  
in Umweltproben

7. Vergleichsanalyse „Boden 2006“

Leitstelle für Fragen der Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität

Berlin, Dezember 2006

Salzgitter, Januar 2007

### **BfS-SCHR-42/07**

*Dushe, C.; Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.; Kümmel, M.; Schulz, H.<sup>\*)</sup>*

<sup>\*)</sup> *IAF-Radioökologie GmbH Dresden*

Ein neues Verfahren zur Ermittlung der Radonexhalation großer Flächen

Salzgitter, Februar 2007

## Bisher erschienene BfS-Schriften

---

### **BfS-SCHR-43/07**

Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis  
Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition; Inkorporationsüberwachung  
(§§ 40, 41 und 42 Strahlenschutzverordnung)  
Rundschreiben vom 12.01.2007 RS II 3 – 15530/1 (GMBI 2007 S. 623)  
Salzgitter, September 2007

### **BfS-SCHR-44/07**

*Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.; Trugenberg-Schnabel, A.*  
Strahlenschutzforschung  
Programmreport 2006  
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete  
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit  
Salzgitter, Dezember 2007

### **BfS-SCHR-45/09**

urn:nbn:de:0221-2009011200  
*Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.*  
Strahlenschutzforschung  
Programmreport 2007  
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte  
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit  
Salzgitter, Januar 2009

### **BfS-SCHR-46/09**

urn:nbn:de:0221-2009082120  
*Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.*  
Strahlenschutzforschung  
Programmreport 2008  
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte  
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit  
Salzgitter, November 2009

### **BfS-SCHR-47/09**

urn:nbn:de:0221-2009082154  
Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007  
ICRP-Veröffentlichung 103, verabschiedet im März 2007  
Deutsche Ausgabe  
Salzgitter, November 2009

### **BfS-SCHR-48/10**

urn:nbn:de:0221-201009153217  
*Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.*  
Strahlenschutzforschung  
Programmreport 2009  
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte  
Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit  
Salzgitter, November 2010

## Bisher erschienene BfS-Schriften

---

### **BfS-SCHR-49/11**

urn:nbn:de:0221-201111236640

*Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.*

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2010

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Salzgitter, November 2011

### **BfS-SCHR-50/12**

urn:nbn:de:0221-2012120510259

*Beyermann, M.; Bünger, T.; Guttmann, A.; Schmidt, K.; Wershofen, H.; Winterfeldt, I.; Labahn, A.*

Ringversuch zur Bestimmung von Radon-222, Radium-226, Radium-228, Uran-238, Uran-234 und der Gesamt- $\alpha$ -Aktivität in Trinkwasser – Ringversuch 4/2012

Salzgitter, Dezember 2012

### **BfS-SCHR-51/13**

urn:nbn:de:0221-2013012210275

*Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.*

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2011

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Salzgitter, Dezember 2012

### **BfS-SCHR-52/13**

urn:nbn:de:0221-2013110811124

*Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, Claudia, Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.;*

*Trugenberger-Schnabel, A.*

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2012

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Salzgitter, Dezember 2013

### **BfS-SCHR-53/14**

urn:nbn:de:0221-2014010911155

*Schmitt-Hannig, A.; Peter, J.; Bernhard-Ströl, C.; Trugenberger-Schnabel, A.; Hachenberger, C,*

*Löbke-Reinl, A.; Schulte-Büttner, B.*

International Cooperation and Research

Report on International Cooperation and Research Activities at the Federal Office for Radiation Protection

Status 2013

Salzgitter, Januar 2014

### **BfS-SCHR-54/14**

urn:nbn:de:0221-2014081211479

*Schmitt-Hannig, A.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Hachenberger, C.; Trugenberger-Schnabel, A.*

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2013

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Salzgitter, September 2014

## Bisher erschienene BfS-Schriften

---

### **BfS-SCHR-55/14**

urn:nbn:de:0221-2015021712440

*Walter, H.; Gering, F.; Arnold, K.; Gerich, B.; Heinrich, G.; Welte, U. \*)*

*\*) Strahlenschutzkommission*

Simulation potentieller Unfallszenarien für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken mit RODOS

Salzgitter, Dezember 2014

# | Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 (0)3018 333 0

Telefax: + 49 (0)3018 333 1885

Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz