



Aktennotiz

Datum: 21.12.2012 Seiten: 31 Anhänge: 6 Beilagen: -
Verteiler intern: IHP, HAR, PGE, RUR, SCG, VAR, TEJ
Verteiler extern: AG-Mitglieder, BST ABCN
Sachbearbeiter: TEJ
Visum

Visum Vorgesetzte

Klassifizierung INTERN XX
Aktenzeichen 10KEX.APFUKU7
Publidocs ENSI-AN-
Schlagwörter Referenzszenarien, Zonenplanung

Überprüfung der Referenzszenarien für die Notfallplanung in der Umgebung der Kernkraftwerke

Dieser Bericht beschreibt die Ergebnisse der Arbeiten zur Umsetzung der Massnahmen 14 und 18 aus dem Bericht der IDA NOMEX /1/.

Die Referenzszenarien für den Notfallschutz werden auf der Grundlage der Schweizer Gesetzgebung und internationaler Standards sowie den Erkenntnissen aus dem Reaktorunfall in Fukushima und Ergebnissen der Probabilistischen Sicherheitsanalysen der Schweizer Werke überprüft.

Hinsichtlich des Quellterms und des Freisetzungzeitpunkts ergeben sich gegenüber den bisherigen Szenarien keine Änderungen. Für die Freisetzungsdauer wird neu ein Zeitintervall angegeben. Es wird vorgeschlagen, künftig für die Planung des Notfallschutzes ein Kernschadensszenario mit ungefilterter Freisetzung (Szenario A3) zu verwenden.

Aus den Überprüfungsergebnissen werden Vorschläge für weiterführende Massnahmen abgeleitet.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-_____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Inhalt

1	Einführung	4
1.1	Anlass	4
1.2	Aufgabenstellungen der IDA NOMEX	4
1.3	Projektablauf	5
1.4	Beteiligte Stellen	5
2	Überprüfung der Referenzszenarien für den Notfallschutz	6
2.1	Ausgangslage	6
2.1.1	Referenzszenarien 2006	6
2.1.1.1.	Methodik und Annahmen	6
2.1.1.2.	Zeitlicher Verlauf von Kernschadensunfällen	6
2.1.1.3.	Freisetzungsanteile der charakteristischen Nuklidgruppen	6
2.1.1.4.	Definition der Referenzszenarien für das Notfallschutzkonzept 2006	6
2.1.2	Entwicklung der gesetzlichen und regulativen Grundlagen seit 2006	6
2.1.3	Internationale Standards und Empfehlungen	8
2.2	Erkenntnisse aus dem Reaktorunfall in Fukushima für die Überprüfung der Referenzszenarien	9
2.3	Methoden zur Überprüfung der Referenzszenarien	11
2.3.1	Probabilistische Sicherheitsanalysen	11
2.3.2	Modellierung der radiologischen Konsequenzen	12
	DOSE	12
	ADPIC	12
2.4	Festlegungen für die Überprüfung der Referenzszenarien	14
2.4.1	Spezifizierte Aufgabenstellung betreffend Referenzszenarien	14
2.4.2	Einbezug auslösender Ereignisse	15
2.4.3	Zeitliche Dimensionen (Freisetzungsbeginn und –dauer)	16
2.4.4	Abdeckungsgrad des Referenzszenarios A3	18
2.5	Untersuchungsergebnisse	19
2.5.1	PSA-Ergebnisse	19
2.5.1.1.	Kernschadenshäufigkeiten	19
2.5.1.2.	Freisetzungshäufigkeiten	19
2.5.1.3.	Freisetzungsszenarien als Folge von Kernschadensunfällen	19
2.5.1.4.	Unfallszenarien mit grossen Freisetzungen	21
2.5.1.5.	Freisetzungsbeginn	22



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

2.5.1.6.	Freisetzungsdauer.....	23
2.5.2	Radiologische Konsequenzen	24
2.5.2.1.	DOSE-Berechnungen.....	24
2.5.2.2.	ADPIC-Rechnungen.....	25
2.6	Beiträge der involvierten Notfallpartner.....	26
2.7	Festlegung und Beschreibung der Referenzszenarien.....	26
2.8	Vorschläge für weiter führende Massnahmen	29
3	Überprüfung des Zonenkonzepts.....	29
4	Abkürzungen	30
5	Referenzen	30
6	Anhänge	31

ENTWURF



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

1 Einführung

1.1 Zweck von Referenzszenarien /2/

Bei einem Kernkraftwerk sind sehr viele Unfallabläufe mit jeweils unterschiedlich schwerer radiologischer Gefährdung der Bevölkerung möglich. Dabei sind Unfälle mit schwerwiegenden radiologischen Konsequenzen sehr viel unwahrscheinlicher als Unfälle mit vergleichsweise geringen Konsequenzen.

Referenzszenarien sind „Modellstörfälle“, die eine Vielzahl der denkbaren Unfälle in ihrem zeitlichen Ablauf und in ihrer radiologischen Konsequenz repräsentativ abdecken. Die Planung und Vorbereitung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung basieren auf diesen Referenzszenarien.

1.2 Anlass der Überprüfung

Aufgrund der Erkenntnisse aus dem Reaktorunfall im Kernkraftwerk Fukushima Daiichi beschloss der Bundesrat am 4. Mai 2011, eine interdepartementale Arbeitsgruppe zur Überprüfung der Notfallschutzmassnahmen bei Extremereignissen in der Schweiz (IDA NOMEX) einzusetzen. Der Ergebnisbericht der Arbeitsgruppe /1/ enthält einen Massnahmenkatalog, der vom Bundesrat gebilligt wurde. Das vorliegende Projekt dient der Umsetzung der Massnahmen 14 und 18 dieses Ergebnisberichts.

1.3 Aufgabenstellungen der IDA NOMEX

Massnahme 14: Referenzszenarien

Das ENSI wird beauftragt, bis 31. Dezember 2012 in Zusammenarbeit mit EDI/BAG, VBS/BABS und den Kantonen die Referenzszenarien und deren Annahmen für den Notfallschutz in der Umgebung der Kernkraftwerke zu überprüfen.

Massnahme 18: Zonenkonzept

Das ENSI wird beauftragt, zusammen mit VBS/BABS und den Kantonen das Zonenkonzept in der Umgebung der Kernkraftwerke im Hinblick auf eine Änderung der NFSV bis 30. Juni 2013 zu überprüfen.

Massnahme 47: Notfallschutzverordnung (NFSV)

Das UVEK/BFE wird beauftragt, eine allfällige Änderung der NFSV betreffend Notfallschutzzonen (Artikel 3 sowie Anhänge 2 und 3) in Zusammenarbeit mit den Kantonen zu erarbeiten und dem Bundesrat bis zum 31. Dezember 2013 zu beantragen.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Pubdocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-_____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Die oben genannten Massnahmen haben direkten Einfluss auf eine Reihe weiterer Massnahmen aus dem IDA NOMEX Bericht, z.B. das Verteilkonzept für die Iodtabletten (Massnahme 19), das Konzept der Kontaktstellen (Massnahme 6) und das Konzept zur vorsorglichen Evakuierung (Massnahme 15).

1.4 Projektablauf

Für die Umsetzung der Massnahmen 14 und 18 wurde ein ENSI-Projekt initiiert. Der Projektablauf ergibt sich aus dem Anhang 1.

1.5 Beteiligte Stellen

Das Projekt wurde durch ein Projektteam des ENSI bearbeitet. Folgende externe Stellen wurden in einer Arbeitsgruppe (AG) entsprechend den o.g. Aufgabenstellungen in die Arbeiten einbezogen:

Bundesstellen

- BAG
- BABS
- BWL
- BAV
- BFE
- Meteoschweiz

Kantone

- Standortkantone (AG, BE, SO)
- Kantone Zone 2 (BL, FR, LU, NE, VD, ZH)
- Kantone Zone 3 (repräsentiert durch den Präsidenten der KPABC)

Nachbarländer (Deutschland)

- je ein Vertreter des UM Baden-Württemberg und des RP Freiburg

Kernkraftwerke
KKB, KKG, KKL, KKM

Es wurden Personen kontaktiert, die schon im Rahmen von IDA NOMEX oder anderen Arbeitsgruppen mit der Thematik zu tun hatten. Bei den Kantonen der Zonen 1 und 2 wurden zudem die Staatskanzleien angeschrieben. Die Vertreter Deutschlands sind Mitglieder der Arbeitsgruppe Notfallschutz der Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit der Kernanlagen.

Mit der Arbeitsgruppe wurden einschliesslich eines Kick-Off-Meetings zwei Sitzungen durchgeführt. Zudem wurde ein Workshop für interessierte AG-Mitglieder organisiert, in dem die Beurteilungsgrundlagen und Berechnungsverfahren für die Referenzszenarien vertieft wurden.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-_____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

2 Überprüfung der Referenzszenarien für den Notfallschutz

2.1 Ausgangslage

2.1.1 Referenzszenarien 2006

Dieses Unterkapitel gibt die Betrachtungen der damaligen HSK im Jahre 2005 wieder. Die Ergebnisse wurden bei der letzten Revision des Notfallschutzkonzeptes 2006 /3/ berücksichtigt.

Für jedes schweizerische Kernkraftwerk wurden realistische Quellterme bestimmt für einen Auslegungsstörfall, im Speziellen einen grossen LOCA, sowie für zwei Kernschadensunfälle. Bei den Kernschadensunfällen wurden ein Kernschmelzen und ein auslegungsgemässes Funktionieren des Containments mit Freisetzung über die gefilterte Containmentdruckentlastung respektive ein Versagen des Containments mit ungefilterter Freisetzung unterstellt. Details zur Methode sowie den getroffenen Annahmen. Details zu den getroffenen Annahmen, zur Methode der Ermittlung und den Merkmalen der Referenzszenarien ergeben sich aus dem Anhang 2.

2.1.2 Entwicklung der gesetzlichen und regulativen Grundlagen seit 2006

Seit Veröffentlichung des Notfallschutzkonzeptes 2006 /3/ wurden die folgenden gesetzlichen Grundlagen und ENSI-Richtlinien angepasst. Die zitierten Inhalte waren bei der Überprüfung der Referenzszenarien zu berücksichtigen.

Überführung der VEOR in die ABCN-EV

Die Verordnung über die Organisation von Einsätzen bei ABC- und Naturereignissen (ABCN-EV) ersetzte die Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (VEOR). Relevant für die Überprüfung der Referenzszenarien sind Änderungen am Dosis-Massnahmen-Konzept. Statt unterer und oberer Dosischwelle (UDS/ODS) wurden verbindliche Dosissschwellen für die Anordnung von Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung festgelegt. Für die Dosisprognose, welche die Grundlage für die Entscheidung über Schutzmassnahmen für die Bevölkerung ist, gilt neu eine Integrationszeit von zwei Tagen nach Ereigniseintritt.

Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen

Die neu erlassene Verordnung enthält u.a. Kriterien für die Bewertung des Schutzes gegen auslegungsüberschreitende Störfälle.

Der Gesuchsteller oder der Bewilligungsinhaber hat gemäss Art. 12 der Verordnung nachzuweisen, dass:



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

- a. die Häufigkeit eines Kernschadens für bestehende Kernkraftwerke kleiner als $10^{-4}/a$ ist;
- b. bei einer Häufigkeit eines Kernschadens zwischen $10^{-4}/a$ und $10^{-5}/a$ für bestehende Kernkraftwerke alle angemessenen Vorkehren getroffen wurden;
- c. die Risikobeiträge auslegungsüberschreitender Störfälle ausgewogen sind;
- d. die Häufigkeit von Freisetzungen radioaktiver Stoffe in gefährdendem Umfang deutlich geringer ist als die Häufigkeit eines Kernschadens.

Der Bewilligungsinhaber hat den Nachweis mit Hilfe einer probabilistischen Sicherheitsanalyse zu erbringen.

Überführung der HSK-Richtlinie R-41 in die ENSI-Richtlinie G14

Die Richtlinie ENSI-G14 fordert neu Dosisberechnungen für verschiedene Altersgruppen (einjährige und zehnjährige Kinder sowie Erwachsene). Zudem kann bei den Dosisberechnungen von Störfällen mit einer Eintrittshäufigkeit kleiner als 10^{-2} pro Jahr berücksichtigt werden, dass die Sofortmassnahmen Ernte- und Weideverbot in der Landwirtschaft gemäss DMK durchgeführt wurden. Für die Ingestionszeit werden nun 48 Stunden angenommen.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

ENSI-Richtlinie A05

In der 2009 herausgegebenen Richtlinie ENSI-A05 werden die methodischen Anforderungen an die Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA) der Stufen 1 und 2 festgelegt.

2.1.3 Internationale Standards und Empfehlungen

Die Analyse von Unfallabläufen, die externe Notfallschutzmassnahmen erfordern, ist ein wesentlicher Schritt in der Notfallplanung, weil die Unfallkonsequenzen die Reichweite der Planung und die Art der Notfallmassnahmen bestimmen /5/.

Ein Referenzszenario im Sinne des Notfallschutzes in der Umgebung der Kernkraftwerke ist ein Unfallablauf, anhand dessen die charakteristischen Elemente des Notfallschutzes (Planungszonen, Notfallmassnahmen, Interventionswerte, Alarmierungsabläufe) geplant werden können. Bei der Auswahl derselben ist gemäss Empfehlungen der ICRP /6/ Augenmass erforderlich. Einige Szenarien seien so unwahrscheinlich, dass der Ressourcenverbrauch für eine detaillierte Notfallplanung dieser Szenarien nicht mehr angemessen wäre. Daher empfiehlt die ICRP die Notfallplanung auf jene Ereignisse und Notfallmassnahmen zu richten, die vernünftigerweise planbar sind. Die IAEA fordert /7/ dass die Notfallplanung in der nächsten Umgebung (dies sind die Precautionary Action Zone PAZ und die Urgent Protective Action Planning Zone UPZ) der Kernanlagen auf dem Gros („majority“ oder „vast majority“) der postulierten Unfälle beruhen soll.

Die IAEA gibt in den Basic Safety Principles INSAG-12 /8/ einen Richtwert der Kernschadenshäufigkeit (Core Damage Frequency CDF) von einmal in 10'000 Jahren ($1\text{E-}04 \text{ a}^{-1}$) vor. Für die Häufigkeit von grossen Freisetzungen (Large Release Frequency LRF) wird ein Zielwert von einmal in 100'000 Jahren ($1\text{E-}05 \text{ a}^{-1}$) vorgeschlagen. Grosse Freisetzungen setzen signifikante Anteile des Kerninventars frei und können nur durch Kernschadensunfälle hervorgerufen werden. Die IAEA versteht in der SSG-3 unter einer grossen Freisetzung ein Vorkommnis, welches grosse Auswirkungen auf die Gesellschaft hat und Notfallmassnahmen in der Umgebung erfordert. Eine grosse Freisetzung kann quantifiziert werden über den Quellterm, den Freisetzungsanteil, die prognostizierte oder gemessene Dosis. International gibt es keinen Konsens über Zahlenwerte, sie liegen beim Freisetzungsanteil des Kerninventars im Bereich von 10^{-5} bis 10^{-2} .

Die Zielwerte für die Eintrittshäufigkeit einer Freisetzung in gefährdendem Ausmass (LRF) wurden von verschiedenen Staaten mit verbreiteter Kernenergienutzung entweder in nationales Recht umgesetzt (Schweden, Schweiz) oder in das Regelwerk bzw. die Aufsichtspraxis (USA, Südkorea) aufgenommen /9/. Ein Schwedischer Regierungsbeschluss fordert beispielsweise, dass die Eintrittshäufigkeit von Freisetzungen mit mehr als einem Tausendstel des Kerninventars (ohne Edelgase) eines 1800 MW_e Reaktors geringer ist als einmal in Hunderttausend Jahren ($1\text{E-}05 \text{ a}^{-1}$).

Von wesentlicher Bedeutung ist neben der Menge an freigesetzten radioaktiven Stoffen der Freisetzungsbeginn. In den USA wird als Large Early Release Frequency (LERF) die Eintrittshäufigkeit von Freisetzungen zu einem Zeitpunkt definiert, bei dem ein Potential für deterministische (frühe) Strahlenschäden vorhanden ist, weil es nicht gelingt die betroffene



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Bevölkerung innerhalb des gesetzten Zeitrahmens zu evakuieren. Das Gebiet, in dem solche hohen Dosen auftreten können, liegt erwartungsgemäss in einem Radius von wenigen Kilometern um die betroffene Anlage. Die US NRC setzt den Zielwert für LERF bei in Betrieb befindlichen Anlagen bei einmal in Hunderttausend Jahren an ($1E-05 \text{ a}^{-1}$) /9/.

2.2 Erkenntnisse aus dem Reaktorunfall in Fukushima für die Überprüfung der Referenzszenarien

Das ENSI hat 2011 mit Unterstützung der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) die radiologischen Auswirkungen des Reaktorunfalls in Fukushima bewertet /11/. Der Anhang 3 enthält weitere, aktuelle Details zum Unfallablauf und den radiologischen Auswirkungen. Aus diesen Quellen lassen sich unter Berücksichtigung der in /12/ aufgeworfenen Fragestellungen folgende Erkenntnisse ableiten:

Anlageninterne Vorkehrungen gegen auslegungsüberschreitende Störfälle

- a) Die Druckentlastung (Venting) der Primärcontainments erfolgte ungefiltert in die Reaktorgebäude. In zwei Blöcken führte die mit der Druckentlastung abgeführte Wasserstoffmenge zur Bildung brennbarer Gemische, welche explosionsartig verbrannten und die Reaktorgebäude von drei Blöcken stark beschädigten. Dabei wurde die Explosion im Block 4 durch überströmende Gase aus Block 3 und nicht wie anfangs vermutet infolge Wasserstoffbildung im Brennelementlagebecken des Blocks 4 hervorgerufen. Die in den Schweizer Anlagen implementierten Massnahmen zur gefilterten Druckentlastung des Primärcontainments sowie die im Vergleich zu den verunfallten japanischen Anlagen massiven Sekundärcontainments senken das Risiko von Freisetzungen in gefährlichem Ausmass erheblich herab.
- b) Trotz der für die Notfallbekämpfung äusserst widrigen Umstände (zerstörte Infrastruktur, zeitweise fehlende Anlageninstrumentierung, lückenhafte Kommunikationsmittel) gelang es der Mannschaft in Fukushima, die Eskalation der Kernschadensunfälle in den einzelnen Reaktoren zu verzögern, einzudämmen und höhere Abgaben zu verhindern. Eine bessere Vorbereitung im Schwerunfallmanagement, wie sie in den Schweizerischen Werken bereits Standard ist und aufgrund der Erkenntnisse aus Fukushima weiter vervollkommen wird, erhöht die Chancen auf mildere Folgen eines Kernschmelzunfalls.

Referenzszenarien

a) Zeitliche Entwicklung

Freisetzungsbeginn: Die erste massive Freisetzung aus einem der Blöcke erfolgte erst **17 Stunden** nach dem auslösenden Ereignis. Somit stand genügend Zeit für die Umsetzung von Notfallschutzmassnahmen zur Verfügung. Der Unfallverlauf in allen drei Blöcken mit schweren Kernschäden bestätigte den im Schweizer Notfallschutz zurzeit unterstellten zeitlichen Ablauf des Kernschadensunfalls.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

b) **Freisetzungsdauer:** Die Kernschadensunfälle entwickelten sich in den Blöcken 1 bis 3 mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. So erfolgten an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen einzelne Freisetzungen in gefährdendem Ausmass aus verschiedenen Blöcken, siehe Tabelle 4. Bei einem der drei Blöcke gab es mehrere Freisetzungen an verschiedenen Tagen. Dadurch entstand der Eindruck einer langandauernden Freisetzung. In der Schweiz gibt es hingegen drei Einblockanlagen und eine Doppelblockanlage an unterschiedlichen Standorten. Damit ergibt sich eine bessere Entkopplung der Einwirkungen von Naturereignissen. Für die Schweizer KKW-Standorte können somit tendenziell kürzere Freisetzungsdauern erwartet werden.

c) **Quellterm:**

- Die potentiell freisetzbare Aktivitätsmenge (Kerninventare der betroffenen drei Blöcke sowie Inventar der Brennstofflager) war am Standort Fukushima-Daichii grösser als in allen Schweizer Werken zusammen genommen. Die maximal von einem Schweizer Kernkraftwerk ausgehende freisetzbare Aktivitätsmenge ist deutlich kleiner als am Standort Fukushima-Daichii. Somit würde bei einem schweren Kernschaden und vergleichbarem Reaktordesign nur ein Teil der Fukushima-Freisetzungsmenge abgegeben werden.
- Die aufgrund der Kernschäden freigesetzte Edelgasmenge wurde zwischen $5\text{E}+17$ Bq (TEPCO) und $2\text{E}+18$ Bq (IRSN) /10/ ermittelt. Die ENSI-Studie von 2011 ging auf der Grundlage von Daten der GRS noch von $1.1\text{E}+19$ Bq aus /13/. Das Edelgasinventar der drei verunfallten Reaktoren etwa beträgt hingegen $2\text{E}+19$ Bq. Daraus ergibt sich, je nach Ursprung der Daten und Bearbeiter, ein Freisetzungsanteil von 5 bis maximal 55 % bei den Edelgasen.

d) **Radiologische Auswirkungen:**

- Der Unfallquellterm und die Wetterlage erforderten Notfallmassnahmen weit ausserhalb der Notfallplanungszonen. Die Wetterlage in Fukushima führte einerseits zu günstigen Umständen, weil ein grosser Teil der luftgetragenen Aktivität auf das Meer getrieben wurde. Andererseits wurde nach dem Drehen der Hauptwindrichtung konzentriert vor allem der Nordwesten wegen Regen und Schneefällen vom Fallout getroffen. Die Erfahrungen aus Fukushima und Tschernobyl zeigen, dass infolge von Wettereffekten ausserhalb der international üblichen Notfallplanungszonen Gebiete betroffen sein können, in denen Schutzmassnahmen für die Bevölkerung ergriffen werden müssen.
- Reaktorunfälle an Mehrblockeinheiten, die durch ein gemeinsames Ereignis verursacht werden, sind für die Umsetzung von Notfallschutzmassnahmen in der Umgebung problematischer als Einblockanlagen. Die Kernschadensunfälle in den Blöcken 1 bis 3 entwickelten sich hinsichtlich Ausmass, Geschwindigkeit und Auswirkungen auf die Umgebung sehr unterschiedlich. Dies erschwerte die Erstellung von Prognosen als Grundlage für die Anordnung von Schutzmassnahmen.
- Beim Fukushima-Unfall wurden neben luftgetragenen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen signifikante Mengen an radioaktiv kontaminiertem Wasser in das Meer abgegeben. Das ENSI untersucht diesen Aspekt separat, siehe /AP2013/.



Klassifizierung: intern
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Titel / Sachbearbeiter: Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

2.3 Methoden zur Überprüfung der Referenzszenarien

2.3.1 Probabilistische Sicherheitsanalysen

Mit der Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) wird u. a. das Risiko abgeschätzt, dass ein schwerer Unfall in einem Kernkraftwerk auftritt. Als schwerer Unfall wird ein Störfall bezeichnet, bei dem der Reaktorkern nicht mehr gekühlt werden kann und in der Folge zu schmelzen beginnt. Erst ein schwerer Unfall kann (muss aber nicht notwendigerweise, wie der Unfall in Three Mile Island gezeigt hat) dazu führen, dass grössere Mengen radioaktiver Stoffe in die Umgebung freigesetzt werden.

Eine PSA kann in mehrere Stufen unterteilt werden: Ausgehend von einem breiten Spektrum von auslösenden Ereignissen werden in der Stufe-1-PSA alle möglichen Unfallsequenzen bis zum Kernschaden (Kernschmelze) betrachtet. Als auslösende Ereignisse werden alle relevanten internen und externen Ereignisse berücksichtigt. Hierzu gehören u.a. Kühlmittelverluste, Ausfälle von Betriebs-, Sicherheits- oder Hilfssystemen, unbeabsichtigte Auslösung von Sicherheitssystemen, Brände, Explosionen, Turbinenzerknall, interne und externe Überflutungen, zufälliger Flugzeugabsturz, starke Winde und Tornados, Verstopfung von Wasserfassungen, Erdbeben. Als ein wichtiges Ergebnis der Stufe-1-PSA wird die Kernschadenshäufigkeit (Core Damage Frequency, CDF) pro Jahr ausgewiesen.

Die auf den Ergebnissen der Stufe-1-PSA aufbauende Stufe-2-PSA umfasst die Analyse des weiteren Verlaufs eines Kernschadens bis zu einer eventuellen Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt. Bei der Analyse des Unfallablaufs werden insbesondere die möglichen Belastungen des Containments durch die bei einem schweren Unfall auftretenden Phänomene betrachtet (z. B. Dampfexplosion, Wasserstoffverbrennung, Druckaufbau) wie auch die Belastbarkeit des Containments sowie die zum Schutz des Containment getroffenen Massnahmen (z. B. Massnahmen gegen die Wasserstoffgefährdung, System zur gefilterten Druckentlastung) und die damit verbundenen Personalhandlungen analysiert.

Die vielen möglichen Unfallabläufe werden mit Hilfe eines sogenannten Ereignisbaums systematisch identifiziert und quantifiziert (d. h. für jeden Unfallablauf eine Häufigkeit bestimmt). Da sich aus einem solchen Ereignisbaum eine enorm grosse Anzahl von Endzuständen ergibt, werden diese in der Regel nach Versagenszeitpunkt (früh oder spät) und Versagensmodus des Containments sowie Freisetzungsmenge (Menge des freigesetzten radioaktiven Kerninventars) zu Freisetzungskategorien zusammengefasst. Die Häufigkeit der einzelnen Freisetzungskategorien ergibt sich aus der Summe der Häufigkeit der einzelnen Endzustände. Für jede Freisetzungskategorie werden mit einem anlagenspezifischen Computermodell eine Freisetzungsmenge und ein Freisetzungsbeginn berechnet.

Bezüglich des Freisetzungsbegins ist anzumerken, dass bei den Quelltermberechnungen in der PSA meist davon ausgegangen wird, dass eine Komponente von Beginn des Störfalls an nicht zur Verfügung steht. Dadurch können die ermittelten Freisetzungzeiten sehr konservativ sein. Bei der Freisetzungsmenge werden die verschiedenen radiologischen Gruppen (Edelgase, Halogene, Alkalimetalle, usw.) unterschieden. Die verschiedenen Freisetzungskategorien sind somit charakterisiert durch eine Freisetzungsmenge, einen Freisetzungsbeginn und eine Häufigkeit. Werden die Frei-



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-_____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

setzungskategorien nach der Freisetzungsmenge geordnet, kann die Häufigkeit von Freisetzungen grösser als eine vorgegebene Freisetzungsmenge einfach bestimmt werden.

Die detaillierten Anforderungen an die PSA von Kernkraftwerken können der Richtlinie ENSI A05 entnommen werden. Jeder Betreiber hat eine anlagenspezifische PSA entwickelt und aktualisiert diese regelmässig.

2.3.2 Modellierung der radiologischen Konsequenzen

Grundsätzlich existiert eine Vielzahl von verschiedenen Modellen zur Simulation der atmosphärischen Ausbreitung von Partikeln, welche sich im Wesentlichen durch die berücksichtigten physikalischen Prozesse bzw. deren Approximation unterscheiden. In der Folge werden die beiden beim ENSI eingesetzten Modelle kurz beschrieben.

DOSE

DOSE (engl. für Dosis) ist ein von der HSK und dem ENSI entwickeltes, höhenkorrigiertes Gauss-Modell zur Simulation atmosphärischer Ausbreitung. Letztere wird dabei mit Hilfe von zeit- und ortsabhängigen Ausbreitungsfaktoren, welche als Verhältnis zwischen örtlicher Nuklidkonzentration und Abgaberate definiert sind, beschrieben. Aus der Nuklidkonzentration lassen sich in der Folge die Dosen für die verschiedenen Pfade berechnen. Die implementierten Formeln und verwendeten Parameterwerte sowie die berücksichtigten physikalischen Prozesse sind in der Richtlinie ENSI-G14 definiert.

DOSE simuliert die Abgabe immer als eine Freisetzung von kurzer Dauer; mit der vorgegebenen Windgeschwindigkeit wird eine Ausbreitungsfähigkeit berechnet, woraus sich die resultierenden Dosen ableiten lassen. Als vereinfachende Annahme geht dieses Modell von einer zeitlich konstanten Windgeschwindigkeit und -richtung im gesamten Simulationsgebiet aus, welches eine ebene Topographie besitzt. Letzteres ermöglicht eine einfache Übertragung auf beliebige Abgabeorte, unter Berücksichtigung möglicher topographischer Effekte. Grundsätzlich wird durch die Vorgehensweise gemäss ENSI-G14 eine sehr konservative Dosisberechnung erreicht, sodass die resultierenden Dosen als abdeckend für den realen Fall angenommen werden können.

ADPIC

ADPIC (Atmospheric Diffusion Particle-In-Cell) ist ein numerisches, dreidimensionales Diffusionsprogramm, welches die Berechnung zeitabhängiger Luftkonzentrationen von Stoffen unter verschiedenen Konditionen ermöglicht. Berücksichtigte physikalische Prozesse dabei sind u. a. trockene und nasse Ablagerung, radioaktiver Zerfall sowie räumlich und zeitlich variable Turbulenz des Windfeldes. Physikalisch gesehen löst ADPIC die dreidimensionale Advektions-Diffusions-Gleichung mittels Monte Carlo-Methode und berechnet daraus die zeitliche und räumliche Entwicklung einer Wolke von Partikeln (sog. Lagrange-Modell). Nachgelagert an die atmosphärische Ausbreitung ist ein Dosismodul, welches direkt die resultierenden Strahlungsdosen im gesamten Simulationsgebiet berechnet.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU / ENSI-AN-_____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Das von Lawrence Livermore National Laboratory entwickelte Ausbreitungsmodell ADPIC wurde im Rahmen einer Modell-Evaluation aus einer Vielzahl von atmosphärischen Dispersionsmodellen, welche Ausbreitungsvorgänge im komplexen Gelände beschreiben können, als das für die Schweiz am besten geeignete Modell ausgewählt. Die Evaluation erfolgte auf Grund von Tracer-Experimenten im Raum Gösgen. Für einen operationellen Einsatz des Modells in der Schweiz waren umfangreiche Anpassungen notwendig, insbesondere bezüglich On-line-Meteorodaten-Erfassung, dreidimensionalen Windfelddaten und Visualisierung der Ergebnisse.

ENTWURF



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-_____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

2.4 Festlegungen für die Überprüfung der Referenzszenarien

2.4.1 Spezifizierte Aufgabenstellung betreffend Referenzszenarien

Untersuchungsmerkmale

Ein Referenzszenario für einen Kernkraftwerksunfall ist durch folgende wesentliche Merkmale charakterisiert /2/

- Freisetzungspfad
- Quellterm¹
- Zeitlicher Verlauf (Freisetzungsbeginn und Freisetzungsdauer)
- Radiologische Auswirkungen

Der **Freisetzungspfad** bestimmt, wie viele der in das Containment gelangten radioaktiven Stoffe in die Umgebung gelangen können. Dieser Aspekt wird in diesem Bericht im Kap. 2.5.1.3 untersucht.

Der **Quellterm** beinhaltet die Menge und Art der freigesetzten Radionuklide. Typischerweise werden für die Abschätzung der radiologischen Auswirkungen die Nuklidgruppen Edelgase, Iod und Aerosole verwendet. Für detaillierte Berechnungen werden die nuklidspezifischen Abgabemengen berücksichtigt. Die Grösse des Quellterms wird im Kapitel 2.5.1.4 untersucht.

Der **Freisetzungsbeginn** ist definiert als Zeitpunkt seit dem Unfalleintritt, bei dem mehr als eine Jahresabgabelimite² einer der oben erwähnten Nuklidgruppen in die Umgebung freigesetzt wurde. Die Zeitspanne vom Unfalleintritt bis zum Freisetzungsbeginn wird im Notfallschutzkonzept /3/ als Vorphase bezeichnet. Bis zum Freisetzungsbeginn erfolgt keine Freisetzung in gefährdendem Ausmass. Damit ist der Freisetzungsbeginn eine wichtige Grösse für die Planung der Abläufe bis zum Vollzug von Schutzmassnahmen für Bevölkerung. Das Notfallschutzkonzept /3/ rechnet damit, dass die Vorphase bei Szenarien mit gefilterter Druckentlastung viel länger und bei ungefilterten Freisetzungen länger als sechs Stunden dauert. Somit stehen mindestens sechs Stunden für die Veranlassung von Notfallmassnahmen zur Verfügung. Der Freisetzungsbeginn wird im Kapitel 2.5.1.5 behandelt.

Die **Freisetzungsdauer** ist für die Bewertung der Umsetzbarkeit und Zumutbarkeit von Schutzmassnahmen relevant. Insbesondere der geschützte Aufenthalt ist nur für eine begrenzte Zeit zumutbar. Das Notfallschutzkonzept /3/ verwendet den Begriff „Wolkenphase“ für die Zeitspanne zwischen Freisetzungsbeginn und dem Ende des Durchzugs der radioaktiven Stoffe und gibt die Dauer in der Grössenordnung Stunden bis maximal Tage an. Die Freisetzungsdauer wird im Kapitel 2.5.1.6 untersucht.

¹ Als **Quellterm** werden nach NFSV die Menge und Art der freigesetzten Radionuklide sowie der zeitliche Verlauf der Freisetzung bezeichnet. Im vorliegenden Dokument wird mit dem Begriff „Quellterm“ in Übereinstimmung mit früheren HSK-Publikationen /2/ die Art und Menge der freigesetzten Nuklide bezeichnet.

² Die Jahresabgabelimite einer Kernanlage wird so festgelegt, dass während des Normalbetriebs und gestörten Betriebs vom Standort der Kernanlage eine zusätzliche Jahresdosis von 0.3 mSv ausgeht.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Die **Radiologischen Auswirkungen** eines Unfallszenarios werden durch den Quellterm und die Freisetzungsdauer bestimmt. Sie zeichnen sich durch die Reichweite der betroffenen Gebiete, in denen Schutzmassnahmen erforderlich werden, aus. Die radiologischen Auswirkungen werden im Kapitel 2.5.2 behandelt.

Szenariotypen

Die drei Referenzszenarien gemäss Tabelle 1 bilden die denkbaren Szenarien von Freisetzungen von Radioaktivität aus den Schweizer Kernkraftwerken ab.

Das Szenario A1 repräsentiert als Freisetzungsszenario ohne Kernschaden den weitaus häufigsten Anteil aller Störfälle. Szenarien ohne Kernbeschädigung sind insbesondere relevant für die Notfallmassnahmen bei sog. „Schnellen Störfällen“. Aus dem Ereignis in Fukushima und den weiteren internationalen Betriebserfahrungen des Zeitraums 2005 bis 2012 ergeben sich für dieses Szenario aber keine neuen Erkenntnisse. Daher wird dieses Szenario unverändert im Korb der Referenzszenarien belassen.

Das Szenario A2 mit Kernschaden und gefilterter Druckentlastung muss in diesem Bericht dahingehend bewertet werden, welchen Stellenwert es heute noch besitzt. Dies insbesondere im Hinblick darauf, dass nur dieses Szenario im Technischen ABC-Schutzkonzept des BABS /4/ als Referenzszenario für den Notfallschutz aufgeführt ist.

Aufgrund des Kernkraftwerksunfalls in Fukushima ist zu überprüfen, ob das Szenario A3 hinsichtlich Quellterm, Freisetzungsbeginn und -dauer das Spektrum von Unfällen mit ungefilterten massiven Freisetzungen hinreichend repräsentiert.

2.4.2 Einbezug auslösender Ereignisse

Bei den bisherigen Referenzszenarien wurden folgende Fälle nicht berücksichtigt /2/:

- Unfallsequenzen, die durch starke Erdbeben und Flugzeugabsturz verursacht wurden
- Terroristische Anschläge und Sabotage
- Kriegerische Auseinandersetzungen

Alle oben genannte Fälle waren zum damaligen Stand des Wissens und sind auch heute durch eine sehr geringe Eintrittshäufigkeit charakterisiert. Verglichen mit den radiologischen Folgen eines Reaktorunfalls wurden die zivilisatorischen Folgen von starken Erdbeben und kriegerischen Auseinandersetzungen in /2/ als erheblich höher eingeschätzt.

In den letzten zehn Jahren wurde in der Schweiz das Erdbebenrisiko der Schweizer Kernkraftwerke im Rahmen des Projekts PEGASOS und des noch laufenden PEGASOS Refinement Projekts (PRP) nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen untersucht. Allgemein zeigten die Studien, dass die Eintrittshäufigkeit starker Erdbeben höher einzuschätzen ist als früher angenommen. Somit nahm der



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU// ENSI-AN-_____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Anteil von Erdbeben als Auslöser von Kernschmelzunfällen relativ zu anderen auslösenden Ereignissen zu. Die Anwendung der PEGASOS-Ergebnisse in den PSA-Studien führte bereits zu detaillierten Untersuchungen in den Werken bezüglich Verbesserungsbedarf der Widerstandsfähigkeit gegen seismische Ereignisse und zahlreichen punktuellen Verbesserungen.

Die Ereignisse in Fukushima Daiichi warfen die Frage auf, wie gut die Schweizer Anlagen gegen Naturereignisse und allenfalls Folgeereignisse wie Dammbrüche ausgelegt sind. Das ENSI hat nach dem Fukushima-Ereignis einen umfangreichen Forderungskatalog für die Werke erstellt, welcher deterministische und probabilistische Nachweise zur Auslegung der Anlagen und zusätzliche Massnahmen im Bereich Notfallschutz fordert /13/. Im Zuge der absehbaren Überprüfung der Referenzszenarien hat das ENSI die Werke zudem aufgefordert, die Überschreitenshäufigkeiten für Freisetzungen grosser Quellterme und deren Freisetzungsbeginn auf der Grundlage der aktuellen PSA zu ermitteln /14/. Die Berechnungen der Werke wurden für die in der PSA berücksichtigten auslösenden Ereignisse mit und ohne Berücksichtigung von Erdbeben durchgeführt.

Erwägungen des ENSI

In der UVEK-Verordnung über die „Gefährdungsmassnahmen und Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen“ ist der Mindestumfang der zu berücksichtigenden Störfälle geregelt. Ein dominierender Anteil von Kernschadens- und Freisetzungsszenarien wird dabei von Erdbeben verursacht, deren Stärke deutlich jenseits der Auslegung der Anlagen ist.

Obwohl in der Schweiz starke Erdbeben eine an sich niedrige Eintrittshäufigkeit haben und die Schweizer Kernkraftwerke allesamt robust gegen die hierzulande zu erwartenden Erdbebenstärken ausgelegt sind, kann ein auslegungsüberschreitendes Erdbeben mit der Folge Kernschmelzunfall und Versagen der letzten Barriere nicht ausgeschlossen werden. Für die Überprüfung der Referenzszenarien werden die in den PSA der Werke untersuchten auslösenden Ereignisse daher vollständig herangezogen, einschliesslich starker Erdbeben unter Berücksichtigung von aktuellen Erkenntnissen zur Erdbebengefährdung sowie zufällige Flugzeugabstürze.

Terroristische Anschläge und Sabotage, vorsätzlich herbeigeführte Flugzeugabstürze sowie kriegsähnliche Auseinandersetzungen werden hingegen weiterhin nicht bei der Auswahl eines Referenzszenarios berücksichtigt. Diese zivilisatorischen Ereignisse sind hinsichtlich ihrer Eintrittshäufigkeit und ihres Schadensumfangs nur mit grossen Unsicherheiten einzuschätzen. Zudem wurden in den letzten zehn Jahren in den Werken umfangreiche Massnahmen zur Erhöhung des Sicherheitsniveaus gegen sogenannte unerwünschte Einwirkungen Dritter umgesetzt..

2.4.3 Zeitliche Dimensionen (Freisetzungsbeginn und –dauer)

Das Notfallschutzkonzept /3/ geht von einer zeitlichen Entwicklung aus, wie sie im Kapitel 2.1.1 dargestellt wird. Der Warnungs- und Alarmierungsablauf im schweizerischen Notfallschutz baut auf diesem Modell auf, d.h. es gibt mehrere Eskalationsstufen, beginnend mit der Orientierung des ENSI und der NAZ über den eingetretenen Notfall, die Stufe der Warnung, den Allgemeinen Alarm zur Vorbereitung und den Allgemeinen Alarm zur Umsetzung von Schutzmassnahmen.

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/Publidocs:

Titel / Sachbearbeiter:

intern

10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-_____

Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Für Freisetzungen nach Kernschadensunfällen wird für den ungefilterten Fall von einer Vorphase von mindestens sechs Stunden ausgegangen, für den Fall einer gefilterten Containmentdruckentlastung von einer Vorphase deutlich länger als sechs Stunden.

ENTWURF



Klassifizierung: intern
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-_____
Titel / Sachbearbeiter: Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Erwägungen des ENSI

Ein Referenzszenario für den Notfallschutz sollte von seiner zeitlichen Entwicklung her repräsentativ für einen Grossteil der zeitlichen Entwicklung möglicher Unfallsequenzen im Kernkraftwerk sein.

Zur Überprüfung des Freisetzungsbegins hat das ENSI von den Werken /14/ die Ermittlung der Eintrittshäufigkeiten für den Freisetzungsbeginn (Zeitintervalle von 0-2 h, 0-4 h, 0-6 h und > 6 h) gefordert. Es wird im weiteren Verlauf des Berichts diskutiert, ob die Annahme eines Freisetzungsbegins von frühestens sechs Stunden mit den PSA-Ergebnissen der Werke gerechtfertigt werden kann.

2.4.4 Abdeckungsgrad des Referenzszenarios A3

Für die Ermittlung des Referenzszenarios A3 werden unter Berücksichtigung der aktuellen Rechtsgrundlagen und internationaler Erkenntnisse /8/, /9/ (siehe Kap. 2.1.2 und 2.1.3) folgende Festlegungen zum Abdeckungsgrad der Referenzszenarien getroffen:

- (1) Aus den werksabhängigen Häufigkeiten des Unfallquellterms und des Freisetzungsbegins wird jeweils der ungünstigste Wert von allen Anlagen verwendet.
- (2) Der Edelgasquellterm des Referenzszenarios berücksichtigt 100 % der Edelgase derjenigen Anlage, welche bei den anderen beiden Nuklidgruppen dominierend ist.
- (3) Der Referenzquellterm wird so festgelegt, dass die Summeneintrittshäufigkeit aller Freisetzungsszenarien mit grossen Quelltermen kleiner als einmal in Hunderttausend Jahren ist ($1\text{E-}05 \text{ a}^{-1}$).
- (4) Der Freisetzungsbeginn wird so festgelegt, dass die Summeneintrittshäufigkeit aller Freisetzungen grösser als der Referenzquellterm mit einem früheren Freisetzungsbeginn als sechs Stunden kleiner als einmal in Hunderttausend Jahren ist ($1\text{E-}05 \text{ a}^{-1}$).

Die Verwendung der jeweils ungünstigsten Eintrittshäufigkeiten des Quellterms und Freisetzungsbegins (1) ermöglicht es ein alle Kernkraftwerksstandorte und -typen abdeckendes Szenario festzulegen.

Der Ansatz einer Edelgasfreisetzung von 100 % (2) der hinsichtlich der Nuklidgruppen Cäsium und Iod führenden Anlage ist ebenfalls konservativ.

Mit den Abschneidekriterien (3) und (4) ist gewährleistet, dass der Notfallschutz in der Umgebung der KKW auf die Bewältigung seltener Ereignisse ausgerichtet ist. Damit wird dem potentiellen Schadensumfang eines Kernkraftwerksunfalls im Vergleich zu anderen zivilisatorischen Risiken und Naturrisiken³ eine besondere Bedeutung zugewiesen.

³ In den neuesten, noch in der Diskussion befindlichen, Referenzszenarien des BABS wird vergleichsweise ein Erdbeben mit einer Eintrittshäufigkeit von einmal in 1000 Jahren zugrunde gelegt. Für ein solches Erdbeben sind die Schweizer Kernkraftwerke in der Weise ausgelegt, dass ohne unabhängiges Versagen von Sicherheitssystemen kein Kernschaden und damit keine massive Freisetzung radioaktiver Stoffe eintreten kann.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Andererseits wird mit den Abschneidekriterien (3) und (4) gewährleistet, dass die Notfallplanung für Kernkraftwerksunfälle nicht ausschliesslich auf extrem seltenen unfallauslösenden Natur- bzw. zivilisatorischen Ereignissen beruht. Damit wird internationalen Empfehlungen (u.a. /6/, /7/) Rechnung getragen.

2.5 Untersuchungsergebnisse

2.5.1 PSA-Ergebnisse

2.5.1.1. Kernschadenshäufigkeiten

Die werkspezifischen Stufe-1-PSA der Kernkraftwerke werden regelmässig vom ENSI überprüft und beurteilt. In diesem Zusammenhang erstellt das ENSI für ausgewählte Fälle zusätzliche unabhängige Berechnungen.

Der Zielwert der IAEA von $CDF < 10^{-4} \text{ a}^{-1}$ wird von allen vier Schweizer Werken deutlich unterboten. Die Analysen erfolgten unter Berücksichtigung aller relevanten internen und externen auslösenden Ereignisse für Kernschadensunfälle, siehe Kap. 2.3.1. Lediglich kriegensiche Handlungen sowie terroristische Anschläge und Sabotage wurden nicht berücksichtigt.

2.5.1.2. Freisetzungshäufigkeiten

Die werkspezifischen Stufe-2-PSA der Kernkraftwerke werden regelmässig vom ENSI überprüft und beurteilt. In diesem Zusammenhang erstellt das ENSI für ausgewählte Fälle zusätzliche unabhängige Berechnungen.

Der Zielwert der IAEA von $LERF < 10^{-5} \text{ a}^{-1}$ wird von allen vier Schweizer Werken deutlich unterboten. Die Analysearbeiten der Werke zur Überprüfung der Referenzszenarien (veranlasst durch das ENSI, /14/) basieren auf den aktuellen PSA-Modellen. Das ENSI hat die Angaben auf Plausibilität geprüft und kann diese in der Grössenordnung bestätigen.

2.5.1.3. Freisetzungsszenarien als Folge von Kernschadensunfällen

Nach einem Kernschaden wird entweder durch offene Leitungen und Absperrventile oder infolge Versagen des RDB (z.B. infolge Durchschmelzen der unteren Bodenkalotte) ein Teil des radioaktiven Kerninventars zunächst in das Containment eingetragen.

Die möglichen Unfallentwicklungen hängen stark vom auslösenden Ereignis und von den ergriffenen Massnahmen des Severe Accident Managements (SAM) ab. Die möglichen Szenarien lassen sich wie folgt gruppieren (Tabelle 5):



Klassifizierung: intern
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-_____
Titel / Sachbearbeiter: Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Tabelle 5: Freisetzungsszenarien von Kernschadensunfällen

Szenario	Physikalische Prozesse	Radiologische Folgen
S(mall)	<ul style="list-style-type: none">• Nach Eintritt eines Kernschadens schnelle Wiederherstellung der Kernkühlung• Kern bleibt weitgehend kühlbar und innerhalb des RDB• Freisetzung eines Teil des Kerninventars über offene Ventile oder defekte Leitungen in das Containment• Druck im Containment bleibt unterhalb der Auslegungswerte	<ul style="list-style-type: none">• Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung über die auslegungsgemässe Leckage oder kleine nicht isolierbare Öffnungen• Quellterm Q ist grösser als beim A1-Szenario, aber kleiner als beim A2-Szenario $Q(A1) < Q < Q(A2)$
F(iltered)	<ul style="list-style-type: none">• Längerer Unterbruch der Kernkühlung• Massivere Freisetzung von Kerninventar in das Containment als Szenario S, entweder über offene Leitungen und Ventile oder infolge Durchschmelzen der RDB-Bodenkalotte• Längerer Ausfall der Systeme zur Druckminderung im Containment, dadurch Druckaufbau über den Auslegungswert• Passive gefilterte Druckentlastung über Versagen der Berstscheibe oder manuell gesteuert	<ul style="list-style-type: none">• Radioaktive Abgabe über das gefilterte Containmentdruckentlastungssystem• Reduktion des Quellterms aus dem Containment um mehrere Grössenordnungen für Iod und Aerosole• Edelgase werden nicht gefiltert• Quellterm entspricht dem Szenario A2, wobei beim Referenzszenario A2 das Rückhaltevermögen des Wäschers sehr konservativ angesetzt wird
L(arge)	<ul style="list-style-type: none">• Vorgänge im Reaktorkühlkreislauf sowie Freisetzung in das Primärcontainment wie beim Szenario F• Die Containmentintegrität ist infolge eines externen Ereignisses oder einer nicht absperzbaren Öffnung nicht gegeben	<ul style="list-style-type: none">• Ungefilterte Freisetzung• Quellterm hängt von den Vorgängen im Containment, vom Erfolg von SAM-Massnahmen und von der Grösse der Öffnung (Containmentbypass) ab• Quellterm ist grösser als beim Szenario A2.

Der Anhang 4 zeigt, mit welcher Häufigkeitsverteilung die Szenarien S, F und L über die Werke summiert auftreten. Für die Auswertung wurden die Angaben der Werke im Zusammenhang mit /14/ sowie die Unterlage /PSÜ-KKL/ herangezogen. Aus der Analyse ergibt sich eine vom Standort und Reaktortyp unabhängige qualitative Aussage über die möglichen radiologischen Auswirkungen von Kernschmelzunfällen.

Der weitaus grösste Anteil der Kernschadensunfälle würde demzufolge entweder zu einer geringen Freisetzung (Typ S) oder zu einer Freisetzung vom Typ F (gefilterte Containmentdruckentlastung)



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

führen. Die Ergebnisse veranschaulichen die hohe Bedeutung und Wirksamkeit der in den Schweizer Werken implementierten Massnahmen zur Auslegung der letzten Barriere (Primär- und Sekundärcontainment), zum Schwerunfallmanagement (SAM) sowie zur Linderung der Unfallfolgen (gefilterte Containmentdruckentlastung).

Die Summenhäufigkeit für Freisetzungen vom Typ L entspricht für alle fünf Anlagen zusammen etwa dem Zahlenwert des anlagenbezogenen Abschneidekriteriums von $1E-05$ pro Jahr gemäss Kapitel 2.4.4. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen, dass Szenarien mit gefilterter Containmentdruckentlastung einen grossen Stellenwert für die Notfallplanung haben. Das Referenzszenario A2 hat damit unverändert Gültigkeit.

2.5.1.4. Unfallszenarien mit grossen Freisetzungen (Szenarientyp L)

Kernschadensunfälle mit Quelltermen gleich oder grösser dem Referenzszenario A3 gemäss Tabelle 2 können nur bei ungefilterter Freisetzung infolge eines beschädigten Containments oder grösseren Undichtigkeiten daran eintreten. Das Referenzszenario A3 gemäss Tabelle 2 repräsentiert ein mögliches Szenario aus der Summe aller denkbaren Unfallsequenzen mit ungefilterten Freisetzungen.

Es ist zu bewerten, ob dieses Szenario hinsichtlich Quellterm und Freisetzungsbeginn die im Kap. 2.4.4 gestellten Anforderungen erfüllt und weiterhin als Grundlage für die Notfallplanung herangezogen werden kann. Anderenfalls sind die charakteristischen Merkmale des Referenzszenarios A3 anzupassen.

Der Anhang 3 zeigt die Bandbreiten der Schweizer Werke für die nuklidgruppenspezifischen Eintrittshäufigkeiten von Quelltermen verschiedener Grössen. Modellquellterme waren dabei die Quellterme der Szenarien A2 und A3 gemäss Tabelle 2, sowie Quellterme mit den zehnfachen, hundertfachen und tausendfachen Abgaben an Cäsium und Iod des Quellterms A3. Der Hundertfache Quellterm an Cäsium und Iod entspricht etwa 60% der Emissionen aus allen Reaktoren von Fukushima /11/. Zum Vergleich werden dieselben Analysen ohne Berücksichtigung starker Erdbeben durchgeführt. Die Ergebnisse sind ebenfalls in Anhang 3 dargestellt.

Aus der Auswertung im Anhang 3 lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Sämtliche Schweizer Anlagen unterschreiten, auch unter Berücksichtigung extremer, seltener externer Ereignisse die im Kapitel 2.4.4 festgelegten Kriterien für Quellterme A3
- Je grösser ein hypothetischer Quellterm angesetzt wird, desto kleiner ist seine Eintrittshäufigkeit. Szenarien mit Quelltermen der Grösse A2 und A3 gemäss Tabelle 1 sind dominierend.
- Die Eintrittshäufigkeit von grossen Freisetzungen ist ohne Berücksichtigung von starken Erdbeben deutlich niedriger (etwa Faktor 5 bis 10). Das Kriterium in Kapitel 2.4.4 wird in diesem Fall um etwa den Faktor 15 unterboten.
- Mit der PSA sind prinzipiell auch sehr grosse Quellterme wie in Fukushima quantifizierbar. Diese resultieren hauptsächlich aus extremen, aber seltenen Naturereignissen, z.B. starken Erdbeben.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

- Bei den Modellquelltermen liegen die Eintrittshäufigkeiten für alle Werke in derselben Grössenordnung.
- Für die Edelgasfreisetzungen ist abzuleiten, dass für den Referenzquellterm A3 die mit den Reaktoren der 1000 MW_{th}-Klasse korrespondierende Edelgasmenge anzusetzen ist ($3.0E+18$ Bq).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit den Quelltermen A2 und A3 der weitaus grösste Teil möglicher Unfallszenarien abgedeckt wird. Freisetzungen mit Quelltermen wie im Fall Fukushima sind deutlich unwahrscheinlicher und korrelieren direkt mit der Eintrittshäufigkeit von starken Erdbeben. Solche Erdbeben werden in der Schweizer Notfallplanung für Naturereignisse bei weitem nicht berücksichtigt, wie auch der Entwurf des aktualisierten (noch nicht veröffentlichten) Referenzszenarienkatalogs für ABCN-Ereignisse zeigt.

Als Referenzquellterm A3 für Kernschadensunfälle mit grossen Freisetzungen wird somit der Quellterm A3 gemäss Tabelle 2 bestätigt.

2.5.1.5. Freisetzungsbeginn

Von zentraler Bedeutung für die Umsetzbarkeit des Schweizer Notfallschutzkonzepts ist die Dauer der sog. Vorphase, welche durch die Zeitspanne zwischen dem auslösenden Ereignis eines Kernschadensunfalls und dem Beginn einer Freisetzung in gefährdendem Ausmass (Freisetzungsbeginn) bestimmt ist. Das ENSI hat folglich von den Werken probabilistische Untersuchungen gefordert, mit welcher Wahrscheinlichkeit frühe Freisetzungen (Vorphasen kürzer als zwei, vier und sechs Stunden) eintreten können.

Die Untersuchungen betreffend den Freisetzungsbeginn konzentrierten sich auf Unfallquellterme gleich grösser dem Quellterm A3. Analysen zum Freisetzungsbeginn für den Referenzquellterm A2 wurden nicht durchgeführt.

Der Anhang 4 zeigt die Maximal der Eintrittshäufigkeit früher Freisetzungen für verschiedene Quellterme unter Berücksichtigung sämtlicher auslösender Ereignisse. Zum Vergleich wird dieselbe Auswertung ohne den Einfluss von Erdbeben dargestellt. Betrachtet werden der Quellterm A3 sowie Quellterme mit dem zehnfachen, hundertfachen und tausendfachen der Cäsium- und Iodemissionen des A3-Quellterms.

Aus den Auswertungen im Anhang 4 lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten

- Die Eintrittshäufigkeit für eine frühe Freisetzung eines grossen Quellterms (Freisetzungsbeginn eher als 6 Stunden) unterschreitet das Kriterium aus Kap. 2.4.3 deutlich, selbst wenn Erdbeben und Flugzeugabstürze berücksichtigt werden. Für sehr grosse Quellterme (z.B. Fukushima) ist die Eintrittshäufigkeit einer frühen Freisetzung kleiner als einmal in einer Million Jahren.
- Die Eintrittshäufigkeit für frühzeitige Freisetzungen sinkt mit der Grösse des Quellterms.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

- Ohne Berücksichtigung von Erdbeben ergeben sich für die untersuchten Modellquellterme jeweils noch deutlich niedrigere Eintrittshäufigkeiten für frühe Freisetzungen.
- Bei vollständiger Berücksichtigung aller auslösenden Ereignisse und bedingt durch die Sicherheitsmerkmale der einzelnen Anlagen ergibt sich bei Szenarien mit grossen Quelltermen kein dominierender Trend bezüglich des Freisetzungsbeginnes.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Eintrittshäufigkeit früher Freisetzungen von Quelltermen gleich oder grösser dem Referenzquellterm A3 deutlich unter dem Kriterium aus Kap. 2.4.4 von einmal in Hunderttausend Jahren liegt. Frühe Freisetzungen von Quelltermen in der Grössenordnung Fukushima sind noch unwahrscheinlicher. Ihre Eintrittshäufigkeit ist kleiner als einmal in einer Million Jahren.

Die vier Kernschmelzunfälle (TMI, 1979 und Fukushima Blöcke 1 bis 3, 2011) mit Leichtwasserreaktoren westlicher Bauart hatten jeweils lange Vorphasen bis zum Freisetzungsbeginn. Die PSA-Untersuchungen (Anhang 4) der Schweizer Werke zeigen hingegen, dass bei einigen Extremereignissen Unfallszenarien möglich sind, die zu grossen Quelltermen und früheren Freisetzungen führen können.

Unter Würdigung der Erkenntnisse aus Fukushima und der PSA-Untersuchungen der Schweizer Werke wird deshalb vorgeschlagen, den Freisetzungsbeginn des Referenzszenarios als Planungswert bei sechs Stunden zu belassen. Ein Vorschlag für eine bessere Vorbereitung auf Szenarien mit früher Freisetzung wird im Kap. 2.8 unterbreitet.

2.5.1.6. Freisetzungsdauer

Die Dauer einer Freisetzung ist vom Verlauf des Kernschmelzunfalls und vom Zustand der letzten Barriere abhängig. Freisetzungen über das gefilterte Containmentdruckentlastungssystem sind hinsichtlich Dauer und mit Einschränkungen auch hinsichtlich des Freisetzungsbeginns steuerbar. Grosse Freisetzungen infolge Undichtigkeiten der letzten Barriere (Szenario A3) sind hingegen in der zeitlichen Dimension nicht steuerbar. Wird wegen des Fortschreitens des Kernschmelzunfalls Druck im Containment aufgebaut, so erfolgt eine über den Differenzdruck zur Umgebung getriebene radioaktive Abgabe.

Eine systematische Bewertung der Zeitdauer von Freisetzungen war im Auftrag des ENSI an die Werke /14/ nicht gefordert. Die von den Werken gelieferten Daten enthalten aber Anhaltspunkte dafür, dass im Fall von Kernschadensunfällen und grösseren Undichtigkeiten der letzten Barriere mehrere Freisetzungen innerhalb weniger Tage nach Unfalleintritt stattfinden können, falls keine Massnahmen zur Eindämmung des Kernschmelzunfalls und zur Wiederherstellung der Integrität der letzten Barriere oder Linderung der Freisetzung gelingen.

Andererseits zeigt der Fukushima-Unfall, dass selbst nach der Einwirkung einer extremen Naturkatastrophe und ungenügender Notfallvorbereitung nach einiger Zeit erfolgreich Gegenmassnahmen ergriffen werden können. Das ENSI geht aufgrund des hohen Niveaus der Vorbereitung der Schweizer Werke (Notfallorganisation und vorbereitete SAMG) davon aus, dass signifikante Freisetzungen über 48 Stunden hinaus bei den Schweizer Anlagen nur in Extremfällen denkbar sind.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Es wird deshalb vorgeschlagen, für die Freisetzungsdauer des Referenzszenarios ein Intervall von zwei Stunden bis 48 Stunden festzulegen.

2.5.2 Radiologische Konsequenzen

Für die im Unterkapitel 2.5.1 ermittelten Referenzszenarien A2 und A3 sowie für grössere Quellterme werden die radiologischen Konsequenzen mit zwei unterschiedlichen Methoden ermittelt. Die Methoden sind im Unterkapitel 2.3.2 „Modellierung der radiologischen Konsequenzen“ beschrieben.

2.5.2.1. DOSE-Berechnungen

Als Ergebnisse der Berechnungen der akkumulierten Dosis werden folgende Werte dargestellt und diskutiert:

- Effektivdosis nach zwei Tagen (Erwachsene)
- Schilddrüsendosis infolge Inhalation von Iod nach zwei Tagen (Erwachsene)

Die Berechnungen wurden für die Referenzquellterme A2 und A3 sowie mit zehnfach, hundertfach und tausendfach höheren Cäsium- und Iod-Emissionen durchgeführt. Hundertfach höhere Cäsium- und Iod-Emissionen entsprechen 60% des Quellterms in Fukushima, tausendfach höhere Emissionen dem sechsfachen des Fukushima-Quellterms. Die Rechnungen wurden jeweils mit denselben Randbedingungen durchgeführt. Zu den Randbedingungen gehören u.a. der ungeschützte Aufenthalt im Freien sowie der Ansatz einer mittleren Wetterlage, wie in Unterkapitel 2.1.1.4 beschrieben.

Die Berechnungsergebnisse sind im Anhang 6 dargestellt. Die sehr konservativen Annahmen des Programms DOSE (gemäss ENSI-Richtlinie G14) führen dazu, dass die resultierenden Dosen systematisch überschätzt werden. So werden in Anhang 6 Abb. 1 die innert zwei Tagen akkumulierten Effektivdosen in Abhängigkeit vom Abstand von der Quelle dargestellt. Quellterme in der Grössenordnung Fukushima würden demnach in vier km Distanz von der Quelle innert zwei Tagen zu Effektivdosen von 1000 mSv führen. Dosisleistungen, die für zwei Tage aufintegriert zu solch hohen Dosen führen, wurden in Fukushima aber nur vereinzelt und auf wenige Stunden begrenzt auf dem Werksgelände, jedoch nicht in grösserem Abstand von der Anlage gemessen (vergleiche hierzu Abb. 1 in diesem Bericht)

Wie Abb. 1 des Anhangs 6 zeigt, unterscheiden sich die Szenarien A2 und A3 vor allem bei Abständen kleiner fünf Kilometer zur Quelle. Eine Person würde beim ungeschützten Aufenthalt im Freien beim Szenario A3 im Abstand von drei Kilometern eine Dosis von ca. 75 mSv (Szenario A2 ca. 50 mSv) und im Abstand von 20 km etwa acht mSv (Szenario A2 ca. 7 mSv) empfangen. Die Effektivdosen für Quellterme in der Grössenordnung von Fukushima sind erwartungsgemäss erheblich höher. Selbst in 20 km Entfernung von der Quelle von der Quelle würden innert zwei Tagen ungeschützten Aufenthalts im Freien ca. 100 mSv akkumuliert werden.

Als weitere Grösse wird in Abb. 2 des Anhangs 6 die Schilddrüsendosis für Kleinkinder als am stärksten betroffene Gruppe bei ungeschütztem Aufenthalt im Freien dargestellt. Massnahmen der Iodprophylaxe gemäss DMK wären demgemäss beim Quellterm A2 nicht erforderlich. Beim Quellterm



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-_____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

A3 wären Massnahmen zur Iodprophylaxe erforderlich, das betroffene Gebiet für die Iodprophylaxe würde sich auf weniger als 8 km Radius um die Quelle beschränken. Erheblich grössere (und unwahrscheinlichere) Quellterme in der Grössenordnung Fukushima würden Massnahmen zur Iodprophylaxe in einem Radius von 100 km um die Quelle erfordern.

Die Wetterverhältnisse haben Einfluss auf die radiologischen Auswirkungen. Zur Quantifizierung des Einflusses wurden sechs verschiedene Modellwetterlagen (Beschreibung am Ende des Anhangs 6) bei konstantem Quellterm A3 variiert. Die Abbildungen 3 und 4 im Anhang 6 zeigen, dass bei stabilen Wetterlagen sowohl bei der Effektivdosis als auch bei der Schilddrüsendosis höhere Dosen als bei neutralen und instabilen Wetterverhältnisse zu erwarten sind. Bei stabilen Wetterlagen kann, wie Abb. 3 zeigt, ausserhalb der Zonen 1 und 2 die Notfallmassnahme geschützter Aufenthalt gemäss DMK erforderlich werden. Massnahmen der Iodprophylaxe sind hingegen bei einem Quellterm A3 auf die Abmessungen der Zonen 1 und 2 beschränkt. Instabile Wetterlagen führen zu niedrigeren Dosen als die berechneten Mittelwerte, welche eine mittlere Wetterlage repräsentieren.

2.5.2.2. ADPIC-Rechnungen

Ergänzend zu den DOSE-Rechnungen wurde ein umfangreiches Programm von Simulationsrechnungen mit dem Code ADPIC durchgeführt. Die Rechnungen dienten vor allem der Quantifizierung betroffener Gebiete ausserhalb der Notfallzonen 1 und 2, bei denen aufgrund der Strahlenbelastung Schutzmassnahmen für die Bevölkerung ergriffen werden müssten. Die Ergebnisse sind im Anhang 6 dokumentiert.

Aus den Analyseergebnissen ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- **Gebiete mit Effektivdosis über 100 mSv:** Bei dieser prognostizierten Effektivdosis wäre zu entscheiden, ob eine vorsorgliche Evakuierung oder der geschützte Aufenthalt anzuordnen ist.

Die Häufigkeit von Gebieten, bei denen Effektivdosen grösser 100 mSv ausserhalb einer Abwindistanz von 20 km eintreten können, ist für die Quellterme A2 und A3 praktisch Null. Die Fläche der Gebiete wäre für die Quellterme A2 und A3 kleiner 1 km². Nur bei grösseren Quelltermen ergeben sich entfernungsabhängig grössere Gebiete. Die Grösse dieser Gebiete liegt bei einem Quellterm mit Iod- und Cäsiumfreisetzung mit dem Hundertfachen des A3-Quellterms bezogen auf die Fläche der Zonen 1 und 2 im niedrigen Prozentbereich (dies entspricht einer Maximalfläche von ca. 40 km²).

- **Gebiete mit Effektivdosis über 10 mSv:** Bei dieser prognostizierten Effektivdosis wäre der geschützte Aufenthalt anzuordnen.

Betroffene Gebiete ausserhalb der Zonen 1 und 2, bei denen Effektivdosen grösser 10 mSv eintreten können, sind bei allen untersuchten Quelltermen feststellbar. Ihre Häufigkeit ist abhängig vom Quellterm und der Abwindistanz. Bei den Quelltermen A2 und A3 ist die Reichweite betroffener Gebiete auf maximal 40 km begrenzt. Bei grösseren Quelltermen kann es ausserhalb von 40 km Abwindistanz betroffene Gebiete geben. Die Grösse von Gebieten mit Effektivdosen von 10 mSv liegt bei den Szenarien A2 und A3 bezogen auf die Fläche der



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU// ENSI-AN-_____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Zonen 1 und 2 im niedrigen Prozentbereich (dies entspricht einer Maximalfläche von ca. 25 km²). Auch ein Quellterm mit Iod- und Cäsiumfreisetzung von zehnmal dem A3-Quellterm würde maximal zu einer betroffenen Fläche von ca. 40 km² führen. Nur ein noch grösserer Quellterm würde maximal eine Fläche von 200 km² betreffen.

- **Gebiete mit Schilddrüsendosis über 50 mSv:** Bei dieser prognostizierten Organdosis wäre die Einnahme von Kaliumiodid-Tabletten anzuordnen.

Die Häufigkeit von Gebieten, bei denen Schilddrüsendosen grösser 50 mSv ausserhalb der Abmessungen der Zonen 1 und 2 eintreten können, ist für die Quellterme A2 und A3 praktisch Null. Die Fläche der Gebiete wäre für die Quellterme A2 und A3 kleiner 1 km². Nur bei grösseren Quelltermen ergeben sich entfernungsabhängig grössere betroffene Gebiete. Bei einem Quellterm mit Iod- und Cäsiumfreisetzung vom Zehnfachen des A3-Quellterms wären maximal bis 40 km Abwinddistanz Gebiete betroffen. Die Grösse dieser Gebiete liegt bei einem Quellterm mit Iod- und Cäsiumfreisetzung mit dem Zehnfachen des A3-Quellterms bezogen auf die Fläche der Zonen 1 und 2 im niedrigen Prozentbereich (dies entspricht einer Maximalfläche von ca. 25 km²). Nur bei einem Quellterm mit Iod- und Cäsiumfreisetzung mit dem Hundertfachen des A3-Quellterms würde maximal eine Fläche von 150 km² betroffen sein.

Schlussfolgernd ergibt sich, dass die betroffenen Gebiete mit Erfordernis für Schutzmassnahmen bei den Referenzszenarien A2 und A3 weitgehend auf das Gebiet der Zonen 1 und 2 beschränkt bleiben. Betroffene Gebiete grösser 1 km² sind nur für Effektdosen im Bereich 10 mSv zu erwarten. Eine Iodprophylaxe wäre ausserhalb der Zonen 1 und 2 nicht erforderlich.

Nur extreme Quellterme (Hundertfacher Quellterm A3 für Iod und Cäsium) führen zu grossen betroffenen Gebieten ausserhalb der Zonen 1 und 2. Mit 20% Wahrscheinlichkeit können sogar ausserhalb von 40 km Abwinddistanz Gebiete betroffen sein.

2.6 Beiträge der involvierten Notfallpartner

Dieses Kapitel wird nach Eingang der Kommentare der AG-Mitglieder erstellt, Fertigstellung im Februar 2013.

2.7 Festlegung und Beschreibung der Referenzszenarien

Die Überprüfung der Referenzszenarien beschäftigte sich mit den Merkmalen Quellterm, Freisetzungsbeginn und -dauer sowie radiologische Konsequenzen. Die Überprüfung erfolgte anhand der Schweizerischen Gesetzgebung, internationaler Standards, den Erkenntnissen aus dem Reaktorunfall in Fukushima und den Probabilistischen Sicherheitsanalysen der Schweizer Kernkraftwerke. Aus den vorhergehenden Untersuchungen ergeben sich für die Referenzszenarien folgende Erkenntnisse:



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-_____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

- Die Staffelung der Referenzszenarien A1, A2 und A3 berücksichtigt die möglichen Entwicklungen von Störfällen in Kernkraftwerken und sollte beibehalten werden.
- Die Szenarien A1 (ohne Kernschaden) und A2 (Kernschaden mit gefilterter Containmentdruckentlastung) decken das Gros der zu erwartenden Störfälle ab. Die Merkmale dieser Szenarien (Tabelle 2) sollten beibehalten werden.
- Das Szenario A3 (Kernschaden mit ungefilterter Abgabe) ist unter den Kernschadensunfällen bereits ein Extremereignis, welches vor allem durch externe Einwirkungen hervorgerufen werden kann.
- Der vorgeschlagene Quellterm für das Szenario A3 entspricht dem Quellterm des Szenarios A3 für das Notfallschutzkonzept 2006. Der Quellterm A3 berücksichtigt alle auslösenden Ereignisse einschliesslich starker Erdbeben, die zu Unfallszenarien mit einer Summenhäufigkeit grösser einmal in Hunderttausend Jahren führen können. Damit wird den besonderen Risiken der Kernenergie gegenüber anderen ABCN-Risiken Rechnung getragen. Andererseits wird vermieden, dass das Referenzszenario auf auslösenden externen Ereignissen fusst, welche an sich verheerende Auswirkungen auf grosse Teile der Schweiz hätten, namentlich starker Erdbeben.
- Ein Quellterm der Grössenordnung Fukushima ist prinzipiell bei einem Schweizer Werk nicht auszuschliessen, aber weit weniger wahrscheinlich als der empfohlene Quellterm A3. Dies ist bei den Schweizer Werken zurückzuführen auf die solide Bauweise der Containments, sicherheitstechnische Nachrüstungen und spezielle Massnahmen zur Linderung der Konsequenzen von Kernschadensunfällen.
- Der Freisetzungsbeginn des Szenarios A3 verbleibt als Planungsgrösse bei frühestens sechs Stunden. Die Häufigkeit von früheren Freisetzungen grosser Quellterme (\geq A3-Quellterm) ist kleiner als einmal in Hunderttausend Jahren. Für die Bewältigung früher Freisetzungen sieht das ENSI dennoch Handlungsbedarf, der in den Massnahmenvorschlägen (Kapitel 2.8) erläutert wird.
- Die Freisetzungsdauer des A3-Szenarios wird neu auf ein Intervall von 2 bis 48 Stunden festgelegt. Die Abläufe in Fukushima und Simulationen von Kernschmelzunfällen für Schweizer Anlagen zeigen, dass die bisher festgelegten zwei Stunden möglich, aber ebenso auch deutlich überschritten werden können. Die Begrenzung auf 48 Stunden beruht auf qualitativen Überlegungen, dass mittels Severe Accident Management Massnahmen irgendwann das Fortschreiten des Kernschadens gestoppt und damit weitere Freisetzungen minimiert werden.
- Das Erfordernis der Schutzmassnahme „Geschützter Aufenthalt“ ausserhalb der Zonen 1 und 2 ist bei den Szenarien A2 und A3 in seltenen Fällen und zudem sehr kleinen Gebieten, gegeben. Die Schutzmassnahmen „Iodprophylaxe“ und „vorsorgliche Evakuierung“ sind ausserhalb der Zonen 1 und 2 für die Referenzszenarien A2 und A3 nicht erforderlich.

Aus den o.g. Erkenntnissen ergeben sich die überarbeiteten Daten der Referenzszenarien aus der folgenden Tabelle 6. Änderungen gegenüber dem Notfallschutzkonzept 2006 sind kursiv dargestellt.

Tabelle 6: Merkmale der Referenzszenarien 2013

Merkmal	Szenario A1	Szenario A2	Szenario A3
---------	-------------	-------------	-------------



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

Freisetzungsbeginn		0 Stunden	6 Stunden	6 Stunden
Freisetzungsdauer		8 Stunden	2 Stunden	2 - 48 Stunden
Quellterm	Edelgase	1E+16 Bq (1E-02)	3E+18 Bq (1E+00)	3E+18 Bq (1E+00)
	Iod	1E+12 Bq (2E-07)	1E+14 Bq (2E-05)	1E+15 Bq (2E-04)
	Cäsium	1E+11 Bq (1.4E-07)	1E+13 Bq (1.4E-05)	1E+15 Bq (1.4E-04)

Die Zahlenwerte in Klammern hinter den Quelltermen sind die Freisetzungssanteile bezogen auf das Kerninventar eines Reaktors mit einer thermischen Leistung von ca. 1000 MW.

Die radiologischen Konsequenzen ergeben sich aus den Anhängen 5 und 6.

ENTWURF



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PubliDocs:
Titel / Sachbearbeiter:

Intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

2.8 Handlungsbedarf

Aus dem Kapitel 2.5 lässt sich ableiten, dass bei Ansatz des Szenarios A3 und ungünstigen Wetterbedingungen ausserhalb der heutigen Zonen 1 und 2 Notfallschutzmassnahmen erforderlich sein können. Ebenso sind gerade bei Kernschadensunfällen mit ungefilterter Freisetzung Szenarien mit schneller Freisetzung (Freisetzungszeitpunkt < 6 Stunden) denkbar. werden folgende Massnahmen vorgeschlagen:

- (1) Das Szenario A3 ist ein repräsentatives Szenario für Kernschmelzunfälle mit ungefilterter Freisetzung. Es deckt die Unfallfolgen von Kernschmelzunfällen mit gefilterter Druckentlastung konservativ ab. Deshalb sollte das Szenario A3 anstatt des Szenarios A2 in den Gefahrenkatalog der ABCN-Ereignisse als Referenzszenario aufgenommen werden.
- (2) Die Abläufe im Notfallschutz erfordern eine Vorphase von sechs Stunden bis zur Umsetzung von ersten Schutzmassnahmen /3/. Die Entscheidungen über Schutzmassnahmen werden dabei u.a. gestützt auf Dosisprognosen vorgenommen. Frühere Freisetzungen sind sehr unwahrscheinlich, aber dennoch denkbar. Es wird vorgeschlagen, die Entscheidungsabläufe im Notfallschutz für genau definierte Ereignisse, die zu frühen Freisetzungen führen können, anzupassen. Hierzu könnte das Modell des „Schnellen Störfalls“ um Szenarien mit grossen Freisetzungen erweitert werden. Für schnelle Entscheidungen müssten ereignisbezogene und anlagezustandsbezogene Kriterien verwendet werden. Für solche Entscheidungen bieten sich sog. Emergency Action Levels an, wie sie der Schweiz im Rahmen der IRRS-Mission beim ENSI 2011 (Recommendation) /15/ und neuen IAEA-Publikationen /16/ zur Implementierung empfohlen wurden. Die Thematik ist den Massnahmen 28 und 37 des IDA-NOMEX Berichtes /1/ zuzuordnen.
- (3) Bei einer Freisetzung des Referenzquellterms A3 können aufgrund der Wetterlage ausserhalb der Zonen 1 und 2 kleinere Gebiete betroffen sein, in denen gemäss DMK Schutzmassnahmen anzuordnen wären. Aus Sicht der IAEA (in Überarbeitung befindliche Requirements GS-R-2) sollten für Gebiete ausserhalb der Planungszonen Massnahmen zur Risikooptimierung stochastischer Strahlenschäden bald („early measure“) nach der Freisetzung, d.h. innerhalb von Tagen durchgeführt werden. Das ENSI schlägt vor, angemessene Vorkehrungen für solche Fälle zu erarbeiten.
- (4) Der Einfluss von länger andauernden Freisetzungen auf die radiologischen Konsequenzen konnte bis Ende 2012 nicht untersucht werden. Das ENSI wird diesen Aspekt zeitnah mit einem Programm von ADPIC-Simulationen untersuchen.
- (5) Die Referenzszenarien sollten künftig im Abstand von fünf Jahren auf Aktualität überprüft werden.

3 Überprüfung des Zonenkonzepts

Dieses Kapitel 3 wird gemäss Projektplan zwischen Januar und April 2013 erarbeitet.



Klassifizierung: intern
Aktenzeichen/Publidocs: 10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Titel / Sachbearbeiter: Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

4 Abkürzungen

CDF	Core Damage Frequency
GRS	Gesellschaft für Reaktorsicherheit
ICRP	International Commission for Radiological Protection
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Frankreich
JAL	Jahresabgabegrenzen der Werke für die Abgabe radioaktiver Stoffe
LERF	Large Early Release Frequency
LOCA	Kühlmittelverluststörfall (Loss of Coolant Accident)
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
RABE	Rasche Alarmierung der Bevölkerung
RDB	Reaktordruckbehälter
SAMG	Severe Accident Management Guidance

5 Referenzen

- /1/ Bericht der interdepartementalen Arbeitsgruppe IDA NOMEX „Überprüfung der Notfallschutzmassnahmen in der Schweiz“ vom 22. Juni 2012
- /2/ HSK-Publikation „Referenzszenarien für den Notfallschutz in der Umgebung der schweizerischen Kernkraftwerke“, Ausgabe 2, Oktober 2006
- /3/ KomABC „Konzept für den Notfallschutz in der Umgebung der Kernanlagen“ vom 01. Januar 2006
- /4/ Technisches ABC-Schutzkonzept Labor Spiez
- /5/ „A European Manual for 'Off-site Emergency Planning and Response to Nuclear Accidents' Belgian Nuclear Research Centre (SCK•CEN) Dezember 2002
- /6/ ICRP, 2009. Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39
- /7/ IAEA GS-G-2.1 „Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency“, 2007
- /8/ INSAG-12 „Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants“ 75-INSAG-3 Rev. 1



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publidocs:
Titel / Sachbearbeiter:

intern
10KEX.APFUKU/ / ENSI-AN-____
Überprüfung der Referenzszenarien und des Zonenkonzepts / TEJ

- /9/ „Probabilistic Risk Criteria and Safety Goals“ JT03276306 NEA/CSNI
- /10/ „Fukushima Nuclear Accident Analysis Report“ TEPCO, 20.06.2012
- /11/ ENSI-Publikation „Lessons Fukushima 11032011 – Lessons learned und Prüfpunkte aus den kerntechnischen Unfällen in Fukushima“ vom 31.10.2011
- /12/ IDA NOMEX; Stellungnahme der eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität (KSR) vom 31.08.2012 zum interdepartementalen Bericht vom 22. Juni 2012
- /13/ ENSI-Publikation „Lessons Fukushima 11032011 – Radiologische Auswirkungen aus den kerntechnischen Unfällen in Fukushima“ vom 30.01.2012
- /14/ ENSI-Schreiben „Überprüfung der Referenzszenarien für den Notfallschutz“ vom 06.12.2011
- /15/ Integrated Regulatory Review Service (Irrs) Mission To Switzerland, 20.11. bis 02.012.2011, IAEA-NS-IRRS-2011/11
- /16/ IAEA GSG2 „Criteria for use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency“, 2011
- /AP2013/ Aktionsplan Fuku 2013 ENSI

6 Anhänge

- Anhang 1 Projektphasen und Meilensteine
- Anhang 2 Analyse der Freisetzungsszenarien
- Anhang 3 Eintrittshäufigkeiten von Unfallszenarien mit grossen Freisetzungen
- Anhang 4 Eintrittshäufigkeiten von frühen Freisetzungen
- Anhang 5 Radiologische Konsequenzen der Referenzszenarien – Berechnungen mit DOSE
- Anhang 6 Radiologische Konsequenzen der Referenzszenarien – Berechnungen mit ADPIC

Projektphasen und Meilensteine

Projektphase	Beschreibung	Meilenstein	Arbeitsblöcke	Verantw.	Endtermin
1	Vorbereitungsphase	Betreiberdokumente	Vorgespräche mit Bundesstellen, Kantonen und Werken	RUR	27.09.2012
			Anlagenspezifische Ermittlung der Überschreitenshäufigkeiten der Nuklidgruppen und Freisetzungsbeginne	Werke	30.09.2012
2	Grundlagen für Referenzszenario		Variationsrechnungen mit DOSE und ADPIC	IHP	30.10.2012
		Kick-off-Meeting AG		TEJ	05.11.2012
			Bewertungsmassstäbe, Abschneide- und Ausschlusskriterien	TEJ	30.11.2012
			Prüfung und Bewertung der Betreiberdokumente hinsichtlich Überschreitenshäufigkeiten und Freisetzungsbeginn	HAR	10.12.2012
		Berichtsentwurf Referenzszenario	Darstellung des Referenzszenarios mit technischer Begründung, den radiologischen Konsequenzen und den abzuleitenden Notfallschutzmassnahmen	TEJ	21.12.2012
3	Festlegung Referenzszenario	2. AG-Meeting		TEJ	15.01.2012
			Vernehmlassung Bericht Referenzszenario durch AG-Mitglieder	TEJ	30.01.2013
			Vernehmlassungsbericht	TEJ	15.02.2013
		Bericht Referenzszenario	Finalisierung Bericht Referenzszenario	TEJ	28.02.2013
		Sitzung BST ABCN		--	21.03.2013
4	Analyse der Zonenplanung	Berichtsentwurf Zonenkonzept	Festlegung der charakterisierenden Merkmale der einzelnen Zonen, Ermittlung der Zonengrössen entsprechend den Einflussfaktoren inklusive Referenzszenario	TEJ	15.04.2013
		3. AG-Meeting		RUR	03.05.2013
			Vernehmlassung Bericht Zonenkonzept durch AG-Mitglieder	RUR	15.05.2013
5	Vorschlag für Zonenplanung	Bericht Zonenkonzept ENSI-Brief an BST ABCN	Vernehmlassungsbericht	RUR	31.05.2013
			Berichtsfinalisierung	RUR	14.06.2013
			Vorschlag für Anpassung NV	RUR	28.06.2013

Referenzszenarien für das Notfallschutzkonzept 2006

In diesem Anhang werden die wesentlichen Überlegungen der damaligen HSK zur Definition der Referenzszenarien für das Notfallschutzkonzept 2006 wiedergegeben.

1. Methodik und Annahmen

Für die Herleitung der Quellterme und des zeitlichen Ablaufs wurde folgendes Vorgehen gewählt:

Für jedes schweizerische Kernkraftwerk wurden realistische Quellterme bestimmt für einen Auslegungsstörfall, im Speziellen einen grossen LOCA, sowie für zwei Kernschadensunfälle. Bei den Kernschadensunfällen wurden ein Kernschmelzen und ein auslegungsgemässes Funktionieren des Containments mit Freisetzung über die gefilterte Containmentdruckentlastung respektive ein Versagen des Containments mit ungefilterter Freisetzung unterstellt.

Für jedes dieser Szenarien wurden anhand der Stufe-1-PSA (siehe Kap. 2.3.1) der Kraftwerke respektive der HSK-Überprüfungen wahrscheinliche Auslöser identifiziert. Mit deterministischen Rechnungen wurde der Unfallablauf abgeschätzt, wobei bestimmte Accident Management Massnahmen berücksichtigt wurden. Mit Hilfe dieser Rechnungen wurden auch die Quellterme bestimmt, indem aus den kraftwerksspezifischen Quelltermen geeignete, umhüllende Werte abgeleitet wurden. Es muss betont werden, dass bei der Herleitung der Quellterme für realistische Szenarien davon ausgegangen wurde, dass trotz des Einsetzens von Kernschmelzen der wahrscheinlichste Unfallverlauf stattfindet, d.h. die Unfall (SAMG) - Prozeduren zeigen ihre volle Wirksamkeit, es gelingt ein Einspeisesystem verfügbar zu machen und das Kernschmelzen wird nach einer gewissen Zeit beendet. Diese Annahmen wurden zusätzlich zu den PSA-Studien in den untersuchten Abläufen angewendet.

2. Zeitlicher Verlauf von Kernschadensunfällen

In den folgenden Betrachtungen wird vorausgesetzt, dass keine Schädigung des Reaktorcontainments durch das auslösende Ereignis erfolgte [2].

Ein Störfall tritt ein und eskaliert weiter: Das Hauptkühlsystem steht nicht mehr zur Verfügung und weitere Sicherheits- und Notkühlsysteme fallen aus. Während dieser Phase ist der grösste Teil der Radioaktivität noch im Brennstoff eingeschlossen. Im weiteren Verlauf kann die Nachzerfallswärme nicht ausreichend aus dem Reaktorkern abgeführt werden: Der Kern heizt sich auf. Ab diesem Zeitpunkt muss mit dem Versagen der Brennstoff-Hüllrohre gerechnet werden und leichtflüchtige Spaltprodukte gelangen in das Primärkühlsystem. Spätestens zu diesem Zeitpunkt werden die technischen oder radiologischen Kriterien für die RABE-Warnung erreicht.

Kann die Kernkühlung wieder hergestellt werden, wird der Störfall ohne schweren Konsequenzen für die Umgebung verlaufen. Kann die Kernkühlung nicht sichergestellt werden, heizt sich der Kern weiter auf und beginnt zu schmelzen. In der Folge nimmt der Reaktorkühlkreislauf Schaden und grosse Mengen radioaktiver Stoffe gelangen in das Containment. Etwa zu diesem Zeitpunkt werden die technischen oder radiologischen Kriterien für die Auslösung des „Allgemeinen Alarms - Schutzmassnahmen vorbereiten“

erreicht sein. Zu diesem Zeitpunkt ist noch keine wesentliche Menge an radioaktiven Stoffen in die Umgebung gelangt.

Im folgenden Unfallverlauf baut sich im Containment Druck auf. Solange das Containment intakt ist, bewegen sich die radioaktiven Freisetzungen auf dem Niveau, das im Rahmen der Referenzszenarien für die Notfallplanung nicht weiter berücksichtigt wird. Es stehen nun zwei mögliche Entwicklungen offen: Entweder es wird eine gefilterte Druckentlastung zum Schutz des Containments eingeleitet (Szenario A2) oder aber es entstehen aufgrund des Druckaufbaus deutlich erhöhte Leckagen am Containment, die teilweise ungefiltert in die Umgebung gelangen (Szenario A3). Die Dauer der Freisetzung ist hauptsächlich davon abhängig, wie sich der Druck im Containment entwickelt.

Für die Referenzszenarien wurden, basierend auf den deterministischen Störfallrechnungen, für den Startzeitpunkt respektive die Dauer der radioaktiven Freisetzungen pauschal die Werte in Tabelle 1 angesetzt. Dabei ist zu bemerken, dass sowohl rasche wie auch langsamere Unfallabläufe möglich sind, je nachdem, welche Systeme noch zur Verfügung stehen und welche Accident Management Massnahmen vom betroffenen Werk zur Unfallmilderung umgesetzt werden können.

Tabelle 1: Merkmale der Referenzszenarien für das Notfallschutzkonzept 2006

	Szenario A1 ohne Kernbeschädigung	Szenario A2 Kernbeschädigung / Containmentventing	Szenario A3 Kernbeschädigung/ ungefilterte Abgaben
Beginn von geringen Freisetzungen (< 1 JAL)	nach 0 Stunden	nach 0 Stunden	nach 0 Stunden
Freisetzungsbeginn (Beginn von Freisetzungen > 1 JAL)	nach 0 Stunden	nach 6 Stunden	nach 6 Stunden
Freisetzungsdauer	8 Stunden	2 Stunden	2 Stunden

3. Freisetzungssanteile der charakteristischen Nuklidgruppen

Bei der Festlegung des Umfangs der Kernbeschädigung wurde unterstellt, dass bei einem realistischen Störfall die Accident Management Massnahmen bereits im Verlauf der Unfallsequenz greifen, die Kernkühlung wieder hergestellt werden kann und damit nicht der ganze Kern beschädigt wird.

Konkret unterstellte man für das Szenario A1 ein Versagen von 10 % der Hüllrohre und damit verbunden eine Freisetzung des Inventars an radioaktiven Stoffen aus dem Hüllrohrspalt der betroffenen Brennstäbe. Im Falle der beiden Szenarien A2 und A3 ging man davon aus, dass rund 10 % - 20 % des Kerns schwer betroffen sind (KKB und KKM: 100 %) und somit rund 30 % der radioaktiven Edelgase des Kerninventars, bezogen auf eine Anlage mit einer thermischen Leistung von 3000 MW, aus dem Brennstoff entweichen und für die Freisetzung in die Umgebung zur Verfügung stehen. Begründet wurde diese Annahme damit, dass man die Wirkung von Accident Management Massnahmen berücksichtigen darf und dass diese ein Kernschmelzen beenden können.

Für die Herleitung der Referenzszenarien wurde weiter unterstellt, dass die restlichen Nuklide, die aus dem betroffenen Brennstoff freigesetzt werden, in das Containment gelangen. Solch eine Entwicklung ist z.B. wegen offen stehender Druckentlastungsventile oder anderer Öffnungen im Reaktorkühlkreislauf vorstellbar. Abgesehen von den Edelgasen unterliegen die freigesetzten Radionuklide danach physikalischen und chemischen Phänomenen wie Sedimentation, Ablagerungen und chemischen Umwandlungen, wodurch sich die Menge an Radioaktivität, die im Containment für eine Freisetzung an die Umgebung zur Verfügung steht, weiter reduziert. Die Wirkung dieser Abscheide-Phänomene wurde in den Szenarien nicht anlagenspezifisch ermittelt, sondern es wurde mit repräsentativen Mittelwerten für alle Anlagen gerechnet. Für die Abscheidewirkung der gefilterten Containmentdruckentlastung wurden die Werte gemäss der Richtlinie R-40 unterstellt, in der Mindestrückhaltefaktoren von 100 für Iod und 1000 für Aerosole angesetzt werden. Zudem unterliegen alle radioaktiven Stoffe dem radioaktiven Zerfall, wodurch ihre Menge im Containment stetig reduziert wird.

Die Freisetzung der Nuklide an die Umgebung erfolgt grundsätzlich sowohl über den Kamin als auch in Bodenhöhe: Es wird unterstellt, dass bei den Szenarien A1 und A2 ein Anteil des gesamten Massen-Stromes (und somit der Aktivität) bodennah und zehn Anteile über den Kamin freigesetzt werden. Im Szenario A3 wurde unterstellt, dass zwei Anteile des gesamten Massenstroms bodennah und ein Anteil über den Kamin in die Umgebung gelangen.

In den Szenarien A1 und A2 wurde weiter unterstellt, dass die installierten Störfall-Filteranlagen verfügbar sind und mit den in der Richtlinie HSK R-40 spezifizierten Abscheidewirkungen funktionieren. Insbesondere im Szenario A2 wurde angenommen, dass die gefilterte Containmentdruckentlastung von der Bedienmannschaft in Betrieb genommen werden kann. Im Szenario A3 hingegen ging man davon aus, dass dieses System nicht zur Verfügung bzw. wirkungslos ist und dass die Containment-Durchdringungen mit 20 x - bis 30 x Auslegungsrate lecken. Damit verlassen die radioaktiven Stoffe das Containment ungefiltert. In den Gebäuden, die das Containment umschliessen, wurden Sedimentationsvorgänge unterstellt, die Abgaben erfolgen aber ungefiltert (unter Umgehung der Störfallabluftanlagen respektive der gefilterten Containmentdruckentlastung).

4. Definition der Referenzszenarien für das Notfallschutzkonzept 2006

Aufgrund der oben aufgezeigten Untersuchungen wurden die folgenden Szenarien von der HSK vorgeschlagen:

- Szenario A1: Bildet die Auswirkungen von Störfällen ohne Kernschaden oder von schnellen Störfällen ab;
- Szenario A2: Bildet die Auswirkungen von Kernschadensunfällen bei verfügbarer Containment-Druckentlastung und intaktem Containment ab;
- Szenario A3: Bildet die Auswirkungen von Kernschadensunfällen bei Verlust der Containment-Druckentlastung und Containmentleckage (ungefilterte Freisetzungen) ab.

In der folgenden Tabelle 2 sind die radiologischen Merkmale der drei Szenarien A1 bis A3 zusammengefasst. Zusammengestellt sind die nuklidgruppenspezifischen Quellterme und die Folgedosen bei einer mittleren Wetterlage sowohl für den Rand der Zone 1 (Radius 4

km) wie auch für den Rand der Zone 2 (Radius 20 km). Aufgrund der Dosen ist erkennbar, dass die Edelgase den dosisrelevanten Expositionspfad bilden.

Aufgrund der umfangreichen sicherheitstechnischen Nachrüstungen weisen die schweizerischen Anlagen gegenüber Extremszenarien eine vergleichbare Robustheit auf. Damit können für die fünf Anlagen einheitliche, abdeckende Referenzszenarien definiert werden.

Tabelle 2: Merkmale der Referenzszenarien für das Notfallschutzkonzept 2006

	Szenario A1 ohne Kemschaden		Szenario A2¹ Kernschaden / gefilterte Containment- druckentlastung		Szenario A3 Kernschaden/ ungefilterte Abgaben	
Geltungsbereich	Relevant für Zone 1		Relevant für Zonen 1 + 2		Relevant für Zonen 1 und 2 sowie Teile der Zone 3	
Quellterm	Aktivität	Anteil am Kerninventar	Aktivität	Anteil am Kerninventar	Aktivität	Anteil am Kerninventar
Edelgase	1E+16 Bq	8E-04	3E+18 Bq	3E-01	3E+18 Bq	3E-01
Iod	1E+12 Bq	4E-08	1E+14 Bq	7E-06	1E+15 Bq	7E-05
Aerosole	1E+11 Bq	2E-09	1E+13 Bq	5E-07	1E+15 Bq	5E-05
Wolkendosis bis 48 h	Abwinddistanz					
	4 km	20 km	4 km	20 km	4 km	20 km
Effektive Dosis extern	0.33 mSv	0.01 mSv	43.1 mSv	7.2 mSv	46 mSv	7.3 mSv
Dosis Iod-Inhalation (für Kleinkinder)	0.08 mSv	0.01 mSv	13 mSv	1.4 mSv	104 mSv	15 mSv

¹ Von den drei in der Tabelle 2 aufgeführten Szenarien ist nur das Szenario A2 im Technischen ABC-Schutzkonzept des BABS /4/ berücksichtigt.

Erkenntnisse aus dem Reaktorunfall in Fukushima für die Überprüfung der Referenzszenarien

Der Reaktorunfall in Fukushima-Daiichi wurde durch ein Erdbeben am 11.03.2011 um 14:46 (Lokalzeit) (-> Referenzzeitpunkt für die in der Tabelle angegebenen Zeiten) mit anschliessendem Tsunami ausgelöst. Die im Leistungsbetrieb befindlichen Blöcke 1 bis 3 wurden automatisch abgeschaltet, die Blöcke 4 bis 6 befanden sich bereits im abgestellten Zustand. Die folgenden Betrachtungen beschäftigen sich nur mit den Ereignissen in den Blöcken 1 bis 4, da in den Blöcken 5 und 6 die Kühlung der Anlagen im Notstrombetrieb aufrechterhalten werden konnte und es zu keinen signifikanten radioaktiven Abgaben kam.

Mit dem Erdbeben ging die Fremdnetzeinspeisung vollständig verloren. Die Tsunamiwelle führte zum vollständigen Verlust der dieselgetriebenen Notstromversorgung und der Kühlmöglichkeiten zur Abfuhr der Nachzerfallswärme. In den Tabellen 3 und 4 sowie in Abb. 1 sind die wesentlichen Angaben über den Reaktorunfall zusammengestellt. Die Angaben beruhen auf dem 2012 veröffentlichten Untersuchungsbericht der TEPCO /10/.

Tabelle A1: Wichtige Ereignisse während des Reaktorunfalls in Fukushima-Daiichi /10/

	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4
Ausgangszustand vor dem Initialereignis	Leistungsbetrieb	Leistungsbetrieb	Leistungsbetrieb	Brennstoffwechsel
Kernzustand nach dem Unfall	Kernschaden (partiell) am 12.03.2011	Kernschaden (partiell) am 14.03.2011	Kernschaden (partiell) am 13.03.2011	Intakt
Erstes Venting oder Druckentlastung des Primärcontainments	12.03.2011 ca. 09:00 Uhr (Venting)	15.03.2011 Uhr ca. 06:14 Uhr (Versagen Primärcontainment)	13.03.2011 ca. 08:41 (Venting)	Kein Venting erforderlich
Zerstörung des Reaktorgebäudes durch H ₂ -Explosion	12.03.2011 ca. 15:36 Uhr	Keine massive H ₂ -Explosion, Gebäudestrukturen unversehrt, Gebäudeundichtigkeit infolge Explosion in Block 1	14.03.2011 ca. 11:01 Uhr	15.04.2011 ca. 06:14, verursacht durch überströmenden H ₂ aus Block 3

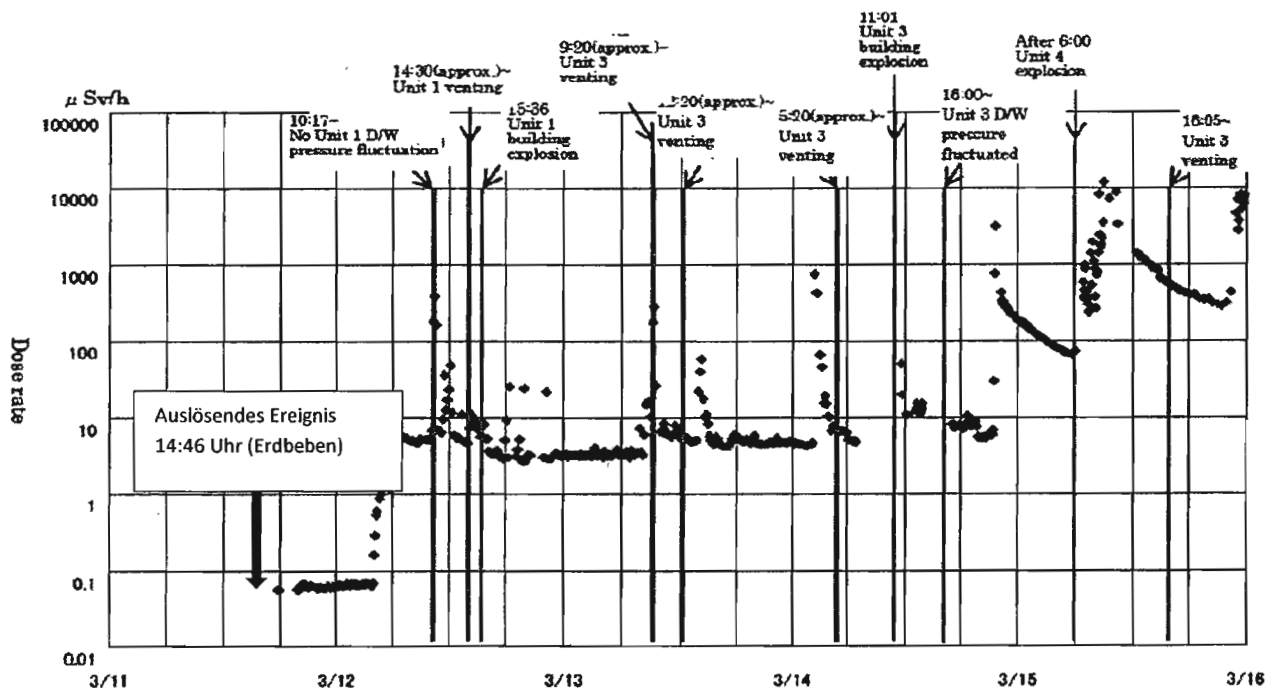


Abb. 1: Dosisleistungen am Haupttor des Kraftwerksareals Fukushima-Daiichi /10/

Tabelle A2: Zeitpunkte radioaktiver Abgaben /10/

Unit	Time/Date	Event	Release amount (PBq ^{*1})			
			Noble gas	I-131	Cs-134	Cs-137
1	After 10:00 March 12	Unclear ^{*3}	3	0.5	00.1	0.008
	After 14:00 March 12	S/C ^{*2} venting	4	0.7	0.01	0.01
	15:36 March 12	Building explosion	10	3	0.05	0.04
2	After 21:00 March 14	Unclear ^{*3}	60	40	0.9	0.6
	From 07:00 to 24:00 March 15	Building release	100	100	2	2
3	After 9:00 March 13	S/C venting	1	0.3	0.005	0.003
	After 12:00 March 13	S/C venting	0~0.04	0~0.009	0~0.0002	0~0.0001
	After 20:00 March 13	S/C venting	0~0.003	0~0.001	0~0.00002	0~0.00002
	After 06:00 March 14	S/C venting	0~0.003	0~0.001	0~0.00002	0~0.00002
	11:01 March 14	Building explosion	1	0.7	0.01	0.009
	After 16:00 March 15	S/C venting	0~0.003	0~0.001	0~0.00002	0~0.00002
	Around 02:00 March 16	S/C venting	0~0.003	0~0.001	0~0.00002	0~0.00002
	After 10:00 March 16	Building release	100	100	2	2
	After 21:00 March 17	S/C venting	0~0.003	0~0.001	0~0.00002	0~0.00002
	After 05:00 March 18	S/C venting	0~0.003	0~0.001	0~0.00002	0~0.00002
	After 11:00 March 20	S/C venting	0~0.003	0~0.001	0~0.00002	0~0.00002

^{*1} Die Aktivitätsabgaben in Tabelle 5 sind in PBq = 1E+15 Bq angegeben.

^{*2} S/C: suppression chamber

^{*3} Unklare Ursache: „The event may have been S/C venting or a building release, but it is unclear as to which.“

Die radioaktiven Abgaben sind in der folgenden Tabelle A3 zusammengestellt:

ENTWURF

Tabelle A3: Radioaktive, luftgetragene Emissionen infolge des Reaktorunfalls in Fukushima

	TEPCO (2012) [Bq]	IRSN (2012) [Bq]	NISA (2011) [Bq]	NSC (2012) [Bq]	C&L (2012) [Bq]	Kerninventar (EOC) [Bq]	Bandbreite Freisetzungs-anteil
Xe-133	--	--	--	1.1E+19	1.53 E+19	1.3 E+19 *	8.5E-01 .. 1.2E+00
Edel- gase	5E+18	2E+19	--	--	--	4E+19*	1.3 .. 5 E-01
I-131	5E+17	1.97 E+17	1.6 E+17	1.5 E+17	7.5 E+17	5.6 E+18	3E-02 .. 1.3E-01
Cs-137	1 E+16	2.10 E+16	1.5 E+16	1.2 E+16	3.67 E+16	1.3 E+18	1 .. 3 E-02

* hochgerechnet vom typischen Inventar eines SWR-Brennelementes am Zyklusende auf das Kerninventar der drei Reaktoren in Fukushima

TEPCO (2012) Estimation of radioactive release resulting from Fukushima Dai-ichi NPS accident, Hiroya SHIRAKI, 23.07.2012

IRSN (2012): „Summary of the Fukushima accident's impact on the environment in Japan, one year after the accident“, 28 February 2012

NISA (2011): Report of Japanese Government to IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety - Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations, 07.06.2011

NSC (2012) beruhend auf „Fukushima Auswirkungen des Kernkraftwerksunfalls“ Gemeinsamer Bericht des Lebensministeriums, der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, März 2012

C&L (2012): Modelling the global atmospheric transport and deposition of radionuclides from the Fukushima Dai-ichi nuclear accident“ Atmos. Chem. Phys. Discuss., 12, 24531–24555, 2012

Analyse der Freisetzungsszenarien

Die folgende Abbildung zeigt die Häufigkeitsverteilung von Freisetzungsszenarien für alle Schweizer Werke.

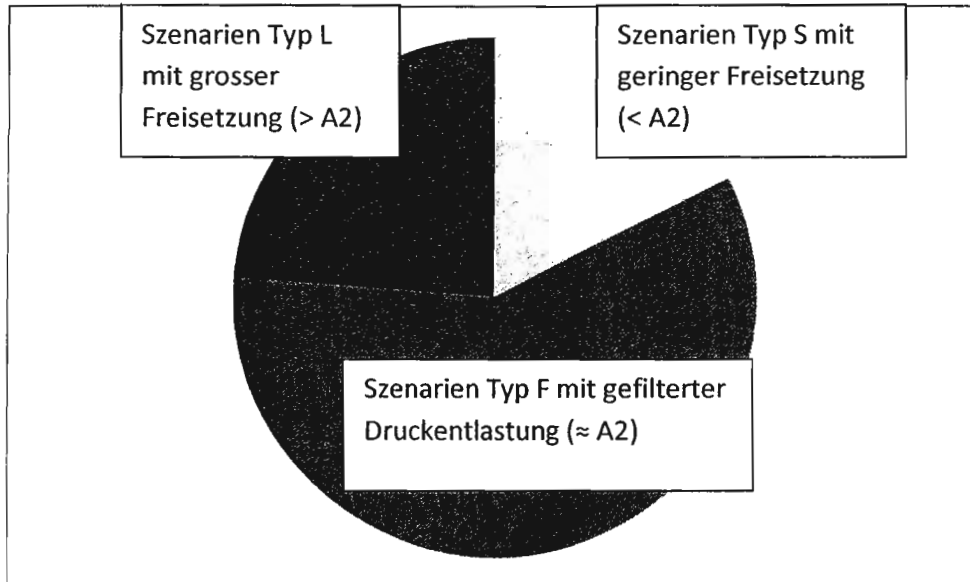


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der Freisetzungsszenarien nach Kernschadensunfällen für alle Schweizer Werke

Eintrittshäufigkeiten von Unfallszenarien mit grossen Freisetzen

Die folgenden Abbildungen zeigen die aus den PSA-Analysen abgeleiteten nuklidgruppenspezifischen Eintrittshäufigkeiten für die folgenden Quellterme

- Quellterm A2
- Quellterm A3
- Zehnfacher Quellterm gegenüber A3 für die Nuklidgruppen Cäsium und Iod
- Hundertfacher Quellterm gegenüber A3 für die Nuklidgruppen Cäsium und Iod
- Tausendfacher Quellterm gegenüber A3 für die Nuklidgruppen Cäsium und Iod

Die Abbildungen 1 und 2 stellen die Analyseergebnisse dar, wenn sämtliche auslösenden Ereignisse einschliesslich Extremerdbeben berücksichtigt werden. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die Analyseergebnisse ohne Berücksichtigung von Extremerdbeben.

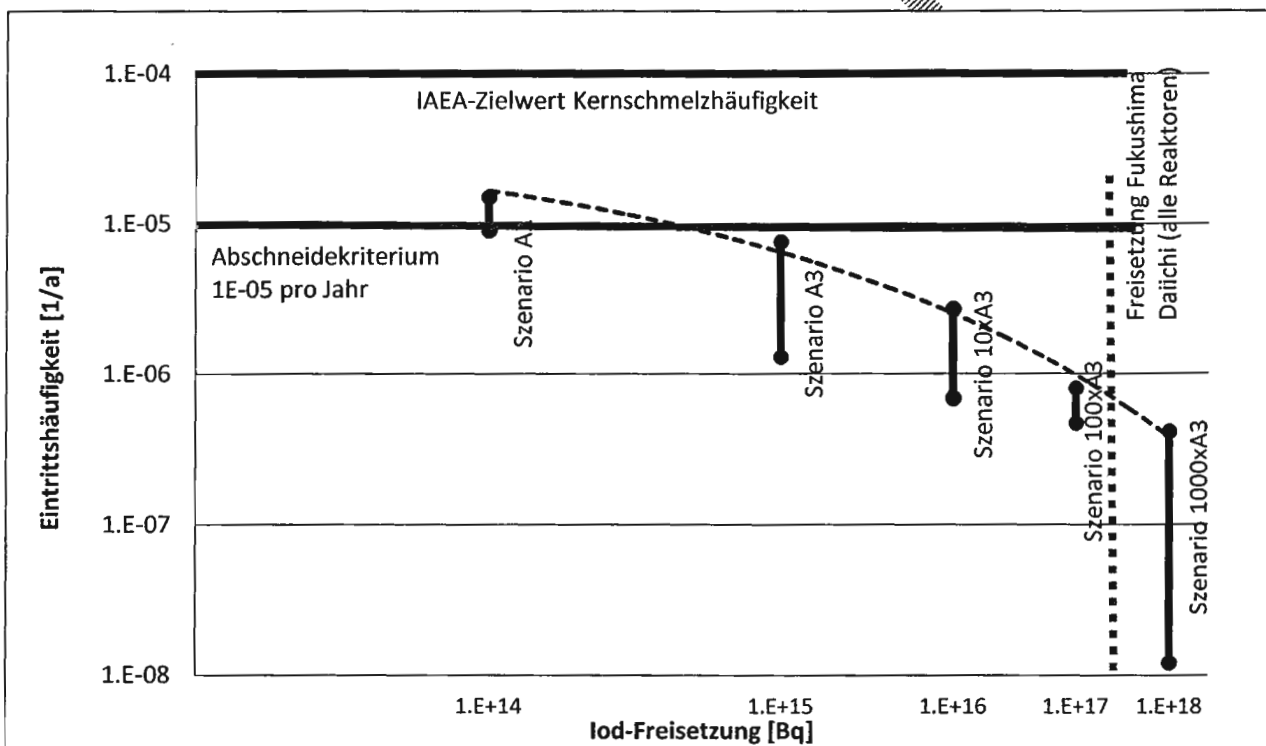


Abb. 1: Eintrittshäufigkeiten von Freisetzungsmengen der Nuklidgruppe Iod

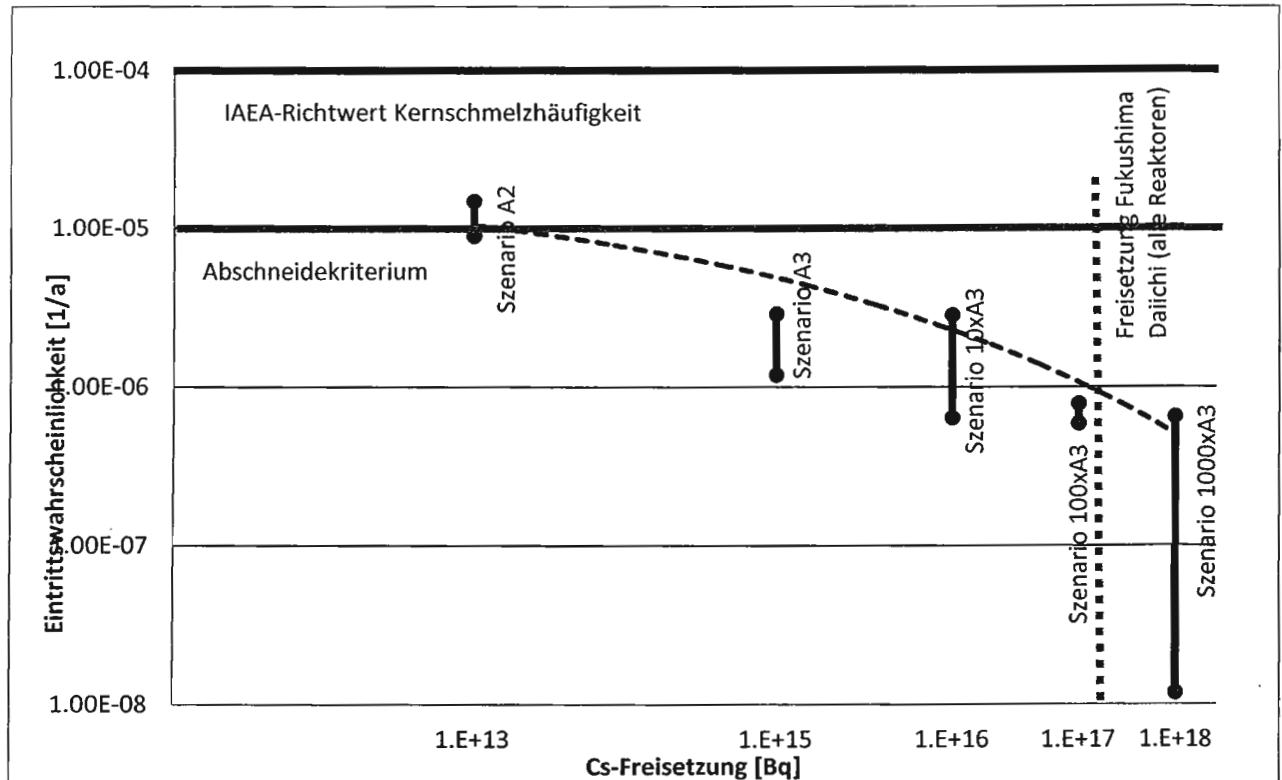


Abb. 2: Eintrittshäufigkeiten von Freisetzungsmengen der Nuklidgruppe Cäsium

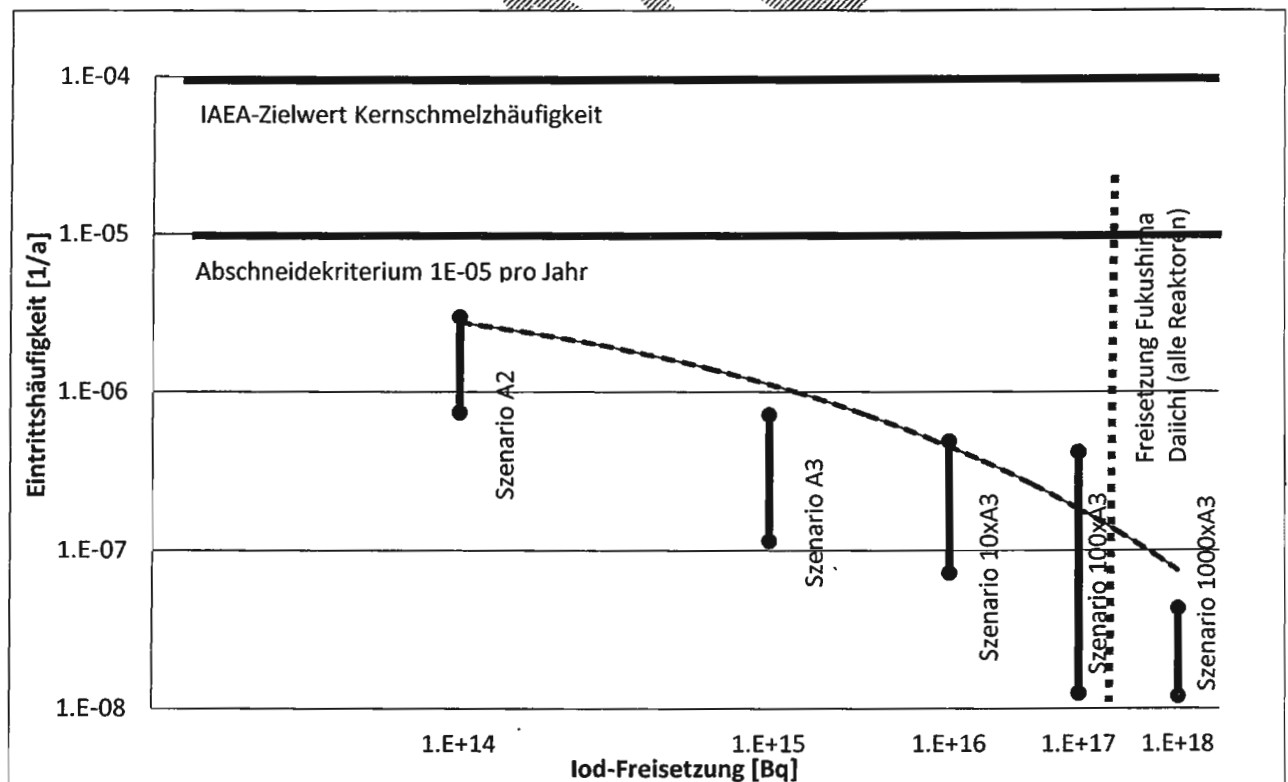


Abb. 3: Eintrittshäufigkeiten von Freisetzungsmengen der Nuklidgruppe Iod (ohne Extremerdbeben)

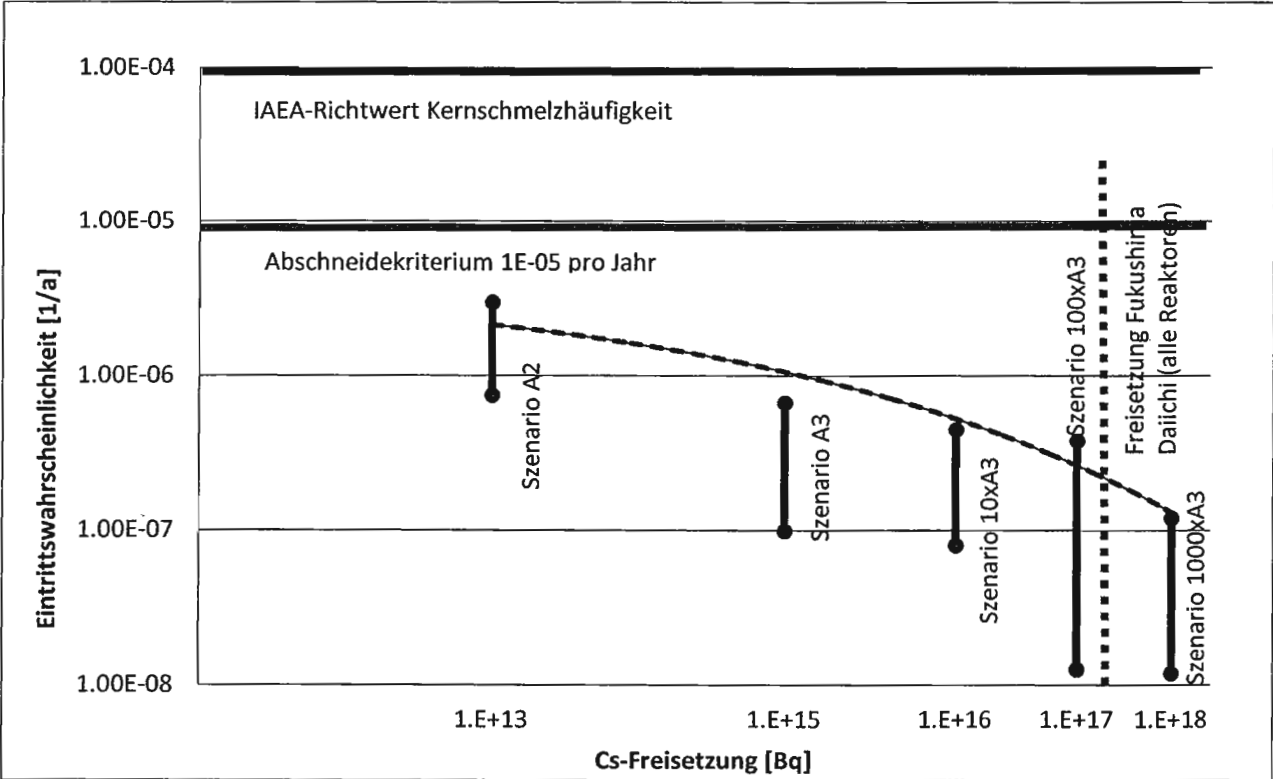


Abb. 4: Eintrittshäufigkeiten von Freisetzungsmengen der Nuklidgruppe Aerosole (ohne Extremerdbeben)

Eintrittshäufigkeiten von frühen Freisetzungen

Die folgenden Abbildungen zeigen die Eintrittshäufigkeiten für frühe Freisetzungen. Von den Werken wird jeweils der für die Intervalle von Freisetzungszeitpunkte 0-2 h, 0-4 h und 0-6 h ungünstigste Wert angezeigt. Die Eintrittshäufigkeit früher Freisetzungen wird in Abhängigkeit der Quelltermgrösse dargestellt. Folgenden Quellterme wurden einbezogen:

- Quellterm A3
- Zehnfacher Quellterm gegenüber A3 für die Nuklidgruppen Cäsium und Iod
- Hundertfacher Quellterm gegenüber A3 für die Nuklidgruppen Cäsium und Iod
- Tausendfacher Quellterm gegenüber A3 für die Nuklidgruppen Cäsium und Iod

Die Abbildung 1 stellt die Analyseergebnisse dar, wenn sämtliche auslösenden Ereignisse einschliesslich Extremerdbeben berücksichtigt werden. Die Abbildung 2 zeigt die Analyseergebnisse ohne Berücksichtigung von Extremerdbeben.

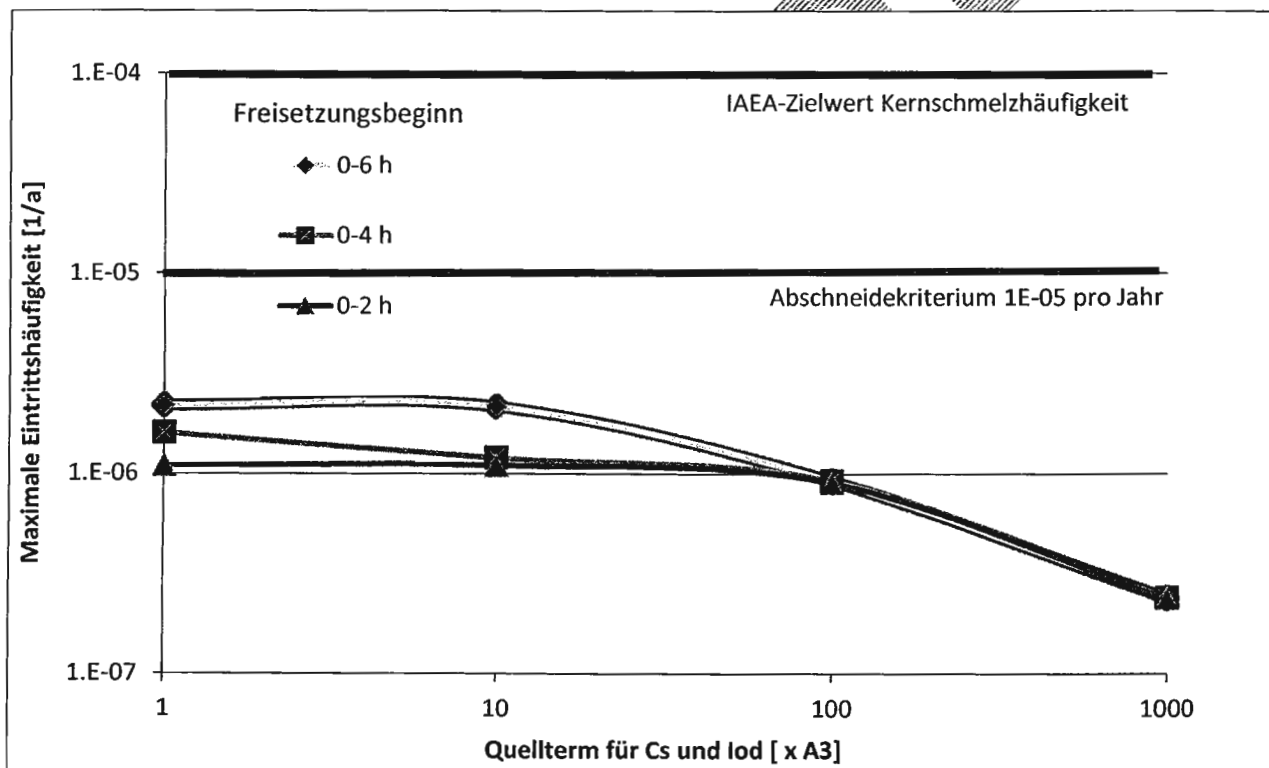


Abb. 1: Eintrittshäufigkeiten für frühe Freisetzungen in Abhängigkeit der Quelltermgrösse

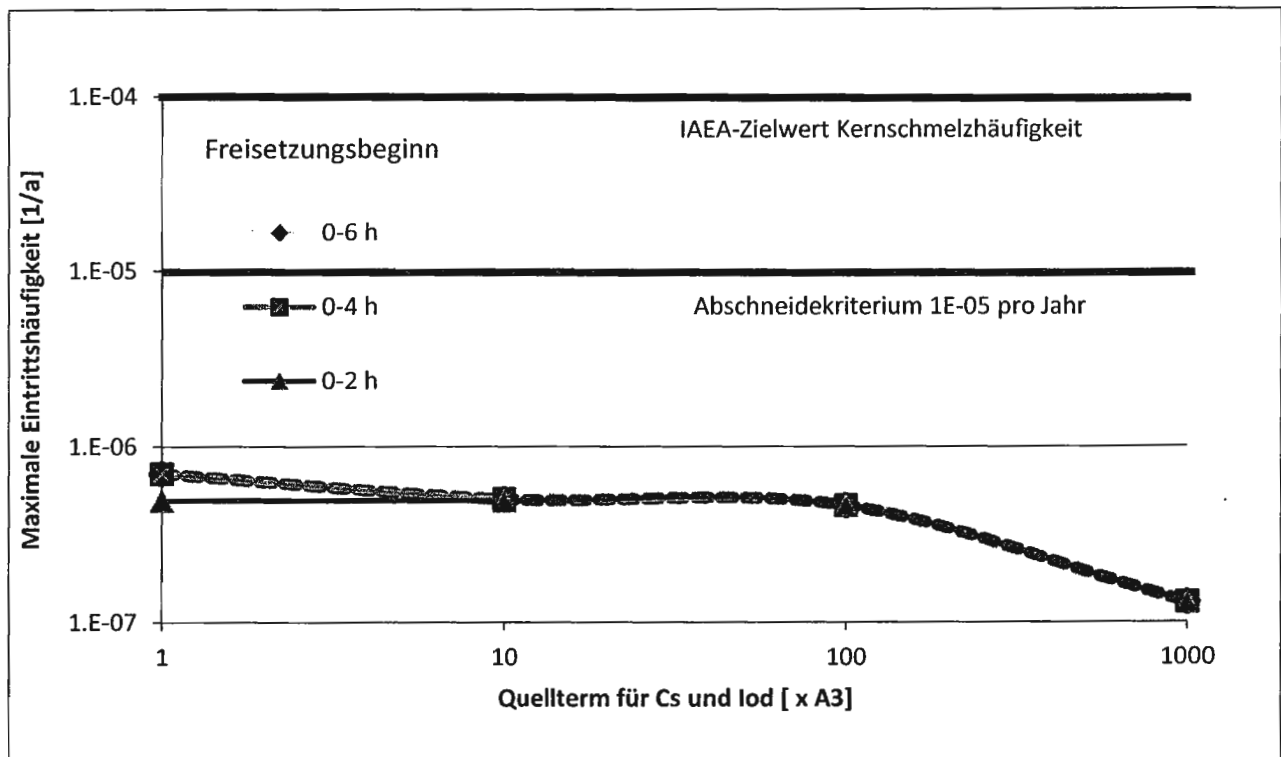


Abb. 2: Eintrittshäufigkeiten für frühe Freisetzungen in Abhängigkeit der Quelltermgröße (ohne Berücksichtigung von Extremerdbeben)

Radiologische Konsequenzen der Referenzszenarien – Berechnungen mit DOSE

Als Ergebnisse der Berechnungen der akkumulierten Dosis werden folgende Werte dargestellt und diskutiert:

- Effektivdosis nach zwei Tagen (Erwachsene)
- Schilddrüsendosis infolge Inhalation von Iod nach zwei Tagen (Erwachsene)

Die Berechnungen wurden für folgende Quellterme durchgeführt:

- Quellterm A2
- Quellterm A3
- Zehnfacher Quellterm gegenüber A3 für die Nuklidgruppen Cäsium und Iod
- Hundertfacher Quellterm gegenüber A3 für die Nuklidgruppen Cäsium und Iod
- Tausendfacher Quellterm gegenüber A3 für die Nuklidgruppen Cäsium und Iod

Die Berechnungen wurden für alle Quellterme mit denselben Randbedingungen durchgeführt. Zu den Randbedingungen gehören u.a. eine Freisetzung des gesamten Quellterms innert zwei Stunden, der ungeschützte Aufenthalt im Freien sowie der Ansatz einer mittleren Wetterlage, wie im Kapitel 2.1.1.4 der Aktennotiz beschrieben.

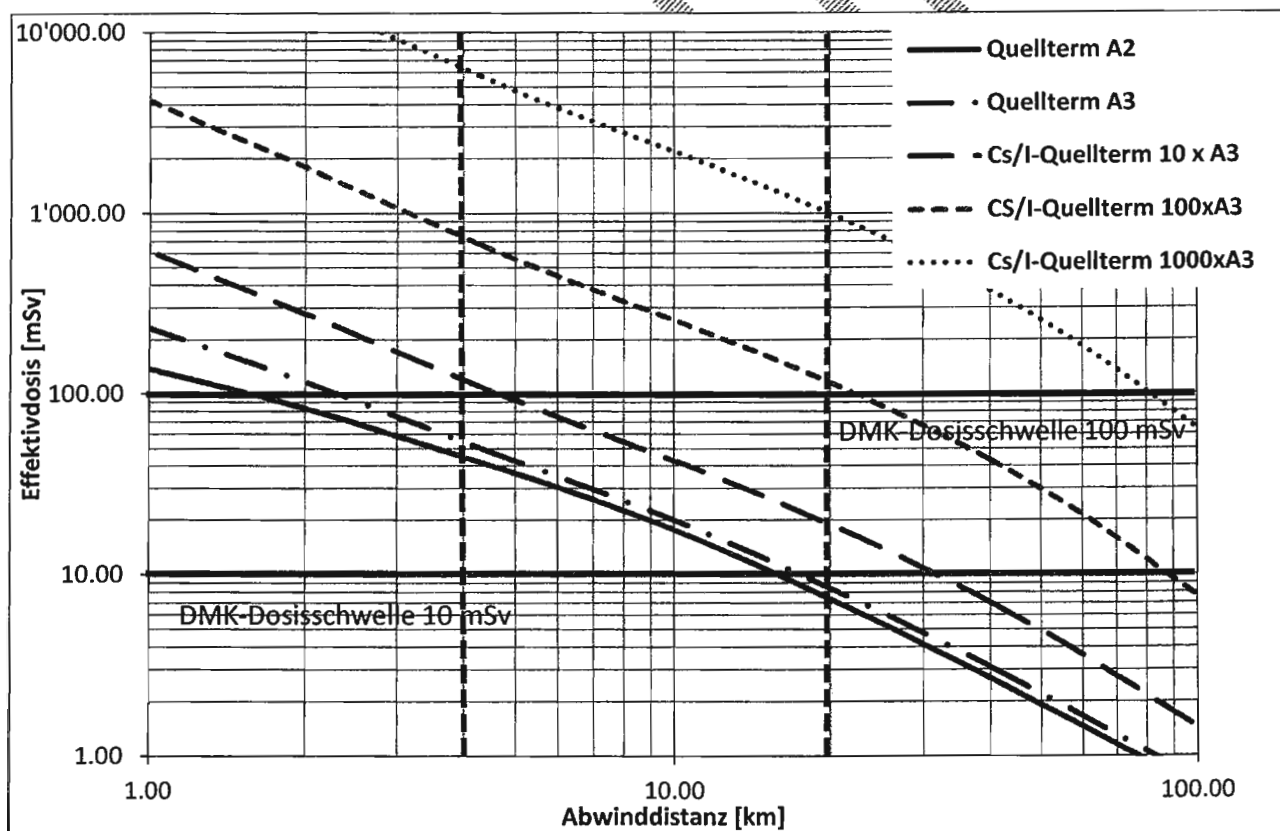


Abb. 1: Effektivdosis für Erwachsene innerhalb von zwei Tagen nach Freisetzungsbeginn

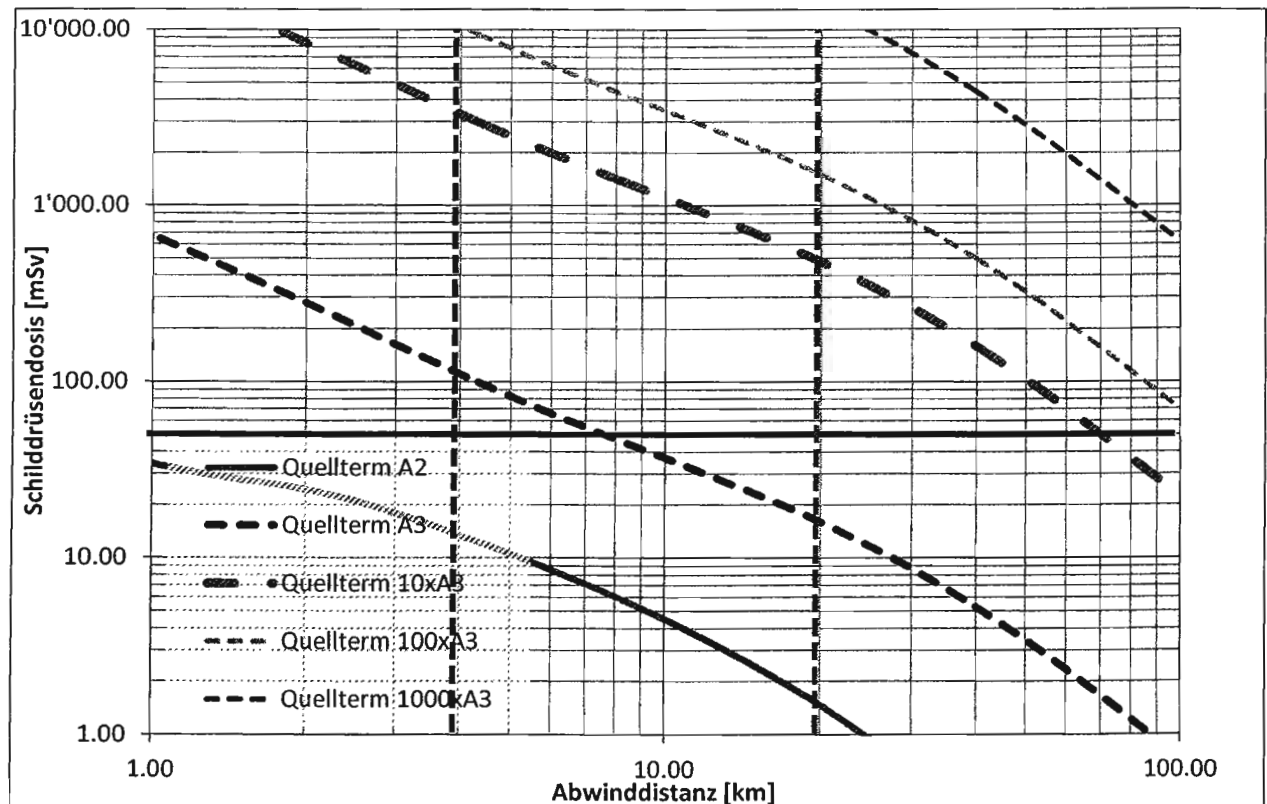


Abb. 2: Schilddrüsendosis für Kleinkinder infolge Iod-Inhalation innerhalb von zwei Tagen nach Freisetzungsbeginn

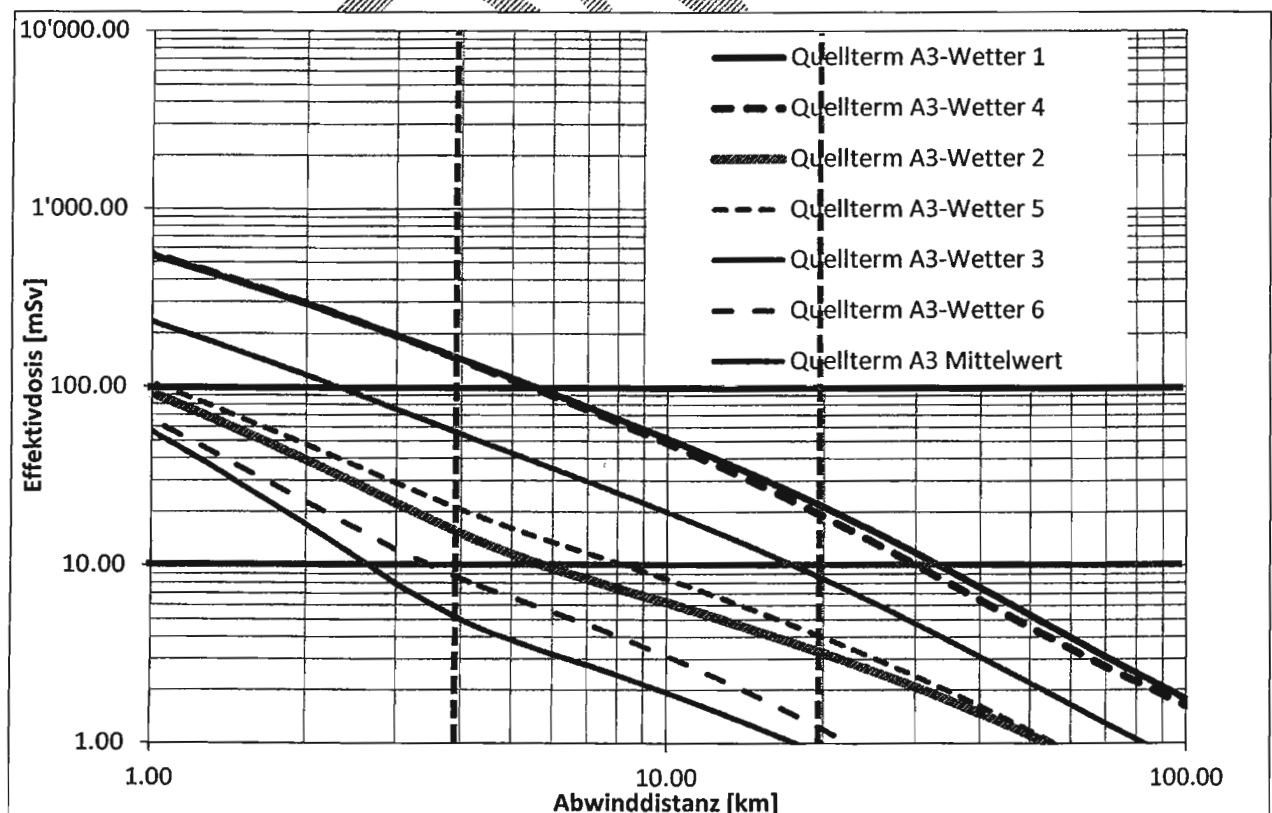


Abb 3: Einfluss unterschiedlicher Wetterlagen auf die Effektivdosis bei konstantem Quellterm

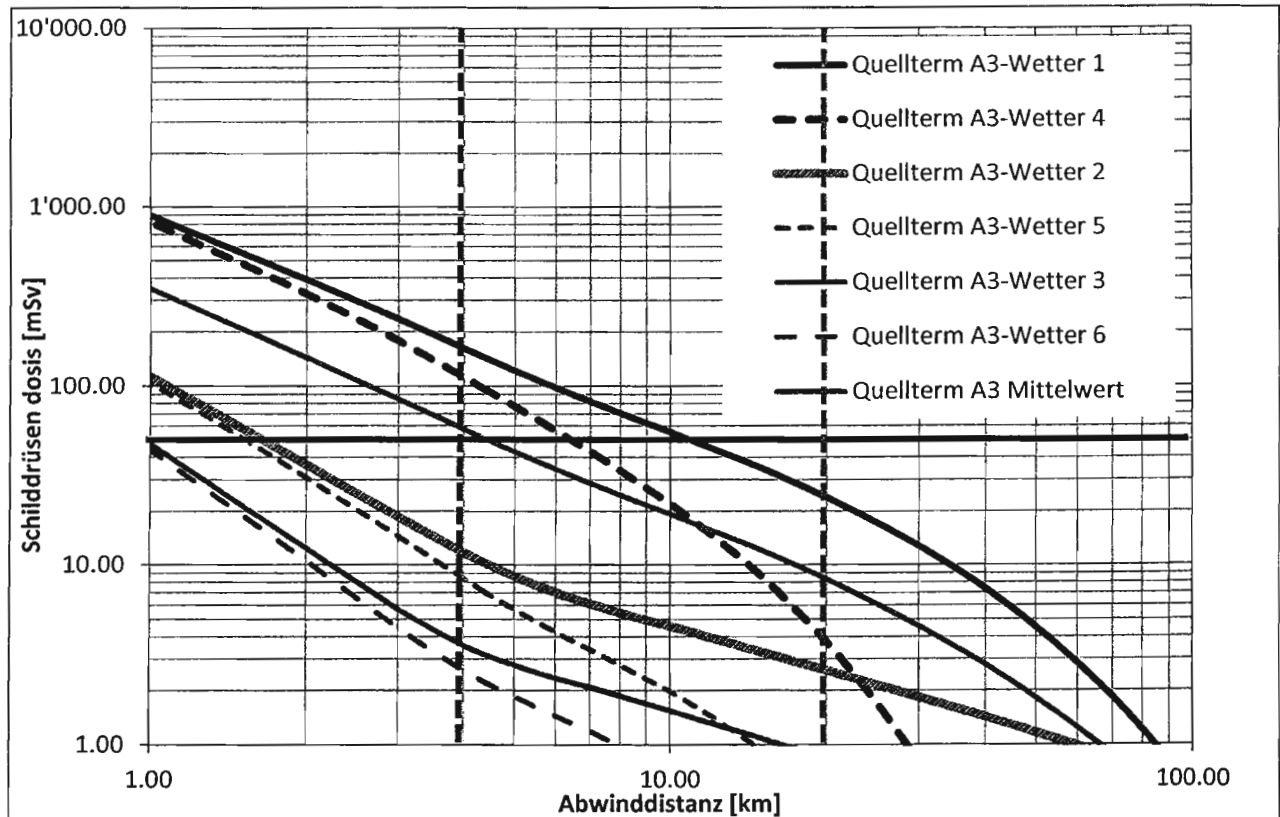


Abb 3: Einfluss unterschiedlicher Wetterlagen auf die Effektdosis bei konstantem Quellterm

Die Berechnung der radiologischen Auswirkungen erfolgt mit den Methoden und Parametern der Richtlinie HSK R-41 (heute ENSI-G14). Das Spektrum der auftretenden Wetterverhältnisse wurde auf sechs charakteristische, umhüllende Wetterlagen reduziert: eine stabile, neutrale und instabile Wetterlage, jeweils mit und ohne Regen. Resultate für eine mittlere Wetterlage wurden aus den oben erwähnten Wetterlagen mit folgenden Gewichtungsfaktoren ermittelt: jeweils 30 % für die 3 trockenen bzw. 3,3 % für die drei nassen Wetterlagen. Die zugrunde gelegten Wetterlagen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Modellwetter	Wetterlage	Niederschlag	Windgeschwindigkeit
Wetter 1	Stabil	Nein	0.75 m/s
Wetter 2	Neutral	Nein	3.0 m/s
Wetter 3	Instabil	Nein	1.5 m/s
Wetter 4	Stabil	Regen 1 mm/h	0.75 m/s
Wetter 5	Neutral	Regen 5 mm/h	3.0 m/s
Wetter 6	instabil	Regen 2 mm/h	1.5 m/s

Stabile Wetterlage: fast kein turbulenter vertikaler Austausch, damit gering durchmischte Atmosphäre und schlechte Verdünnung der freigesetzten radioaktiven Stoffe.

Neutrale Wetterlage: hohe Windgeschwindigkeiten und mässige vertikale Durchmischung, bessere Verdünnung der freigesetzten radioaktiven Stoffe als bei stabilen Wetterlagen.

Instabile Wetterlage: Starke Turbulenz und gute Durchmischung der Atmosphäre führen zu guter Verdünnung der freigesetzten radioaktiven Stoffe.

Radiologische Konsequenzen der Referenzszenarien – Berechnungen mit ADPIC

Ergänzend zu den DOSE-Rechnungen wurde ein umfangreiches Programm von Simulationsrechnungen mit dem Code ADPIC mit folgenden Merkmalen durchgeführt:

- Es wurden Simulationsrechnungen an allen vier Kernkraftwerksstandorten durchgeführt
- Es wurden vier unterschiedliche Quellterme gerechnet: A2, A3 sowie ein zehn- und ein hundertfacher Quellterm für die Nuklidgruppen Cäsium und Iod
- Es wurden täglich mehrere Rechnungen mit vier verschiedenen Quelltermen und realen Wetterlagen im Zeitraum Oktober/November 2012 durchgeführt.
- Die Dauer der Simulationsrechnungen betrug jeweils sechs Stunden bei einer Freisetzungsdauer von zwei Stunden.

Die Beurteilungsgrundlagen ergeben sich aus dem Dosis-Massnahmen-Konzept der Verordnung über die Einsatzorganisation bei ABCN-Ereignissen. Demgemäss sind bei folgenden prognostizierten Dosen (innert 48 Stunden seit Freisetzungsbeginn) Schutzmassnahmen zu ergreifen

- Effektivdosis 10 mSv geschützter Aufenthalt
- Effektivdosis 100 mSv vorsorgliche Evakuierung oder geschützter Aufenthalt
- Schilddrüsendosis 50 mSv Iodprophylaxe

Die Abbildung 1 zeigt die von einer Freisetzung mit einem A3-Quellterm betroffenen Gebiete nach sechs Stunden mit einer vorherrschenden Windrichtung

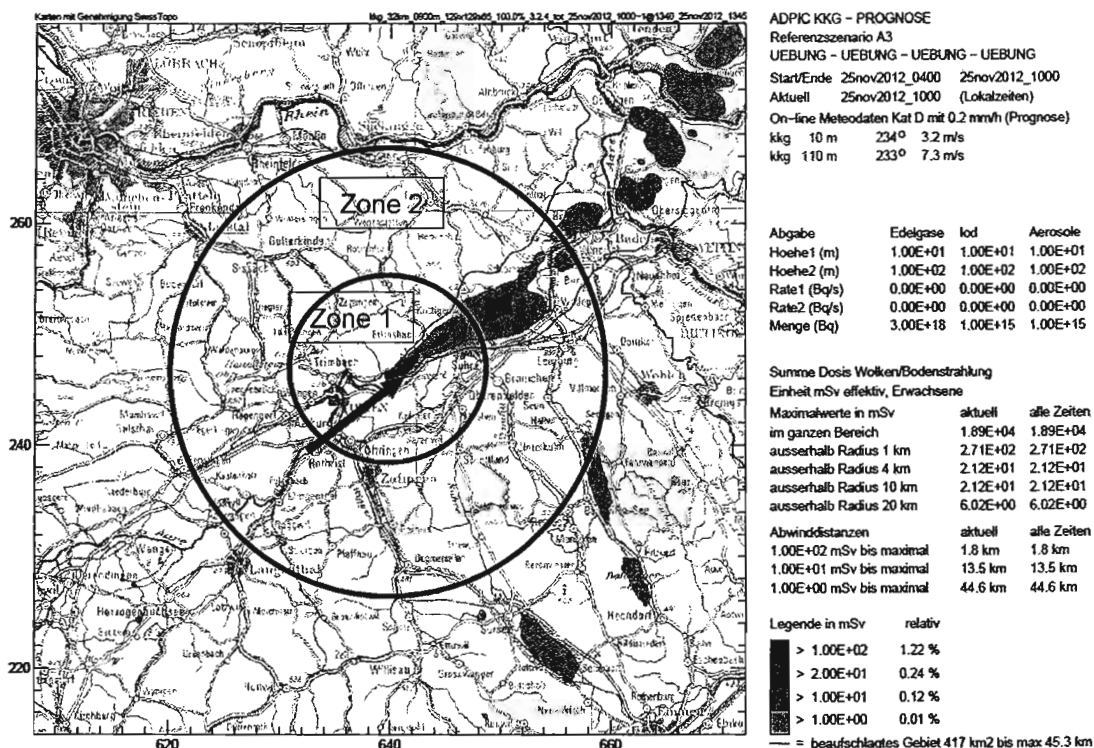


Abbildung 1: Betroffene Gebiete sechs Stunden nach Freisetzung eines A3-Quellterms

Häufigkeit betroffener Gebiete ausserhalb der Zonen 1 und 2

Eine wichtige Erkenntnis aus dem Reaktorunfall in Fukushima war, dass es ausserhalb der Notfallplanungszonen (diese waren kleiner als um die Schweizerischen Werke) von der Freisetzung betroffene Gebiete gab, in denen Notfallschutzmassnahmen erforderlich wurden. Deshalb wurden im Zeitraum Oktober/November 2012 ADPIC-Rechnungen für alle Standorte mit verschiedenen Quelltermen durchgeführt. Die etwa 6000 Simulationsrechnungen gestatteten es statistische Auswertungen durchzuführen. Zielsetzung war es Aufschluss über betroffene Gebiete ausserhalb der Zonengrenzen (Zone 3) zu erhalten, in denen Notfallmassnahmen ergriffen werden müssten.

Die Abbildungen 2 bis 4 zeigen die Häufigkeit von Simulationen, bei denen ausserhalb der Zonenradien die Dosissschwellen gemäss DMK überschritten worden wären in Abhängigkeit von der Abwinddistanz, bezogen auf die Gesamtzahl der Simulationen. Diese Darstellungen geben noch keinen Aufschluss über die Grösse der betroffenen Gebiete. Die Auflösung des Verfahrens gestattet es Gebiete mit Flächen grösser 0.25 km^2 zu identifizieren. Es wurde nicht geprüft, ob es sich um **bewohnte** Gebiete handelt.

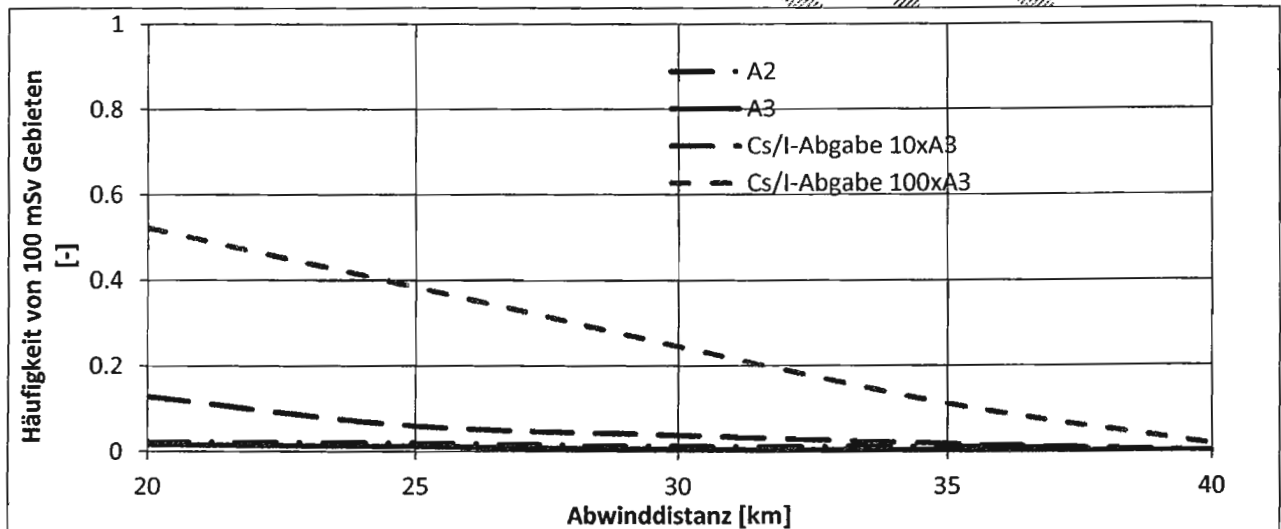


Abb. 2: Häufigkeit von betroffenen Gebieten mit Effektivdosen von 100 mSv ausserhalb der Zonenradien in Abhängigkeit vom Quellterm und von der Abwinddistanz

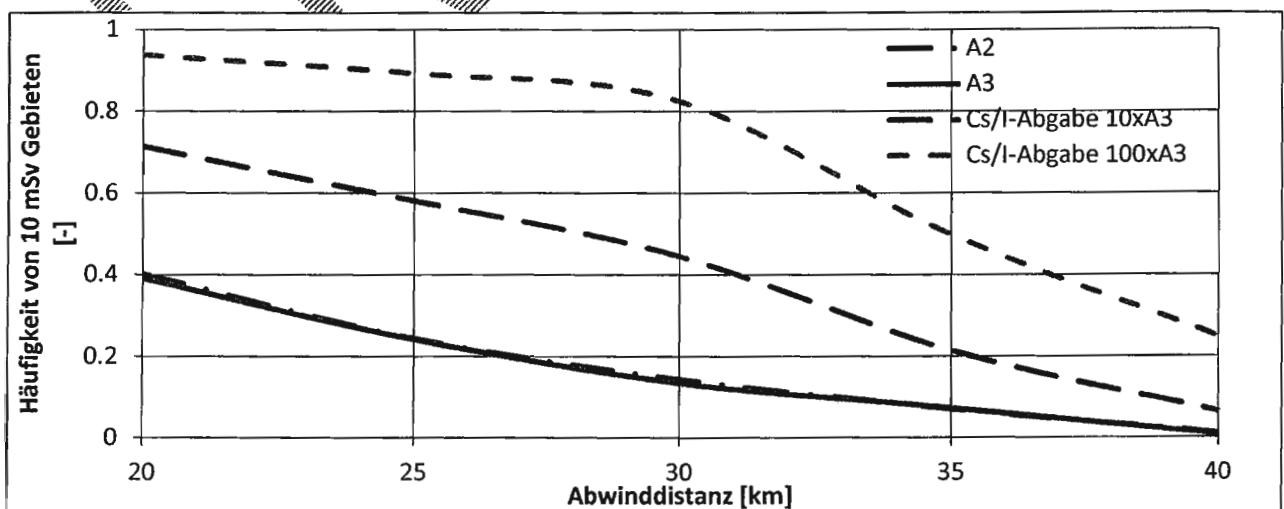


Abb. 3: Häufigkeit von betroffenen Gebieten mit Effektivdosen von 10 mSv ausserhalb der Zonenradien in Abhängigkeit vom Quellterm und von der Abwinddistanz

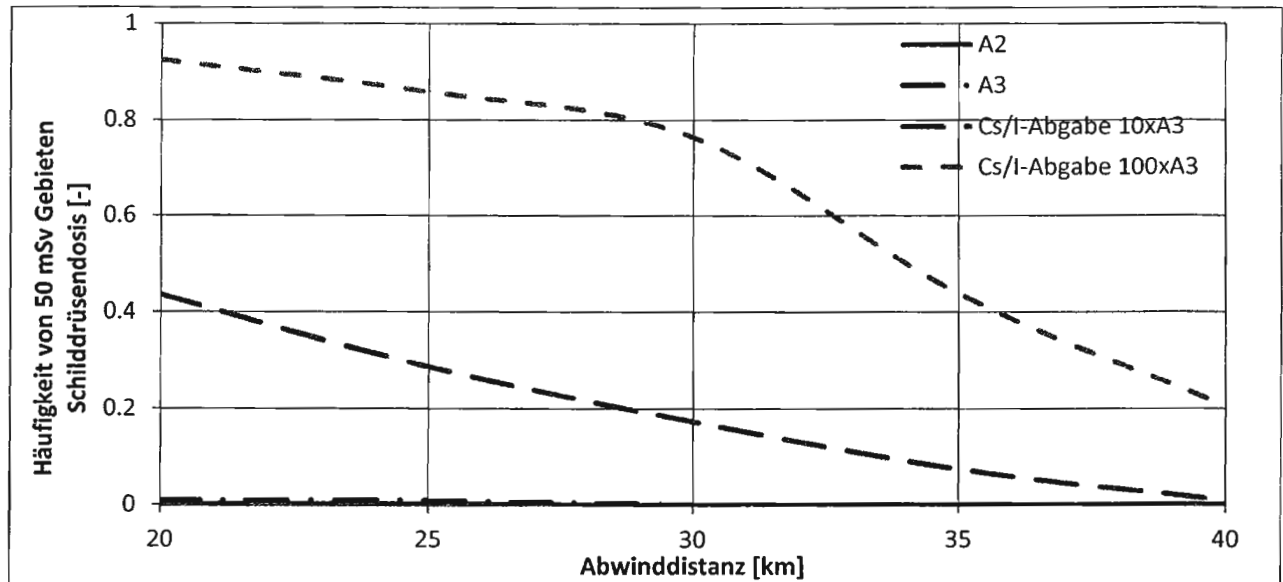


Abb. 4: Häufigkeit von betroffenen Gebieten mit Schilddrüsendosen von 50 mSv ausserhalb der Zonenradien in Abhängigkeit vom Quellterm und von der Abwinddistanz

Die folgenden Abbildungen 5 bis 7 zeigen die Häufigkeitsverteilung der betroffenen Flächen ausserhalb der Zonenradien für verschiedene Quellterme, bei denen Dosisschwellen gemäss DMK erreicht wurden. Die betroffenen Flächen werden in den Diagrammen als Flächenverhältnis zur Fläche der Zonen 1 und 2 (ca. 1256 km²) dargestellt. Die Häufigkeit ist ebenfalls dimensionslos als Anzahl von Simulationen innerhalb von Intervallen betroffener Flächen bezogen auf die Gesamtzahl der Simulationen dargestellt.

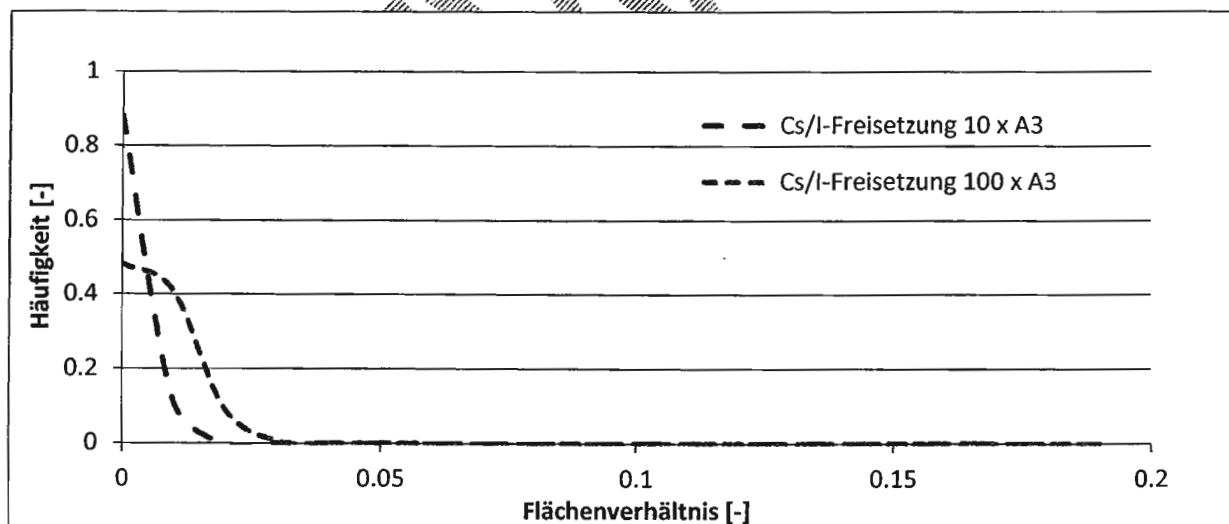


Abb. 5: Häufigkeitsverteilung für betroffene Flächen, in denen Effektivdosen von 100 mSv erreicht wurden

Hinweis zu Abb. 5: Bei den Simulationen mit Quelltermen A2 und A3 wurden keine Flächen grösser 1 km² mit Effektivdosen grösser 100 mSv festgestellt.

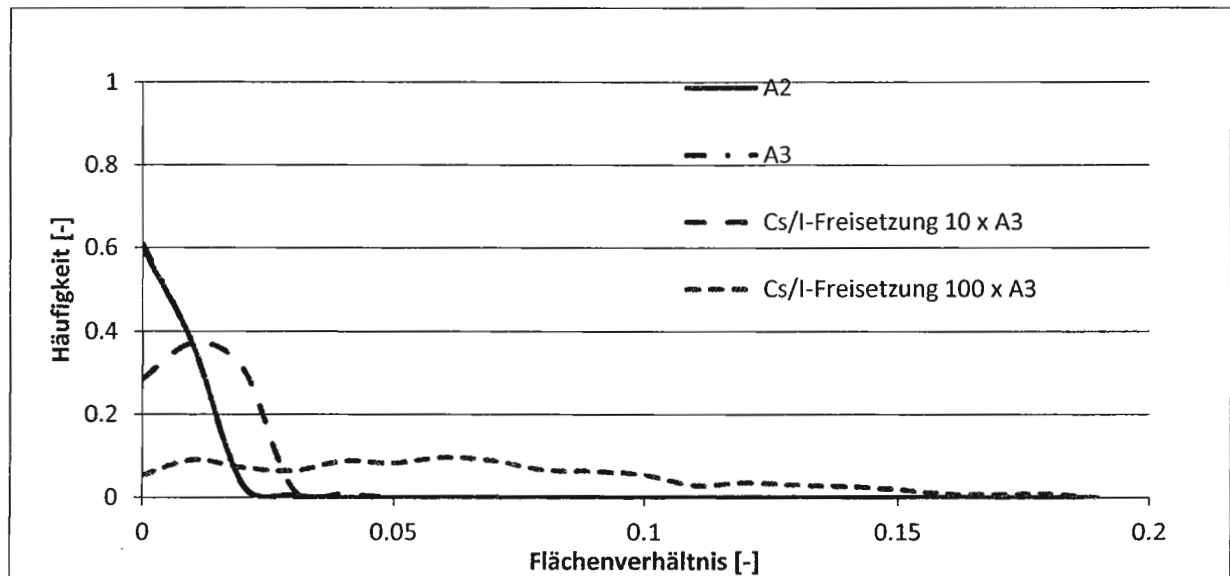


Abb. 6: Häufigkeitsverteilung für betroffene Flächen, in denen Effektivdosen von 10 mSv erreicht wurden

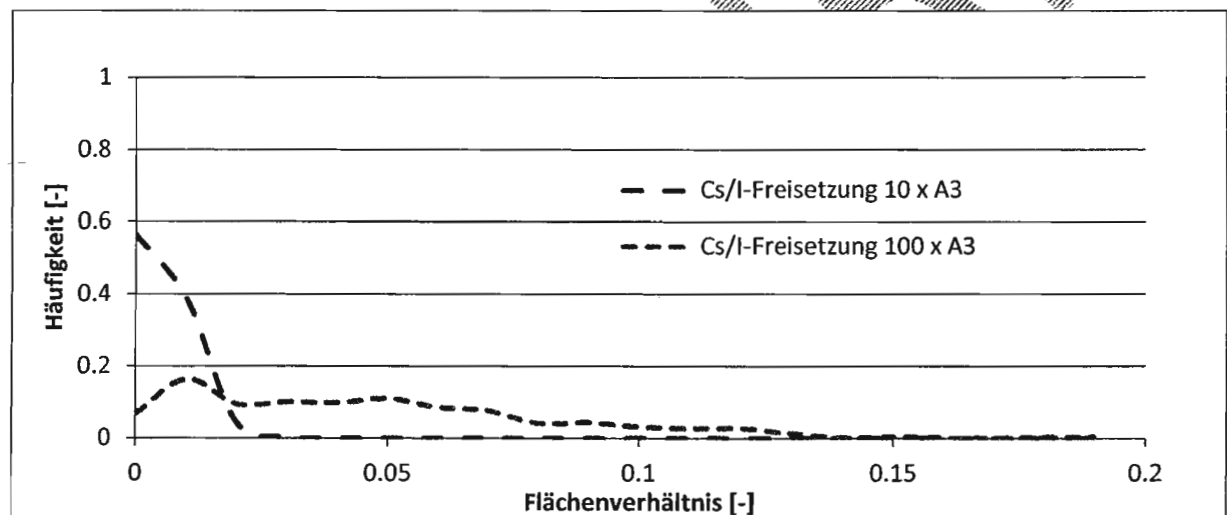


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung für betroffene Flächen, in denen Schilddrüsendosen von 50 mSv erreicht wurden

Hinweis zu Abb. 7: Bei den Simulationen mit Quelltermen A2 und A3 wurden keine Flächen grösser 1 km² mit Schilddrüsendosen grösser 50 mSv festgestellt.