

Referenzszenarien ABCN

A



B



C



N



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS
LABOR SPIEZ

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Gefahrenprävention



A-Szenario

Kernkraftwerkunfall mit ungefilterter Freisetzung (ENSI A4)

Zusammenfassung

1 Ereignis

Ereignis

Unfall in einem Schweizer KKW mit ungefilterter Freisetzung radioaktiver Stoffe.

Schadensausmass

räumlich	Freisetzung radioaktiver Stoffe und sehr starke Kontamination bis zu einer Distanz von ca. 10 km in Abwindrichtung (Dosis im ersten Jahr > 20 mSv). Kontamination (Dosis im 1. Jahr > 1 mSv) bis zu einer Distanz von 70 km.
zeitlich	Dekontamination belasteter Gebiete während Jahren bis Jahrzehnten
Personen	Ohne Massnahmen: Sehr hohe Strahlenbelastung (> 100 mSv) bis zu einer Distanz von ca. 7 km in Abwindrichtung. Hohe Strahlenbelastung (20–100 mSv) bis zu einer Distanz von ca. 20 km, Strahlenbelastung über dem Grenzwert von 1 mSv bis zu einer Distanz von mehr als 100 km in Abwindrichtung.
Umwelt	Langfristige Veränderungen des Ökosystems bis ca. 20 km in Abwindrichtung
Übriges	Sehr hohe Dekontaminationskosten, wirtschaftliche Folgekosten (Tourismus, Umsiedlung)

Massnahmen

Verhinderung	Operationelle und technische Massnahmen im KKW
Vorsorge	Eingespielte Alarmorganisation, Notfallübungen, Ausrüstung/-bildung des KKW-Personals
Bewältigung	Zeitgerechte Information der Bevölkerung, Massnahmen (Aufenthaltsdauer im Freien, Ernte-, Fischerei-, Weide- und Jagdverbot, Dekontamination, Beratungsstelle Radioaktivität, evtl. Evakuierung oder Umsiedlung von Teilen der Bevölkerung, Monitoring

Risikobewertung

Plausibilität	sehr bis extrem selten (Klasse W1)
Schadensausmass	sehr gross
Risiko	klein

1.1 Ausgangslage

Das geschilderte Ereignis ist unabhängig von militärischen oder terroristischen Anschlägen. Es beschreibt vereinfacht nur einen von vielen möglichen Abläufen und dient nicht als Grundlage für die Ablauf- und Massnahmenplanung in der Vorphase. In der Folge werden resultierende Dosen ausgewiesen, welche sowohl für die Wettersituation, die Dauer der Freisetzung, als auch der Ausbreitungsmodellierung auf Annahmen basieren. Als Grundlage wurden die Modellierungen des ENSI zum Quellterm A4 bei mittlerer Wetterlage verwendet.

1.2 Ablauf

In den frühen Morgenstunden (04:00 Uhr) kommt es in einem Schweizer KKW zu einem Bruch einer Kühlmittelleitung innerhalb der Sicherheitshülle und dadurch zu einer Schnellabschaltung. Die zuständigen Behörden (ENSI, NAZ) werden alarmiert. Nachdem im Werk auch die Notkühlung versagt und der Brennstoff abgedeckt wird, warnt die NAZ auch die kantonalen Behörden. Im weiteren Verlauf des Ereignisses erhöht sich die Temperatur im Reaktorkern so, dass ein Teil des Kerns zum Schmelzen kommt. Gegen 06:30 Uhr tritt durch die Überhitzung ein Teil der Radioaktivität aus dem Reaktordruckgefäss ins Containment (Sicherheitshülle) aus. Die NAZ ordnet in dieser Vorphase des Ereignisses zeitgerecht gemäss DMK der «Einsatzverordnung BST ABCN» Schutzmassnahmen für die Bevölkerung sowie ein Ernte-, Fischerei-, Weide- und Jagdverbot an.

Der Verlauf des Störfalls führt zu einem Versagen des Containments, sodass unkontrollierte und ungefilterte Freisetzungen von Radioaktivität stattfinden. Diese Freisetzung findet ab 10:00 Uhr für ca. 2 Stunden bei einer mittleren Wetterlage statt.

2 Schadensausmass

2.1 Auswirkungen des Wolkendurchzugs

Die Freisetzung von Radioaktivität findet mehrere Stunden nach Beginn des Ereignisses statt. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass zu dieser Zeit der geschützte Aufenthalt oder die vorsorgliche Evakuierung von der NAZ bereits angeordnet worden ist. Sollten sich während des Wolkendurchzugs dennoch Personen im Freien aufhalten, werden diese teilweise einer erheblichen Dosisbelastung ausgesetzt.

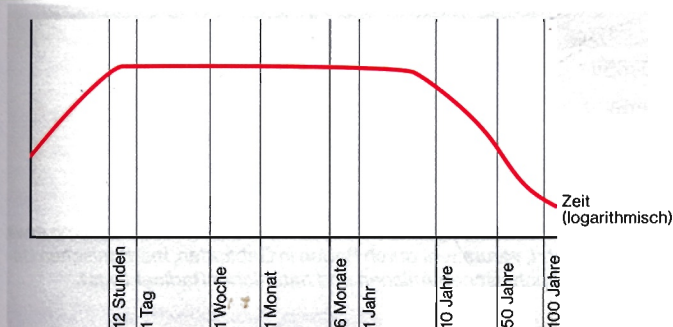
2.2 Räumlicher Verlauf nach dem Wolkendurchzug

Ein Gebiet von mehreren 1000 km² wird radioaktiv kontaminiert. Im unmittelbaren Bereich des KKW beträgt die Bodenkontamination nach dem Wolkendurchzug 1010 Bq/m². In einer Entfernung von 10 km beträgt sie ca. 2·10⁸ Bq/m². Durch Wiederaufwirbelung kann die radioaktive Kontamination in angrenzende Gebiete verschleppt werden.

Die Bodenkontamination am Ende der Wolkenphase kommt durch viele kurzlebige Nuklide zustande. Für die Dekontamination sind vor allem die Nuklide Cs-134 und Cs-137 von Belang. Alle anderen Radionuklide zerfallen rasch (innerhalb von Wochen) bzw. sind gegenüber dem Cäsium vernachlässigbar. Zu Beginn (erste 1–2 Monate) dominiert zwar die Iod-Problematik, dieser kann man aber nur durch Konsumverhinderung beikommen. Deshalb wird ein Ernte-, Fischerei-, Weide- und Jagdverbot verfügt.

2.3 Zeitlicher Verlauf

Das Diagramm, Figur 1, zeigt die Auswirkungen des Ereignisses und die zur Ereignisbewältigung erforderlichen Aufwendungen vom Zeitpunkt des Störfalls bis zur vollständigen Regeneration (wenn überhaupt möglich). Unmittelbar nach Beginn des Störfalls folgt die eigentliche Belastungsphase, die ihr Maximum innerhalb von Stunden/Tagen erreicht und trotz Einsatz ausserordentlicher Mittel (Erdabtragung, Dekontamination, etc.) Monate bis Jahre (evtl. Jahrzehnte) dauern kann. Je nach Aufwand für die Dekontamination dürfte die Zeit für eine Rückkehr zum Zustand, wie er vor dem Ereignis war, zwischen einem Jahr und mehreren Dutzend Jahren liegen.



Figur 1: Auswirkungen und zur Ereignisbewältigung erforderliche Aufwendungen

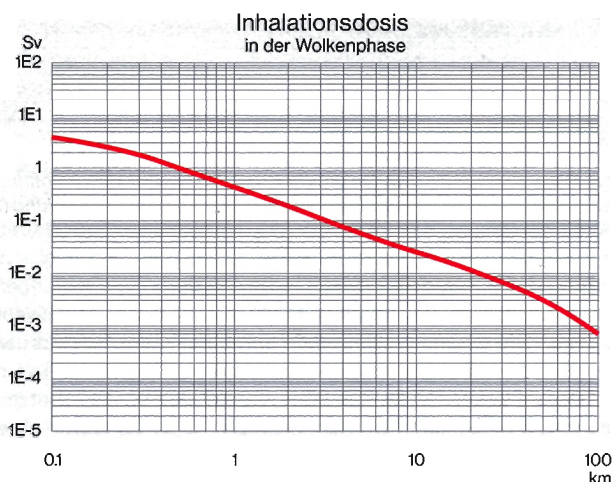
2.4 Auswirkungen auf die Bevölkerung

Die Anzahl der betroffenen Personen hängt von der Bevölkerungsdichte im betroffenen Gebiet ab und dürfte zwischen 50 000 und 900 000 liegen.

Die Bevölkerung der Zonen 1 und eventuell 2 werden nach Möglichkeit vor der Freisetzung evakuiert. Sollte dies nicht möglich sein, wird die Bevölkerung alarmiert und angewiesen, den geschützten Aufenthalt einzuhalten und Jodtabletten einzunehmen. In jedem Fall werden die Bewohner der Gebiete mit prognostiziertem $E > E_{\text{ref}}$ ($E_{\text{ref}} = 100 \text{ mSv}$)¹, nach Ende der Wolkenphase evakuiert.

Inhalationsdosis

Personen, welche sich im Freien in der vorbeiziehenden radioaktiven Wolke aufhalten, atmen lungengängige radioaktive Partikel ein. Die daraus zu erwartende maximale Inhalationsdosis liegt bei etwa 4 Sv in der Umgebung des KKW und fällt nach ca. 90 km unter 1 mSv. In der Figur 2 ist die Inhalationsdosis entlang der Ausbreitungsachse dargestellt.



Figur 2: Folgedosis (effektive Dosis) für erwachsene Personen entlang der Ausbreitungsachse der radioaktiven Wolke durch Inhalation beim Verweilen in der Wolke

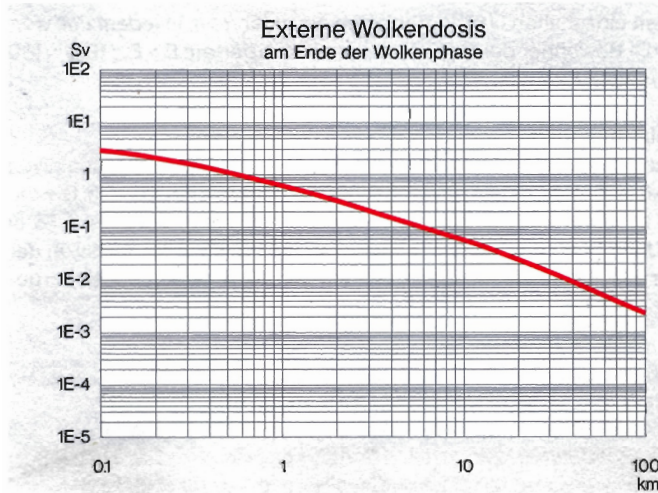
1 Hintergrund: Keine Person sollte aufgrund des Ereignisses mehr als E_{ref} im ersten Jahr erhalten. Dabei werden sowohl die Dosen, die während dem Wolkendurchzug als auch während der Bodenphase und durch Ingestion erhalten werden und die angeordneten Schutzmassnahmen berücksichtigt. Also $E = f_1 \cdot E_{\text{inh,Wolke}} + f_2 \cdot E_{\text{ext,Wolke}} + f_3 \cdot E_{\text{ext,Boden}} + f_4 \cdot E_{\text{inh,Resuspension}} + f_5 \cdot E_{\text{ing}}$ f_i sind die entsprechenden inversen Schutzfaktoren. Durch das angeordnete Ernte-, Fischerei-, Weide- und Jagdverbot sollte beispielsweise $f_5 = 0$ sein. Bei einem geschützten Aufenthalt im Gebäudeinneren und abgeschalteter Lüftung wäre $f_1 = 0.5$ und $f_2 = 0.1$.

Die Massnahmen können ereignisspezifisch optimiert werden, um unter 100 mSv zu kommen.



Submersionsdosis

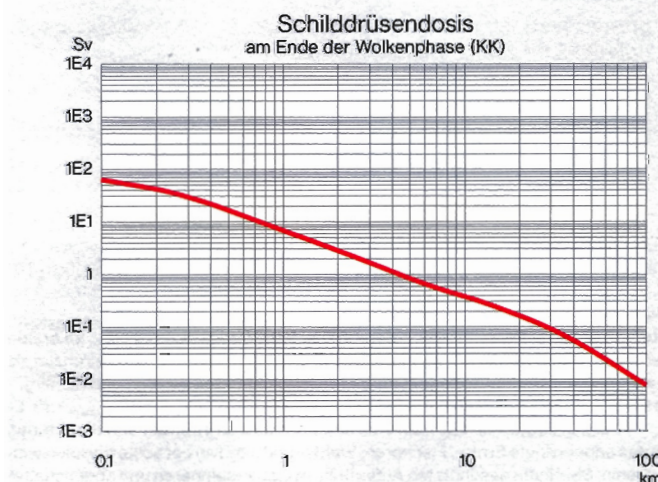
Personen, die sich während des Wolkendurchzugs im Freien aufhalten werden auch extern bestrahlt (Submersionsdosis). Die daraus resultierende Dosis ist in Figur 3 dargestellt. In der Umgebung des KKW kann sie bis zu 3 Sv betragen. In einer Distanz von 100 km beträgt sie immer noch 2 mSv.



Figur 3: Folgedosis (effektive Dosis) für erwachsene Personen entlang der Ausbreitungsachse der radioaktiven Wolke durch externe Bestrahlung (Submersion) beim Verweilen in der Wolke

Belastung der Schilddrüse durch Iodinhaleation

Während des Wolkendurchzugs ist mit Inhalation von radioaktivem Iod zu rechnen. Die daraus resultierende Organdosis der Schilddrüse für die empfindlichste Bevölkerungsgruppe (einjährige Kleinkinder) ist in der Figur 4 dargestellt, unter der Annahme, dass angeordnete Schutzmassnahmen nicht eingehalten werden. Gemäss ABCN-EV wären ab einer erwarteten Organdosis von 50 mSv Iodtabletten zu verteilen. Bei einer mittleren Wetterlage würde dies bis zu einer Distanz von etwas mehr als 40 km in Abwindrichtung der Fall sein. Die Distanz kann sich aber bei ungünstiger Wetterlage um mehrere Kilometer ausdehnen.

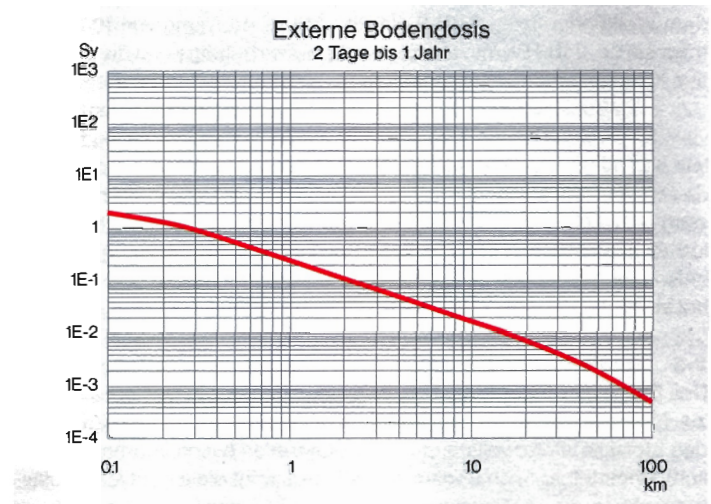


Figur 4: Schilddrüsen-Organodosis resultierend aus Inhalation von Jod während dem Wolkendurchzug für die am stärksten belastete Personengruppe der einjährigen Kleinkinder entlang der Ausbreitungsachse

Belastung durch die Bodenkontamination

Nach dem Durchzug der radioaktiven Wolke werden die Personen während ihres Aufenthalts in den kontaminierten Gebieten durch radioaktive Ablagerungen auf Strassen und Gebäuden zusätzlich auch extern bestrahlt. Die Dosisrate in den betroffenen Gebieten ist infolge der Bodenkontamination erhöht.

Die erwartete Dosis aufgrund der Bodenkontamination im Freien im ersten Jahr nach dem Ereignis entlang der Ausbreitungsachse ist in Figur 5 dargestellt.



Figur 5: Externe Dosis im Freien aufgrund der Bodenkontamination zwischen dem 2. und dem 365. Tag nach dem Ereignis. Es ist allerdings zu beachten, dass die Zone 1 und eventuell 2 evakuiert wurden. Wäre dies in der Vorphase nicht möglich, so werden alle Gebiete, wo eine Dosis $> E_{ref}$ überschritten wird, nachträglich evakuiert. Bei einer Dosis E_{ref} von 100 mSv müssten die Bewohner von bis zu etwa 2 km in Abwindrichtung evakuiert werden.

Wert	Distanz
100 mSv	2 km
20 mSv	8 km
5 mSv	25 km
1 mSv	70 km

Die Schweizer Bevölkerung ist durchschnittlich einer Jahresdosis von etwa 5 mSv ausgesetzt, verursacht durch Radon in Gebäuden, medizinischen Untersuchungen, technischen Anlagen und natürlicher Radioaktivität.

2.5 Auswirkungen auf die Umwelt

Bei den Ökosystemen könnte es in der Umgebung des havarierten KKW's zu längerfristigen Veränderungen kommen. Das zur Dekontamination benötigte Wasser könnte in die Kanalisationen, die Kläranlagen und schliesslich in die Gewässer gelangen. In den betroffenen Gebieten wird vorsorglich von der NAZ ein ausgedehntes Ernte-, Fischerei-, Weide- und Jagdverbot ausgesprochen (gemäss DMK, Anhang 1 der ABCN-Einsatzverordnung, bis zur Landesgrenze bzw. Alpenhauptkamm).

2.6 Übrige Auswirkungen

Es werden Kosten für die Dekontamination des betroffenen Gebietes anfallen. In der näheren Umgebung des Ereignisortes wird die Dekontamination möglicherweise nur durch Abtragen der obersten Schicht Erde machbar sein, was zu einer Ansammlung grösserer Volumina von

3 Massnahmen

radioaktiv kontaminierten Materialien führen wird, die fachgerecht entsorgt werden müssen. Grundsätzlich sollte in Betracht gezogen werden, sämtliche Gebiete zu dekontaminieren, in welchen die Jahresdosis über E_{ref} liegt.

Die Schweiz hat bisher keine Regelung getroffen, welche langfristigen Massnahmen in den kontaminierten Gebieten getroffen werden müssen. Eine Umsiedlung der Bevölkerung der am stärksten kontaminierten Gebiete, wird zu prüfen sein und davon abhängen, wie schnell und wie gründlich das betroffene Gebiet dekontaminiert werden kann.

Die in diesen Gebieten gelegenen Geschäfte werden während dieser Zeit geschlossen bleiben, ebenso die betroffenen Strassen und im Gebiet liegenden Bahnlinien. Massnahmen wären zu treffen, damit Autobahnen und Bahnlinien möglichst bald wieder genutzt werden können.

Es ist nicht auszuschliessen, dass Personen, die in kontaminierten Gebieten oder in deren unmittelbarer Umgebung wohnen und leben, wegziehen werden.

3.1 Verhinderung

Operationelle und technische Massnahmen im KKW zur Verhinderung solcher Ereignisse (Venting Filter, Massnahmen zur Verhinderung, dass sich Knallgas bildet, extern gelagerte Pumpen, Schläuche und Generatoren).

3.2 Vorsorge

Organisatorische und technische Massnahmen zur Verhinderung eines Störfalls werden von den internationalen (IAEA) und nationalen (ENSI) Aufsichtsbehörden sowie von den Kraftwerksbetreibern wahrgenommen und umgesetzt.

Die Bevölkerung der Zonen 1 und 2 (gegebenenfalls auch in den anschliessenden Gebieten) wird alarmiert und angewiesen, im Gebäudeinneren zu verweilen und Jodtabletten einzunehmen. Nach Möglichkeit wird vorsorglich evakuiert (primär Zone 1 und gegebenenfalls Teile der Zone 2), ansonsten nach Ende der Wolkenphase aus all denjenigen Gebieten, in der eine Jahresdosis $> E_{ref}$ erwartet wird. Präventiv sind dafür die folgenden organisatorischen Massnahmen vorbereitet bzw. vorzubereiten:

- Eingespielte Alarm- und Messorganisation
- Vorbereitung und Bekanntmachung der Verhaltensanweisungen an die Bevölkerung
- Evakuierungspläne
- Konzept «Beratungsstelle Radioaktivität»

3.3 Bewältigung

Die nachfolgende Liste zeigt eine Folge möglicher Massnahmen, welche situativ noch anzupassen ist:

- Anordnung für den geschützten Aufenthalts für Personen im Abwindgebiet
- Sicherstellen, dass die Ventilationsanlagen erst nach Durchgang der radioaktiven Wolke in Betrieb genommen werden (Edelgase werden durch die Filter nicht zurückgehalten)
- Aufforderung zur Einnahme von Jodtabletten
- Das betroffene Gebiet ist auszumessen (Monitoring), zu kennzeichnen, abzugrenzen und gegebenenfalls abzusperren.
- Der Aufenthalt im Freien ist in gewissen Gebieten einzuschränken ($E < E_{ref}$ muss gewährleistet sein)
- Kinder sollen nicht im Freien spielen
- Arbeiten im Freien unterlassen
- Schuhe beim Eintritt ins Haus ausziehen
- Eventuelle Umsiedlung der Bevölkerung in einem Umkreis von etwa 2 km (oder mehr) um das havarierte KKW
- Eventuelle vorübergehende Evakuierung der Bevölkerung in den kontaminierten Gebieten nach 2 Tagen geschützten Aufenthaltes bis zu einer Distanz von etwa 8 km (oder mehr) nach Durchzug der radioaktiven Wolke
- «Beratungsstelle Radioaktivität» in Betrieb nehmen
- Landwirtschaftliche Produkte aus dem betroffenen Gebiet ausmessen und freigeben (Es gilt ein ausgedehntes Ernte-, Fischerei-, Weide- und Jagdverbot: Ziel ist es, alle wahrscheinlich nicht betroffenen Gebiete die einem Ernte-, Fischerei-, Weide- und Jagdverbot unterliegen, wieder freizugeben)
- Dekontamination betroffener Gebiete



A-Szenario

Kernkraftwerkunfall mit ungefilterter Freisetzung (ENSI A4)

4 Risikobewertung

4.1 Plausibilität

Die Eintrittswahrscheinlichkeit für einen schweren Kernkraftwerkunfall mit Freisetzung einer grossen Menge an Radioaktivität wird aufgrund der in der Schweiz geltenden gesetzlichen Sicherheitsvorschriften als extrem gering angenommen. Gemäss probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) wird die Eintrittswahrscheinlichkeit auf 1 Mal in 10 Mio. Jahren geschätzt.

4.2 Schadensausmass

Die Anzahl durch Strahlung geschädigter Personen bleibt gering, da sich die Bevölkerung aufgrund der Warnung grösstenteils rechtzeitig in Sicherheit bringen kann. Wenige Personen, welche sich dennoch im Freien aufhalten, werden durch die Strahlung geschädigt. Mehrere hunderttausend Personen müssen aus dem Gebiet evakuiert werden. Ein Gebiet von mehreren 1000 km² wird radioaktiv kontaminiert. Die Wirtschaft kommt im betroffenen Gebiet zum Erliegen. Es entstehen hohe Kosten für Dekontaminationsarbeiten. Der monetarisierte Gesamtschaden, den das beschriebene Ereignis verursacht, wird auf 35–40 Milliarden Franken geschätzt.

4.3 Risiko

