



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK  
Division principale de la sécurité des installations nucléaires DSN  
Divisione principale della sicurezza degli impianti nucleari DSN  
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate HSK



## Referenzszenarien

für den

## Notfallschutz

in der Umgebung der  
schweizerischen Kernkraftwerke

Ausgabe 2, Oktober 2006

# 1 Veranlassung

## 1.1 Warum braucht es Referenzszenarien?

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 Abgrenzung der Referenzszenarien

Je nach Zielsetzung lassen sich Referenzszenarien unterschiedlich abgrenzen. Für den externen Notfallschutz geeignet ist eine Kategorisierung anhand des Schweregrades der erwarteten *Störfall-Folgen*, wie das auch von der Internationalen Atomenergie Agentur (IAEA) vorgesehen wird. Die Notfallschutzmassnahmen wie das Aufsuchen von Keller oder Schutzraum, die Einnahme von Iodtabletten oder eine Evakuierung dienen zur Linderung der Auswirkungen eines Unfalls, das heisst zur Reduktion der Strahlendosis.

Es ist sinnvoll, bei der Entwicklung von Referenzszenarien für die Notfallschutzplanung die unten aufgezeigte Kategorisierung zu berücksichtigen:

- **Störfälle mit geringfügigen radiologischen Auswirkungen:**

Diese Kategorie von Störfällen in Kernkraftwerken führen zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen, bei denen mit nur geringfügigen bis gar keinen Auswirkungen auf die Gesundheit der betroffenen Bevölkerung gerechnet werden muss. Gemäss Strahlenschutzverordnung (StSV) und Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (VEOR) sind dies Störfälle mit einer Folgedosis  $< 1$  mSv für die Hauptbetroffenen. In diesen Fällen sind die Massnahmen des Notfallschutzes nicht erforderlich.

- **Störfälle mit radiologischen Auswirkungen, die Notfallschutzmassnahmen erforderlich machen:**

Diese Kategorie von Störfällen führt zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen, die für die ungeschützte Bevölkerung gesundheitliche Beeinträchtigungen zur Folge haben können. Die vorgesehenen Schutzmassnahmen reduzieren die Dosis auf ein solches Mass, dass praktisch keine akuten radiologischen Folgeschäden zu befürchten sind und die Anzahl der Strahlenspät- und Erbschäden möglichst gering gehalten wird.

### **1.3 Die Entwicklung der Referenzszenarien**

Mit fortschreitendem Kenntnisstand des Störfallverhaltens von Kernkraftwerken und als Folge der sicherheitstechnischen Nachrüstungen in den schweizerischen Kernkraftwerken haben sich die Referenzszenarien gewandelt. Nachfolgend wird diese Entwicklung kurz dargestellt.

#### **1.3.1 Notfallschutzkonzept 1977**

Die Kernpunkte des Notfallschutzkonzeptes von 1977 sind:

- Aufbau der raschen Alarmierung der Bevölkerung (RABE): Als Ergänzung zu den bestehenden Sirenen des Zivilschutzes wurde deren Anzahl erhöht und technische sowie radiologische Kriterien für die Warnung der Behörden und der Bevölkerung eingeführt.
- Zonenkonzept.

Das Zonenkonzept hat folgende Eigenschaften:

- Die Zone 1 umfasst das Gebiet, in dem ohne Schutzmassnahmen Personen beim Durchzug der radioaktiven Wolke eine Dosis von mehr als 1 Sv akkumulieren könnten. Die Durchmesser der Zonen wurden an die Grösse der Anlage angepasst (KKB und KKM: ca. 3 km, KKG und KKL: ca. 5 km).
- Die Zone 2 schliesst an die Zone 1 an und umfasst das Gebiet, in dem die Strahlung aus der vorbeiziehenden Wolke nicht mehr lebensbedrohlich ist, die Ablagerungen aus der radioaktiven Wolke auf dem Boden aber eine zusätzliche radiologische Belastung ergeben.

- Die Zone 3 umfasst das Gebiet ausserhalb der Zonen 1 und 2. Hier besteht auch nach einem schweren Unfall keine akute Gefährdung der Bevölkerung. Langfristig können Probleme für die Landwirtschaft und die Lebensmittelversorgung entstehen.

### 1.3.2 Notfallschutzkonzept 1991

Aus den Lehren des Unfalls im Kernkraftwerk Three Mile Island im Jahre 1979 wurden die schweizerischen Kernkraftwerke nachgerüstet. Ferner haben Untersuchungen zum Störfallverhalten der schweizerischen Kernkraftwerke zu einer Neufassung des Notfallschutzkonzepts und zu einem neuen Referenzstörfall mit folgenden Annahmen geführt:

- 100 % der radioaktiven Edelgase
- < 1 % des restlichen Kerninventars

entweichen in die Umgebung.

Folgende Dosen wurden aufgrund dieses Referenzstörfalls abgeschätzt:

Erwartete externe Ganzkörperdosis bei Aufenthalt im Freien. Die Bandbreite berücksichtigt die möglichen Wetterlagen		
in 4 km Entfernung	in 10 km Entfernung	in 20 km Entfernung
20 bis 700 mSv	7 bis 200 mSv	3 bis 80 mSv

Erwartete Schilddrüsendosen durch Inhalation von Iod im Freien. Die Bandbreite berücksichtigt die möglichen Wetterlagen		
in 4 km Entfernung	in 10 km Entfernung	in 20 km Entfernung
100 bis 7000 mSv	40 bis 2000 mSv	10 bis 1000 mSv

Es stehen insgesamt 4 Stunden ab WARNUNG bis zum Beginn einer Freisetzung zur Verfügung, wobei ab erstem Auslösen des Allgemeinen Alarms noch 2 Stunden für die Vorbereitung von Schutzmassnahmen verbleiben. Diese Zeitvorgaben wurden in den Einsatzdokumenten der Kantone und Gemeinden berücksichtigt (siehe auch Abbildung unter Abschnitt 3.1).

Für Beznau und Leibstadt wurden gemeinsame Zonen (1 und 2) geschaffen.

### **1.3.3 Notfallschutzkonzept 1998**

Erfahrungen aus den Notfallübungen wie auch rechtliche Änderungen und die Verteilung von Iodtabletten machten eine Revision des Notfallschutzkonzepts notwendig. Dabei blieb die Zoneneinteilung unverändert. Die Planung der Notfallschutzmassnahmen basiert auf einer Auswahl von Szenarien. Mit den unterschiedlichen Szenarien soll erreicht werden, dass die Notfallorganisation den einzelnen Notlagen entsprechend geeignet reagieren kann. Der Schutz der Bevölkerung wurde für die folgenden drei Szenarien vorbereitet:

- A – Szenarien ohne Kernbeschädigung („Auslegungsstörfall“)
- B – Szenarien mit Kernbeschädigung und korrekter Funktion des Containments und des Ventingsystems
- C – Szenarien mit Kernbeschädigung, jedoch ohne korrekte Funktion des Containments und des Ventingsystems

## **2 Randbedingungen für die Festlegung der Referenzszenarien für das Konzept 2006**

Für die ausgewählten Referenzszenarien sollen die folgenden Randbedingungen gelten:

- Der Teil der Störfallabläufe, die schneller als die Referenzszenarien ablaufen oder die zu grösseren radioaktiven Freisetzungen führen als in den Referenzszenarien vorgesehen, soll nicht häufiger als ca.  $10^{-6}$  Ereignisse pro Jahr (d.h. ca. 1 Mal in 1'000'000 Jahren) zu erwarten sein.
- Die Planung von Schutzmassnahmen soll grundsätzlich für die Umgebungen aller KKW gleich sein.
- Für die Berechnung der Folgedosen soll eine mittlere<sup>1</sup> Wetterlage zu Grunde gelegt werden.

---

<sup>1</sup> Eine „mittlere Wetterlage“ entspricht einem mit der Eintretenshäufigkeit gewichteten Mittelwert der einzelnen betrachteten Wetterlagen

Bei der Festlegung der Referenzszenarien für das Notfallschutzkonzept 2006 hat sich die HSK von den folgenden Überlegungen leiten lassen.

## **2.1 Realistische Annahmen für die Notfallschutzplanung**

Der Notfallschutz soll von realistischen Annahmen über die Unfälle ausgehen. Er soll den gleichen Schutz gewähren wie bei ähnlichen technischen oder natürlichen Gefährdungen.

Es werden daher in der Ausarbeitung der Referenzszenarien folgende Fälle nicht berücksichtigt:

- Sehr schwere Erdbeben: Kernkraftwerke sind gegen Erdbeben ausgelegt. Eine Wiederholung des schweren Erdbebens in Basel im Jahr 1356 würden die Kernkraftwerke ohne Gefährdung der Umwelt überstehen. Sehr schwere Erdbeben haben Konsequenzen, deren Bewältigung die Organe des Notfallschutzes vor weit grössere Probleme stellen als die zusätzliche radiologische Gefährdung. Die Rettung bzw. medizinische Versorgung von Verschütteten hat in diesem Fall erste Priorität.
- Terroristische Anschläge und Sabotage: Kernkraftwerke sind so ausgelegt, dass sie entsprechenden Aktionen zu einem hohen Grad widerstehen können.
- Kriegerische Auseinandersetzungen: Die Konsequenzen von Szenarien dieser Kategorie sind sehr schwer abschätzbar. Auch hier gilt jedoch, dass die Bevölkerung durch die kriegerischen Aktionen grösseren Auswirkungen ausgesetzt sein wird als durch die zusätzliche freigesetzte Radioaktivität.

**In all diesen Fällen würden die auf der Basis der Referenzszenarien vorbereiteten Notfallschutzmassnahmen ebenfalls angewendet und hätten eine lindernde Wirkung.**

## **2.2 Häufigkeiten von Störfällen mit radioaktiven Freisetzungen**

Häufiger zu erwartende Störfälle müssen durch die anlageninternen Sicherheitssysteme und Barrieren so beherrscht werden, dass keine externen Notfallschutzmassnahmen notwendig sind.

Die Notfallschutzplanung soll sich auf diejenige Störfälle konzentrieren, deren Häufigkeit kleiner als  $10^{-4}$  Ereignisse pro Jahr (d.h. weniger als 1 Mal in 10'000 Jahren) ist. Dabei sollen die vorbereiteten Notfallschutzmassnahmen eine wesentliche Reduktion der Dosis bewirken.

### 3 Beschreibung der Referenzszenarien

Bei der Herleitung der Referenzszenarien für das Konzept 2006 ist die HSK wie folgt vorgegangen.

Anhand der probabilistischen Sicherheitsanalysen wurden Unfallabläufe mit Freisetzungen identifiziert, die den Annahmen von Kapitel 2 entsprechen. Diese Abläufe wurden mittels Computermodellen simuliert. Dabei wurde auch die Wirksamkeit der Accident-Management-Massnahmen zur Milderung der Auswirkungen eines schweren Unfalls probabilistisch bewertet.

In den folgenden drei Abschnitten wird eine typische zeitliche Abfolge der Ereignisse im Kernkraftwerk mit der Abfolge der Ereignisse der Notfallschutzorganisation „synchronisiert“, die typischen Freisetzungspfade an die Umgebung werden aufgezeigt und die radiologischen Konsequenzen zusammengefasst.

#### 3.1 Zeitlicher Ablauf

Für einen „generischen Unfallablauf“ kann der nachfolgend skizzierte zeitliche Ablauf angenommen werden:



Ein Störfall ereignet sich und eskaliert: Das Hauptkühlsystem steht nicht mehr zur Verfügung sowie 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 WARNUNG erreicht.

Kann die Kernkühlung wieder hergestellt werden, dann stoppt der Unfallablauf.

Kann die Kernkühlung weiterhin nicht sichergestellt werden, heizt sich der Kern noch mehr auf und beginnt zu schmelzen. In der Folge kann der Primärkreislauf Schaden nehmen und grosse Mengen radioaktiver Stoffe können in das Containment gelangen. 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.

## **3.2 Mögliche Freisetzungspfade**

Sobald grössere Mengen an radioaktiven Stoffen in das Containment freigesetzt worden sind und der Druck im Containment ansteigt, können diese Stoffe auch in die Umgebung gelangen. Für diese Freisetzung der Radioaktivität in die Umgebung gibt es zwei unterschiedliche Freisetzungspfade:

- gefilterte Freisetzung
- ungefilterte Freisetzung

Sobald eine wesentliche Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung erwartet wird oder einsetzt, ist der Zeitpunkt für die Auslösung des „Allgemeinen Alarms – Schutzmassnahmen vollziehen“ erreicht.

### **3.2.1 Gefilterte Freisetzung**

In dieser Freisetzungskategorie zusammengefasst werden Unfallabläufe, bei denen das Containment intakt bleibt und bei denen Abgaben an die Umgebung entweder über die Notabluftanlagen des Kernkraftwerks oder über die Störfall-Filteranlage (Ventingsystem) an die Umgebung gelangen. Diese Freisetzungen werden vorwiegend über den Abluftkamin an die Umgebung abgegeben. Die Filteranlage



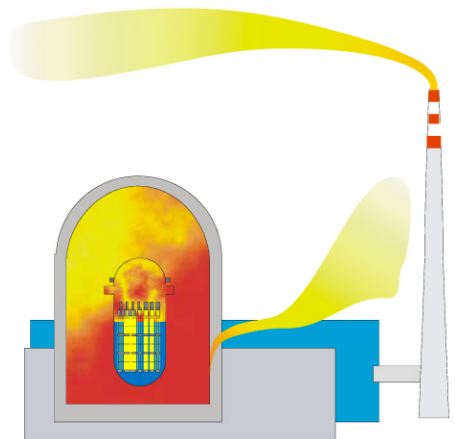
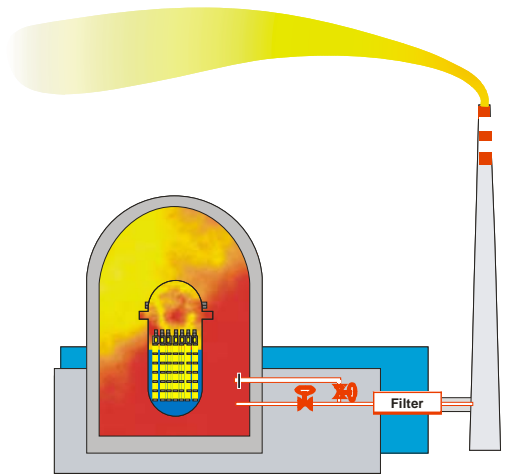
ist so ausgelegt, dass 99 % des freigesetzten elementaren Iods und 99.9 % der Aerosole zurückgehalten werden. Aktiniden wie Uran und Plutonium werden aufgrund ihrer schwerflüchtigen Eigenschaften praktisch keine an die Umgebung abgegeben. Diese Freisetzungen bestehen somit zum grössten Teil aus radioaktiven Edelgasen, die nicht zurückgehalten werden können.

Freisetzungen von Radioaktivität in Form von Leckagen, die bereits früher im Störfallablauf einsetzen, werden in diesem und im nachfolgenden Szenario nicht separat ausgewiesen, da es sich im Vergleich zu den Gesamtfreisetzungen um geringe Mengen handelt.

### 3.2.2 Ungefilterte Freisetzung

In dieser Freisetzungskategorie zusammengefasst werden diejenigen Unfallabläufe, bei denen der Einschluss der Radioaktivität im Containment nicht einwandfrei funktioniert oder aber bei denen die Notabluftanlagen respektive die Störfall-Filteranlagen nur eingeschränkt oder gar nicht zur Verfügung stehen. Es wird zudem angenommen, dass die freigesetzten radioaktiven Stoffe zu 2/3 auf Bodenhöhe bzw. 1/3 über den Kamin in die Umgebung gelangen.

Bei der ungefilterten Freisetzung ist die Menge der freigesetzten radioaktiven Stoffe grösser als bei einer gefilterten Freisetzung, ferner setzt sie sich radiologisch und chemisch anders zusammen. Neben den Edelgasen werden auch Iod und Aerosole freigesetzt.



### 3.3 Szenarien, Quellterme und Dosen

Für die Notfallschutzplanung lassen sich die folgenden drei Szenarien definieren (gleich wie im Konzept von 1998):

- Szenario A1: Störfälle ohne Kernschaden
- Szenario A2: Störfälle mit Kernschaden und mit gefilterter Freisetzung
- Szenario A3: Störfälle mit Kernschaden und mit ungefilterter Freisetzung

Die Eigenschaften und Konsequenzen dieser drei Szenarien werden in der Tabelle auf der nachfolgenden Seite zusammengefasst.

## 4 Schlussfolgerungen

Die drei vorgeschlagenen Referenzszenarien decken die in Abschnitt 1.2 vorgestellten Kategorien wie folgt ab:

Störfälle mit geringfügigen radiologischen Auswirkungen	vollständig
Störfälle mit radiologischen Auswirkungen, die Notfallschutzmassnahmen erforderlich machen	Zu einem grossen Teil

Ferner hat die HSK anhand ihrer Untersuchungen festgestellt, dass die Referenzszenarien die Anforderung gemäss Abschnitt 2 für alle schweizerischen KKW erfüllt:

- Die Summenhäufigkeit der bezüglich Freisetzungzeitpunkt und Menge freigesetzter radioaktiver Stoffe nicht abgedeckter Unfallabläufe liegt unterhalb von ca.  $1 \times 10^{-6}$  Ereignissen pro Jahr.

Damit sind die vorgestellten Referenzszenarien geeignet, als Basis für die schweizerische Notfallschutzplanung eingesetzt zu werden.

## Zusammenfassung der Referenzszenarien: Quellterme und radiologische Auswirkungen für eine mittlere Wetterlage

	Szenario A1		Szenario A2		Szenario A3	
	ohne Kernbeschädigung		mit Kernbeschädigung und Containmentventing		mit Kernbeschädigung ohne Containmentventing	
	Relevant für Zone 1		Relevant für Zonen 1+2		Relevant für Zonen 1+2 sowie Teile der Zone 3	
Quellterm	Aktivität	Anteil <sup>1)</sup>	Aktivität	Anteil <sup>1)</sup>	Aktivität	Anteil <sup>1)</sup>
- Edelgase	$1 \cdot 10^{16}$ Bq	$8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{18}$ Bq	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{18}$ Bq	$3 \cdot 10^{-1}$
- Iod	$1 \cdot 10^{12}$ Bq	$4 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{14}$ Bq	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{15}$ Bq	$7 \cdot 10^{-5}$
- Aerosole	$1 \cdot 10^{11}$ Bq	$2 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{13}$ Bq	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{15}$ Bq	$5 \cdot 10^{-5}$
Beginn von <b>wesentlichen</b> Freisetzungen <sup>2)</sup> (Zeit nach Unfallbeginn)	keine		nach 6 Stunden		nach 6 Stunden	
Freisetzungsdauer	8 Stunden		8 Stunden		8 Stunden	
Wolkendosis bis 48 Stunden <sup>3)</sup>						
- Effektive Dosis Ex-tern	325 $\mu$ Sv / 35 $\mu$ Sv		43.1 mSv / 7.2 mSv		46 mSv / 7.3 mSv	
- Dosis Inhalation von Iod <sup>4)</sup>	76 $\mu$ Sv / 9.5 $\mu$ Sv		13 mSv / 1.4 mSv		104 mSv / 15 mSv	
Bodendosis bis 1 Jahr <sup>3)</sup>						
- Effektive Dosis Ex-tern	0.4 $\mu$ Sv / 0.05 $\mu$ Sv		0.1 mSv / 0.01 mSv		5.7 mSv / 0.7 mSv	
- Effektive Ingestionsdosis	74 $\mu$ Sv / 9.5 $\mu$ Sv		18.1 mSv / 2.2 mSv		306 mSv / 46.7 mSv	

- <sup>1)</sup> Anteil des Kerninventars bei einer 3000 MW<sub>th</sub> Anlage (bei Aerosolen wird der Wert für Cäsium angegeben)
- <sup>2)</sup> Freisetzungen, die jedoch keine Schutzmassnahme erfordern, sind bereits ab Unfallbeginn möglich. Als „wesentlich“ wird eine Freisetzung bezeichnet, wenn die berechnete Wolkendosis zur Überschreitung von 1 mSv führt
- <sup>3)</sup> Dosiswerte jeweils für 4 km / 20 km bei einer mittleren Wetterlage
- <sup>4)</sup> Schilddrüsendosis für 1-jähriges Kleinkind

**Hauptabteilung für die  
Sicherheit  
der Kernanlagen HSK**

**Postadresse**

HSK  
CH-5232 Villigen-HSK

Telefon ++41(0)56 310 38 11

Telefax ++41(0)56 310 39 95

Und ++41(0)56 310 39 07

[infodienst@hsk.ch](mailto:infodienst@hsk.ch)

[www.hsk.ch](http://www.hsk.ch)

Oktober 2006

HSK-AN 6073