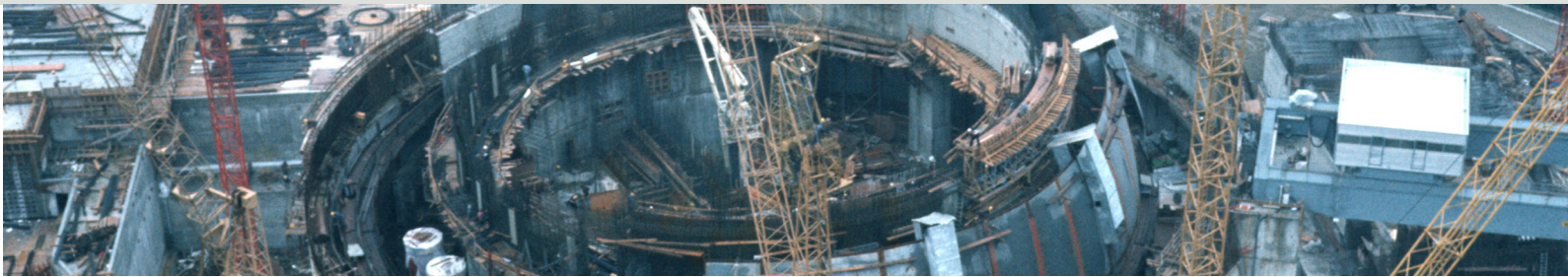




Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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



## Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse

Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen

**ENSI-A01**



**Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für  
Kernanlagen:  
Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen  
Störfallanalyse**

Ausgabe Juli 2009

**Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen**

**ENSI-A01/d**



# Inhalt

Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen

ENSI-A01/d

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Gegenstand und Geltungsbereich</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Rechtliche Grundlagen</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Technische Analyse von Auslegungsstörfällen</b>	<b>3</b>
4.1	Störfallhäufigkeit	3
4.2	Ereignisspektrum und Art des Einzelfehlers	4
4.3	Berechnungsprogramme und Anlagemodelle	5
4.4	Anlageverhalten	5
<b>5</b>	<b>Technische Analyse ausgewählter auslegungsüberschreitender Störfälle</b>	<b>7</b>
	<b>Anhang 1: Begriffbestimmungen</b>	<b>8</b>
	<b>Anhang 2: Auslösende Ereignisse gemäss Art. 4.2.1 Bst. c</b>	<b>9</b>
	<b>Anhang 3: Auslösende Ereignisse gemäss Art. 4.2.1 Bst. d</b>	<b>10</b>

# 1 Einleitung

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) ist die Aufsichtsbehörde über die nukleare Sicherheit und Sicherung der Kernanlagen in der Schweiz. In seiner Eigenschaft als Aufsichtsbehörde oder gestützt auf einen Auftrag in einer Verordnung erlässt es Richtlinien. Richtlinien sind Vollzugshilfen, die rechtliche Anforderungen konkretisieren und eine einheitliche Vollzugspraxis erleichtern. Sie konkretisieren zudem den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Das ENSI kann im Einzelfall Abweichungen zulassen, wenn die vorgeschlagene Lösung in Bezug auf die nukleare Sicherheit und Sicherung mindestens gleichwertig ist.

## 2 Gegenstand und Geltungsbereich

Die Störfallanalyse für Kernanlagen umfasst eine deterministische und eine probabilistische Untersuchung von Störfallabläufen. Die Anforderungen an die probabilistische Analyse sind in der Richtlinie ENSI-A05 geregelt. Die deterministische Störfallanalyse besteht aus einer technischen und einer radiologischen Analyse. Die Anforderungen an die radiologische Störfallanalyse werden in den Richtlinien ENSI-A08 und HSK-G14 geregelt.

Der Nachweis für die Sicherheit von geologischen Tiefenlagern ist Regelungsmaterie der Richtlinie ENSI-G03.

Diese Richtlinie regelt den Umfang, die Methodik und die Randbedingungen für die technische Störfallanalyse.

Ziel der technischen Störfallanalyse ist es,

- a. den Nachweis zu erbringen, dass bei Auslegungsstörfällen die Kriterien gemäss Art. 8 bis 11 der Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (SR 732.112.2) eingehalten werden;
- b. die Störfallabläufe für die radiologische Störfallanalyse vorzugeben;
- c. die sicherheitstechnische Bedeutung und Auslegung der Bauwerke, Systeme und Komponenten festzulegen;
- d. die Bedingungen und Begrenzungen für einen sicheren Betrieb festzulegen;
- e. die Inhalte von Störfallvorschriften und Entscheidungshilfen für das Unfallmanagement (Anhang 3 KEV) festzulegen;
- f. den Nachweis zu erbringen, dass gegen die Folgen von Störfällen, bei denen radioaktive Stoffe in gefährdendem Umfang freigesetzt werden können, wirksame Vorkehrungen getroffen werden.

### **3 Rechtliche Grundlagen**

Diese Richtlinie führt die folgenden rechtlichen Grundlagen aus:

- a. Art. 94 Abs. 8 Strahlenschutzverordnung (StSV, SR 814.501);
- b. Art. 2 Abs. 4 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (SR 732.112.2).

## **4 Technische Analyse von Auslegungsstörfällen**

### **4.1 Störfallhäufigkeit**

#### **4.1.1 Grundsätze**

- a. Die Störfallhäufigkeit ist zu ermitteln (Art. 3 Abs. 1 Bst. c Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen), indem die Eintrittshäufigkeit eines auslösenden Ereignisses mit der Wahrscheinlichkeit eines Einzelfehlers multipliziert wird.
- b. Die Unsicherheit bei der Bestimmung der Störfallhäufigkeit ist zu berücksichtigen. Die Zuweisung zu einer Störfallkategorie (3. Kapitel, 2. Abschnitt Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen) hat in konservativer Weise zu erfolgen.
- c. Falls ein Störfall aufgrund der Unterstellung eines Einzelfehlers einer höheren Störfallkategorie zugeordnet wird und damit andere Nachweiskriterien gelten, ist der Nachweis der Störfallbeherrschung auch ohne Einzelfehler zu erbringen.

#### **4.1.2 Eintrittshäufigkeit eines auslösenden Ereignisses**

- a. Die Eintrittshäufigkeit eines auslösenden Ereignisses pro Jahr ist anhand der Auswertungen der eigenen Betriebserfahrung sowie derjenigen anderer vergleichbarer Kernanlagen zu bestimmen. Dabei sind die im Rahmen der anlagespezifischen probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) ermittelten Eintrittshäufigkeiten zu verwenden.
- b. Bei der Bestimmung der Eintrittshäufigkeit eines auslösenden Ereignisses pro Jahr ist der Betriebszustand der Kernanlage (z. B. Leistungsbetrieb, An- und Abfahren, Stillstand von Kernkraftwerken) zu berücksichtigen. Die Eintrittshäufigkeit pro Jahr für den zu betrachtenden Betriebszustand redu-

ziert sich entsprechend dem durchschnittlichen Zeitanteil eines solchen Betriebszustandes an einem Jahr.

- c. Sofern Betriebsvorschriften (Technische Spezifikationen) einen zeitlich begrenzten Betrieb von Kernanlagen, z. B. bei erhöhter Kühlmittelaktivität, zulassen, darf dies bei der Bestimmung der Eintrittshäufigkeit berücksichtigt werden. Die Eintrittshäufigkeit pro Jahr reduziert sich dann entsprechend dem Anteil der (z. B. mit erhöhter Kühlmittelaktivität) zulässigen zeitlich begrenzten Betriebsdauer an einem Jahr.

### **4.1.3 Wahrscheinlichkeit eines Einzelfehlers**

Grundsätzlich ist für die Wahrscheinlichkeit eines Einzelfehlers der Wert von 0,1 anzunehmen. Ein kleinerer Wert bis 0,01 darf verwendet werden, wenn dieser aus Betriebserfahrungen nachgewiesen werden kann.

## **4.2 Ereignisspektrum und Art des Einzelfehlers**

### **4.2.1 Ereignisspektrum**

- a. Es ist mindestens das anlagespezifisch umhüllende Spektrum auslösender Ereignisse zu betrachten.
- b. Es ist nachzuweisen, dass das umhüllende Spektrum diejenigen Störfallabläufe beinhaltet, welche die grössten Anforderungen an die Einhaltung der grundlegenden Schutzziele (Art. 1 Bst. f Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen) stellen.
- c. Anhang 2 enthält für Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren den Mindestumfang der Ereignisse, für die technische Störfallanalysen durchzuführen sind.
- d. Für die Ereignisse in Anhang 3 ist aufzuzeigen, dass mit den getroffenen Vorkehrungen die Auswirkungen so begrenzt bleiben, dass diese über die technischen Analysen der anderen Störfälle abgedeckt sind. Nur dann ist keine spezifische technische Störfallanalyse für das entsprechende Ereignis durchzuführen.

### **4.2.2 Einzelfehler**

- a. Es ist zusätzlich zum auslösenden Ereignis ein davon unabhängiger Einzelfehler zu unterstellen (Art. 8 Abs. 4 Satz 2 KEV).
- b. Als Einzelfehler ist entweder der Ausfall einer aktiven oder passiven technischen Komponente, eines Teilsystems oder ein Operateurfehler zu unterstellen. Bei passiven Komponenten kann auf die Annahme eines Einzelfehlers verzichtet werden, wenn diese nachweislich die geforderte hohe



Qualität besitzen und keinem latenten Schädigungsmechanismus unterliegen.

- c. Ein Einzelfehler ist dort zu unterstellen, wo dieser die Verfügbarkeit der zur Störfallbeherrschung erforderlichen Sicherheitssysteme am meisten einschränkt.
- d. Bei der Ermittlung des Einzelfehlers sind die Erkenntnisse aus der anlage-spezifischen PSA bezüglich der Auswirkungen einzelner Komponenten oder Operateurhandlungen auf das zu analysierende, auslösende Ereignis zu berücksichtigen.

### **4.3 Berechnungsprogramme und Anlagemodelle**

- a. Es sind neutronenphysikalische, thermohydraulische und struktur-mechanische Berechnungsprogramme zu verwenden.
- b. Die Berechnungsprogramme müssen verifiziert und validiert sein.
- c. Die Anwender der Berechnungsprogramme müssen erfahren sein.
- d. Es sind realistische („best-estimate“) Berechnungsprogramme und konservative Anfangs- und Randbedingungen zu verwenden.
- e. Es sind verifizierte Anlagemodelle zu verwenden.
- f. Bei Unsicherheiten in den physikalischen und mathematischen Modellen der Berechnungsprogramme und in den Daten der Anlagemodelle sind Sensitivitätsstudien durchzuführen.
- g. Die Berechnungsprogramme und Anlagemodelle sind zu dokumentieren.

### **4.4 Anlageverhalten**

#### **4.4.1 Ausgangszustand und Nachzerfallsleistung**

- a. Beim Eintritt des Ereignisses ist der ungünstigste Betriebszustand anzunehmen. Bei Kernkraftwerken ist die Analyse für den ungünstigsten Zeitpunkt im Betriebszyklus durchzuführen. Es ist dabei von einer Kernanordnung und einem Abbrand auszugehen, welche die Brennelementeinsatzstrategie abdecken.
- b. Die Nachzerfallsleistung des Reaktorkerns sowie von abgebrannten Brennelementen im Lagerbecken ist mit konservativen Annahmen zu bestimmen.

#### **4.4.2 Verhalten von Bauwerken und Systemen**

- a. Es sind die Bauwerke und Systeme zu berücksichtigen, die zur Erfüllung der geforderten Sicherheitsfunktionen dienen oder deren Versagen oder Fehlfunktion den Störfallablauf nachteilig beeinflussen können.

- b. Falls die präventive Instandhaltung von Systemen und Einrichtungen im betrachteten Betriebszustand zulässig ist, sind die davon betroffenen Komponenten als nicht verfügbar zu betrachten.

#### **4.4.3 Zusätzliche Ausfallannahmen (zum Einzelfehler)**

- a. Das Versagen von Bauwerken und Systemen als Folge des auslösenden Ereignisses ist zu berücksichtigen.
- b. Der Ausfall der externen Stromversorgung ist zum ungünstigsten Zeitpunkt des Störfallablaufs anzunehmen.
- c. Für den Nachweis der Wirksamkeit der Reaktorschnellabschaltung von Kernanlagen ist zusätzlich zum Einzelfehler ein Blockieren des wirksamsten Steuerelements („stuck rod“) anzunehmen.
- d. Wenn mehrere Anregekriterien für eine Schutzaktion (z. B. die Reaktorschnellabschaltung) vorhanden sind, ist konservativ erst das zweite, zeitlich verzögerte Kriterium zu berücksichtigen.

#### **4.4.4 Handlungen des Betriebspersonals**

- a. Es ist anzunehmen, dass das Betriebspersonal die Betriebsvorschriften befolgt.
- b. Sicherheitsrelevante Handlungen des Betriebspersonals nach dem auslösenden Ereignis können berücksichtigt werden, falls ausreichend Zeit für die Diagnose und die Ausführung der Handlungen zur Verfügung steht.

#### **4.4.5 Rechenparameter und Analysezeitraum**

- a. Es ist anzunehmen, dass Schutzaktionen erst beim Ansprechwert und nicht schon beim eingestellten Wert angeregt werden.
- b. Die Ansprechverzögerung bis zur Auslösung der jeweiligen Schutzaktion ist zu berücksichtigen.
- c. Bei den für die Störfallbeherrschung erforderlichen Systemen ist von der minimalen Wirkung gemäss Auslegung auszugehen, es sei denn, eine höhere Wirkung hat ungünstigere Folgen für den Störfallablauf.
- d. Die Störfallabläufe sind bis zum Erreichen eines sicheren stabilen Anlagenzustands zu analysieren.

## 5 Technische Analyse ausgewählter auslegungsüberschreitender Störfälle

- a. Es ist insbesondere das Verhalten der Barrieren für den Einschluss radioaktiver Stoffe detailliert zu untersuchen.
- b. Es dürfen realistische (best-estimate) Berechnungsprogramme sowie realistische Anfangs- und Randbedingungen verwendet werden. Das bedeutet insbesondere, dass alle noch verfügbaren Systeme (einschliesslich der Betriebssysteme) berücksichtigt werden dürfen. Zudem ist kein zusätzlicher, unabhängiger Einzelfehler zu unterstellen.
- c. Die Berücksichtigung von Systemen unter Störfallbedingungen, die über die auslegungsgemäss vorgesehene Nutzung hinausgehen, ist auf Basis vorhandener Auslegungsreserven plausibel zu begründen.
- d. Spezielle nur für auslegungsüberschreitende Störfälle vorgesehene Systeme und Massnahmen sind in der Analyse zu berücksichtigen.
- e. Für Kernanlagen sind soweit anwendbar insbesondere die Ereignisse Versagen der Reaktorschnellabschaltung bei Anforderung (Anticipated Transients Without Scram, ATWS), Funktionsuntüchtigkeit des Hauptkommandoraumes, Ausfall der sekundärseitigen Nachwärmeabfuhr (DWR), Ausfall der gesamten Nachwärmeabfuhr, Ausfall der Kernnotkühlung, Ausfall der Brennelementbeckenkühlung, mehrfache Dampferzeuger-Heizrohrbrüche (DWR) und Totalausfall der Wechselstromversorgung (Station Blackout) zu untersuchen.
- f. Es sind die nach einem Kernschaden auftretenden physikalischen Prozesse zu untersuchen. Dies sind insbesondere Brennstoffschmelzen, Brennstoff-Kühlmittel-Wechselwirkungen (einschliesslich Dampfexplosion), Durchschmelzen des Reaktordruckbehälters, Auswurf der Kernschmelze bei hohem Druck / direkte Aufheizung des Containments, Entstehung und Verbrennung von Gasen (Wasserstoff, Kohlenmonoxid) und Kernschmelze-Beton-Wechselwirkungen.
- g. Die Unsicherheiten in den Analyseergebnissen sind zu bewerten.

Diese Richtlinie wurde am 31.07.2009 vom ENSI verabschiedet.

Der Direktor des ENSI: sig. U. Schmocker

# Anhang 1: Begriffbestimmungen

In dieser Richtlinie bedeuten:

## **Auslegungsstörfall**

Siehe Art. 1 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen.

## **Auslegungsüberschreitender Störfall**

Siehe Art. 1 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen.

## **Deterministische Störfallanalyse**

Siehe Art. 1 Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen.

## **Einzelfehler**

Zufälliges Versagen einer Komponente, das zum Verlust ihrer Fähigkeit führt, die vorgesehene Sicherheitsfunktion zu erfüllen. Folgefehler aus diesem zufälligen Versagen werden als Teil des Einzelfehlers betrachtet.

## **Schutzaktion**

Die Schutzaktion ist die Betätigung oder der Betrieb von aktiven Sicherheitssystemen zur Beherrschung von Auslegungsstörfällen oder zur Vorbeugung und Linderung von Folgen auslegungsüberschreitender Störfälle.

## **Sicherheitssystem**

Das Sicherheitssystem ist die Gesamtheit aller Einrichtungen einer Kernanlage, die die Aufgabe haben, die Anlage vor unzulässigen Beanspruchungen zu schützen und bei Störfällen deren Auswirkungen auf das Betriebspersonal, die Anlage und die Umgebung in den zulässigen Grenzen zu halten.

## **Störfall**

Siehe Anhang 1 Bst. i KEV.

## Anhang 2: Auslösende Ereignisse gemäss Art. 4.2.1 Bst. c

Druckwasserreaktor	Siedewasserreaktor
<b>Störungen der Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlkreislauf</b>	
Ausfall der Eigenbedarfsversorgung (Notstromfall)	Ausfall der Eigenbedarfsversorgung (Notstromfall)
Blockieren einer Reaktorkühlmittel-Pumpe	
Fehlöffnen oder fehlerhaftes Offenbleiben von Frischdampf-Abblase- oder Frischdampf-Sicherheitsventilen	Fehlöffnen oder fehlerhaftes Offenbleiben von Frischdampf-Abblase- oder Frischdampf-Sicherheitsventilen
Fehlschliessen aller Frischdampf-Isolationsventile	Fehlschliessen aller Frischdampf-Isolationsventile
Doppelendiger Frischdampf-Leitungsbruch innerhalb und ausserhalb des Primärcontainments <sup>1</sup>	Doppelendiger Frischdampf-Leitungsbruch ausserhalb des Primärcontainments <sup>1</sup>
Doppelendiger Speisewasser-Leitungsbruch innerhalb und ausserhalb des Primärcontainments <sup>1</sup>	Doppelendiger Speisewasser-Leitungsbruch ausserhalb des Primärcontainments <sup>1</sup>
<b>Zufuhr von Reaktivität</b>	
Fehlausfahren einer Steuerelement-Bank	Fehlausfahren eines Steuerelements
Steuerelement-Auswurf	Steuerelement-Fall
<b>Verlust von Reaktorkühlmittel</b>	
Doppelendiger Bruch einer Reaktorkühlmittel-Hauptleitung <sup>1</sup>	Doppelendiger Bruch einer Reaktorkühlmittel-Hauptleitung <sup>1</sup>
Brüche und Lecks im Reaktorkühlkreislauf	Brüche und Lecks im Reaktorkühlkreislauf
Brüche und Lecks von Reaktorkühlmittel führenden Entnahme- und Messleitungen ausserhalb des Primärcontainments	Brüche und Lecks von Reaktorkühlmittel führenden Entnahme- und Messleitungen ausserhalb des Primärcontainments
Doppelendiger Bruch eines Dampferzeuger-Heizrohres	

<sup>1</sup> Falls ein Leck-vor-Bruch-Verhalten nachgewiesen wurde, ist keine Analyse der mechanischen Folgen doppelendiger Leitungsbrüche erforderlich.

### Anhang 3: Auslösende Ereignisse gemäss Art. 4.2.1 Bst. d

Einwirkungen	
von innen	von aussen
Brand	Erdbeben
Überflutung	Überflutung
Versagen von Grosskomponenten (z. B. Turbinenhavarie)	Flugzeugabsturz
Fehlhandlungen des Betriebspersonals	Extreme Wetterbedingungen
Brennelementhandhabungsfehler	Explosionen, Gaswolken
Absturz schwerer Lasten	Brand
„Rohrausschlag“ (pipe whipping), „Projektile“ (missile)	Beeinträchtigung oder Unterbruch der externen Kühlwasserzufuhr
Explosionen	Blitzschlag



**Herausgeber:** Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), CH-5232 Villigen-ENSI  
Telefon +41(0)56 310 38 11, Telefax +41(0)56 310 39 95 und +41(0)56 310 39 07

**Zu beziehen bei:** Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), Informationsdienst, CH-5232 Villigen-ENSI  
oder per E-Mail [Infodienst@ensi.ch](mailto:Infodienst@ensi.ch)  
Abrufbar unter [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)