
**Konzept
für Kriterien zur
Bewertung von an-
genommenen Er-
eignisabläufen**

(KTA-Dok.-Nr. UA-SF/81/5)

März 1981

KTA-GS-33

GESCHÄFTSSTELLE DES KERNTÉCHNISCHEN AUSSCHUSSES (KTA)

beim BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ

Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

Telefon: 01888/333-1624
Telefax: 01888/333-1625
Email: ahihn@bfs.de

Konzept für Kriterien zur Bewertung von angenommenen Ereignisabläufen

Inhalt

	Seite
Vorbemerkung.....	4
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Begriffe.....	6
3 Anforderungen an die Analyse angenommener Ereignisabläufe in der Anlage.....	8
4 Definition von Ereignisklassen und Beispiele für Ereignisabläufe.....	8
4.1 Allgemeines.....	8
4.2 Ereignisklasse 1.....	9
4.3 Ereignisklasse 2.....	9
4.4 Ereignisklasse 3.....	9
4.5 Ereignisklasse 4.....	10
4.6 Ereignisklasse 5.....	10
5 Definition von Schutzzielen und Zuordnung von Grenzwertklassen zu den Ereignisklassen.....	11
5.1 Allgemeines.....	11
5.2 Kriterien für typ- und System unabhängige Schutzziele.....	12
ANHANG A Angenommene Ereignisse bei Leichtwasserreaktoren.....	15
Anhang B.....	17
ANHANG C Bestimmungen, auf die in diesem Konzept verwiesen wird.....	20
Dokumentationsunterlage zum Konzept Konzept für Kriterien zur Bewertung von angenommenen Ereignisabläufen.....	21
1 Auftrag des KTA.....	21
2 Beteiligte Fachleute.....	21
3 Erstellung des Regelentwurfs.....	23
4 Anmerkungen zu dem Konzept.....	24
ANHANG D 1 Angenommener Ereignisablauf für einen Druckwasserreaktor.....	27
ANHANG D 2 Angenommener Ereignisablauf für einen Siedewasserreaktor.....	31

Vorbemerkung

Das vorgelegte Konzept für Kriterien zur Bewertung von angenommenen Ereignisabläufen zur sicherheitstechnischen Auslegung von Kernkraftwerken ordnet die Ereignisabläufe nach ihrer angenommenen Häufigkeit in verschiedene Ereignisklassen, denen wiederum Grenzwertklassen zugeordnet werden. **Bild V-1** zeigt diese Zuordnung.

Die Definitionen der Grenzwertklassen verfolgen dabei die Grundgedanken von Risikobetrachtungen insoweit, als für Ereignisabläufe mit höherer Häufigkeit enger gesetzte Schutzziele festgelegt, das heißt, geringere Auswirkungen zugelassen werden, als für Ereignisabläufe geringerer Häufigkeit. Als Schutzziele werden dabei bewusst nicht nur radiologische Grenzwerte, sondern auch solche Zustandsgrößen herangezogen, die kennzeichnend sind für die Gefährdung der Integrität der Aktivitätsbarrieren oder der Funktion der Sicherheitseinrichtungen.

Das Risikokonzept führt dazu, dass nur solche Ereignisabläufe der Auslegung der Anlage zugrunde gelegt werden, die mit einer geschätzten Eintrittshäufigkeit von etwa $> 10^{-5}/a$ erwartet werden.

Die Anwendung von Risikoüberlegungen wird durch die deterministischen Randbedingungen eingeschränkt, dass

- für Ereignisabläufe an dieser Auslegungsgrenze unter anderem die Einhaltung der Strahlenschutzverordnung, § 28 Abs. 3 gefordert wird,
- für definierte Ereignisabläufe jenseits dieser Auslegungsgrenze weder Risikobetrachtungen noch die Einhaltung allgemein formulierter Schutzziele gefordert werden, sondern lediglich bestimmte punktuelle Vorkehrungen zur Schadenseindämmung.

Aus der Forderung, Ereignisabläufe mit einer bestimmten Eintrittshäufigkeit innerhalb vorgegebener Schutzziele zu beherrschen, lässt sich die erforderliche Zuverlässigkeit der Einrichtungen und Maßnahmen ableiten, die zur Beherrschung eines Ereignisablaufs benötigt wird.

Das vorgelegte Konzept hat zum Ziel, ein in sich abgeschlossenes System zur Bewertung von Ereignisabläufen zu schaffen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn unvoreingenommen von den entsprechenden Erfordernissen ausgegangen wird. Bereits bestehende Festlegungen in- und ausländischen Ursprungs können

dabei nicht als unveränderliche Fixpunkte betrachtet werden, wenngleich in allen Fällen eine möglichst weitgehende Kompatibilität anzustreben ist.

Dort, wo deutsche Gesetze, Verordnungen und Kriterien bereits vorliegen, soll die Zuordnung und Einteilung der Ereignisklassen mit diesen kompatibel sein. Aufgrund internationaler Zusammenarbeit und Verpflichtungen der Betreiber, Gutachter und Hersteller soll die Zuordnung und die Einteilung der Ereignisklassen möglichst kompatibel mit den entsprechenden Festlegungen in ANSI/ANS-4.1-1978 sowie den für Störfälle gültigen Regulatory Guides der NRC bleiben.

Die endgültige Festlegung der Zuordnung der angenommenen Ereignisabläufe zu den Ereignisklassen und der Schutzziele zu den Grenzwertklassen muss einer noch durchzuführenden sorgfältigen Einzelbewertung der Ereignisse vorbehalten bleiben. Die im **Anhang B** aufgeführten Beispiele dienen hier der Erläuterung der Form dieser Zuordnung.

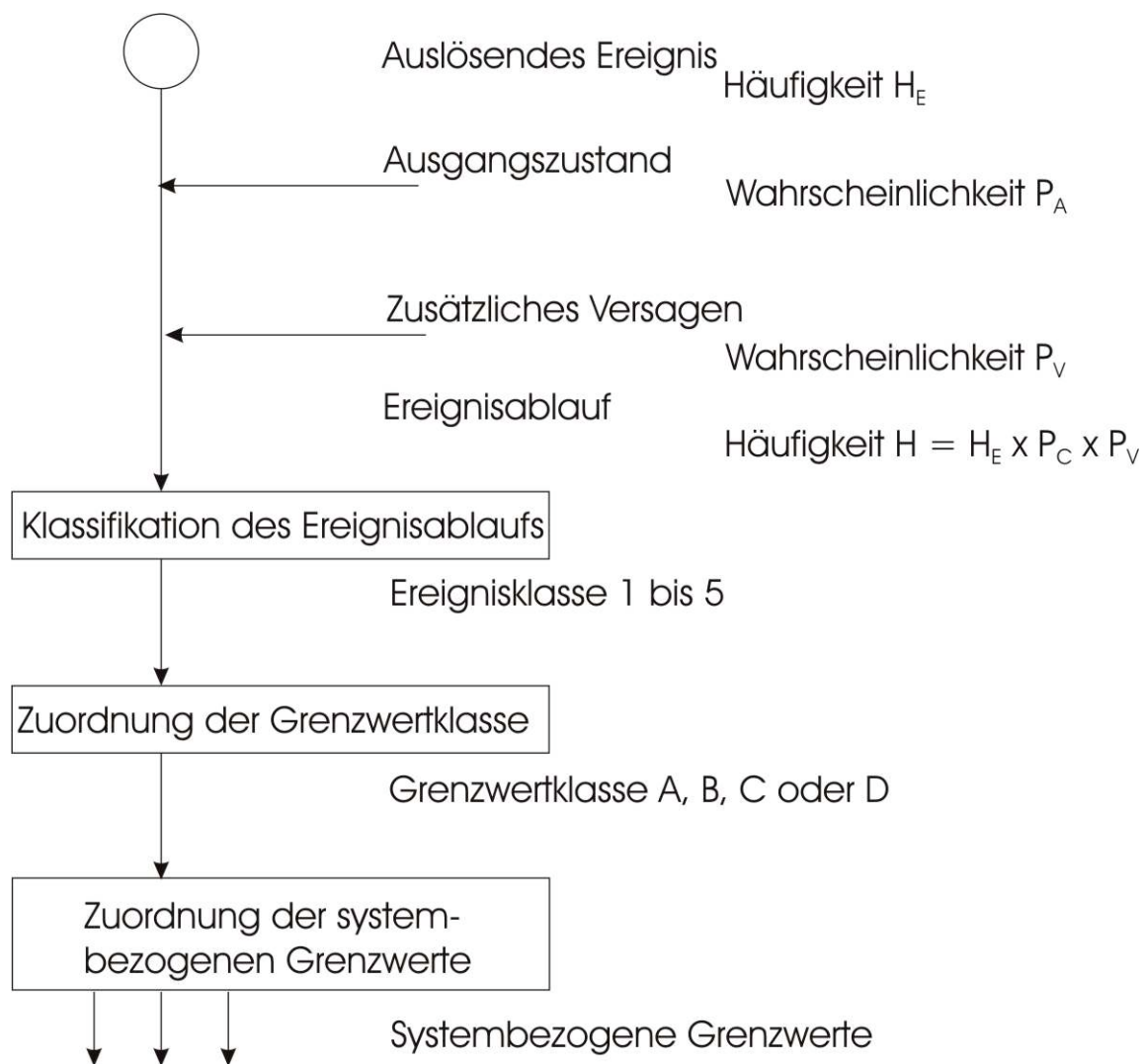


Bild V-1: Zuordnung der Grenzwertklassen zu den Ereignisklassen

1 Anwendungsbereich

Diese Regel ist für ortsfeste Kernkraftwerke anzuwenden.

Sie legt einheitlich typ- und System unabhängige

- Ereignisklassen,
- notwendige Schutzziele,
- Grenzwerte und Grenzwertklassen zur Einhaltung der Schutzziele und
- Kriterien für die Zuordnung zwischen Ereignisabläufen, Ereignisklassen und Grenzwertklassen fest.

Nicht Bestandteil dieser Regel ist die Festlegung von Einzelmaßnahmen und Grenzwerten für verschiedene Reaktortypen und Systeme.

2 Begriffe

(1) Bestimmungsgemäßer Betrieb

(1) Betriebsvorgänge, für die die Anlage bei funktionsfähigem Zustand der Systeme (ungestörter Zustand) bestimmt und geeignet ist (Normalbetrieb);

(2) Betriebsvorgänge, die bei Fehlfunktion von Anlageteilen oder Systemen (gestörter Zustand) ablaufen, soweit hierbei einer Fortführung des Betriebs sicherheitstechnische Gründe nicht entgegenstehen (anomaler Betrieb);

(3) Instandhaltungsvorgänge (Inspektion, Wartung, Instandsetzung).

(2) Betrieb

Der Betrieb umfasst alle Zustände und Vorgänge in der Anlage zwischen der ersten Einlagerung von Kernbrennstoff und der Entfernung des letzten Kernbrennstoffs aus der Anlage.

(3) Ereignis, angenommenes

Ein angenommenes Ereignis ist ein für die sicherheitstechnische Auslegung eines Kernkraftwerks zugrunde gelegter Vorfall.

Hinweis:

Das angenommene Ereignis löst einen Ereignisablauf aus.

(4) Ereignisablauf, angenommener

Ein angenommener Ereignisablauf ist die Beschreibung des Verhaltens der Anlage nach dem Auftreten des angenommenen Ereignisses, beeinflusst vom angenommenen Ausgangszustand der Anlage und von weiteren Versagensannahmen.

(5) Fortführung des Betriebs

Die Fortführung des Betriebs ist sowohl die unterbrechungslose Fortsetzung als auch die unmittelbare Wiederaufnahme des Normalbetriebs oder eines anomalen Betriebs.

(6) Grenzwert

Grenzwerte im Sinne dieser Kriterien sind diejenigen Werte der Zustandsgrößen von Anlageteilen, Systemen oder darin enthaltenen Medien, bei deren Einhaltung ein Versagen sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen mit angemessenem Sicherheitsabstand ausgeschlossen ist.

(7) Häufigkeit, angenommene

Die angenommene Häufigkeit ist die nach Stand von Wissenschaft und Technik abgeschätzte Häufigkeit eines angenommenen Ereignisablaufs.

Hinweis:

Die angenommene Häufigkeit eines Ereignisablaufs wird ermittelt unter Berücksichtigung

- der angenommenen Häufigkeit des den Ereignisablauf auslösenden Ereignisses,
- der angenommenen Wahrscheinlichkeit des Ausgangszustands der Anlage beim Auftreten des auslösenden Ereignisses,
- der angenommenen Wahrscheinlichkeit zusätzlicher Ereignisse, die wesentlichen Einfluss auf den Ereignisablauf haben, zum Beispiel zusätzliches Versagen von Komponenten und Anregungen.

(8) Prozessvariable

Die Prozessvariable ist eine unmittelbar im Prozess messbare physikalische Größe.

(9) Schutzziel

Ein Schutzziel ist eine die Begrenzung der Auswirkungen eines angenommenen Ereignisablaufs kennzeichnende Eigenschaft der Anlage, die durch die Schutzmaßnahmen erreicht werden soll.

(10) Störfall

Ein Störfall ist ein Ereignisablauf, bei dessen Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für den die Anlage ausgelegt ist oder für den bei der Tätigkeit vorsorglich Schutzvorkehrungen vorgesehen sind.

Hinweis:

Für Anlagen nach § 7 AtG ist unter "Störfall" ein Ereignisablauf zu verstehen, bei dessen Eintreten der Betrieb der Anlage aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für den die Anlage ausgelegt ist.

(11) Unfall

Ereignisablauf, der für eine oder mehrere Personen eine die Grenzwerte übersteigende Strahlenexposition oder Inkorporation radioaktiver Stoffe zur Folge haben kann, soweit er nicht zu den Störfällen zählt.

Hinweis:

Siehe hierzu Anmerkungen auf der Seite D-6.

(12) Wiederaufnahme des Betriebs, unmittelbare

Die unmittelbare Wiederaufnahme des Betriebs ist die Wiederherstellung der ursprünglichen Betriebsweise nach einer vorangegangenen Unterbrechung, die eine Überprüfung des Zustands der Anlage nicht erforderlich macht.

Hinweis:

Vor Wiederherstellung der ursprünglichen Betriebsweise kann eine Behebung der Störungsursache und -folgen erforderlich sein.

(13) Zustand, ungestörter

Der ungestörte Zustand der Anlage ist ein Zustand, bei dem alle für den laufenden Betriebszustand erforderlichen Systeme störungsfrei arbeiten und bei dem die den Sicherheitsanforderungen entsprechende Anzahl von Sicherheitssystemen verfügbar ist.

3 Anforderungen an die Analyse angenommener Ereignisabläufe in der Anlage

Eine wichtige Aufgabe der Auslegung liegt in der Festlegung der notwendigen Anforderungen an Komponenten und Systeme von sicherheitstechnischer Bedeutung. Da zu sind bei der Auslegung neben dem bestimmungsgemäßen Betrieb auch angenommene Störfälle zu betrachten.

Hinweis:

Bei Leichtwasserreaktoren sind Ereignisabläufe anzunehmen, die durch die in Anhang A aufgeführten Ereignisse ausgelöst werden.

Die Analyse der Ereignisabläufe ist unter Anwendung rechnerischer Verfahren, experimenteller Methoden oder Plausibilitätsbetrachtungen durchzuführen. Die für die Analyse getroffenen Annahmen müssen begründet werden. Das Ergebnis der Analyse muss alle für die Auslegung notwendigen Aussagen liefern.

Hinweis:

Eine rechnerische Analyse ist im allgemeinen nur für repräsentative Ereignisabläufe durchzuführen.

In die Analyse sollen zum Beispiel einfließen:

- Veränderung von Betriebsparametern in Abhängigkeit von Leistung und Abbrand,
- Zustand der Versorgungssysteme,
- Zustand der sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteile.

Ausgangszustand für die Analyse sind angenommene Betriebsvorgänge, für die die Anlage bei funktionsfähigem Zustand der Systeme bestimmt und geeignet ist (Normalbetrieb) einschließlich der Instandhaltungsvorgänge (Inspektion, Wartung, Instandsetzung).

Dabei ist bezüglich der Auswirkungen des angenommenen Ereignisses zunächst vom wahrscheinlichsten Betriebszustand der Anlage auszugehen. Zusätzlich sind Analysen für ungünstige Ausgangszustände anzufertigen. Unsicherheiten der Prozessvariablen sind zu berücksichtigen.

Hinweis:

Die Wahrscheinlichkeit der ungünstigen Ausgangszustände ist bei der Einteilung in Ereignisklassen gemäß den Abschnitten 4.2 bis 4.6 zu berücksichtigen.

4 Definition von Ereignisklassen und Beispiele für Ereignisabläufe

4.1 Allgemeines

Die Ereignisabläufe sind in die Ereignisklassen gemäß den Abschnitten 4.2 bis 4.6 einzuteilen.

Bei dieser Einteilung sind folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- (1) die angenommene Häufigkeit des auslösenden Ereignisses,
- (2) die angenommene Wahrscheinlichkeit möglicher Ausgangszustände der Anlage,

- (3) die angenommene Wahrscheinlichkeit zusätzlicher Ausfälle von Komponenten oder Anregungen.

Die Zuordnung der Ereignisklassen zu den Begriffen für den "Zustand der Anlage" zeigt Tabelle 4—1.

Hinweis:

Werden aus einem auslösenden Ereignis mehrere Ereignisabläufe abgeleitet, muss die Summe der Häufigkeiten der davon in eine Ereignisklasse fallenden Ereignisabläufe die Häufigkeitsanforderung dieser Klasse erfüllen.

4.2 Ereignisklasse 1

Die Ereignisklasse 1 fasst die angenommenen Ereignisabläufe zusammen, die dem Normalbetrieb und den Instandhaltungsvorgängen zuzuordnen sind.

Beispiele für Ereignisklasse 1:

- Brennelementwechsel,
- Anfahren,
- Abfahren,
- Leistungsbetrieb.

4.3 Ereignisklasse 2

Der Ereignisklasse 2 sind die angenommenen Ereignisabläufe des anomalen Betriebs der Anlage zugeordnet, deren angenommene Häufigkeit so groß ist, dass mit ihrem Eintreten während der Betriebszeit einer Anlage gerechnet werden muss.

Hinweis:

Die angenommene Häufigkeit der angenommenen Ereignisabläufe ist $> 3 \times 10^{-2}/a$.
Die Ereignisklasse 2 umfasst Ereignisabläufe mit und ohne Ansprechen des Reaktorschutzsystems oder von Begrenzungseinrichtungen.

Beispiele für Ereignisklasse 2:

- Ausfall von Hauptkühlmittelpumpen (ohne Blockieren eines Rotors) mit Schnellabschaltung,
- Turbinenschnellschluss,
- kleine Leckagen im Reaktorkühlsystem, die das betriebsübliche Abschalten und Abfahren nicht ausschließen,
- kurzzeitiger Ausfall der Eigenbedarfsversorgung ohne Abfahren der Anlage mit Notstrom.

4.4 Ereignisklasse 3

Der Ereignisklasse 3 sind die angenommenen Ereignisabläufe zugeordnet, deren angenommene Häufigkeit so gering ist, dass ihr Eintreten innerhalb der Lebensdauer einer Anlage nicht erwartet wird, jedoch innerhalb der Lebensdauer mehrerer Anlagen für eine dieser Anlagen nicht ausgeschlossen werden kann.

Hinweis:

Die der Ereignisklasse 3 zugeordneten angenommenen Ereignisabläufe, bei de-

nen der Betrieb der Anlage aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann, sind "Störfälle" gemäß Abschnitt 2 (10).

Die angenommene Häufigkeit der angenommenen Ereignisabläufe liegt zwischen $3 \times 10^{-2}/a$ und $1 \times 10^{-4}/a$.

Beispiele für Ereignisklasse 3:

- Kühlmittelverlust im Primärkreis bei Bruch einer kleinen Leitung oder Leck in einer großen Leitung, der das betriebsübliche Abschalten und Abfahren ausschließt,
- Ansprechen und Nichtschließen von DWR-Frischdampf-Sicherheitsventilen,
- Notstromfall mit Abfahren der Anlage,
- Bruch von Rohrleitungen im Sekundärkreis außerhalb der Dampferzeugerabsperrramatur, der das betriebsübliche Abschalten und Abfahren ausschließt.

4.5 Ereignisklasse 4

Der Ereignisklasse 4 sind die angenommenen Ereignisabläufe zugeordnet,

- (1) deren angenommene Häufigkeit so gering ist, dass ihr Eintreten in keiner Anlage erwartet wird und
- (2) die jedoch zur sicherheitstechnischen Auslegung der Anlage als Grenzfälle herangezogen werden.

Hinweis:

Die der Ereignisklasse 4 zugeordneten angenommenen Ereignisabläufe, bei denen der Betrieb der Anlage aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann, sind "Störfälle" gemäß Abschnitt 2 (10). Die angenommene Häufigkeit der angenommenen Ereignisabläufe ist $< 1 \times 10^{-4}/a$.

Eine Abgrenzung der Ereignisklasse 4 nach unten wäre wünschenswert, widerspricht jedoch der bisherigen Genehmigungspraxis, da aufgrund deterministischer Vorgaben auch Ereignisabläufe geringerer Häufigkeit als $10^{-5}/a$ der Ereignisklasse 4 zugeordnet werden müssen.

Beispiele für Ereignisklasse 4:

- Bruch großer Anschlussleitungen,
- doppelendiger Bruch einer Hauptkühlmittleitung im Primärkreis,
- Steuerstabauswurf,
- Sicherheitserdbeben.

4.6 Ereignisklasse 5

Der Ereignisklasse 5 sind die angenommenen Ereignisabläufe zugeordnet,

- (1) deren angenommene Häufigkeit so gering ist, dass ihr Eintreten bei keiner Anlage erwartet wird und
- (2) gegen die wegen ihrer geringen Eintrittswahrscheinlichkeit nicht gemäß § 28 Abs. 3 Str1SchV ausgelegt werden muss, gegen deren Folgen die Anlagenkonstruktion in bestimmten Fällen schadenseingrenzende Eigenschaften besitzen muss.

Hinweis:

Die angenommene Häufigkeit der angenommenen Ereignisabläufe ist $< 1 \times 10^{-6}/a$.

	Angenommener Ereignisablauf in der Anlage				
	Bestimmungsgemäßer Betrieb			Störfall	
	Instandh.- Vorgänge	Normal- betrieb	anormaler Betrieb		
Ereignisklasse	1	2	3	4	5
Häufigkeit/a		$>3 \times 10^{-2}$	3×10^{-2} - 1×10^{-4}	$<1 \times 10^{-4}$	$<1 \times 10^{-6} ?$

Tabelle 4-1: Zuordnung der Ereignisklassen zu den Begriffen für den „Zustand der Anlage“

5 Definition von Schutzziele und Zuordnung von Grenzwertklassen zu den Ereignisklassen

5.1 Allgemeines

Bei den Ereignisabläufen, gegen die die Anlage auszulegen ist, müssen folgende allgemeinen Schutzziele eingehalten werden:

- (1) Die Strahlenbelastung muss begrenzt bleiben.
- (2) Die Integrität der Barrieren gegen Aktivitätsfreisetzung muss im erforderlichen Maße erhalten bleiben.
- (3) Die Funktionsfähigkeit von Systemen mit sicherheitstechnischer Bedeutung muss im erforderlichen Maße erhalten bleiben.

Es werden spezielle Schutzziele definiert, die die Einhaltung der allgemeinen Schutzziele sicherstellen.

Jedem speziellen Schutzziel werden im allgemeinen vier Grenzwerte zugeordnet, die die Einhaltung des speziellen Schutzziels mit gestaffeltem Sicherheitsabstand gewährleistet. Die Gesamtheit der Grenzwerte mit dem höchsten Sicherheitsabstand werden zur Grenzwertklasse A, die übrigen entsprechend zu den Grenzwertklassen B, C und D, zusammengefasst.

Entsprechend dem Konzept, dass für Ereignisabläufe mit höherer Häufigkeit enger gesetzte Schutzziele festgelegt werden als für Ereignisabläufe geringerer Häufigkeit, werden den Ereignisklassen 1 bis 4 die Grenzwertklassen A bis D zugeordnet. Bei einem Auftreten eines angenommenen Ereignisablaufs der Ereignisklasse 5 sind die Grenzwerte der Grenzwertklasse D nur partiell einzuhalten. Die Zuordnung zwischen den angenommenen Ereignisabläufen und den Grenzwertklassen ist in **Tabelle 5-1** dargestellt.

Die Annahme

- ungünstiger Ausgangszustände der Anlage,
- zusätzlicher Ausfälle von Komponenten oder Anregungen

bedingt die Überprüfung der angenommenen Häufigkeit des betrachteten Ereignisses oder Ereignisablaufs. Eine Höherstufung in die nächsthöhere Ereignisklasse kann dann notwendig sein,

wenn die angenommene Gesamthäufigkeit des Ereignisablaufs deutlich niedriger ist als bei anderen Ereignisabläufen der gleichen Ereignisklasse.

Ein Satz von einzelnen Schutzziele soll für jede Grenzwertklasse festgelegt werden. Diese Schutzziele müssen sicherstellen, dass die sicherheitstechnischen Anforderungen zur Beherrschung eines Ereignisablaufs mit dessen angenommener Häufigkeit vereinbar sind

Ereignis- klasse	Verkürzte Beschreibung der Ereignisklassen	Grenzwert- klassen
1	Normalbetrieb	A
2	Angenommene Ereignisabläufe, mit deren Eintreten während der Betriebszeit einer Anlage gerechnet werden muss	B
3	Angenommene Ereignisabläufe, deren Eintreten innerhalb der Lebensdauer - einer Anlage nicht erwartet wird - mehrerer Anlagen für eine Anlage nicht ausgeschlossen werden kann	C
4	Angenommene Ereignisabläufe, mit deren Eintreten bei keiner Anlage gerechnet wird, die jedoch bei der Auslegung als Grenzfälle zu erfassen sind	D
5	Angenommene Ereignisabläufe, mit deren Eintreten bei keiner Anlage gerechnet wird, gegen deren Folgen jedoch schadenseingrenzende Eigenschaften besitzen muss	D _{partiell} ¹⁾

¹⁾ Im Sinne einer Begrenzung der radiologischen Belastungen außerhalb der Grenzwerte § 28 Abs. 3 StrlSchV wird die Einhaltung der Schutzziele lediglich der Auslegung bestimmter Anlagenteile zugrunde gelegt.

Tabelle 5-1: Zuordnung von Grenzwertklassen zu Ereignisklassen

5.2 Kriterien für typ- und System unabhängige Schutzziele

5.2.1 Grenzwertklasse A

Die Grenzwertklasse A ist der Ereignisklasse 1 zugeordnet. Ereignisabläufe dieser Klasse gestatten die unterbrechungslose Fortsetzung des Reaktorbetriebs.

Daher müssen die Grenzwerte dieser Klasse so festgelegt werden, dass die Beanspruchungen auf ihre Betriebswerte (einschließlich Toleranzen) begrenzt bleiben. Damit darf der Reaktorbetrieb ohne Unterbrechung fortgeführt werden.

Im einzelnen fordert diese Grenzwertklasse:

- (1) Die Strahlenbelastung in der Umgebung muss innerhalb der für den bestimmungsgemäßen Betrieb zugelassenen Werte bleiben. Dazu ist die Abgabe von radioaktiven Stoffen auf die für den bestimmungsgemäßen Betrieb zugelassenen Höchstwerte begrenzt.
- (2) Beanspruchungen in Komponenten von sicherheitstechnischer Bedeutung verbleiben innerhalb der für den Normalbetrieb geplanten und zugelassenen Grenzen. Dazu müssen alle Prozessvariablen innerhalb ihrer betrieblichen Bereichsgrenzen bleiben. Insbesondere gilt:

- a) Ein Versagen von Brennelementen als unmittelbare Folge von angenommenen Ereignisabläufen wird nicht erwartet; durch zufällige Brennelementfehler können jedoch Spaltprodukte in das Kühlmittel übertreten.
- (3) Beanspruchungen in Komponenten von sicherheitstechnischer Bedeutung bleiben so begrenzt, dass eine Beeinträchtigung ihrer Funktionsfähigkeit nicht zu erwarten ist.

5.2.2 Grenzwertklasse B

Die Grenzwertklasse B ist der Ereignisklasse 2 zugeordnet. Sofern der Reaktorbetrieb bei Ereignisabläufen dieser Klasse unterbrochen wird, soll nach Behebung der Störungsursache und -folgen die Wiederaufnahme des Betriebs der Anlage im gleichen Umfang wie vor Eintreten des auslösenden Ereignisses unverzüglich möglich sein.

Daher müssen die Grenzwerte dieser Klasse so festgelegt werden, dass die Beanspruchungen in Komponenten, mit Ausnahme von Verschleißteilen, so begrenzt sind, dass ihr weiterer Einsatz zweifelsfrei auch ohne weitere Prüfungen und Nachweise gestattet ist.

Im einzelnen fordert diese Grenzwertklasse:

- (1) Die Strahlenbelastung in der Umgebung muss innerhalb der für den bestimmungsgemäßen Betrieb zugelassenen Werte bleiben. Dazu ist die Abgabe von radioaktiven Stoffen auf die für den bestimmungsgemäßen Betrieb zugelassenen Höchstwerte begrenzt.
- (2) Beanspruchungen in Komponenten von sicherheitstechnischer Bedeutung, die die Integrität beeinflussen können, verbleiben innerhalb der für transienten Belastung zugelassenen Grenzen.

Inbesondere gilt:

- a) Ein Versagen von Brennelementen als unmittelbare Folge von angenommenen Ereignisabläufen wird nicht erwartet; durch zufällige, bereits vorhandene Brennelementfehler können jedoch Spaltprodukte in das Kühlmittel übertreten.
- (3) Beanspruchungen in Komponenten von sicherheitstechnischer Bedeutung bleiben so begrenzt, dass eine Beeinträchtigung ihrer Funktionsfähigkeit nicht zu erwarten ist.

5.2.3 Grenzwertklasse C

Die Grenzwertklasse C ist der Ereignisklasse 3 zugeordnet. Ereignisabläufe dieser Klasse setzen zum Teil Lecks als auslösendes Ereignis voraus. Aus diesem Grunde ist es nicht mehr sinnvoll, die unverzügliche Wiederaufnahme des Betriebs als Kriterium heranzuziehen.

Die Auswirkungen der Ereignisabläufe müssen jedoch so begrenzt sein, dass die Wiederaufnahme des Betriebs nach Behebung der Schadensursachen und -folgen und nach Überprüfung des Zustands der Anlage wieder möglich ist.

Im einzelnen fordert diese Grenzwertklasse:

- (1) In Bezug auf die Strahlenbelastung in der Umgebung ist § 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung anzuwenden. Dazu ist die Abgabe von radioaktiven Stoffen entsprechend zu begrenzen.

Hinweis:

Es ist jedoch im Sinne einer Staffelung der Schutzziele als Planungsvorgabe sinnvoll, bei dieser Grenzwertklasse generell nicht die vollen Höchstwerte auszu-schöpfen.

- (2) Beanspruchungen in Komponenten von sicherheitstechnischer Bedeutung verbleiben innerhalb der I zugelassenen Grenzen, und- weisen einen Abstand zur Grenzbelastung auf.

Für die drei wesentlichen Barrieren zur Zurückhaltung von Spaltprodukten bedeutet dies:

- a) Die Kerngeometrie lässt eine ausreichende Kernkühlung zu, so dass die maßgebenden Grenzwerte eingehalten werden.

Hinweis:

Eine Verschärfung der Anforderung gegenüber der Schutzzielklasse D sollte in Betracht gezogen werden.

- b) Für Leichtwasserreaktoren:

Die Beanspruchungen der Druckführenden Umschließung verbleiben innerhalb der für Betriebsstufe C nach KTA 3201.2 Abschnitt 3.3.3.4 zugelassenen Grenzen.

- c) Für Leichtwasserreaktoren:

Die Beanspruchungen des Sicherheitsbehälters sind so begrenzt, dass er im Sinne von KTA 3401.2 funktionsfähig bleibt.

- (3) Eine zur Gewährleistung der Abschaltung, des Abfahrens und der langfristigen Nachkühlung ausreichende Anzahl von Sicherheitseinrichtungen einschließlich ihrer Hilfssysteme muss funktionsfähig bleiben.

5.2.4 Grenzwertklasse D

Die Grenzwertklasse D ist der Ereignisklasse 4 zugeordnet. Nach Ereignisabläufen dieser Klasse ist die Wiederaufnahme des Betriebs nicht in allen Fällen sichergestellt.

Aus diesem Grunde ist als Schutzziel ausdrücklich zu fordern, dass die sichere Abschaltung der Anlage, das Abfahren in den kalten drucklosen Zustand und die Nachkühlbarkeit langfristig gewährleistet sind.

Im einzelnen fordert diese Grenzwertklasse:

- (1) Die Strahlenbelastung der Umgebung muss auf die Höchstwerte des § 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung begrenzt bleiben.
- (2) Beanspruchungen in Komponenten von sicherheitstechnischer Bedeutung verbleiben unterhalb der Grenzbelastungen.

Für die drei wesentlichen Barrieren zur Zurückhaltung von Spaltprodukten bedeutet dies:

- a) Die Kerngeometrie lässt eine ausreichende Kernkühlung zu, so dass die maßgebenden Grenzwerte eingehalten werden.

- b) Für Leichtwasserreaktoren:

Die Beanspruchungen der Druckführenden Umschließung verbleiben innerhalb der für Betriebsstufe D nach KTA 3201.2 Abschnitt 3.3.3.5 zugelassenen Grenzen.

- c) Für Leichtwasserreaktoren:

Die Beanspruchungen des Sicherheitsbehälters sind so begrenzt, dass er im Sinne von KTA 3401.2 funktionsfähig bleibt.

- (3) Eine zur Gewährleistung der Abschaltung, des Abfahrens und der langfristigen Nachkühlung ausreichende Anzahl von Sicherheitseinrichtungen einschließlich ihrer Hilfssysteme muss funktionsfähig bleiben.

ANHANG A

Angenommene Ereignisse bei Leichtwasserreaktoren

		Ereignis- klasse ¹⁾
1	Erhöhte Wärmeabfuhr durch das Frischdampf- und Speisewassersystem	
1.1	Fehlfunktion im Speisewassersystem, die zum Absinken der Speisewassertemperatur führt	2
1.2	Fehlfunktion im Speisewassersystem, die zum Anstieg des Speisewasserdurchsatzes führt	2
1.3	Fehlfunktion der Regelung, die zum Anstieg des Frischdampfdurchsatzes führt	2
1.4	Unbeabsichtigtes Öffnen von Armaturen (z. B. Umleitventile, Entlastungsventile, Sicherheitsventile)	2
1.5	Leckagen und Brüche im Frischdampfsystem	
1.5.1	Kleine Leckagen im Frischdampfleitungssystem	2
1.5.2	Bruch von Anschlussleitungen im Frischdampfleitungssystem und absperrbare Anrisse der Frischdampfleitung	3
1.5.3	Absperrbarer Abriss einer Frischdampfleitung	4
1.5.4	Nicht absperrrbarer Anriss einer Frischdampfleitung zur Atmosphäre	4
2	Verringerte Wärmeabfuhr durch das Frischdampf- und Speisewassersystem	
2.1	Fehlfunktion der Regelung, die zu einem Absinken des Frischdampfdurchsatzes führt	2
2.2	Lastabwurf auf Eigenbedarf	2
2.3	Turbinenschnellschluss	
2.3.1	Turbinenschnellschluss mit Öffnen der Umleitstation	2
2.3.2	Turbinenschnellschluss ohne Öffnen der Umleitstation (z.B. bei Verlust des Kondensatorvolumens)	2
2.4	Unbeabsichtigtes Schließen von Frischdampf-Absperrarmaturen	2
2.5	Ausfall der Eigenbedarfsversorgung (Notstromfall)	2
2.6	Fehlfunktion der Speisewasserversorgung	
2.6.1	Ausfall der betrieblichen Speisepumpen	2
2.6.2	Fehlerhaftes Schließen von Armaturen Leckagen und Brüche des Speisewassersystems	2
2.7	Leckagen und Brüche des Speisewassersystems	
2.7.1	Kleine Leckagen im Speisewasserleitungssystem, die das betriebsübliche Abschalten und Abfahren nicht ausschließen	2
2.7.2	Bruch von Rohrleitungen im Speisewasserleitungssystem, der das betriebsübliche Abschalten und Abfahren ausschließt	3
2.7.3	Großer Rund- oder Längsriss einer Speisewasserleitung	4
3	Verringerung des Durchsatzes im Reaktorkühlsystem	
3.1	Ausfall einer oder mehrerer Hauptkühlmittelpumpen	2
3.2	Fehlfunktion der Regelung, die zur Verringerung des Durchsatzes führt (beim SWR)	2
3.3	Blockieren einer Hauptkühlmittelpumpenwelle	4
3.4	Bruch einer Hauptkühlmittelpumpenwelle	3
4	Druckänderungen im Reaktorkühlsystem	
4.1	Druckabfall durch fehlerhaftes Sprühen	2
4.2	Druckanstieg durch fehlerhaftes Einschalten der Druckhalterheizung (beim DWR)	2
5	Fehlerhafte Änderung der Reaktivität und der Leistungsverteilung	
5.1	Fehlerhaftes Ausfahren von Steuerelementen	2
5.2	Auswurf eines Steuerelements (DWR) oder Herausfallen eines Steuerstabs (SWR)	4
5.3	Fehlfunktion der Regelung, die zu einem Anstieg des Durchsatzes im Reaktorkühlsystem führt (SWR)	2
5.4	Unbeabsichtigte Borsäurekonzentrationsveränderung im Kühlmittel (DWR)	2
5.5	Ablösen borhaltiger Ablagerungen im Reaktorkern (DWR)	2
5.6	Einsetzen und Inbetriebnahme eines Brennelements in einer falschen Position	2
5.7	Fehlerhaftes Zuschalten einer Hauptkühlmittelpumpe	2

		Ereignis- klasse ¹⁾
5.8	Kaltwassereinspeisung in das Reaktorkühlsystem aus an schließenden Systemen (z.B. Umgehung der Rekupativ Wärmetauscher des Volumenregelsystems beim DWR)	2
6	Zunahme des Reaktorkühlmittelinventars	
6.1	Fehleinspeisen von Notkühlsystemen	3
6.2	Fehlfunktion oder Bedienungsfehler im Volumenregelsystem, die zu einer Vergrößerung des Reaktorkühlmittelinventars führen	2
7.	Abnahme des Reaktorkühlmittelinventars	
7.1	Unbeabsichtigtes Öffnen eines Druckhaltersicherheits- oder -Ablassventils (DWR) oder eines Sicherheits- oder Entlastungsventils (SWR)	2
7.2	Leckagen und Brüche im Primärsystem	
7.2.1	Kleine Leckagen im Primärsystem, die das betriebliche Abschalten und Abfahren nicht ausschließen	2
7.2.2	Bruch von Rohrleitungen im Primärsystem, der das betriebliche Abschalten und Abfahren ausschließt	3
7.2.3	Großer Rund- und Längsriss einer Primärkreisleitung	4
7.3	Schäden an Dampferzeugerheizflächen	
7.3.1	Dampferzeugerleckagen	2
7.3.2	Heizrohrbruch	3
8	Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus Teilsystemen oder Komponenten	
8.1	Störungen im Abgassystem	2
8.2	Störungen im Abwassersystem	2
8.3	Schäden an Behältern für radioaktive Flüssigkeiten	2
8.4	Brennelementhandhabung und -lagerung	
8.4.1	Absturz eines Brennelements beim Brennelementwechsel	3
8.4.2	Beschädigung von Brennelementen bei der Handhabung	2
8.4.3	Absturz des Brennelementtransportbehälters	3
8.4.4	Absturz schwerer Lasten über dem Brennelementlagerbecken	4
8.4.5	Wasserverlust im Brennelementlagerbecken	5
9	Einwirkungen von außen	
9.1	Erdbeben	
9.1.1	Auslegungserdbeben	2
9.1.2	Sicherheitserdbeben	4
9.2	Flugzeugabsturz	4 ?
9.3	Explosionen	4 ?
9.4	Brand	4 ?
9.5	Hochwasser	
9.5.1	Auslegungshochwasser	2
9.5.2	Sicherheitshochwasser	4
9.6	Sonstige äußere Einwirkungen (z.B. chemische Schadstoffe, Wirbelstürme, Blitzschlag, Bergschäden, Bodensetzungen)	(standortabh.)
10	Verschiedenes	
10.1	Erzeugung von Projektilen (z. B. Zerknall rotierender Teile, Beschleunigung von Ventilspindeln, Bersten von Behältern)	4 ?
10.2	Anlageninterne Brände und Explosionen	3
1)	Ereignisklasse des wahrscheinlichsten, durch das angenommene Ereignis ausgelösten Ereignisablaufs (d.h., im allgemeinen von Nennbetriebsbedingungen ausgehend und ohne zusätzliche Versagensannahmen). Die vorgenommene Einstufung in Ereignisklassen stellt einen Vorschlag, dar, von dem in begründeten Fällen abgewichen werden kann.	

Anhang B

Beispiele für die Zuordnung von Schutzzielen und Grenzwertklassen über Grenzwerte für Leichtwasserreaktoren

Schutzziel (übergeordnet) Schutzziel (untergeordnet)	Grenzwertklasse A	Grenzwertklasse B	Grenzwertklasse C	Grenzwertklasse D
Umgebung				
Strahlenbelastung der Umgebung	Einhaltung zulässiger Ableitungsgrenzwerte in Abluft und Abwasser <30/90 mrem/a incl. aller Belastungspfade einschließlich Vorbelastung	30/90 mrem/a incl. aller Belastungspfade einschließlich Vorbelastung	1/n von 5/15 rem pro Ereignis ohne Ingestionspfad <u>Hinweis:</u> Der Faktor n ist noch festzulegen	Einhaltung von 5/15 rem pro Ereignis ohne Ingestionspfad
Personal				
Dauerbelastung beruflich strahlenexponierter Personen	§ 54 StrlSchV	§ 54 StrlSchV	-	-
Gesamtanlage				
Verfügbarkeit				
Vermeiden von Abschaltungen	Keine RESA-Auslösung	-	-	-
Ausnutzung des Lebensdauerbudgets	Bei Komponenten für die eine Lebensdaueranalyse durchgeführt wird, darf nicht mehr als X % des Lebensdauerbudgets pro Ereignis verbraucht werden	Bei Komponenten für die eine Lebensdaueranalyse durchgeführt wird, darf nicht mehr als Y % des Lebensdauerbudgets verbraucht werden	Bei Komponenten für die eine Lebensdaueranalyse durchgeführt wird, darf nicht mehr als Z % des Lebensdauerbudgets verbraucht werden	Restloser Verbrauch des Lebensdauerbudgets ist zulässig
Vermeiden von Ventilansprechen	Kein Ansprechen von Sicherheitsventilen und (DWR) Abblasventilen (prim. + sek.)	Kein Ansprechen von Sicherheitsventilen	-	-
Kern				
Kühlfähige Geometrie	+	+	?	?
Hüllrohrintegrität				
Wärmeübergang bzw. Hüllrohrtemperatur	Keine kritischen Siedezustände	Keine kritischen Siedezustände oder $T_{\text{Hüll}} < \gamma$ (~600-650°C)	$T_{\text{Hüll}} < 900 - 1200^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{Hüll}} < 1200^{\circ}\text{C}$
Brennstoffschmelzen	$T_{\text{max}} < \sim T_{\text{Schmelz}}$	$T_{\text{max}} < \sim T_{\text{Schmelz}}$	$T_{\text{max}} < \sim T_{\text{Schmelz}}$ bei 90% des Tablettenquerschnitts	$\Delta h < 1170 \text{ kJ/kg}$

Schutzziel (übergeordnet)	Grenzwertklasse A	Grenzwertklasse B	Grenzwertklasse C	Grenzwertklasse D
Schutzziel (untergeordnet)				
Zulässige Anzahl geschädigter Brennstäbe als unmittelbare Folge des Ereignisses	keine	keine	U % (0-5%)	V % (10-50%)
Chemische Korrosion	+	+	< W% der lokalen Hüllrohrwandstärke (Merkposten: Zeitfaktor)	< 17% der lokalen Hüllrohrwandstärke < 1% des Zirkoninventars
Abschaltfähigkeit auf ausreichende Unterkritikalität				
Erhalt einer abschaltfähigen Geometrie	Verformungen, die die Abschaltung beeinflussen können, müssen unterhalb des plastischen Bereiches bleiben			Einhalten zulässiger plastischer Verformung
Langfristige Unterkritikalität	Kein Einfluss auf Stabeinfahrcharakteristik			
Kurzfristige Unterkritikalität	Kein Einfluss auf Stabeinfahrcharakteristik			Merkposten: „Void-Abschaltung“
Primärsystem				
Integrität				
Beanspruchungen	Betriebsstufe A (KTA 3201.2)	Betriebsstufe B (KTA 3201.2)	Betriebsstufe C (KTA 3201.2)	Betriebsstufe D (KTA 3201.2)
(Systemdruck p_{SP})	$p_{SP} \leq$ Auslegungsdruck	$p_{SP} \leq 1,1 \times$ Auslegungsdruck	Einhaltung der für diese Schutzzielklasse zulässigen Spannungswerte ($\alpha\%$ der Streckgrenze) ($\beta\%$ der Bruchgrenze)	Einhaltung der für diese Schutzzielklasse zulässigen Spannungswerte ($\gamma\%$ der Streckgrenze) ($\delta\%$ der Bruchgrenze)
Sekundärsystem				
Systemdruck p_{SS} bzw. Materialspannungen	$p_{SP} \leq$ Auslegungsdruck	$p_{SP} \leq 1,1 \times$ Auslegungsdruck	Einhaltung der für diese Schutzzielklasse zulässigen Spannungswerte ($\alpha\%$ der Streckgrenze) ($\beta\%$ der Bruchgrenze)	Einhaltung der für diese Schutzzielklasse zulässigen Spannungswerte ($\gamma\%$ der Streckgrenze) ($\delta\%$ der Bruchgrenze)
Sicherheitsbehälter				
Integrität				
Wasserstoffkonzentration	+	< 2%	< 4%	< 4%
Folgeschäden	-	+	Der Sicherheitseinschluss ist gegen Folgeschäden durch ausströmende Medien, Reaktionskräfte und Bruchstücke so zu schätzen, dass seine Funktionsfähigkeit erhalten bleibt (SIKRI 8.2)	
Beanspruchungen	Betriebsfälle (KTA 3401.2)	Betriebsfälle (KTA 3401.2)	Störfälle (KTA 3401.2)	Störfälle (KTA 3401.2)
Auslegungsdruck und -temperatur	+	+	Einhaltung von Auslegungsdruck und -temperatur des SB	
Leittechnik				
Funktionsfähigkeit	voll erhalten	Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Reaktorschutzsystems	Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Reaktorschutzsystems in dem zur Beherrschung der Ereignisse notwendigen Umfang Merkposten: Störfallinstrumentierung	
BE-Lagerbecken				

Schutzziel (übergeordnet) Schutzziel (untergeordnet)	Grenzwertklasse A	Grenzwertklasse B	Grenzwertklasse C	Grenzwertklasse D
Gewährleistung der Kühlung der BEB 2)	$T_{\text{Wasser}} \leq 40^\circ\text{C}$ mit jedem Kühlstrang bei voller Belegung aus Wechselzyklen 3) $T_W \leq 45^\circ\text{C}$ volle Belegung ausgelagerter Kern + BEB aus Wechselzyklen ein zusätzlicher Kühlstrang möglich 3)	$T_w \leq 60^\circ\text{C}$ vollständige Beladung mit ausgelagertem Kern und aus Wechselzyklen; bei Anlagestörfällen, die zum teilweisen oder vollständigen Ausfall des BEB-Kühlsystems führen 3)	?	?
		Einhaltung der Temperaturen bei nachspeisbarem Leck in der Auskleidung		
Spannung der BE-Lagerbeckeneinbauten	$\sigma_{\text{maxzul}} = \sigma_s$ oder $\sigma_{0,1}$ des Grundmaterials der Einbauten bzw. $0,9 \cdot \sigma_{0,2T}$ $\Delta T_{\text{Beton}} \leq 60 \text{ K}$	$\sigma_{\text{maxzul}} = \sigma_{0,1}$ des Grundmaterials der Einbauten bzw. $0,6 \cdot \sigma_{0,2T}$ $\Delta T_{\text{Beton}} \leq 60 \text{ K}$		
Kritikalitätssicherheit des Lagerbeckens	$K_\infty \leq 0,95$ $K_\infty \leq 0,99$ beim Trockenlager 2)	$K_\infty \leq 0,95$ Erhaltung der Sicherheit eingebauter Absorber $K_\infty \leq 0,99$ bei Moderatoreinbruch ins Trockenlager		
Korrosion der Brennstabhüllen (Wanddickenverluste) im Lagerbecken	-- (40 Jahre) (Messung der chemischen Wasserzusammensetzung)	Abtragsrechnung aus der Lebensdaueranalyse (Messung der chemischen Wasserzusammensetzung)		

Zeichenerklärung:

? Kriterium muss noch formuliert werden

+ Schutzziel wird durch vorgelagerte Grenzen eingehalten

- Schutzziel ist nicht sinnvoll

1) Eutektikumbildung

2) Beim Trockenlager ist T_W = Temperatur an geeigneter Brennelementbündel (BEB)-Lagerstelle

3) Entsprechend DIN 25428

ANHANG C

Bestimmungen, auf die in diesem Konzept verwiesen wird

Atomgesetz		Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 1976 (BGBl. I, S. 3053), zuletzt geändert durch Art. 9 Nr. 13 des Gesetzes zur Vereinfachung und Beschleunigung gerichtlicher Verfahren (Vereinfachungsnovelle) vom 3. Dezember 1976 (BGBl. I, S. 3281)
Strahlenschutzverordnung		Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 13. Oktober 1976 (BGBl. I, S. 2905; BGBl. 1977 I, S. 184, 269), zuletzt geändert durch die Zweite Verordnung zur Änderung der Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheit im Messwesen vom 12. Dezember 1977 (BGBl. I, S. 2537)
KTA 3201.2	(10/80)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren, Teil: Auslegung, Konstruktion und Berechnung, Regel in der Fassung 10/80, Abschnitte 3.3.3.2 bis 3.3.3.5
KTA 3401.2	(6/80)	Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl, Teil: Auslegung, Konstruktion und Berechnung, Regel in der Fassung 6/80, Abschnitte 3.2.4 und 3.2.5
ANSI/ANS-4.1-1978		Design Basis Criteria for Safety Systems in Nuclear Power Generating Stations

Dokumentationsunterlage zum Konzept Konzept für Kriterien zur Bewertung von angenommenen Ereignisabläufen

1 Auftrag des KTA

Der Kerntechnische Ausschuss hat am 1.3.1977 den Unterausschuss KOORDINIERUNG VON STÖRFALLFRAGEN gebildet mit den Aufgaben, zur Thematik "Störfallanalysen" das bisher vorhandene Material zu sichten und zu bewerten. Die sich daraus ergebenden allgemeinen Aussagen sollen aufgeführt werden. Dafür sind Vorschläge zur Strukturierung sowie zum Arbeitsprogramm zu entwickeln. über die Ergebnisse der Arbeit ist im Einvernehmen mit dem PROGRAMM-UNTERAUSSCHUSS dem KTA Bericht zu erstatten.

2 Beteiligte Fachleute

2.1 Zusammensetzung des KTA-Unterausschusses STÖRFALLFRAGEN (UA-SF)

Vertreter der Hersteller und Ersteller

Mitglieder

Caspar	Brown Boveri Reaktor GmbH, Mannheim
Dr. Sommer	Hochtemperatur-Reaktorbau GmbH, Mannheim
Dr. Preusche	Kraftwerk Union AG, Erlangen

stellvertretende Mitglieder

Dr. Sander	Brown Boveri Reaktor GmbH, Mannheim
Klein	Internationale Atomreaktorbau GmbH, Bergisch Gladbach
Dr. Krugmann	Kraftwerk Union AG, Erlangen
Weidner	Kraftwerk Union AG, Offenbach

Vertreter der Betreiber

Mitglieder

Dr. Bröcker	Nordwestdeutsche Kraftwerke AG, Hamburg
Dr. Brosche	Bayernwerk AG, München
Meininghaus	Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG, Dortmund

stellvertretende Mitglieder

Eßmann	Preußische Elektrizitäts-AG, Hannover
Dr. Bauer	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG, Essen

Lorenz Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG, Dortmund

Vertreter des Bundes und der Länder

Mitglieder

Dr. Keil Ministerium f. Arbeit, Gesundh. und Soz.ordnung Baden-Württemberg, Stuttgart

Dr. Wendling Bundesministerium des Innern, Bonn

Dr. Wirth Sozialministerium des Landes Schleswig-Holstein, Kiel

stellvertretende Mitglieder

Dr. Lienhart Ministerium f. Arbeit, Gesundh. und Soz.ordnung Baden-Württemberg, Stuttgart

Himmel Bundesministerium des Innern, Bonn

Paulsen Sozialministerium des Landes Schleswig-Holstein, Kiel

Vertreter der Gutachter und Beratungsorganisationen

Mitglieder

W. Ullrich Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln

Evers Technischer Überwachungs-Verein Norddeutschland e.V., Hamburg

Hoppe Technischer Überwachungs-Verein Stuttgart e.V., Filderstadt

stellvertretende Mitglieder

Dr. Scharfe Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln

Knop Technischer Überwachungs-Verein Norddeutschland e.V., Hamburg

Dr. Franke Technischer Überwachungs-Verein Stuttgart e.V., Filderstadt

Vertreter der sonstigen Behörden, Organisationen und Stellen

Mitglieder

Halmy DIN/Technischer Überwachungs-Verein Rheinland e. V., Köln

Dr. Kröger Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jülich

Bernard Deutscher Gewerkschaftsbund

stellvertretende Mitglieder

Dr. Grün DIN/Kraftwerk Union AG, Erlangen

2.2 Hinzugezogene Fachleute

Dr. Frisch Gesellschaft für Reaktorsicherheit(GRS) mbH, Garching

Hoffmeister Motor-Columbus SA, Schweiz (vormals: Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln)

Dr. Knecht Internationale Atomreaktorbau GmbH, Bergisch Gladbach

Löhner Bayernwerk AG, München (vormals: Kraftwerk Union AG, Erlangen)

2.3 Zuständige Mitarbeiter der KTA-Geschäftsstelle

Freund KTA-Geschäftsstelle, Köln

Leimeister KTA-Geschäftsstelle, Köln

3 Erstellung des Regelentwurfs

Um dem Auftrag des KTA gerecht zu werden, haben der Unterausschuss KOORDINIERUNG VON STÖRFALLFRAGEN (UA-SF) sowie die aus seiner Mitte gebildeten Arbeitsgruppen in 17 Sitzungstagen ein Konzept für Kriterien zur Bewertung von angenommenen Ereignisabläufen erarbeitet, die zur Auslegung von Kernkraftwerken herangezogen werden, um damit die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden treffen zu können.

Grundlage des Konzepts ist ein Papier des Arbeitsgremiums zu dem Regelvorhaben KTA 3101 "Auslegung des Reaktorkerns von Druck- und Siedewasserreaktoren".

Der UA-SF hat auf seiner 7. Sitzung am 1./2.2.1979 das "Konzept für Kriterien zur Bewertung von angenommenen Ereignisabläufen zur sicherheitstechnischen Auslegung von Kernkraftwerken", KTA-Dok.-Nr. UA-SF/79/2, vorerst abschließend behandelt. Das in diesem Bericht niedergelegte Konzept der Zuordnungen von angenommenen Ereignisabläufen zu Ereignisablaufklassen und Schutzzielklassen wurde am 15.2.1979 den im KTA vertretenen Gruppen und den KTA-Unterausschüssen zur Stellungnahme vorgelegt. Stellungnahmen sind eingegangen seitens:

- Versuchsatomkraftwerk Kahl GmbH,
- Industriegewerkschaft Metall, Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft Kerntechnik der IG Metall-ÖTV,
- KTA-Unterausschuss INSTRUMENTIERUNG UND REAKTOR SCHUTZ,
- Innenministerium Baden-Württemberg,
- Brown, Boveri + Cie. AG,
- Vereinigung der Technischen Überwachungs-Vereine e.V.,
- Kraftwerk Union AG,
- KTA-Unterausschuss KREISLÄUFE 2,
- KTA-Unterausschuss STARKSTROM,
- KTA-Unterausschuss GASFÖRMIGE ABLEITUNGEN,
- Der Bundesminister des Innern.

Der UA-SF sowie eine aus seiner Mitte gebildete Arbeitsgruppe haben in weiteren 13 Sitzungstagen die Stellungnahmen behandelt und in das Konzept eingearbeitet. Der UA-SF hat auf seiner 10. Sitzung am 13.1.1981 das überarbeitete

"Konzept für Kriterien zur Bewertung von angenommenen Ereignisabläufen",
KTA-Dok.-Nr. UA-SF/81/1,

einstimmig verabschiedet.

Der UA-SF empfiehlt für die weitere Vorgehensweise:

- (1) Das Konzept soll als Arbeitsgrundlage für regelerarbeitende Gremien im KTA dienen.
- (2) Aufgrund der dabei gewonnenen Erfahrungen soll in einem weiteren Schritt ein Regelentwurf erarbeitet werden.

Folgende Punkte sind noch zu bearbeiten:

- (1) Festlegung der systemspezifischen Grenzwerte für die einzelnen Grenzwertklassen.
- (2) Die Anwendung des vorgeschlagenen Konzepts soll zu nächst für einen Druckwasserreaktor außerhalb eines konkreten Genehmigungsverfahrens demonstriert werden. Hierbei sind unter Verwendung bereits vorliegender Auslegungsmerkmale, Daten und Untersuchungen folgende Punkte anzugehen:
 - Zusammenstellung der Ereignisabläufe,
 - Randbedingungen für die Ereignisabläufe,
 - Klassifizierung der Ereignisabläufe in Ereignisklassen,
 - Überprüfung der Einhaltung der Schutzziele,
 - Bewertung des Verfahrens.
- (3) Es sollen abgestufte Anforderungen an die Qualität elektrischer und mechanischer Komponenten und Geräte auf einer gemeinsamen Basis aufgestellt werden.

4 Anmerkungen zu dem Konzept

Zu 2 "Begriffe"

Insbesondere wurden durch die Strahlenschutzverordnung, die Sicherheitskriterien und anderer KTA-Regeln präjudizierte Begriffe auf dem Gebiet der Störfallanalysen zusammengestellt und auf ihre Widerspruchsfreiheit untersucht.

Zu (1) "Bestimmungsgemäßer Betrieb"

Dieser Begriff wurde aus den "Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke", Bekanntmachung vom 21.10.1977, übernommen.

Zu (6) "Grenzwert"

Dieser Begriff wurde aus den "Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke", Bekanntmachung vom 21.10.1977, übernommen. Bei der Anwendung dieses Begriffs werden auch die "radiologischen Grenzwerte" erfasst.

Zu (8) "Prozessvariable"

Dieser Begriff wurde aus der Regel KTA 3501 "Reaktorschutzsystem und Überwachung von Sicherheitseinrichtungen", Fassung 3/77, übernommen.

Zu (10) "Störfall"

Dieser Begriff wurde aus der "Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung)", vom 13.10.1976, und aus den "Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke", Bekanntmachung vom 21.10.1977, übernommen.

Es hat sich bereits bei der Erstellung der Regel KTA 3501 "Reaktorschutzsystem und Überwachung von Sicherheitseinrichtungen" und auch in der Arbeit des UA-SF herausgestellt, dass der Begriff "Störfall" im Sinne der Strahlenschutzverordnung und der Sicherheitskriterien für die Analyse angenommener Ereignisabläufe zur sicherheitstechnischen Auslegung der Anlage missverständlich ist. Daher wurde der Begriff "Störfall" um einen Hinweis erweitert, dessen Inhalt der Ergebnismündung über die 26. Sitzung des KTA-Präsidiums vom 22.10.1979 entnommen wurde.

Da weiterhin die Begriffe "Störfall" und "Unfall" auch tatsächlich aufgetretene Vorfälle umfassen, bezeichnet der UA-SF die zur sicherheitstechnischen Auslegung von Kernkraftwerken angenommenen Ereignisabläufe anders. Der angenommene auslösende Vorfall wird als "angenommenes Ereignis" bezeichnet und die dadurch ausgelösten Vorgänge in der Anlage als "angenommener Ereignisablauf".

Zu (11) "Unfall"

Dieser Begriff wurde aus der "Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung)", vom 13.10.1976, übernommen.

Der Begriff "Unfall" umfasst zwei grundsätzlich verschiedene Tatbestände:

1. Ein Störereignis in einer kerntechnischen Anlage, bei dem die Grenzwerte des § 28 (3) StrlSchV überschritten werden können.
2. Einen Vorfall bei einer Tätigkeit, die unter die StrlSchV fällt, bei dem die Schutzvorkehrungen nicht ausreichen.

Für Regeln, die die sicherheitstechnische Auslegung von Kernkraftwerken betreffen, ist mit dem Begriff "Unfall" nur der Tatbestand nach Punkt 1 gemeint.

Folgender weiterer Begriff wurde bei der Arbeit im UA-SF behandelt:

"Störung"

„Eine Störung im Sinne dieser Regel ist das Fehlverhalten eines Bauelements, einer Komponente oder eines Systems.“

Dieser Begriff ist in der Regel KTA 3501 "Reaktorschutzsystem und Überwachung von Sicherheitseinrichtungen", Fassung 3/77, aufgeführt. Der Begriff ist verträglich mit den Begriffen "Ereignis, angenommenes", "Ereignisablauf, an

genommener" sowie mit den Ereignisklassen 1 bis 5 gemäß Kapitel 4.

Zu 3 "Anforderungen an die Analyse angenommener Ereignisabläufe in der Anlage"

Nach Meinung des UA-SF sollte eine detaillierte Bestandsaufnahme der im Genehmigungsverfahren behandelten angenommenen Ereignisabläufe vorgenommen werden. Dies könnte zum Beispiel in einer Form geschehen, wie es für je einen angenommenen Ereignisablauf für Druckwasserreaktor (Anhang D 1) und Siedewasserreaktor (Anhang D 2) dargestellt ist.

Zu 4 Definition von Ereignisklassen und Beispiele für Ereignisse"

Die Aufzählung der Ereignisse beschränkt sich auf wenige signifikante Beispiele je Ereignisklasse

Zu 5.2 "Kriterien für typ- und System unabhängige Schutzziele"

Der UA-SF hat versucht, in Anlehnung an ANSI 18.8 und an die deutschen Vorschriften allgemeine Schutzziele (Grenzwerte) zu formulieren. Diese entsprechen im gegenwärtigen Zustand noch nicht den Vorstellungen des UA-SF, da sie

- noch nicht in der gewünschten Weise gestaffelt sind (die Klassen A und B sowie C und D sind in vielen Unterpunkten identisch) und
- zu allgemein erscheinen.

Zumindest ersteres müsste gemeinsam mit den entsprechenden Fachgremien besser gelöst werden können.

Zu Anhang A "Angenommene Ereignisse bei Leichtwasserreaktoren"

Der Anhang A wurde aus der Merkpostenaufstellung mit Gliederung für einen Standardsicherheitsbericht (Bek. d. BMI vom 26.7.1976) und der Liste "Representative initiating to be analyzed in sections 15.X.X of the SAR" in dem Regulatory Guide 1.70 Revision 3, November 1978, entwickelt.

Von dem UA-SF wird angestrebt, die Aufzählung der angenommenen Ereignisse vollständig aufzuführen.

Zu Anhang B "Beispiele für die Zuordnung von Schutzzielen und Grenzwertklassen über Grenzwerte für LWR"

Die allgemeine Beschreibung von Schutzzielen für die Grenzwertklassen A bis D nach Abschnitt 5.2 muss außerhalb dieser Regel durch Festlegung von Einzelmaßnahmen und Grenzwerten typ- und systemspezifisch konkretisiert werden. Anhang B stellt ein Beispiel für eine mögliche Konkretisierung für Leichtwasserreaktoren dar.

Die Mitglieder des UA-SF weisen auch hier darauf hin, dass eine eingehende Überprüfung und Feinabstimmung der Grenzwertklassen und der Schutzziele nach Anhang B unter Berücksichtigung der Störfallliste der Merkpostenaufstellung des BMI sowie nach ANSI 18.2 detailliert durchgeführt werden sollte. Es wird auch möglich sein, weitere Verfeinerungen anhand spezieller Störfallanalysen vorzunehmen. Dies muss nach Auffassung des UA-SF von Fachgremien vorgenommen werden.

ANHANG D 1

Angenommener Ereignisablauf für einen Druckwasserreaktor

1. Bezeichnung des angenommenen Ereignisses

Ausfall aller Hauptkühlmittelpumpen.

2. Stichworte über Ereignisablauf

Unterbrechung der Stromversorgung der Eigenbedarfsschienen. Pumpenmotor läuft zusammen mit anderen Hochspannungsmotoren aus. Reaktor wird durch Reaktorschnellabschaltung abgeschaltet.

3. Gegenmaßnahmen durch das Sicherheitssystem und andere Maßnahmen

RESA ausgelöst durch

- a) Drehzahl Hauptkühlmittelpumpen < min
- b) Thermische Reaktorleistung > max (gleitend)
- c) DNB-Verhältnis Kühlkreislauf < min
- d) Kühlmitteldruck > max
- e) Druckhalterwasserstand > max
- f) Kühlmitteltemperatur > max
- g) Dampferzeugerwasserstand < min
- h) Druck Notspeisewasserleitung > Max

4. Angenommene Häufigkeit des auslösenden Ereignisses

Einmal je Zyklus.

5. Betrachtete Fehlerkombination

Die Tabelle D 1-1 zeigt im oberen Teil die üblicherweise im Genehmigungsverfahren diskutierten Ereignisabläufe.

6. Einstufung in Ereignisklassen

Die Tabelle D 1-1 gibt - unter Annahme der an ihrem rechten Rand angegebenen Ausfallwahrscheinlichkeiten - am unteren Rand die Einstufung der einzelnen Ereignisabläufe in Ereignisklassen an.

7. Technologische Grenzen, die für dieses Ereignis relevant sind

- a) Schmelzpunkt des Zr bei 1800 °C
- b) Eutektikumbildung Zr/Inconel bei Hüllrohrtemperaturen > 950 °C
- c) Selbsterhaltende Zr-H₂O-Reaktion in Dampfatosphäre bei Hüllrohrtemperaturen > 950 °C und progressive Reaktion bei Hüllrohrtemperaturen > 1200 °C

Bei Temperaturen > 950 °C verliert das Hüllrohr zunehmend seine Fähigkeit, die Spaltgase zurückzuhalten, die jedoch erst bei Erreichen des Schmelzpunktes völlig versagt.

8. Auslegungskriterien gemäß Genehmigungspraxis

Begrenzung der Leistung des Reaktors vor dem Ereignis auf Werte, so dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % an 95 % der Brennstäbe das Auftreten kritischer Siedezustände vermieden wird, wenn die Abschaltung erst vom z. Abschaltkriterium ausgelöst wird.

Bemerkung:

Wegen hoher angenommener Häufigkeit, aus Gründen der Anlagenverfügbarkeit und den allgemeinen Anforderungen der Strahlenschutzverordnung, wird das der technologischen Grenze "Hüllrohrschaden" am weitesten vorgelagerte Schutzziel "Vermeiden von Filmsieden" als Auslegungskriterien benutzt.

9. Vorschlag für Grenzwerte

In Tabelle D 1-2 werden für die betrachteten Ereignisabläufe für die verschiedenen Schutzziele und Grenzwertklassen sinnvoll abgestufte Grenzwerte angegeben

Angeordnetes Ereignis	Ausfall aller Hauptkühlmittelpumpen	Bedingung erfüllt ? nein $\leftarrow$ ja $\rightarrow$		$H = 1/a$ $1-w$ $w^{(1)}$	
Wahrscheinlichkeit des Ausgangszustandes	3-Kreis-Betrieb (Reins-Kreis-Betrieb) gekoppelter Auslauf ungünstiger Ausgangszustand (Abweichung > 1 °C)			0,98	0,02
				0,1	0,9
Weitere Voraussetzungen	Abweichung > 2 °C ($j_a=3\sigma$) Versagen 1. RESA-Anregung Versagen RESA (ATWS)			0,8	0,2
				0,75	0,25
erwartete Häufigkeit				1	10^{-3}
				1	10^{-6}
Ereignisklasse				$H=0,992/a$ $a_1=$ $a_2=0,999/a$ $a_3=0,012/a$ $a_4=0,7 \cdot 10^{-3}/a$ $a_5=0,7 \cdot 10^{-5}/a$	
				$0,9 \cdot 10^{-6}/a$ $0,9 \cdot 10^{-3}/a$ $0,3 \cdot 10^{-5}/a$ $0,3 \cdot 10^{-2}/a$ $0,1 \cdot 10^{-4}/a$ $0,1 \cdot 10^{-7}/a$ $0,014/a$ $1 \cdot 10^{-7}/a$ $1 \cdot 10^{-4}/a$ $0,3 \cdot 10^{-6}/a$ $0,3 \cdot 10^{-3}/a$ $0,2 \cdot 10^{-5}/a$ $0,2 \cdot 10^{-8}/a$ $0,2 \cdot 10^{-2}/a$ $0,4 \cdot 10^{-4}/a$ $0,04/a$ $0,13 \cdot 10^{-3}/a$ $0,13/a$ $0,7 \cdot 10^{-3}/a$ $0,7 \cdot 10^{-6}/a$ $0,7/a$ $0,5 \cdot 10^{-5}/a$ $0,5 \cdot 10^{-2}/a$ $0,15 \cdot 10^{-4}/a$ $0,015/a$ $0,8 \cdot 10^{-4}/a$ $0,8 \cdot 10^{-7}/a$ $0,08/a$	

1) Die angesetzten Ausfallwahrscheinlichkeiten wurden willkürlich zur Demonstration des Verfahrens gewählt

2) Die Ereignisabläufe Nr. 3 und 4 wurden wegen zu hoher Häufigkeitssummen umgestuft

3) Die Ereignisabläufe wurden in die Ereignisklasse 4 eingestuft, da deterministische Forderungen zu betrachten waren

Tabelle D 1-1: Ereignisablauf für üblicherweise betrachtete Varianten

Schutzziel	Grenzwertklasse				
	A	B	C	D	D _{partiell}
Erhalten der Barriere „Brennstoffhülle“	kein DNB	$\vartheta_H < \vartheta_1$ ¹⁾ (Hüllrohre uneingeschränkt weiter verwendungsfähig)	$\vartheta_H < \vartheta_2$ (Hüllrohre bleiben dicht)	RSK-Notkühlkriterien	wie D

¹⁾ ϑ_1 wird in der Größenordnung von 600°C liegen.

Tabelle D 1-2: Vorschlag für Grenzwerte in den einzelnen Grenzwertklassen bei den betrachteten Ereignisabläufen

ANHANG D 2

Angenommener Ereignisablauf für einen Siedewasserreaktor

1. Bezeichnung des angenommenen Ereignisses

Ausfall der Hauptwärmesenke durch unbeabsichtigtes Schließen der Frischdampf-Isolationsventile.

2. Stichworte über Ereignisablauf

Dampfabfuhr am Reaktordruckbehälter wird abgesperrt, Reaktordruck steigt mit ca. 10 bar/s, Leistungserzeugung steigt stark an, RESA unterbricht Leistungsanstieg, Öffnen der Sicherheitsventile unterbricht Druckanstieg.

3. Gegenmaßnahmen durch das Sicherheitssystem und andere Maßnahmen

RESA und Abfahren der Hauptkühlmittelpumpen, ausgelöst durch

a) Ventilstellungsüberwachung

b) Neutronenfluss > max

c) Reaktordruck > max

Öffnen der Sicherheitsventile, ausgelöst durch

a) Druck > max (Entlastungsfunktion-Fremdmedium)

b) Druck > max2 (Sicherheitsfunktion-Fremdmedium)

c) Druck > max3 (Eigenmediumgesteuert)

4. Angenommene Häufigkeit des auslösenden Ereignisses

$H = 1/a$

5. Betrachtete Fehlerkombination (Ereignisablaufbaum)

Die Tabelle D 2-1 zeigt im oberen Teil die üblicherweise im Genehmigungsverfahren diskutierten Ereignisabläufe.

6. Einstufung in Ereignisklassen

Die Tabelle D 2-1 gibt - unter Annahme der an ihrem rechten Rand angegebenen Ausfallwahrscheinlichkeiten - am unteren Rand die Einstufung der einzelnen Ereignisabläufe in Ereignisklassen an.

7. Technologische Grenzen, die für dieses Ereignis relevant sind

Im Reaktorkern - Hüllrohre

a) Schmelzpunkt des Zr bei 1800 °C

b) Eutektikumbildung Zr/Inconel bei Hüllrohrtemperaturen > 950 °C

c) Selbsterhaltende Zr-H₂O-Reaktion in Dampfatosphäre bei Hüllrohrtemperaturen > 950 °C und progressive Reaktion bei Hüllrohrtemperaturen > 1200 °C

Bei Temperaturen $> 950\text{ °C}$ verliert das Hüllrohr zunehmend seine Fähigkeit, die Spaltgase zurückzuhalten, die jedoch erst bei Erreichen des Schmelzpunktes völlig versagen.

Im Reaktorkern - Brennstoff

Schmelzen von Brennstoff in größeren Bereichen des Brennstabs (Gefahr der Verlagerung von Brennstoff).

8. Auslegungskriterien gemäß Genehmigungspraxis

Im Kern - Brennstoffhülle

Vermeiden kritischer Siedezustände ($MSKHB > 1$).bzw.

bei Versagen der ersten Reaktorschutzanregung: Hüllrohrtemperatur gerechnet mit konservativer Filmsiedekorrelation

$< 600\text{ °C}$ (entspricht tatsächlicher Hüllrohrtemperatur $< 380\text{ °C}$)

Im Kern-Brennstoff

Vermeiden von zentralem Brennstoffschmelzen

Im Primärsystem

Druck $< 1,1$ facher Auslegungsdruck

9. Vorschlag für Grenzwerte

In der Tabelle d 2-2 werden für die betrachteten Ereignisabläufe für die verschiedenen Schutzziele und Grenzwertklassen sinnvoll abgestufte Grenzwerte angegeben.

Fehlerhaftes Zufahren der FD-Isoventile	Bedingung erfüllt ? nein ∇ ———> ja	H = 1/a 1 - w w ¹⁾										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
- RESA-Anregung, Ventilstellungs- überwachung versagt - Abfahren der Hauptkühlmittel- pumpen versagt - Öffnen eines Entlastungsventils versagt - Leistung > 100 % (Überlast) - Scram-System gestört (ver- längerte Einschleifzeit) - Scram-System versagt (ATWS)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
erwartete Häufigkeit		0,8/a	$10^{-6}/a$	0,09/a	0,09/a	$10^{-2}/a$ *)	$0,9 \cdot 10^{-2}/a$ *)	$10^{-3}/a$ *)	$0,9 \cdot 10^{-2}/a$ *)	$10^{-3}/a$ *)	$0,9 \cdot 10^{-4}/a$ *)	$1 \cdot 10^{-5}/a$ *)
Ereignisklasse		2	5	2	2	2	2	3	3	3	4	4
		$\Sigma H = 1,010101/a$ $\Sigma 1 = \dots$ $\Sigma 2 = 0,99/a$ $\Sigma 3 = 2,0 \cdot 10^{-2}/a$ $\Sigma 4 = 1,0 \cdot 10^{-4}/a$ $\Sigma 5 = 10^{-6}/a$										

- *) Wird bei einer Verzweigung nur ein Ast betrachtet, wird $w = 1$ bzw. $(1 - w) = 1$ gesetzt
- 1) Die angesetzten Ausfallwahrscheinlichkeiten wurden willkürlich zur Demonstration des Ver-
fahrens gewählt
- 2) Ereignisablauf Nr. 5 wurde wegen zu hoher Häufigkeitssumme in der Klasse 3 von Klasse 3
nach Klasse 2 umgestuft

Tabelle D 2-1: Ereignisablauf für üblicherweise betrachtete Varianten

Schutzziel	Grenzwertklasse				
	A	B	C	D	D _{partiell}
Erhalten der Barriere „Brennstoffmatrix“	kein Schmelzen $\vartheta_{Bmax} < \vartheta_{Schmelz}$	wie A	beschränktes zentrales Schmelzen zulässig	wie C	wie C
Erhalten der Barriere „Brennstoffhülle“	kein DNB	$\vartheta_H < \vartheta_1$ ¹⁾ (Hüllrohre uneingeschränkt weiter verwendungsfähig)	$\vartheta_H < \vartheta_2$ (Hüllrohre bleiben dicht)	RSK-Notkühlkriterien	wie D
Erhalten der Barriere „Druckführende Umschließung“	KTA 3202.1 Beanspruchungsstufe A	KTA 3202.1 Beanspruchungsstufe B	KTA 3202.1 Beanspruchungsstufe C	Betriebsstufe D	Betriebsstufe D
Erhalten der Barriere „Sicherheitsbehälter“					

¹⁾ ϑ_1 wird in der Größenordnung von 600°C liegen.

Tabelle D 2-2: Vorschlag für Grenzwerte in den einzelnen Grenzwertklassen bei den betrachteten Ereignisabläufen