

KTA 3301
Nachwärmeabfuhrsysteme von Leichtwasserreaktoren
Fassung 2015-11

Frühere Fassung der Regel: 1984-11 (BAnz. Nr. 40a vom 27. Februar 1985)

Inhalt

	Seite
Grundlagen	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Begriffe	2
3 Einsatzfälle und Anforderungen	3
3.1 Übergeordnete Anforderungen	3
3.2 Einsatzfälle	4
4 Auslegung	4
4.1 Randbedingungen der Wärmesenke	4
4.2 Abzuführende Wärme	4
4.3 Bemessung der Kühlmittelvorräte	5
5 Systemkonzept	6
5.1 Systemfunktion	6
5.2 Versagensannahmen und Redundanzforderungen	6
5.3 Systeminterne Störungen und Lecks	8
5.4 Sicherer Einschluss des Reaktorkühlmittels	8
6 Anordnung und konstruktive Maßnahmen	8
6.1 Übergeordnete Aspekte	8
6.2 Sicherheitsbehältersumpf	9
6.3 Wärmesenke (Einrichtungen zur Wärmeabfuhr an die Umgebung)	10
7 Betrieb und Überwachung	10
7.1 Bestimmungsgemäßer Betrieb (Sicherheitsebenen 1 und 2)	10
7.2 Störfälle (Sicherheitsebene 3)	11
7.3 Einwirkungen von innen und außen sowie Notstandsfälle	11
8 Energieversorgung	11
8.1 Elektrische Energieversorgung	11
8.2 Nichtelektrische Energieversorgung	11
9 Sicherstellung der Funktionsfähigkeit und der Funktionsbereitschaft	12
9.1 Inbetriebsetzungsprüfungen	12
9.2 Wiederkehrende Prüfungen	12
9.3 Instandhaltung	12
10 Zuverlässigkeitsanalysen	12
10.1 Zielsetzung	12
10.2 Umfang	13
10.3 Methodik	13
10.4 Bewertung der Ergebnisse	13
Anhang A Liste der möglichen Systeme zum Anwendungsbereich der Regel	14
Anhang B Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird	17

Grundlagen

(1) Die Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) haben die Aufgabe, sicherheitstechnische Anforderungen anzugeben, bei deren Einhaltung die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage (§ 7 Absatz 2 Nr. 3 Atomgesetz - AtG) getroffen ist, um die im AtG und in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten sowie in den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) und den „Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ weiter konkretisierten Schutzziele zu erreichen.

(2) Zu den Nachwärmeabfuhrsystemen von Leichtwasserreaktoren (siehe auch Anhang A) gehören die Systeme, welche die Wärme aus dem Reaktorkühlmittel und aus dem Sicherheitsbehälter an eine Wärmesenke abführen, wenn die betriebliche Hauptwärmesenke nicht mehr benutzt wird. Die Nachwärmeabfuhrsysteme (im weiteren Regeltext: "NWA-Systeme") übernehmen die Sicherheitsfunktionen:

- a) Kühlung der Brennelemente und Abfuhr der Speichervärme,
- b) Kühlmittelergänzung für die Gewährleistung von a),
- c) Wärmeabfuhr aus dem Sicherheitseinschluss.

(3) Die Grundlagen für diese Regel sind im Wesentlichen:

- a) die „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ und
- b) die "Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke".

(4) Die für die Nachwärmeabfuhr bei Störfällen vorgesehenen Systeme gehören zum Sicherheitssystem der Reaktoranlage. Zwischen ihnen und anderen Sicherheitseinrichtungen, insbesondere dem Reaktorschutzsystem und der Energieversorgung, besteht ein enger funktionaler Zusammenhang.

1 Anwendungsbereich

(1) Diese Regel ist auf die Nachwärmeabfuhrsysteme von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren (Druck- und Siedewasserreaktoren, im weiteren Regeltext "DWR" und "SWR") anzuwenden. Sie umfasst

- a) die Einsatzfälle und Anforderungen (Abschnitt 3),
- b) die verfahrenstechnische Auslegung (Abschnitt 4),
- c) den Aufbau und die Funktionssicherheit (Abschnitt 5),
- d) die Anordnung und konstruktive Maßnahmen (Abschnitt 6),
- e) den Betrieb und die Überwachung der Systeme (Abschnitt 7),
- f) die Energieversorgung der NWA-Systeme (Abschnitt 8),
- g) die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit und der Funktionsbereitschaft (Abschnitt 9) und
- h) die Zuverlässigkeitsanalysen (Abschnitt 10).

(2) Der Anwendungsbereich erstreckt sich auf die Systeme, die nach der Reaktorabschaltung für die Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlmittelsystem und gegebenenfalls aus dem Sicherheitsbehälter an eine Wärmesenke notwendig sind, soweit hierfür nicht die betriebliche Hauptwärmesenke benutzt wird. Teile der Primär- und Sekundärkühlmittelsysteme sind in diesem Zusammenhang dann als Teile der NWA-Systeme anzusehen, wenn ihre Funktion für diese Aufgaben erforderlich ist.

(3) Die Komponenten der NWA-Systeme gehören aufgrund ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung überwiegend zu den äußeren Systemen. Teilbereiche der NWA-Systeme (Einbindung in Richtung RDB) sind der Druckführenden Umschließung zuzuordnen. Die daraus resultierenden Anforderungen

sind in den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke, Abschnitt 3.4, den KTA-Regelserien 3201 (Teil 1 bis 4), 3211 (Teil 1 bis 4) und 3205 (Teil 1 bis 3) geregelt.

(4) Die Anforderungen dieser Regel sind auch auf die Teile der Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme anzuwenden, deren Funktionen für die NWA erforderlich sind.

Hinweis:

Die zum Anwendungsbereich gehörenden Systeme sind im **Anhang A** beispielhaft aufgelistet.

(5) Diese Regel enthält auch Anforderungen an andere Einrichtungen, soweit diese Anforderungen zur Sicherstellung der Funktion der Nachwärmeabfuhrsysteme erforderlich sind (siehe z. B. Abschnitt 6.2.1).

(6) Nicht Gegenstand dieser Regel sind

- a) die Abfuhr der Nachwärme aus dem Brennelementlagerbecken,

Hinweis:

Dies ist in KTA 3303 geregelt.

- b) die Einspeisung von Bor zur Kontrolle der Reaktivität

Hinweis:

Dies ist in KTA 3103 geregelt.

(7) Die für die Auslegung der NWA-Systeme erforderlichen Störfallannahmen und Anforderungen an die Wirksamkeitsnachweise zur Kernnotkühlung sind in den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke, Abschnitt 3.3 sowie Anhängen 2 und 5, behandelt. Weiterführende Anforderungen finden sich in den Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke.

2 Begriffe

(1) Aktive Komponente

Eine aktive Komponente ist eine fremdbetätigte oder fremdgesteuerte Komponente, deren Funktion durch eine von Hand oder automatisch eingeleitete Aktion ausgelöst wird, wobei Übertragungs- und Antriebsmedien (z. B. elektrischer Strom, Hydraulik oder Pneumatik) wirksam sind. Selbsttätig wirkende Komponenten (ohne Fremdenergie, ohne Fremdsteuerung) sind dann als aktiv anzusehen, wenn die Stellung der betrachteten Komponente (z. B. Sicherheitsventil oder Rückschlagarmatur) im Rahmen des vorgesehenen Funktionsablaufes verändert wird.

(2) Ausfall

Ein Ausfall ist der Verlust der Fähigkeit einer Einrichtung die geforderte Funktion zu erfüllen.

Hinweis:

Das Ereignis „Ausfall“ markiert den Zeitpunkt des Übergangs von der Korrektheit zu einem Fehler. Mit einem Ausfall kann gleichzeitig ein Versagen auftreten, muss aber nicht. Zum Beispiel kann ein Aggregat, das nicht angefordert wird, ausgefallen sein, versagen wird es erst, wenn es angefordert wird und seine Funktion nicht mehr erbringt.

(3) Betrieb, bestimmungsgemäßer

Der bestimmungsgemäße Betrieb, für den eine Anlage nach ihrem technischen Zweck bestimmt, ausgelegt und geeignet ist, umfasst die Betriebszustände und Betriebsvorgänge

- a) bei funktionsfähigem Zustand der Einrichtungen, (ungestörter Betriebszustand, Normalbetrieb, Sicherheitsebene 1),
- b) des anomalen Betriebs (gestörter Betriebszustand, Störung, Sicherheitsebene 2) sowie
- c) bei Instandhaltungsvorgängen (Inspektion, Wartung, Instandsetzung).

(4) Einzelfehler

Ein Einzelfehler ist ein Fehler, der in Einrichtungen im betrachteten Anforderungsfall unabhängig vom auslösenden Ereignis zusätzlich unterstellt wird, der jedoch nicht als Folge des Anforderungsfalles auftritt und der vor Eintritt des Anforderungsfalles nicht bekannt ist. Der Einzelfehler beinhaltet auch die aus einem unterstellten Einzelfehler resultierenden Folgefehler. Ein Einzelfehler liegt vor, wenn ein Systemteil der Einrichtung seine Funktion bei Anforderung nicht erfüllt. Eine betrieblich mögliche Fehlbedienung, die eine Fehlfunktion in der Einrichtung zur Folge hat, ist einem Einzelfehler gleichgesetzt. Ein Einzelfehler an einer passiven Einrichtung bedeutet deren Versagen.

Hinweis:

Details zum Einzelfehlerkonzept finden sich in den "Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke" (Anhang 4).

(5) Funktionsbereitschaft

Die Funktionsbereitschaft ist der Zustand eines Systems oder eines Systembestandteils (z. B. Komponente, Teilsystem, Strang) einschließlich der gegebenenfalls erforderlichen Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme, in dem die vorgesehenen Funktionen bei Anforderung ausgelöst und sichergestellt werden können.

Hinweis:

Funktionsbereitschaft schließt die Funktionsfähigkeit ein.

(6) Funktionsfähigkeit

Die Funktionsfähigkeit ist die Fähigkeit einer Einrichtung, die vorgesehenen Aufgaben durch entsprechende mechanische, elektrische oder sonstige Funktion zu erfüllen.

Hinweis:

Zu den o. g. Einrichtungen gehören z. B. Komponenten, Teilsysteme, Stränge sowie erforderliche Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme.

(7) Hauptwärmesenke

Die Hauptwärmesenke dient zur Abfuhr der bei der elektrischen Energieerzeugung anfallenden Verlustwärme.

Hinweis:

Bei Kernkraftwerken ist die Hauptwärmesenke der Turbinenkondensator mit seiner Kühlung.

(8) Hilfsmaßnahmen

Hilfsmaßnahmen sind von Hand eingeleitete, vorgedachte, in schriftlichen betrieblichen Regelungen festgelegte Maßnahmen, auch unter Nutzung betrieblicher Systeme, mit dem Ziel, das Ereignis zu beherrschen oder den Ereignisablauf günstig zu beeinflussen. Diese Maßnahmen müssen ereignisspezifisch verfügbar sein.

Hinweis:

Hilfsmaßnahmen können auch BHB- oder Notfallmaßnahmen sein.

(9) Instandhaltung

Die Instandhaltung umfasst die Gesamtheit der Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Soll-Zustands sowie zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustands (einschließlich wiederkehrender Prüfung). Die Instandhaltung gliedert sich in die Vorbeugende Instandhaltung mit den zugehörigen Elementen Inspektion und Wartung, sowie Instandsetzung (Reparatur).

(10) Kondensationskammer

Die Kondensationskammer ist ein räumlich abgegrenzter Teil des Sicherheitseinschlusses. Unter anderem nimmt sie den vom Druckentlastungssystem abgegebenen Dampf auf und dient als Speicher zur Kühlmittelergänzung in den Reaktor-druckbehälter (SWR).

(11) Passive Komponente

Eine Komponente ist passiv, wenn sie im Hinblick auf ihre Funktion keine Betätigung zu erfahren braucht (z. B. Rohrleitungen, Behälter, Wärmetauscher). Selbsttätig wirkende Komponenten (ohne Fremdenergie, ohne Fremdsteuerung) sind dann als passiv anzusehen, wenn die Stellung der betrachteten Komponente (z. B. Sicherheitsventil oder Rückschlagarmatur) im Rahmen des vorgesehenen Funktionsablaufes nicht verändert wird.

(12) Redundante

Eine Redundante ist eine Einrichtung, die gleichwertig mit anderen Einrichtungen deren Funktionen erfüllen und bei Bedarf eine dieser anderen Einrichtungen voll ersetzen oder durch diese ersetzt werden kann.

(13) Redundanz

Redundanz ist das Vorhandensein von mehr funktionsbereiten Einrichtungen, als zur Erfüllung der vorgesehenen Funktion notwendig sind.

(14) Störfall

Ein Störfall ist ein Ereignis bzw. Ereignisablauf, dessen Eintreten während der Betriebsdauer der Anlage nicht zu erwarten ist, gegen den die Anlage dennoch so auszulegen ist, dass die Auslegungsgrundsätze, Nachweisziele und Nachweiskriterien für die Sicherheitsebene 3 eingehalten werden und bei dessen Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann.

(15) Verdunstungskühlwerke

Verdunstungskühlwerke umfassen Naturzug-Nasskühlurmanlagen und Zwangskonvektionskühlanlagen (Zellenkühler).

(16) Wärmesenke

Die Wärmesenke ist ein Medium (in der Regel ein Wassereservoir oder die Atmosphäre), in das die Nachwärme ultimativ übertragen werden kann.

(17) Wärmesenke, primäre

Die primäre Wärmesenke ist die Wärmesenke, an die die Nachzerfallsleistung sowie die bei Betrieb und Störfällen anfallende Verlustwärme der sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen letztendlich abgeführt werden.

(18) Wärmesenke, diversitäre

Die diversitäre Wärmesenke ist die Wärmesenke, die unabhängig von der primären Wärmesenke in der Lage ist, die Nachzerfallsleistung sowie die bei Betrieb und Störfällen anfallende Verlustwärme von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen abzuführen. Diversitäre Konzepte nutzen eine andere Wärmesenke (z. B. Luft anstatt Wasser; Brunnen anstatt Fluss) als die primäre Wärmesenke.

3 Einsatzfälle und Anforderungen**3.1 Übergeordnete Anforderungen**

(1) Zur Einhaltung des Schutzziels „Kühlung der Brennelemente“ muss erfüllt werden:

- a) Sicherstellung des Wärmetransports von den Brennelementen bis zur Wärmesenke und
- b) Sicherstellung eines für die Kühlung der Brennelemente ausreichenden Kühlmittelinventars durch Ergänzung aus bereitgestellten Speichern und durch Begrenzung der Verluste.

(2) Hierzu müssen auf den verschiedenen Sicherheitsebenen (SE) die in Abschnitt 3.2.2 genannten Funktionen erfüllt werden.

3.2 Einsatzfälle

3.2.1 Bestimmungsgemäßer Betrieb (Sicherheitsebenen 1 und 2)

(1) Die NWA-Systeme müssen nach Unterbrechung der Wärmeabfuhr vom Reaktor zur Hauptwärmesenke in der Lage sein, die abgeschaltete Reaktoranlage auf eine die Brennelementhandhabung ermöglichende Temperatur abzukühlen und im Langzeitbetrieb auf dieser Temperatur zu halten.

(2) Die NWA-Systeme dürfen auch für sonstige Aufgaben herangezogen werden, z. B. Flut- und Ablassvorgänge bei der Brennelementhandhabung. Die Wirksamkeit der Erfüllung der in (1) genannten Aufgabe darf dadurch nicht unzulässig beeinträchtigt werden.

Hinweis:

Die Kopplung von betrieblichen und sicherheitstechnischen Funktionen der NWA-Systeme ist in Abschnitt 5.1.2 geregelt.

3.2.2 Störfälle (Sicherheitsebene 3)

(1) Zur Wärmeabfuhr bis zur Wärmesenke gehören die folgenden wesentlichen Funktionen:

- a) Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkern,
- b) sekundärseitige Wärmeabfuhr (DWR),
- c) Wärmeabfuhr aus der Kondensationskammer (SWR),
- d) Wärmeabfuhr aus dem Sicherheitsbehälter.

(2) Für die Funktion Wärmeabfuhr gemäß (1) müssen die NWA-Systeme entsprechend den jeweiligen Betriebs-, Anlagen- und Systemzuständen in der Lage sein, ein ausreichendes Kühlmittelinventar und ggf. sekundärseitiges Wasserinventar sicherzustellen. Hierzu gehören:

- a) Kühlmittelergänzung,
- b) Dampferzeugerbespeisung (DWR),
- c) Rückförderung aus dem Sumpf,
- d) Begrenzung des Kühlmittelverlusts.

(3) Für die oben genannten Funktionen (1) und (2) ist die Integrität der kühlmittelführenden Systeme sicherzustellen, insbesondere durch:

- a) Druck- und Temperaturbegrenzung im Reaktorkühlsystem,
- b) sekundärseitige Druckbegrenzung (DWR),
- c) Überspeisungsabsicherung des Reaktorkühlsystems,
- d) Füllstands-, Druck- und Temperaturbegrenzung in der Kondensationskammer (SWR).

3.2.3 Einwirkungen von innen und außen sowie Notstandsfälle

(1) Es sind die Einwirkungen von innen (EVI) und außen (EVA) sowie Notstandsfälle entsprechend Anhang 3 der Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke zu betrachten.

(2) Entsprechend den jeweiligen Betriebs-, Anlagen- und Systemzuständen müssen die NWA-Systeme auch bei diesen Einwirkungen in der Lage sein, die in 3.2.2 (1) a) bis c) genannten Funktionen zu erfüllen. Bei Notstandsfällen dürfen nach 10h Hilfsmaßnahmen, die für den Notstandsfall geeignet sind, eingesetzt werden.

Hinweis:

Die Wärmeabfuhr aus dem Sicherheitsbehälter (siehe 3.2.2 (1)d)) braucht nicht betrachtet zu werden, weil diese Fälle nicht mit Kühlmittelverlust in den Sicherheitsbehälter verbunden sind.

4 Auslegung

4.1 Randbedingungen der Wärmesenke

(1) Die vom Standort der Anlage und von der Art der Wärmesenke abhängigen Randbedingungen sind zu beachten.

Hinweis:

Randbedingungen sind hierbei z. B. Flusswassertemperatur, Wasserführung, Feuchtlufttemperatur, biologische Phänomene, Wasserbeschaffenheit oder Vereisung.

(2) Bei Wärmeeinleitung in Gewässer (Frischwasserkühlung) muss die zur Einhaltung der Anlagengrenzwerte bei Störfällen abzuführende Wärmeleistung bei

- a) der maximal auftretenden Kühlwasserentnahmetemperatur,
 - b) Niedrig- und Hochwasser und
 - c) ungünstigen Wetterbedingungen
- abgegeben werden können.

(3) Als der Auslegung zu Grunde zu legende maximale Kühlwasserentnahmetemperatur sollte die auftretende Kühlwasserentnahmetemperatur verwendet werden, die in dem unmittelbar zurückliegenden zehnjährigen Beobachtungszeitraum am jeweiligen Standort an insgesamt höchstens 28 Tagen überschritten wurde oder die aufgrund der Temperaturprognose eines Wärmelastplans zu erwarten ist.

(4) Bei Wärmeabgabe an die Atmosphäre über speziell für die NWA eingesetzte Verdunstungskühlwerke ist der vom Standort abhängige Schwankungsbereich der Feuchtkugeltemperatur zu beachten. Bei der Auslegung sollte der Tageshöchstwert der Feuchtkugeltemperatur zu Grunde gelegt werden, der im langjährigen Mittel (≥ 10 a) an fünf Tagen pro Jahr erreicht wird.

(5) Zur Sicherstellung einer ausreichenden Wärmeabfuhr bei möglichen Überschreitungen der oben genannten Auslegungsrandbedingungen sind geeignete Maßnahmen (z. B. Leistungsabsenkung zur Reduktion der Nachzerfallsleistung) vorzusehen.

(6) Auslegungsrechnungen mit der niedrigsten Nebenkühlwassertemperatur sind durchzuführen im Hinblick auf:

- a) die festigkeitsmäßige Beanspruchung der Komponenten der Nachkühlkette,
- b) die Vermeidung von Vereisung (z. B. bei Nasskühltürmen).

4.2 Abzuführende Wärme

4.2.1 Beiträge zur abzuführenden Wärme

(1) Nach Abschaltung der Anlage können folgende Wärmeanteile vorhanden sein:

- a) Nachzerfallsleistung des Brennstoffs (siehe Abschnitt 4.2.2),
- b) Zerfallsleistung aus aktivierten Strukturmaterialien und Kühlmitteln,

Hinweis:

Dieser Anteil darf bei der Auslegung von NWA Systemen vernachlässigt werden, da Term b) gegenüber a) bei Leichtwasserreaktoren nach Abschalten der Reaktoranlage klein ist.

- c) Speicherwärme im Reaktorkühlmittelsystem, beim DWR einschließlich der Sekundärseite der Dampferzeuger, jeweils bis zur ersten Absperrung außerhalb des Sicherheitsbehälters,

- d) die Spaltleistung durch verzögerte Neutronen,

Hinweis:

Dieser Term ist nur kurzzeitig nach einer Schnellabschaltung vorhanden.

- e) Reaktionswärme aus Zirkonium-Wasser-Reaktion zwischen Hüllrohrwerkstoff und Kühlmittel,

Hinweis:

Dieser Beitrag ist nur bei Kühlmittelverluststörfällen bis zur Beendigung der Wiederflutung des Kerns von Bedeutung.

- f) Wärmeanteile, die durch den Betrieb der NWA-Systeme und deren Hilfs- und Versorgungssysteme einschließlich der elektrischen Schalt- und Verteilungsanlagen und leittechnischen Einrichtungen entstehen,
- g) Wärmeanteile, die durch den Betrieb von Notstromerzeugungsanlagen entstehen und
- h) Pumpenleistung von laufenden Hauptkühlmittelpumpen.

(2) Diese Beiträge sind für die Auslegung der NWA-Systeme entsprechend den Einsatzfällen gemäß **Tabelle 4-1** zu berücksichtigen.

Einsatzfälle		Wärmeanteile							
		a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)
SE1/2		x		x ¹⁾			x	x ²⁾	x ³⁾
SE3	Störfälle ohne Kühlmittelverlust	x		x ¹⁾	x		x	x ²⁾	x ³⁾
	Kühlmittelverluststörfälle	x		x	x	x	x	x ²⁾	x ³⁾
EVI/EVA Notstandsfälle		x		x ⁴⁾	x		x	x ²⁾	x ³⁾

¹⁾ nur zu berücksichtigen bei Abkühlung des Reaktorkühlmittelsystems
²⁾ entfällt, wenn kein Notstromfall vorliegt
³⁾ entfällt, wenn die Hauptkühlmittelpumpen abgeschaltet werden
⁴⁾ bei Notstandsfällen nach Autarkiezeit (10h) zu berücksichtigen

Tabelle 4-1: Zu berücksichtigende Wärmeanteile

(3) Wenn im Rahmen des Kühlkonzeptes noch andere Kühlstellen von den NWA-Systemen versorgt werden, sind diese zu berücksichtigen (z. B. Brennelement-Lagerbecken).

4.2.2 Berechnung der Nachzerfallsleistung des Brennstoffes

(1) Die Berechnung der Nachzerfallsleistung ist nach DIN 25463 durchzuführen. Dabei ist ein Fehlerzuschlag zu berücksichtigen und zwar bei NWA nach Störfällen (Sicherheitsstufe 3 im Leistungsbetrieb) in Höhe der doppelten Standardabweichung ($2 \times \text{Sigma}$), in allen anderen Fällen (Sicherheitsstufen 1 und 2, Sicherheitsstufe 3 im Nichtleistungsbetrieb, sowie Einwirkungen von innen und außen) in Höhe der einfachen Standardabweichung ($1 \times \text{Sigma}$). Bei Notstandsfällen ist kein Fehlerzuschlag erforderlich.

(2) Für die Berechnung der Nachzerfallsleistung zur Auslegung der Nachwärmeabfuhrsysteme nach der Abschaltung sind folgende Randbedingungen zu Grunde zu legen:

- a) Basis zur Berechnung der Nachzerfallsleistung sind die Spezifikationen der zulässigen Kernbeladungen (Kernrahmenspezifikationen).
- b) Es ist anzunehmen, dass die Anlage bis zur Abschaltung mit Vollast gefahren wird. Die Dauer des Vollastbetriebs vor der Abschaltung ist so zu bemessen, dass sich hinsichtlich der Nuklidvektoren zyklusabdeckend ein Gleichgewichtszustand eingestellt hat.

Hinweis:

Der Gleichgewichtszustand stellt sich üblicherweise nach 50 Tagen Leistungsbetrieb ein.

(3) Für die NWA bei Störfällen, deren Auftreten während des Leistungsbetriebs unterstellt wird, ist als Bezugsleistung für die Berechnung der Nachzerfallsleistung die betrieblich maximal fahrbare Leistung anzunehmen. Sie ist durch eine zuverlässig

ausgeführte betriebliche Reaktorleistungsbegrenzung, zum Beispiel Zustandsbegrenzung nach KTA 3501, zuzüglich Instrumentierungs- und Kalibrierungsfehler bestimmt. In allen anderen Fällen darf bei der Berechnung der Nachzerfallsleistung von der Reaktornennleistung ausgegangen werden.

4.3 Bemessung der Kühlmittelvorräte

4.3.1 Druckwasserreaktor (DWR)

(1) Die Bemessung der notwendigen Kühlmittelvorräte für die primär- und sekundärseitige Einspeisung ist unter Beachtung der in Abschnitt 5.2 geforderten Versagensannahmen und Redundanzforderungen vorzunehmen. Zu berücksichtigen sind insbesondere:

- a) Bestimmungsgemäßer Betrieb:
 - Flutung von Reaktorraum und Absetzbecken zum Brennelementwechsel.
 - b) Störfälle mit Kühlmittelverlust:
 - ba) Flutung des Reaktorkerns bis zum Übergang auf Sumpfbetrieb.
 - bb) Ausreichende Wasserüberdeckung der Sumpfansaugvorrichtung zur Vermeidung einer Luft- oder Dampfansaugung durch Hohlwirbelbildung und Kavitation der Not- und Nachkühlpumpen. Bei der Bilanzierung des Sumpffüllstandes ist die ungünstigste mögliche Kombination zu beachten von:
 - bb) Leckort, Leckgröße und verfügbaren Notkühlwasservorräten,
 - bbb) Rückhaltung von Dampf und Wasser in Anlagen- und Betriebsräumen unter Berücksichtigung von Totvolumina (z. B. Reaktorgrube),
 - bbc) Wasser-(Kondensat)-Film an Wänden und Decken und Wasseransammlungen auf horizontalen Flächen,
 - bbd) Inventarzunahme im Primärkreis (durch Einspeisung sowie Kühlmitteltemperaturänderungen) und
 - bbe) zusätzlichem Druckverlust durch Belegung der Sumpfsiebe unter Berücksichtigung möglicher Verdampfungsvorgänge infolge der Druckabsenkung in den Ablagerungen an den Sumpfsieben, die zur Bildung einer Dampfblase und eines Hohlwirbels in der Ansaugkammer führen können.
 - bc) Bei kleinen Lecks muss ein sicherer Übergang von der sekundärseitigen auf die primärseitige Wärmeabfuhr möglich sein.
 - bd) Gesamtvolumen, Kühlmittelinventar und Druckniveau der Druckspeicher sind nach den Vorgaben der Auslegungsrechnungen zur Kernnotkühlung festzulegen.
 - c) Notstandsfälle:
 - Der Wasservorrat muss ausreichend sein für die Abfuhr der Nachzerfallswärme über 10 Stunden, einschließlich der Abfuhr der Speicherwärme. Zusätzliche zur Raum- und Komponentenkühlung erforderliche Wassermengen sind bei der Ermittlung des Wasservorrats zu berücksichtigen. Für die nachfolgende Ereignisbeherrschung einschließlich des Abfahrens muss rechtzeitig eine ausreichende Wasserversorgung hergestellt werden können. Dafür können Hilfsmaßnahmen herangezogen werden.
- (2) Für die Einspeisung in das Primärkühlmittelsystem muss zur Sicherstellung der Unterkritikalität boriertes Kühlmittel bereitgestellt werden.

Hinweis:

Die Anforderungen an die Borierung des Kühlmittels ergeben sich aus der Reaktivitätsbilanz zur Erreichung des langfristig kalten unterkritischen Zustands.

4.3.2 Siedewasserreaktor (SWR)

(1) Die Kühlmittelvorräte in der Kondensationskammer beim SWR werden durch das Auslegungskonzept des Druckabbausystems und des Druckentlastungssystems bestimmt.

(2) Bei Kühlmittelverluststörfällen ist gemäß 4.3.1 (1) b) bb) eine ausreichende Wasserüberdeckung der Ansaugvorrichtungen im Steuerstabantriebsraum und der Kondensationskammer sicherzustellen, um Luftansaugung durch Hohlwirbelbildung und Kavitation der Not- und Nachkühlpumpen zu vermeiden.

4.3.3 Wasservorrat für Verdunstungskühlwerke

Bei Wärmeabgabe an die Atmosphäre über speziell für die NWA eingesetzte Verdunstungskühlwerke ist der Wasservorrat in den Speicherbecken in Verbindung mit den zur Verfügung stehenden Einrichtungen zur Wasserergänzung so zu bemessen, dass für die vorgesehenen Einsatzfälle unter Berücksichtigung maximaler Verdunstungsverluste genügend Wasser zur langfristigen Aufrechterhaltung der Funktion zur Verfügung steht.

5 Systemkonzept

5.1 Systemfunktion

5.1.1 Funktionsgerechte Gestaltung von Systemen und Komponenten

(1) Das Schaltungskonzept der NWA-Systeme hat in Bezug auf die Untergliederung in Teilsysteme und deren Aufbau den verschiedenen Einsatzfällen und den dabei geforderten unterschiedlichen Funktionen Rechnung zu tragen. Die dazu benötigten Komponenten müssen so ausgelegt, konstruiert, gefertigt und montiert werden, dass die an sie gestellten Anforderungen unter Berücksichtigung der vom jeweiligen Einsatzfall abhängigen Umgebungsbedingungen zuverlässig erfüllt werden. Dabei ist auch den Erfordernissen, die sich aus der Radioaktivität und der chemischen Zusammensetzung der Kühlmedien sowie aus den Werkstoffeigenschaften ergeben, Rechnung zu tragen.

(2) Zur Erfüllung sicherheitstechnischer Funktionen sollen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- a) Systemaufbau und Systemfunktionen sollen einfach und übersichtlich gestaltet werden und
- b) die benötigten Komponenten sollen so konstruiert und ausgerüstet sein, dass sie für die Störfallbeherrschung möglichst wenig Hilfs- und Versorgungssysteme bedingen.

(3) Zur Erfüllung ihrer sicherheitstechnischen Funktionen sollen bei NWA-Komponenten folgende Aspekte beachtet werden:

- a) Bei der Bestimmung der Haltedruckhöhe (NPSH) der Anlage nach DIN EN ISO 17769-1 ist für Pumpen, die beim Kühlmittelverluststörfall aus dem Sicherheitsbehälter ansaugen, die rechnerisch ermittelte Temperatur des Fördermediums anzusetzen, die den Druckaufbaurechnungen für den Sicherheitsbehälter entnommen werden kann. Eine Unterkühlung des Sumpfwassers durch den störfallbedingten Druckanstieg im Sicherheitsbehälter darf bei der Berechnung der Haltedruckhöhe nicht in Rechnung gestellt werden.
- b) Es ist sicherzustellen, dass sich in den Wärmetauschern und den anderen Komponenten keine Medien oder Fremdstoffe ansammeln können, die den sicherheitstechnisch erforderlichen Wärmetransport oder die Integrität der Wärmetauscherfläche unzulässig beeinträchtigen.

c) Bei Kühlmittelverluststörfällen darf ein möglicher Eintrag von Treibgasmengen aus den Druckspeichern in den Primärkreis nicht dazu führen, dass die erforderliche Wärmeübertragung in den Dampferzeugern nicht mehr gegeben ist.

d) Die Anordnung der Komponenten im Primärkreis sollte so erfolgen, dass sich der Naturumlauf einstellen kann.

e) Es sind ausreichend zuverlässige Druckentlastungseinrichtungen vorzusehen, die in der Lage sind, den Reaktorkühlmitteldruck kontrolliert auf für eine langfristige Nachwärmeabfuhr ausreichend niedrige Werte abzusenken. Der Übergang auf die langfristige Nachwärmeabfuhr muss so erfolgen, dass eine ausreichende Nachwärmeabfuhr zu jedem Zeitpunkt gegeben ist.

f) Ansprech- und Schließdrücke, Öffnungs- und Schließverhalten sowie Abblasekapazität der Sicherheits- und Entlastungsventile für das Primär- (SWR) und Sekundärkühlmedium (DWR), der Aggregatzustand des abzuführenden Mediums sowie die physikalischen Bedingungen auf der Abblaseseite sind aus Störfallanalysen abzuleiten.

5.1.2 Kopplung betrieblicher und sicherheitstechnischer Funktionen

(1) Die NWA bei bestimmungsgemäßem Betrieb darf durch Systeme mit rein betrieblicher Funktion erfolgen.

(2) Es ist zulässig, sowohl für Einsatzfälle des bestimmungsgemäßen Betriebs, Störfälle, Einwirkungen von innen und außen sowie für Notstandsfälle dasselbe NWA-System vorzusehen, wenn die Forderungen nach Abschnitt 5.2.2 und nach Abschnitt 5.2.3 erfüllt sind.

(3) Soweit die NWA-Systeme für den bestimmungsgemäßen Betrieb in der Lage sind, einen Störfall zu beherrschen, sollen diese Systeme vor oder zugleich mit den NWA-Systemen, die speziell für die Störfallbeherrschung vorgesehen sind, angefordert werden. Dabei dürfen die NWA-Systeme, die für die Störfallbeherrschung vorgesehen sind, in ihrer Funktion nicht beeinträchtigt werden. Umgekehrt dürfen die für die Störfallbeherrschung eingesetzten NWA-Systeme für betriebliche Zwecke eingesetzt werden, wenn sichergestellt ist,

- a) dass die NWA-Systeme bei Störfällen umgehend und mit Hilfe zuverlässiger Einrichtungen in einen Schaltungszustand versetzt werden, der den sicherheitstechnischen Anforderungen dieser Regel genügt,
- b) dass betriebliche Steuerungsbefehle die sicherheitstechnischen Funktionen nicht beeinträchtigen und
- c) dass sich hierbei kein bestimmender Einfluss auf die Nichtverfügbarkeit und Ausfallwahrscheinlichkeit der NWA nach Störfällen ergibt.

5.1.3 Kopplung unterschiedlicher sicherheitstechnischer Funktionen

(1) Bei Kopplung unterschiedlicher sicherheitstechnischer Funktionen in einem System, zum Beispiel NWA und Sicherstellung der langfristigen Unterkritikalität, muss jede dieser Funktionen im jeweiligen Einsatzfall in ihrer Wirksamkeit sichergestellt sein.

(2) Die Zuverlässigkeit der sicherheitstechnischen Funktionen bei dieser Kopplung muss gewährleistet sein.

5.2 Versagensannahmen und Redundanzforderungen

5.2.1 Einzelfehlerkonzept

Es gelten die „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (Anhang 4).

5.2.2 Störfälle (Sicherheitsebene 3)

5.2.2.1 Ereigniskombination und Redundanz

(1) Für die Auslegung der zur NWA angeforderten Systeme sind unter Einschluss der Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme folgende Ereignisse zu Grunde zu legen, die gleichzeitig oder auch zeitlich versetzt auftreten können:

- a) Der zu beherrschende Einsatzfall
Es sind die in Abschnitt 3.2.2 angegebenen Funktionen zu Grunde zu legen.
- b) Störfallbedingte Folgeausfälle:
Störfallfolgen und Folgeausfälle in denjenigen NWA-Systemen, welche für die Störfallbeherrschung vorgesehen sind. Eine Redundante, mit deren Unwirksamkeit als Folge des Störfalles zu rechnen ist, zählt bei der Bestimmung der Redundanz nicht mit.
- c) Ein Einzelfehler an einer beliebigen Komponente der NWA-Systeme, jedoch unter Beachtung von Abschnitt 5.2.2.2.
- d) Folgeausfälle des Einzelfehlers:
Folgeausfälle eines Einzelfehlers sollen auf diejenige Redundante beschränkt bleiben, in der der Einzelfehler auftritt (strangweise Trennung gemäß Abschnitt 5.2.2.4).
- e) Instandhaltungsmaßnahmen

Auch während Instandhaltungsmaßnahmen muss das Einzelfehlerkriterium grundsätzlich erfüllt sein.

Deshalb muss für Systeme, bei denen während des Leistungsbetriebs Instandsetzungen oder Wartungsmaßnahmen mit Unterbrechung der Funktionsbereitschaft eines Strangs möglich sein sollen, grundsätzlich (nach Maßgabe von Abschnitt 5.2.2.3) eine $(n + 2)$ Auslegung, bezogen auf den jeweiligen Einsatzfall, vorgesehen werden. Für die Berücksichtigung einer Funktionsprüfung in einem weiteren Strang braucht keine zusätzliche Redundanz vorgesehen zu werden, wenn die Funktionsbereitschaft des Strangs im Einsatzfall rechtzeitig wieder hergestellt werden kann.

Hinweis:

n ist die Anzahl der zur Beherrschung des Einsatzfalles notwendigen Redundanten.

Bei der Planung von Instandhaltungsmaßnahmen bei abgefahrener Reaktoranlage sind grundsätzlich die gleichen Anforderungen zu erfüllen. Es darf jedoch - unter Berücksichtigung des Zeitverhaltens der Reaktoranlage - bei der Erfüllung des Einzelfehlerkriteriums davon Kredit genommen werden, dass auch bei einem Einzelfehler die Systemfunktion zuverlässig rechtzeitig wieder hergestellt oder die NWA auf andere Weise sichergestellt werden kann.

(2) Ausfälle, die im Reaktorschutzsystem zu unterstellen sind, sind nach KTA 3501 zu behandeln.

(3) Die Hilfs- und Versorgungssysteme innerhalb eines Strangs (z. B. Energieversorgung, Schmierölpumpen, Kühlwasserarmaturen von Wärmetauschern, hydraulische und pneumatische Steuerungseinrichtungen) sollen so zuverlässig sein, dass sie keinen bestimmenden Einfluss auf die Nichtverfügbarkeit der NWA nach Störfällen haben.

5.2.2.2 Einzelfehler an passiven Komponenten

(1) An passiven Komponenten der NWA-Systeme wird kein Einzelfehler unterstellt, wenn die Anforderungen an Auslegung, Konstruktion, Werkstoffwahl, Herstellung und Prüfbarkeit gemäß Vorschriften erfüllt werden, die der sicherheitstechnischen Bedeutung der Systemteile Rechnung tragen.

Hinweis:

Solche Vorschriften sind zum Beispiel die SiAnf, Anhang 4, Nummer 2.5 sowie Regeln der Reihe KTA 3211.

(2) Für Rohrleitungen kleiner als oder gleich DN 50 im Nachkühlsystem, welche die Anforderungen nach (1) nicht erfüllen,

ist nach Störfällen nur in der Langzeitphase des Nachkühl- oder Sumpfbetriebs ein Einzelfehler zu unterstellen.

5.2.2.3 Vorzusehende Maßnahmen bei Nichtfunktionsbereitschaft von Redundanten

(1) Bei Ausfall einer Komponente von NWA-Systemen mit sicherheitstechnischer Funktion ist unverzüglich nach der Ausfallerkennung mit der Instandsetzung der Komponente zu beginnen.

(2) Ist bei Nichtfunktionsbereitschaft von Redundanten die Erfüllung des Einzelfehlerkriteriums im verbleibenden intakten Systembereich nicht mehr möglich, dann ist der Betrieb der Reaktoranlage nach Erkennung dieses Zustands einzuschränken (z. B. durch Leistungsminderung oder Abfahren). Muss die Reaktoranlage abgefahren werden, so ist der Abfahrzustand so zu wählen, dass die betriebliche Hauptwärmesenke möglichst lange erhalten bleibt und die Inanspruchnahme der durch Ausfall geschwächten Systeme vermieden wird.

(3) Bei Nichtfunktionsbereitschaft einer Redundanten, die aufgrund der kurzen Dauer der Instandhaltungsmaßnahme keinen bestimmenden Einfluss auf die Nichtverfügbarkeit der NWA nach Störfällen ergibt, braucht der unabhängige Ausfall einer weiteren Redundanten nicht betrachtet zu werden.

5.2.2.4 Strangtrennung

(1) Die bei Störfällen zum Einsatz vorgesehenen NWA-Systeme, einschließlich der zugehörigen Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme, sind grundsätzlich strangweise getrennt aufzubauen. Diese Stränge sind so auszuführen, dass

- a) jeder Strang seine sicherheitstechnischen Funktionen unabhängig von Ausfällen in anderen Strängen erfüllen kann, oder
- b) Ausfälle von Komponenten, die den Ausfall von mehr als einem Strang bewirken würden, sicher beherrscht werden.

(2) Unter Beachtung des unter (1) formulierten Grundsatzes sind Verbindungen von redundanten Strängen und die Benutzung gemeinsamer Komponenten nur dann zulässig, wenn alle zu betrachtenden Versagensmöglichkeiten die sicherheitstechnischen Funktionen nicht beeinträchtigen. Verbindungen von redundanten Strängen über Rohrleitungen sollen in der Bereitstellungsstellung geschlossen und müssen bei sicherheitstechnisch relevanten Einsatzfällen sicher absperrbar sein.

Hinweis:

Solche Verbindungsleitungen können sich zum Beispiel durch die betriebliche Funktion eines Systems oder durch den Anschluss an eine gemeinsame Prüfleitung ergeben. Verbindungen können auch im Interesse einer höheren Zuverlässigkeit sinnvoll sein, z. B. um Komponenten zur Erhöhung der Redundanz aufzuschalten.

5.2.3 Ausfälle aufgrund gemeinsamer Ursache

(1) Gegen Ausfälle aufgrund gemeinsamer Ursache, die größere Auswirkungen haben als den Ausfall eines Strangs, sind folgende Maßnahmen zu ergreifen:

- a) qualitätsgesicherte Planung, Auslegung und Konstruktion der Systeme und Komponenten entsprechend den Aufgabenstellungen unter Berücksichtigung aller in Betracht kommenden Ausfallarten, Folgeausfälle und Umgebungsbedingungen,
- b) Strangtrennung und räumliche Trennung der Redundanten,
- c) Wahl geeigneter Werkstoffe und Fertigungsverfahren,
- d) Einsatz von Komponenten mit Eignungsnachweis (z. B. Eignungsprüfung oder Betriebsbewährung),
- e) Erprobung möglichst unter Einsatzbedingungen,
- f) zweckentsprechende betriebliche Behandlung und Wartung durch geschultes Personal,

- g) wiederkehrende Prüfungen und
- h) Qualitätssicherungsmaßnahmen von der Planung bis zum Betrieb.

(2) Falls Hinweise aus der Betriebserfahrung oder aus Zuverlässigkeitsanalysen vorliegen sollten, dass die Vorsorge gegen Ausfälle aus gemeinsamer Ursache trotz der Erfüllung von (1) a) bis h) nicht ausreicht, ist zu prüfen, ob diese durch die diversitäre Ausführung von Einrichtungen erreicht werden kann.

5.3 Systeminterne Störungen und Lecks

(1) Störungen in den NWA-Systemen selbst müssen beherrscht werden. Die Auswirkungen auf andere Sicherheitseinrichtungen sind so zu begrenzen, dass deren Funktion nicht unzulässig beeinträchtigt wird.

(2) Bei betrieblichen Abfahrvorgängen ist ein Versagen an Rohrleitungen der NWA-Systeme entsprechend SiAnf, Anhang 2, Anlage 2, Nummer 4.2 zu unterstellen. Als Benutzungszeit ist der Zeitraum des Betriebs mit Drücken und Temperaturen entsprechend SiAnf, Anhang 2, Anlage 2, Nummer 4.2 (1) a) zu unterstellen. Speziell bei einem Rohrleitungsver-sagen im Nachkühlsystem gilt dabei, dass als Ausgangsbedingungen die Reaktorkühlmittelzustände zum Zeitpunkt der für den Normalbetrieb vorgesehenen Übernahme der Nachwärmeabfuhr durch die NWA-Systeme zugrunde zulegen sind.

5.4 Sicherer Einschluss des Reaktorkühlmittels

5.4.1 Reaktorkühlmiteleinschluss bei bestimmungsgemä- ßem Betrieb

(1) Systemteile des an das Reaktorkühlmittelsystem anschließenden NWA-Systems, deren zulässiger Betriebsüberdruck unter dem des Reaktorkühlmittelsystems liegt, sind mit automatisch wirkenden Absperrreinrichtungen auszustatten, und zwar durch zwei in Reihe geschaltete Armaturen, die auf Dichtheit im Sitz überwachbar sein müssen.

(2) In den Einspeiseleitungen sollen vorzugsweise solche Rückschlagarmaturen eingesetzt werden, die sowohl im Hinblick auf die Einspeisefunktion als auch im Hinblick auf die Absperrfunktion selbsttätig wirken.

(3) Die Absperrung der Entnahmeleitungen soll mit vergleichbar hoher Zuverlässigkeit erfolgen, wie die der Einspeiseleitungen.

(4) An die Umschließung von Reaktorkühlmittel sind auch im Einsatzfall der NWA-Systeme hohe Dichtheitsanforderungen zu stellen, insbesondere außerhalb des Sicherheitsbehälters. Es muss möglich sein, Leckagen zeitnah zu erkennen und soweit erforderlich abzusperrern.

5.4.2 Aktivitätsbarrieren zur Wärmesenke

(1) Eine Aktivitätsabgabe über NWA-Systeme an die Wärmesenke ist nach der Strahlenschutzverordnung zu begrenzen.

(2) Eine Überwachung der Kühlstränge auf Leckagen und auf Aktivität ist gemäß KTA 1504 vorzusehen.

(3) Es sind grundsätzlich zwei Aktivitätsbarrieren einzusetzen.

Hinweis:

Aktivitätsbarrieren können in Form von Kühlketten realisiert werden. Als erste Barriere kann eine passive Komponente (Wärmetauscher), als zweite Barriere eine zweite passive Komponente oder eine entsprechende Druckstaffelung vorgesehen werden.

Ist für bestimmte Einsatzbedingungen nur eine Barriere vorhanden (z. B. beim Abblasen von Dampf aus dem Dampfer-

zeuger in die Atmosphäre), dann ist die Zulässigkeit dieser Einsatzbedingungen in Bezug auf die Einhaltung der Vorgaben der Strahlenschutzverordnung nachzuweisen.

(4) Für Dampferzeuger-Heizrohrlecks sind Vorkehrungen zur Begrenzung des Übertritts von Primärkühlmittel auf die Sekundärseite zu treffen.

5.4.3 Abschließung der Rohrleitungen beim Kühlmittelverluststörfall

(1) Bei den Systembereichen von NWA-Systemen mit Notkühlfunktion ist die Notkühlfunktion vorrangig sicherzustellen. Absperrungen sind entsprechend den Anforderungen der Notkühlfunktion festzulegen. In Einspeise- und Entnahmeleitungen vom NWA-System zum Reaktorkühlmittelsystem sind an der Sicherheitsbehälter-Durchdringung dann keine Absperrreinrichtungen erforderlich, wenn separate Reaktorkühlmittelsystem-Absperrungen vorhanden sind, die im Anforderungsfall zuverlässig schließen, und wenn Folgeschäden zwischen Reaktorkühlmittelsystem-Absperrung und Sicherheitsbehälter ausgeschlossen werden können.

(2) Rohrleitungen der NWA-Systeme, die den Sicherheitsbehälter durchdringen und nicht zur Aufrechterhaltung der Funktionen gemäß 3.2.2 (1) und (2) benötigt werden, sind im Anforderungsfall abzusperrern. Die Absperrung ist nach KTA 3404 entsprechend den Vorgaben für die Rohrleitungskategorie nach KTA 3404 Abschnitt 3.3 (1) a) auszuführen. Für die Festlegung der Stellzeiten sind neben den Anforderungen an den Aktivitätseinschluss die Anforderungen zur Sicherstellung der Funktion Nachwärmeabfuhr zu berücksichtigen. Abweichend von KTA 3404 sind für die Prüfungen die Prüfanforderungen an die Nachwärmeabfuhrsysteme zugrunde zu legen.

(3) Rohrleitungen ohne Notkühlfunktion, die außerhalb des Sicherheitsbehälters an Systemteile der NWA-Systeme anschließen, welche störfallbedingt radioaktiv kontaminiertes Kühlmittel führen können, müssen durch zwei in Reihe geschaltete Absperrreinrichtungen möglichst nahe an der Anschlussstelle absperrbar sein.

(4) Teile der primärseitigen NWA-Systeme mit offener Verbindung zur Atmosphäre außerhalb des Sicherheitsbehälters, zum Beispiel Flutbehälter oder Flutbecken, müssen gegenüber dem störfallbedingt radioaktiv kontaminierten Kühlmittel durch mindestens zwei Absperrreinrichtungen in Hintereinanderschaltung sicher absperrbar sein.

6 Anordnung und konstruktive Maßnahmen

6.1 Übergeordnete Aspekte

6.1.1 Zugänglichkeit im bestimmungsgemäßen Betrieb

Die hierbei durchzuführenden Maßnahmen sind der „RL-Strahlenschutz-Planung“ zu entnehmen.

6.1.2 Maßnahmen zur Vermeidung von Folgeausfällen bei Störfällen

(1) Gegen zu betrachtende störfallbedingte Belastungen (z. B. Reaktions-, Strahl- und Geschosskräfte, Überflutung und Brand, Erschütterung und Druckwelle) sowie veränderte Umgebungsbedingungen (z. B. Feuchtigkeit, Druck, Temperatur, ionisierende Strahlung) sind geeignete Maßnahmen vorzusehen, wie:

- a) räumlich getrennte Anordnung der Redundanten,
- b) konstruktive Maßnahmen (z. B. Ausschlagsicherungen, Abdeckungen, Verstärkungen, Stoßbremsen),
- c) bauliche Maßnahmen (z. B. Abkammerungen, Wände, erhöhte Fundamente),

d) eine der Belastung angepasste Auslegung der Komponenten.

(2) Diese Maßnahmen sind auch auf die Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme sowie die Leittechnik der NWA-Systeme anzuwenden.

6.1.3 Maßnahmen für Langzeitbetrieb nach Störfällen

Durch Anordnung der NWA-Systeme und Anlagenkonstruktion ist sicherzustellen, dass gegebenenfalls unter Einsatz behelfsmäßiger Maßnahmen und unter Berücksichtigung des Schutzes des Personals, zum Beispiel unter Einsatz von schwerem Atemschutzgerät,

- die Zugänglichkeit zu ausgefallenen Systemteilen wiederhergestellt,
- überflutete Räume gelentzt und
- Leckagen abgedichtet werden können,

um Instandhaltungsmaßnahmen an wesentlichen aktiven Komponenten zu ermöglichen. Die Vorschriften der „RL-Strahlenschutz-Planung“, der „RL-Strahlenschutz-Maßnahmen“ und der „RL-Instandhaltung“ sind hierbei zu beachten.

Hinweis:

Weitere Festlegungen werden in KTA 1301.1 (insbesondere Abschnitt 9.2.2) und KTA 1301.2 getroffen.

6.1.4 Maßnahmen für Einwirkungen von außen und Notstandsfälle

Die NWA-Systeme, deren Funktion zur Beherrschung der Ereignisse erforderlich ist, sind gegen die hieraus folgenden Belastungen auszulegen. Räumliche Trennung ist als Schutz ausreichend, wenn die Belastungen auf Teilbereiche der Anlage begrenzt bleiben.

6.2 Sicherheitsbehältersumpf

6.2.1 Allgemeines

(1) Bei der Gestaltung des Sicherheitsbehälters und seiner Einbauten ist sicherzustellen, dass im Falle eines Kühlmittelverluststörfalls das aus der Bruchstelle austretende Wasser so aufgefangen wird, dass es dem NWA-System wieder zugeführt werden kann.

Hinweis:

Beim DWR erfolgt die Rückführung über den Sicherheitsbehältersumpf, beim SWR über den Steuerstabantriebsraum und die Kondensationskammer.

(2) Durch geeignete Materialauswahl und konstruktive Maßnahmen sind die Verunreinigungen im Sicherheitsbehälter gering zu halten. Dabei sollen folgende Aspekte beachtet werden:

- Ausführung der Isolierungen von Rohrleitungen und Behältern so, dass die Freisetzung von Isoliermaterial gering bleibt,
- Verwendung von Isoliermaterial mit einer von Wasser deutlich unterschiedlichen Dichte,
- Verwendung von festhaftenden und qualifizierten Anstrichen an Bauteilen,
- Verwendung von erosions- und korrosionsresistenten Materialien für die vom Kühlmittel langfristig berührten Sicherheitsbehälter-Einbauten.

(3) Falls es zu einer Belegung der Sumpfsiebe oder Rückhaltevorrichtungen kommen kann, ist darauf zu achten, dass eine ausreichende Durchlässigkeit erhalten bleibt. Dabei sollen folgende Aspekte beachtet werden:

- Verwendung von Isoliermaterial mit einer geeigneten Waserdurchlässigkeit,

b) Herabsetzung der Durchlässigkeit in Folge einer Freisetzung von faser- und partikelförmigen Isoliermaterialien sowie von Produkten aus Erosionskorrosion,

c) chemische Reaktionen von Isoliermaterialien unter Störfallbedingungen (Porositätsänderungen) und

d) Entstehung von Ausfallprodukten über chemische Reaktionen von Materialien im Sicherheitsbehälter und Additiven zum Kühlmittel.

6.2.2 Ansaugöffnungen

(1) Die Strömungswege zu den Ansaugöffnungen des NWA-Systems sind so zu gestalten, dass sie weder durch Bruchstücke so beschädigt noch durch mitgerissene Materialien so verstopft werden können, dass ihre Funktion während des langfristigen Sumpfbetriebs unzulässig beeinträchtigt wird.

(2) Zur Sicherstellung dieser Forderung sind folgende Vorkehrungen zu treffen:

- Es sind Rückhaltevorrichtungen vorzusehen.
- Die Fläche der Rückhaltevorrichtungen ist unter Berücksichtigung des möglichen Anfalls von Isoliermaterialien, Verunreinigungen, Erosionskorrosionsprodukten und chemischen Reaktionsprodukten so zu bestimmen, dass die Druckverluste über die Rückhaltevorrichtungen die Auslegungsgrenzen nicht überschreiten.
- Falls langfristig für Auslegungsstörfälle zu hohe Druckverluste nicht ausgeschlossen werden können, sind Einrichtungen und Maßnahmen vorzuhalten, die geeignet sind, die Druckverluste zu begrenzen oder zu reduzieren.
- Die Rückhaltevorrichtungen sind so auszulegen, dass nicht zurückgehaltenes Material die Funktion von Pumpen, Armaturen und Wärmetauschern nicht unzulässig beeinträchtigt und Strömungswege insbesondere im Reaktorkern nicht verstopft werden können.
- Die Ansaugöffnungen sind gegenüber den Böden erhöht anzuordnen.
- Die Rückhaltevorrichtungen sowie die Ansaugöffnungen sind gegen Folgeschäden (z. B. infolge von Strahlkräften) zu schützen.
- Bei der Auslegung der Rückhaltevorrichtungen sind Strömungskräfte und Differenzdrücke infolge von Druckausgleichsvorgängen während der ersten Druckentlastungsphase zu berücksichtigen.
- Die Materialien der Rückhaltevorrichtungen sind so auszuwählen, dass unter Störfallrandbedingungen durch Erosion und Korrosion im Langzeitbereich keine unzulässige Schwächung der Strukturen auftritt.
- Die Ansaugöffnungen sind räumlich zu trennen.
- Rückhaltevorrichtungen und Ansaugöffnungen sind so zu konstruieren, dass sie für Inspektionen zugänglich sind und gereinigt werden können.
- Durch Ausgasungs- oder Verdampfungsvorgänge infolge der Druckabsenkung an den Ablagerungen dürfen an der Pumpensaugseite keine Gas- oder Dampfgehalte vorhanden sein, die zu einem unzulässigen Rückgang der Förderleistung oder zu einer Schädigung der Pumpen durch Kavitation führen können.

6.2.2.3 Ansaugleitungen

Die Ansaugleitungen vom Sicherheitsbehältersumpf bis zur ersten Armatur außerhalb des Sicherheitsbehälters sind so auszubilden, dass ein Wasserverlust unter Störfallbedingungen ausgeschlossen werden kann. Hierfür müssen unter Beachtung von Abschnitt 5.2.2.2 (2) technische Vorkehrungen getroffen werden.

6.3 Wärmesenke (Einrichtungen zur Wärmeabfuhr an die Umgebung)

6.3.1 Allgemeines

(1) Die Einrichtungen zur Nachwärmeabfuhr an eine primäre Wärmesenke (wie Wärmeabgabe durch Abblasen von Frischdampf an die Atmosphäre, Wärmeeinleitung in Gewässer durch Frischwasserkühlung, Wärmeabgabe an die Atmosphäre über Verdunstungskühlwerke) müssen so ausgelegt und angeordnet werden, dass die NWA bei bestimmungsgemäßem Betrieb, bei Störfällen sowie bei den am Standort der Reaktoranlage in Betracht zu ziehenden Einwirkungen von außen (z. B. Hochwasser, Dürre, Eisbildung, Treibgutanschwemmung, Muschelbewuchs, Erdbeben) oder Notstandsfällen (wie Flugzeugabsturz, Gaswolkenexplosion) sichergestellt ist.

Hinweis:

Zur Beherrschung von dennoch postulierten Ausfällen der primären Wärmesenke aufgrund von Ausfallursachen im Bereich der Kühlwasserentnahme und Kühlwasserrückführung wird eine diversitäre Wärmesenke vorgesehen, deren Ausführung den Anforderungen an Notfallmaßnahmen genügen muss, die nicht in den Regelungsumfang von KTA-Regeln fallen.

6.3.2 Anforderungen an die Ausführung der Entnahmebauwerke und der Wasserführung im Nebenkühlwassersystem

(1) Die Entnahmebauwerke einschließlich der Reinigungsanlagen sowie des Wasserzulaufs zu den Kühlern sind entsprechend der jeweiligen Redundanzanforderung auszulegen.

(2) Bei NWA mit Fluss- oder Meerwasser sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

- es sind Vorkehrungen und Maßnahmen vorzusehen, die durch Rückhaltung von Treibgut, Algen, Heu, Muscheln o. ä. die erforderliche Entnahme von Kühlwasser sicherstellen,
- Verhinderung von Zufrieren und Berücksichtigung von Eisgang,
- Verhinderung unzulässiger Rückströmung des erwärmten Kühlwassers in den Kühlwasserzulauf,
- im Falle von schiffbaren Entnahmegewässern, Berücksichtigung der Auswirkungen von Schiffsunfällen.

(3) Im weiteren Verlauf der Wasserführung im Nebenkühlwassersystem sind betriebliche Maßnahmen gegen ein Festsetzen von Belägen in den betreffenden NWA-Komponenten (z. B. Muschellarven) zu treffen (z. B. Erwärmung des betroffenen Strangs, Stoßchlorierung, mechanische Reinigung).

6.3.3 Anforderungen an die Ausführung der Einleitungsbauwerke und der Wasserführung im Nebenkühlwassersystem bei Fluss- oder Meerwasserkühlung

Einleitungsbauwerke und die Wasserführung im Nebenkühlwassersystem sind für die Einleitung des Kühlwassers in die primäre Wärmesenke bei bestimmungsgemäßem Betrieb und bei Störfällen auszulegen. Bei Versagen von Einleitungsbauwerken oder Einrichtungen zur Wasserführung im Nebenkühlwassersystem infolge Einwirkungen von außen oder bei Notstandsfällen muss die Ableitung des bei der Kühlung der Reaktoranlage anfallenden Kühlwassers auf anderem Wege ohne unzulässige Beeinträchtigung der Nachwärmeabfuhr möglich sein.

6.3.4 Anforderungen an die Ausführung von Verdunstungskühlwerken

Verdunstungskühlwerke für die NWA einschließlich der zugehörigen Wasserspeicher sind entsprechend den jeweiligen Redundanzanforderungen so auszulegen und anzuordnen, dass

bei den vorgesehenen Einsatzfällen folgende Anforderungen erfüllt werden:

- Sicherstellung des Betriebs bei Frost (Verhinderung von Vereisung) in allen vorgesehenen Einsatzfällen, insbesondere durch entsprechende Anordnung des Speicherbeckens und durch Vorkehrungen und Maßnahmen (z. B. durch abgestufte Beaufschlagung und Belüftung der Kühlzellen, Beheizung von Laufflächen, Freihalten der Kühlembauten von Schnee),
- Vorkehrungen gegen Verschmutzung und Veralgung (z. B. durch Stoßchlorierung),
- Ergänzung der Verdunstungsverluste, wenn erforderlich.

6.3.5 Anforderungen an Einrichtungen zum Abblasen von Frischdampf

Im Falle des Ausfalls der Hauptwärmesenke muss die Nachwärme unter Berücksichtigung der vorhandenen Wasservorräte durch Abgabe an die Atmosphäre (DWR) oder an die Kondensationskammer (SWR) bis zur Übernahme durch die Nachkühlketten kontrolliert abgeführt werden können.

7 Betrieb und Überwachung

7.1 Bestimmungsgemäßer Betrieb (Sicherheitsebenen 1 und 2)

7.1.1 Betriebsweise

(1) Eine manuelle Steuerung der NWA-Systeme ist zulässig. Die Steuerung darf komponentenweise - Einzelbetätigung - und für funktionell zusammengehörige Gruppen von Komponenten gruppenweise - Gruppenbetätigung - erfolgen.

(2) Routinemäßig wiederkehrende Funktionsabläufe sollten im Hinblick auf die Vermeidung von Fehlbedienungen automatisiert werden.

(3) Durch betriebliche Maßnahmen ist sicherzustellen, dass beim Abfahrvorgang die zum Schutz der Komponenten des Reaktorkühlmittelsystems vorgegebenen Grenzen der Abkühlgeschwindigkeit sowie weitere zu berücksichtigende Vorgaben (siehe Abschnitt 4) eingehalten werden können.

(4) Die Betätigungselemente für den NWA-Betrieb sind in der Warte vorzusehen. Betätigungselemente für die Durchführung von Funktionsprüfungen sind vorzugsweise in der Warte vorzusehen. Der direkte Eingriff des Bedienungspersonals vor Ort in die maschinentechnischen Komponenten soll auf Instandhaltungsmaßnahmen beschränkt bleiben.

(5) Bei Ausfall der Eigenbedarfsversorgung während der Nachkühlung muss sichergestellt sein, dass die für die NWA erforderlichen Komponenten mit Notstrom versorgt werden und die NWA umgehend wieder aufgenommen werden kann.

7.1.2 Überwachung

(1) Wichtige Zustandsgrößen (z. B. Druck, Temperatur, Durchfluss, Wasserstand) sowie wichtige Armaturenstellungen sind auf der Warte anzuzeigen oder zu registrieren, damit der Zustand der Systeme schnell und sicher erkennbar ist. Bei unzulässigen Abweichungen sind Gefahrenmeldungen der Klassen nach KTA 3501 zu bilden.

(2) Zur Vermeidung von Aktivitätsableitungen sind Überwachungsmaßnahmen nach KTA 1504 vorzusehen.

(3) Die spezifizierte Wasserqualität der einzelnen Systeme ist zu überwachen. Probenentnahmestellen sind an repräsentativen Stellen anzuordnen.

Hinweis:

Anforderungen hinsichtlich der Überwachung der Borsäurekonzentration sind in KTA 3103 geregelt.

7.1.3 Vorsorgliche Maßnahmen

(1) Alle für die Beherrschung von Störfällen vorgesehenen Systeme sind zu überwachen sowie einsatzbereit oder in Betrieb zu halten, solange mit dem Auftreten von Störfällen zu rechnen ist. Dazu gehört im Allgemeinen, dass

- a) die Systeme mit den für den Betrieb erforderlichen Kühl- und Hilfsmedien gefüllt sind,
- b) die erforderlichen Kühlmedien in auslegungsgemäßer Menge und bestimmungsgemäßem Zustand bereitstehen und
- c) die Hilfsmedien in auslegungsgemäß benötigter Menge vorhanden sind (z. B. Schmieröl).

(2) Zur Vermeidung von unzulässigen Systemzuständen sind Einrichtungen zum Schutz von Komponenten zu installieren und einzustellen (z. B. Sicherheitsventile, Schutzverriegelungen).

(3) Fernbetätigte Armaturen sollen, soweit möglich, in der die Störfallbeherrschung vorgesehenen Bereitschaftsstellung stehen. Fehlstellungen müssen durch Meldungen auf der Warte angezeigt werden.

(4) Sicherheitstechnisch wichtige Handarmaturen sind gegen Fehlstellung zu sichern.

(5) Der Sicherheitsbehälter ist im Hinblick auf mögliche Verstopfungen der Rückhaltevorrichtungen der NWA-Systeme sauber zu halten.

7.2 Störfälle (Sicherheitsebene 3)

7.2.1 Betriebsweise

Die NWA-Systeme sind so auszulegen, dass die Nachwärme unter Verwendung der folgenden Betriebsarten abgeführt werden kann:

- a) selbsttätige Funktion von Komponenten ohne leittechnische Steuerung und ohne Fremdenergie, sondern allein durch direkte Einwirkung von Prozessabläufen,
- b) automatische Auslösung und Steuerung,
- c) bei Anstehen von Sicherheitsgefahrenmeldungen nach KTA 3501: Steuerung durch Handeingriffe von der Warte oder von örtlichen Leitständen aus; diese Handeingriffe sind im Betriebshandbuch festzulegen,
- d) für die Durchführung der NWA ab 30 min nach Störfalleintritt, Steuerung durch Handeingriffe von der Warte oder von örtlichen Leitständen aus; diese Handeingriffe sind im Betriebshandbuch festzulegen.

Hinweis:

Steuerung durch Handeingriffe ist auch vor Ablauf von 30 min zulässig, soweit durch Analysen nachgewiesen ist, dass der Störfallablauf nicht nachteilig beeinflusst wird und die entsprechenden Handmaßnahmen im Betriebshandbuch festgelegt sind.

7.2.2 Überwachung

(1) Die für die Erkennung des Zustandes der Systeme wichtigen Zustandsgrößen (z. B. Druck, Temperatur, Durchfluss, Füllstand, Druckverlust über die Saug- und Sumpfsiebe) sowie wichtige Armaturenstellungen sind auf der Warte anzuzeigen oder zu registrieren.

(2) Die hierfür notwendigen Einrichtungen sind für die im Störfall zu erwartenden Umgebungsbedingungen auszuführen.

Hinweis:

Die Auslegungskriterien der leittechnischen Überwachungseinrichtungen sind in der Regel KTA 3501 näher bestimmt.

7.3 Einwirkungen von innen und außen sowie Notstandsfälle

7.3.1 Betriebsweise

(1) Der Automatisierungsgrad der NWA-Systeme ist in Abhängigkeit vom Schutzkonzept der Anlage so festzulegen, dass bei den zu unterstellenden Einwirkungen von innen und außen und bei Notstandsfällen die Reaktoranlage (ausgehend vom Leistungsbetrieb) sicher in den Zustand heiß unterkritisch überführt und in diesem Zustand gehalten werden kann.

(2) Signale und Befehle aus der Notsteuerstelle und aus dem gegen Einwirkungen von innen und außen sowie Notstandsfällen ausgelegten Teil des Reaktorschutzsystems müssen Vorrang vor Signalen und Befehlen aus den nicht gegen diese Einwirkungen geschützten Bereichen haben.

(3) Für Notstandsfälle gilt:

- a) Für den Fall, dass weder die Warte einsatzfähig noch die Notsteuerstelle besetzt ist oder in hinreichend kurzer Zeit besetzt werden kann, muss die Nachwärmeabfuhr für mindestens 10 Stunden automatisch, d. h. ohne Handeingriffe möglich sein.
- b) Es muss möglich sein, mit dem Abfahren der Anlage zu beginnen, sobald Personal wieder zur Verfügung steht, wobei auch Betätigungen von Komponenten vor Ort und der Einsatz von Hilfsmaßnahmen zulässig sind.

7.3.2 Überwachung

(1) Die für die Erkennung des Zustandes der Systeme wichtigen Zustandsgrößen (z. B. Druck, Temperatur, Durchfluss, Füllstand) sowie wichtige Armaturenstellungen sind entsprechend dem Konzept für Einwirkungen von außen und für Notstandsfälle auf der Warte oder der Notsteuerstelle anzuzeigen oder zu registrieren.

(2) Die hierfür notwendigen Einrichtungen sind für die zu erwartenden Umgebungsbedingungen auszuführen.

Hinweis:

Die Auslegungskriterien der leittechnischen Überwachungseinrichtungen sind in der Regel KTA 3501 näher bestimmt.

8 Energieversorgung

8.1 Elektrische Energieversorgung

Die elektrische Energieversorgung der NWA-Systeme ist gemäß den Anforderungen der KTA 3701 auszulegen.

8.2 Nichtelektrische Energieversorgung

8.2.1 Direktgekoppelte Antriebsmaschinen

Werden zum Direktantrieb von Pumpen Dieselmotoren verwendet, sollen diese gemäß den Anforderungen an Notstromerzeugungsanlagen der KTA 3702 ausgelegt, hergestellt und betrieben werden.

Hinweis:

Neben Dieselmotoren sind auch andere Antriebsarten möglich (z. B. turbinengetriebene Pumpen).

8.2.2 Pneumatische und hydraulische Energieversorgung

Es gelten die gleichen Redundanz- und Zuverlässigkeitsanforderungen wie für andere Hilfs- und Versorgungssysteme der NWA-Systeme (siehe dazu auch Abschnitt 5.2.2.1). Führt jedoch ein Ausfall der hydraulischen oder pneumatischen Energieversorgung zu einem sicheren Zustand, so genügt eine nicht-redundante Ausführung der pneumatischen oder hydraulischen Energieversorgung.

9 Sicherstellung der Funktionsfähigkeit und der Funktionsbereitschaft

9.1 Inbetriebsetzungsprüfungen

9.1.1 Zweck

Die Inbetriebsetzungsprüfungen dienen dazu, die Funktionsfähigkeit und Funktionsbereitschaft der NWA-Systeme nachzuweisen und somit eine der Voraussetzungen für die Aufnahme des Betriebs der Anlage zu schaffen. Außerdem bilden die Ergebnisse der Inbetriebsetzungsprüfungen eine Basis für die wiederkehrenden Prüfungen.

9.1.2 Prüfumfang

(1) Folgende Prüfungen sind durchzuführen:

- a) **Einzelfunktionsprüfung der Aggregate**
Überprüfung der Funktionsfähigkeit und der Einstellung der einzelnen Aggregate und Verriegelungen sowie deren Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme.
- b) **Funktionsprüfung der Leittechnik**
Anhand der Funktionsbeschreibungen oder Funktionspläne sind Verriegelungen, Schaltkriterien, Gefahrenmeldungen und Funktionsabläufe zu überprüfen (z. B. Anwahl, Anfahren, Abfahren, verschiedene Betriebsweisen).
- c) **Funktionsprüfung der Systeme**
Es ist die Funktion des gesamten Systems zu prüfen. Die Prüfungen sind derart durchzuführen, dass die Ergebnisse Rückschlüsse für die vorgesehenen Einsatzfälle zulassen.

(2) Erfüllen einzelne Aggregate mehrere Funktionen, sind diese Funktionen einzeln zu prüfen.

9.1.3 Durchführung und Dokumentation

(1) Die Anforderungen in der KTA 1402 zur Inbetriebsetzung (Abschnitt 5.4) sind zu beachten.

(2) Es sind während der einzelnen Prüfschritte gemäß Abschnitt 9.1.2 die während der Inbetriebsetzung der NWA-Systeme eingestellten Kriterien und Anzeigen zu kontrollieren und mit den geforderten Sollwerten zu vergleichen. Die Erfüllung der Prüfschritte und die Ergebnisse sind zu dokumentieren.

9.2 Wiederkehrende Prüfungen

9.2.1 Regelmäßige Funktionsprüfungen

9.2.1.1 Zielsetzung

Durch regelmäßige Funktionsprüfungen ist festzustellen, ob die geprüften Komponenten oder das geprüfte System funktionsbereit sind.

9.2.1.2 Anforderungen

(1) Die Systeme sind grundsätzlich so auszulegen, dass regelmäßige Funktionsprüfungen ohne Einschränkung des Leistungsbetriebs durchführbar sind. Sollte dies nicht möglich sein, so ist es zulässig, einzelne Komponenten in längeren Prüfintervalen außerhalb des Leistungsbetriebs zu testen. Die sicherheitstechnische Unbedenklichkeit längerer Prüfintervalle ist im Einzelfall zu zeigen.

(2) Die Prüfung darf die Verfügbarkeit der Systeme zur Störfallbeherrschung nicht unzulässig einschränken. Anregungen aus dem Reaktorschutz müssen Vorrang gegenüber dem Prüfprogramm haben.

(3) Der regelmäßige Nachweis der Funktionsbereitschaft soll, soweit ohne Einschränkungen des Betriebs möglich, unter störfallähnlichen Bedingungen erfolgen. Die regelmäßigen Funktionsprüfungen müssen zusammen mit den vorlaufenden

Typ-, Herstellungs- und Inbetriebsetzungsprüfungen eindeutige Rückschlüsse auf die Funktionsbereitschaft unter Störfallbedingungen zulassen.

(4) Die zur Störfallbeherrschung notwendige Instrumentierung, Steuerung, Energie- und Hilfsmedierversorgung der Systeme soll so geprüft werden, dass eine Aussage über die Funktionsfähigkeit der Systeme möglich ist.

(5) Die Signale aus dem Reaktorschutzsystem dürfen unter Beachtung der Anforderungen der KTA 3501 simuliert werden.

(6) Es sind alle Größen zu messen und zu dokumentieren, die erforderlich sind, um eine Aussage über die Funktionsbereitschaft der Komponenten und Systeme gewinnen zu können.

9.2.1.3 Prüfintervalle

Die Intervalle von Funktionsprüfungen sollen sich nach der erforderlichen Zuverlässigkeit der Funktion richten (siehe auch Abschnitt 10). Dabei sind die technischen Randbedingungen bei der Prüfdurchführung, verfügbare Daten zu Ausfallraten und, soweit vorhanden, Herstellervorgaben zu berücksichtigen. Hiervon abweichende Intervalle sind zu begründen.

Hinweis:

Erfahrungsgemäß hat sich ein Prüfintervall von drei bis sechs Wochen bewährt.

9.2.2 Zerstörungsfreie Prüfungen

Die NWA-Systeme sind so zu konzipieren, dass zerstörungsfreie Prüfungen an den Komponenten gemäß KTA 3211.4 möglich sind.

9.3 Instandhaltung

Die Instandhaltung ist nach KTA 1402 durchzuführen.

10 Zuverlässigkeitsanalysen

10.1 Zielsetzung

(1) Neben den deterministischen Kriterien bei der Auslegung der NWA-Systeme sollten bei der Auslegung Zuverlässigkeitsanalysen herangezogen werden.

(2) Zielsetzung von Zuverlässigkeitsanalysen ist es, die Auslegung der NWA-Systeme unter Berücksichtigung der Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme mit probabilistischen Methoden zu überprüfen, um eventuelle Schwachstellen zu identifizieren und zu bewerten.

Hinweis:

Die sicherheitstechnische Ausgewogenheit der benötigten Funktionen der NWA-Systeme, bezogen auf das Sicherheitsniveau der Gesamtanlage, wird im Rahmen einer Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) bewertet.

(3) Zuverlässigkeitsanalysen liefern quantitative Aussagen zur Funktionssicherheit der NWA für den jeweiligen Einsatzfall.

(4) Zuverlässigkeitsanalysen liefern auch Informationen zum Einfluss von Prüfintervalen und Instandhaltungszeiten auf die Zuverlässigkeit.

(5) Darüber hinaus können Zuverlässigkeitsanalysen mit dem Ziel durchgeführt werden,

- a) Auslegungsanforderungen in solchen Fällen abzuleiten, in denen keine oder nicht hinreichend abgesicherte deterministische Kriterien vorliegen oder
- b) quantitative Aussagen zur Beurteilung von Auslegungsrandbedingungen zu liefern.

10.2 Umfang

Es sind Zuverlässigkeitsanalysen für bestimmte Einsatzfälle, zum Beispiel Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung, Ausfall der Hauptwärmesenke, kleines Leck im Reaktorkühlmittelsystem, großes Leck im Reaktorkühlmittelsystem, durchzuführen. Dafür sind die Einsatzfälle so auszuwählen, dass die Analysen alle sicherheitstechnischen Funktionen der NWA-Systeme einschließlich der erforderlichen Hilfs-, Versorgungs- und Energiesysteme unter Berücksichtigung der Eintrittshäufigkeiten und der Wirksamkeitsbedingungen abdecken.

10.3 Methodik

Vorgaben zur Methodik von Zuverlässigkeitsanalysen als Teil Probabilistischer Sicherheitsanalysen sind in den PSÜ-Leitfäden und in den zugehörigen Fachbänden zu Methoden und Daten niedergelegt.

10.4 Bewertung der Ergebnisse

(1) Die Bewertung der Ergebnisse der Zuverlässigkeitsanalysen soll sich orientieren an

- a) dem Beitrag der Systemfunktionen der Nachwärmeabfuhrsysteme zu den Ergebnissen der PSA, insbesondere zur

Kernschadenshäufigkeit. Dabei ist zu beachten, dass die zahlreichen Funktionen der Nachwärmeabfuhrsysteme für viele Ereignisse einen großen Teil der zur Beherrschung erforderlichen Funktionen darstellen.

- b) dem unter Beteiligung der Nachwärmeabfuhrsysteme erreichten Sicherheitsniveau, insbesondere der Kernschadenshäufigkeit, unter Berücksichtigung des bisher erreichten Sicherheitsniveaus.

Hinweis:

Zielvorgaben finden sich auch in INSAG-12

- (2) Die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsanalysen sollen genutzt werden, um im Falle von erkannten Schwachstellen Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten.

Hinweis:

Bei der Bewertung der Ergebnisse von Zuverlässigkeitsanalysen ist zu beachten, dass

- a) die Eingabedaten und Ergebnisse mit statistischen Unsicherheiten behaftet sind,
- b) insbesondere bei sehr kleinen Werten der Nichtverfügbarkeit oder Ausfallwahrscheinlichkeit, Ausfälle aus gemeinsamer Ursache häufig einen dominanten Beitrag zum Ergebnis liefern und
- c) je nach Feinheit der Modellierung der Ereignis- und Fehlerbäume konservative Randbedingungen verwendet wurden.

Anhang A

Liste der möglichen Systeme zum Anwendungsbereich der Regel

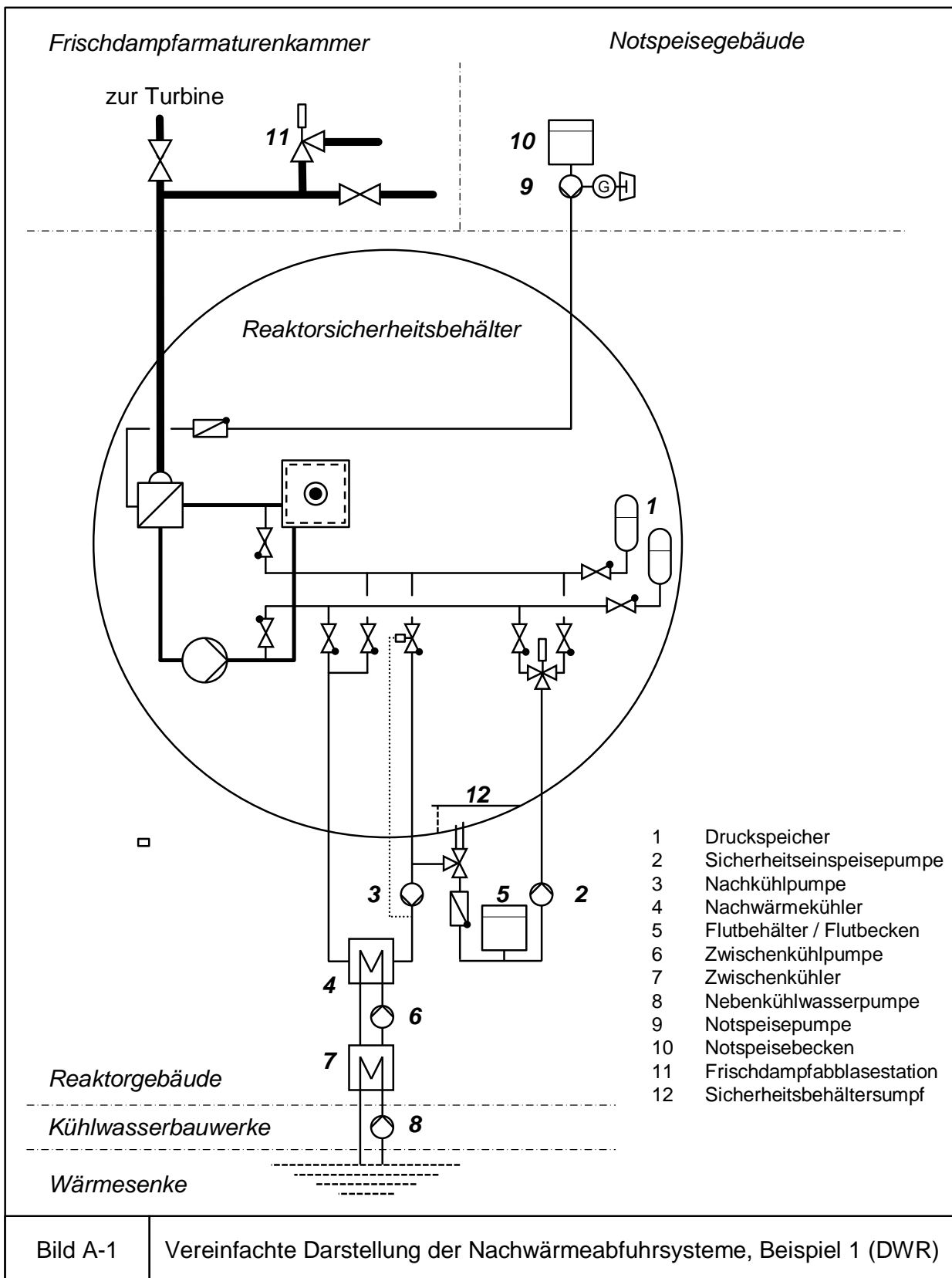
Druckwasserreaktor

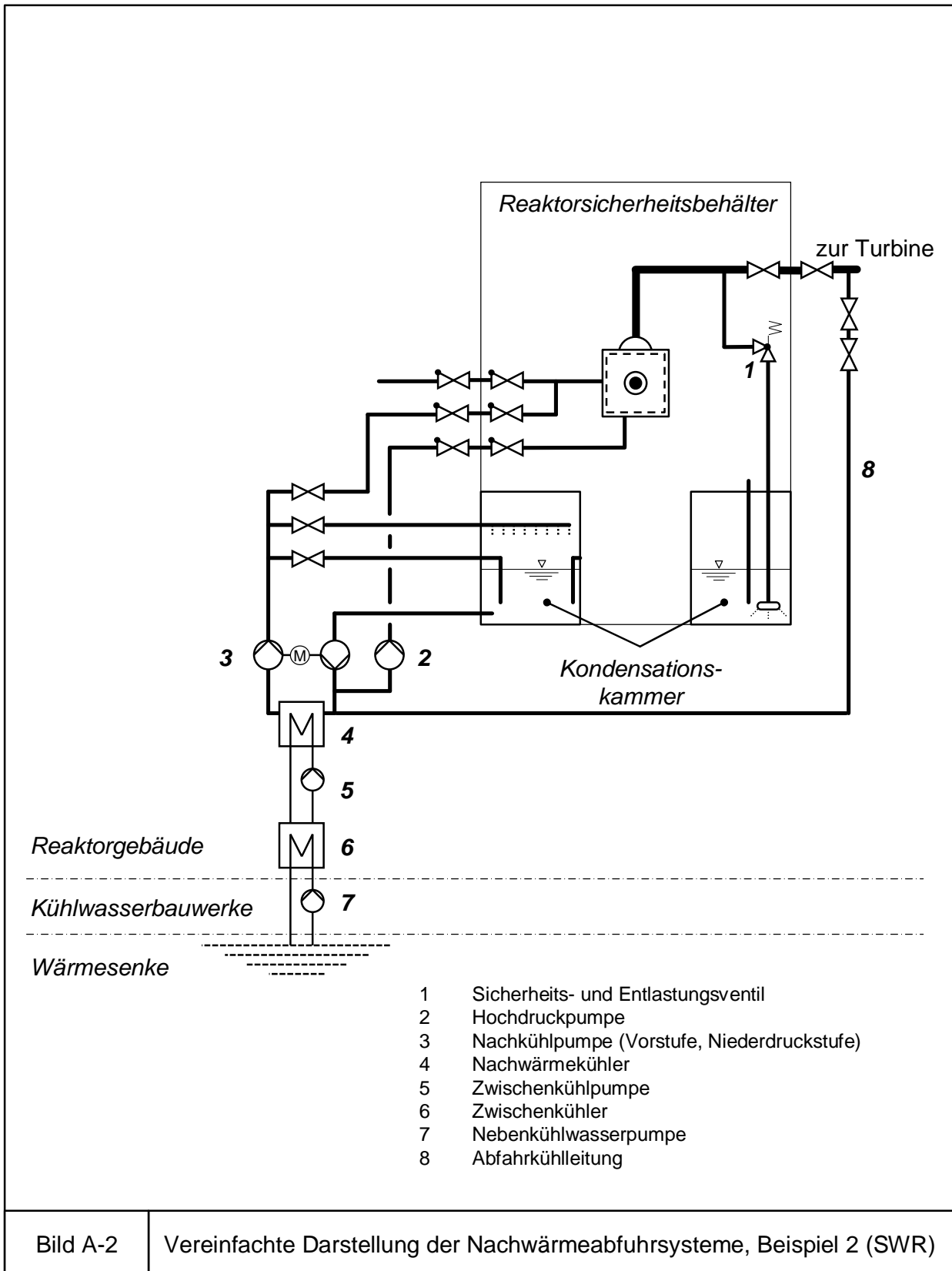
- a) Nukleares Nachkühlsystem, bestehend aus
 - aa) Hochdruck-Einspeisesystem zum Einspeisen von Notkühlwasser mit Hilfe der Sicherheitseinspeisepumpen bei Kühlmittelverluststörfällen in das Primärkühlmittelsystem in der Phase der NWA über Dampferzeuger,
 - ab) Druckspeicher zum schnellen Fluten des Reaktorkerns bei Kühlmittelverluststörfällen,
 - ac) Niederdruck-Einspeisesystem und Nachkühlkreislauf zum Einspeisen von Notkühlwasser bei Kühlmittelverluststörfällen in das Primärkühlmittelsystem und zum Umwälzen des Kühlmittels über die Nachwärmekühler bei Störfällen und bei betrieblichen Anforderungen mit Hilfe der Nachkühlpumpen,
- b) Notspeisesystem zum Bespeisen der Dampferzeuger,
- c) Frischdampfsicherheits- und Abblaseregelventil zum Abblasen von Frischdampf aus den Dampferzeugern,
- d) Nuklearer Zwischenkühlkreislauf zur Ableitung der Wärme aus Kühlern zur NWA und anderen zur Funktion der NWA-Systeme benötigten Komponenten über Zwischenkühler und als Barriere innerhalb der Kühlkette gegen Austritt radioaktiver Stoffe in die Umgebung,
- e) Nukleares Nebenkühlwassersystem zum Kühlen der Zwischenkühler und anderer zur Funktion der NWA-Systeme benötigter Komponenten mit Wärmeeinleitung in Gewässer oder Luft,
- f) Systeme zur Gewährleistung der NWA bei Notstandsfällen,
- g) Hilfs- und Versorgungssysteme, deren Funktionen für das betrachtete NWA-System notwendig sind, insofern, dass hier Auslegungskriterien sowie Forderungen für diese Systeme ausgesprochen werden (z. B. Stromversorgung, Steuerung, Instrumentierung, Lüftung, bauliche Anlagen).

Siedewasserreaktor

- a) Nukleares Nachkühlsystem, bestehend aus
 - aa) Hochdruck-Einspeisesystem zum Einspeisen in das Reaktorkühlmittelsystem mit Hilfe der Hochdruckpumpen zur Deckung von Leckverlusten und der über die Entlastungsventile in die Kondensationskammer abgeführten Dampfmenge,
 - ab) Niederdruck-Einspeisesystem und Nachkühlkreislauf zum Einspeisen in das Reaktorkühlmittelsystem bei Kühlmittelverluststörfällen, zur Umwälzung des Kühlmittels über die Nachwärmekühler und zur Kühlung der Kondensationskammer bei Störfällen und betrieblichen Anforderungen mit Hilfe der Nachkühlpumpen,
- b) Sicherheits- und Entlastungsventile zur Druckabsenkung und -begrenzung bei Störfällen durch Ableiten des durch die Nachwärme entstehenden Dampfes in die Kondensationskammer,
- c) Nuklearer Zwischenkühlkreislauf zur Ableitung der Wärme aus Kühlern zur NWA und anderen zur Funktion der NWA-Systeme benötigten Komponenten über Zwischenkühler und als Barriere innerhalb der Kühlkette gegen Austritt radioaktiver Stoffe in die Umgebung,
- d) Nukleares Nebenkühlwassersystem zum Kühlen der Zwischenkühler und anderer zur Funktion der NWA-Systeme benötigter Komponenten mit Wärmeeinleitung in Gewässer oder Luft,
- e) Systeme zur Gewährleistung der NWA bei Notstandsfällen,
- f) Hilfs- und Versorgungssysteme, deren Funktionen für das betrachtete System notwendig sind, insofern, dass hier Auslegungskriterien sowie Forderungen für diese Systeme ausgesprochen werden (z. B. Stromversorgung, Steuerung, Instrumentierung, Lüftung, bauliche Anlagen).

Die Prinzipskizzen **Bild A-1** und **Bild A-2** zeigen Beispiele von in der Bundesrepublik Deutschland realisierten Nachwärmeabfuhrsystemen. Dabei wird jeweils einer der redundanten Stränge dargestellt





Anhang B

Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird

(Die Verweise beziehen sich nur auf die in diesem Anhang angegebene Fassung. Darin enthaltene Zitate von Bestimmungen beziehen sich jeweils auf die Fassung, die vorlag, als die verweisende Bestimmung aufgestellt oder ausgegeben wurde.)

AtG		Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz – AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 307 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I 2015, Nr. 35, S. 1474) geändert worden ist
StrlSchV		Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die zuletzt durch Artikel 5 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010) geändert worden ist
SiAnf	(2015-03)	Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B2)
Interpretationen zu den SiAnf	(2015-03)	Interpretationen zu den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke vom 22. November 2012, geändert am 3. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B3)
PSÜ-Leitfäden - Grundlagen -	(1997-08)	Leitfäden zur Durchführung von Periodischen Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ) für Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland - Grundlagen zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung vom 18. August 1997 - RS I 2-10120/9.0 (BAnz. 1997, Nr. 232a)
PSÜ-Leitfäden - Sicherheitsstatusanalyse -	(1997-08)	Leitfäden zur Durchführung von Periodischen Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ) für Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland - Leitfäden Sicherheitsstatusanalyse vom 18. August 1997 - RS I 2-10120/9.0 (BAnz. 1997, Nr. 232a)
PSÜ-Leitfäden - Deterministische Sicherheitsanalyse	(1998-06)	Leitfäden Deterministische Sicherheitsanalyse zur Durchführung von Periodischen Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ) für Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland vom 25. Juni 1998 - RS I 3 - 13151-6/10 (BAnz. 1998, Nr. 153)
PSÜ-Leitfäden - Probabilistische Sicherheitsanalyse	(2005-08)	Leitfäden zur Durchführung der „Sicherheitsüberprüfung gemäß § 19a des Atomgesetzes – Leitfäden Probabilistische Sicherheitsanalyse“ für Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland vom 30. August 2005 - RS I 3 – 10120/8.6 (BAnz. 2005, Nr. 207)
RL-Strahlenschutzplanung	(1978-07)	Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor: Teil I: Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge - IWRS I vom 10. Juli 1978 (GMBI. 1978, Nr. 28, S. 418), RS Handbuch Nr. 3.43.1 (in Überarbeitung)
RL-Strahlenschutzmaßnahmen	(2005-01)	Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei Tätigkeiten der Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und des Abbaus in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen: Teil 2: Die Strahlenschutzmaßnahmen während des Betriebs und der Stilllegung einer Anlage oder Einrichtung - IWRS II vom 17. Januar 2005 (GMBI. 2005, Nr. 13, S. 258); RS Handbuch Nr. 3.43.2
RL-Instandhaltung	(1978-06)	Richtlinie für das Verfahren zur Vorbereitung und Durchführung von Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten in Kernkraftwerken vom 1. Juni 1978 (GMBI. 1978, Nr. 22, S. 342), RS-Handbuch Nr. 3.41 (in Überarbeitung)
KTA 1301.1	(2012-11)	Berücksichtigung des Strahlenschutzes der Arbeitskräfte bei Auslegung und Betrieb von Kernkraftwerken, Teil 1 Auslegung
KTA 1301.2	(2012-11)	Berücksichtigung des Strahlenschutzes der Arbeitskräfte bei Auslegung und Betrieb von Kernkraftwerken, Teil 2 Betrieb
KTA 1402	(2012-11)	Integriertes Managementsystem zum sicheren Betrieb von Kernkraftwerken
KTA 1504	(2015-11)	Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser
KTA 3103	(2015-11)	Abschaltsysteme von Leichtwasserreaktoren

KTA 3201.1	(1998-06)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 1: Werkstoffe und Erzeugnisformen
KTA 3201.2	(2013-11)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
KTA 3201.3	(2007-11)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 3: Herstellung
KTA 3201.4	(2010-11)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung
KTA 3205.1	(2002-06)	Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen; Teil 1: Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen für Primärkreiskomponenten in Leichtwasserreaktoren
KTA 3205.2	(2015-11)	Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen; Teil 2: Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen für druck- und aktivitätsführende Komponenten in Systemen außerhalb des Primärkreises
KTA 3205.3	(2006-11)	Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen; Teil 3: Serienmäßige Standardhalterungen
KTA 3211.1	(2015-11)	Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises; Teil 1: Werkstoffe
KTA 3211.2	(2013-11)	Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
KTA 3211.3	(2012-11)	Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises; Teil 3: Herstellung
KTA 3211.4	(2013-11)	Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises; Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung
KTA 3303	(2015-11)	Wärmeabfuhrsysteme für Brennelementlagerbecken von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren
KTA 3404	(2013-11)	Abschließung der den Reaktorsicherheitsbehälter durchdringenden Rohrleitungen von Betriebssystemen im Falle einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in den Reaktorsicherheitsbehälter
KTA 3501	(2015-11)	Reaktorschutzsystem und Überwachungseinrichtungen des Sicherheitssystems
KTA 3701	(2014-11)	Übergeordnete Anforderungen an die elektrische Energieversorgung in Kernkraftwerken (Regeländerungsentwurf)
KTA 3702	(2014-11)	Notstromerzeugungsanlagen mit Dieselaggregaten in Kernkraftwerken
DIN EN ISO 17769-1	(2012-11)	Flüssigkeitspumpen und -installationen - Allgemeine Begriffe, Definitionen, Größen, Formelzeichen und Einheiten - Teil 1: Flüssigkeitspumpen (ISO 17769-1:2012); Dreisprachige Fassung EN ISO 17769-1:2012
DIN 25463-1	(2014-02)	Berechnung der Zerfallsleistung der Kernbrennstoffe von Leichtwasserreaktoren - Teil 1: Uranoxid-Kernbrennstoff für Druckwasserreaktoren
DIN 25463-2	(2014-02)	Berechnung der Zerfallsleistung der Kernbrennstoffe von Leichtwasserreaktoren - Teil 2: Uran-Plutonium-Mischoxid (MOX)-Kernbrennstoff für Druckwasserreaktoren
INSAG-12	(1999-10)	Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants - 75-INSAG-3 Rev. 1