

RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren

Ursprungsfassung (3. Ausgabe vom 14. Oktober 1981) mit Änderungen vom 15.11.1996

Inhalt

Vorwort	2	7.2 Allgemeine Anforderungen	15
1. Begriffsbestimmung	2	7.2.1 Auslegung	15
2. Standort	2	7.2.2 Prüfungen.....	16
2.1 Standortbeurteilung.....	2	7.2.3 Vorzulegende Unterlagen	16
2.2 Annahmen zur Ermittlung der Strahlenbelastung der Umgebung nach Störfällen.....	3	7.3 Sicherheitsleittechnik	16
3. Reaktorkern	3	7.3.1 Geltungsbereich	16
3.1 Reaktorauslegung.....	3	7.3.2 Allgemeine Anforderungen.....	16
3.1.1 Nukleare und thermohydraulische Auslegung.....	3	7.3.3 Anforderungsspezifikation.....	17
3.1.2 Abschaltssysteme	4	7.3.4 Erfassung von Störfällen und Störungen.....	17
3.1.3 Betriebs transienten mit Anforderung des Schnellabschaltsystems.....	4	7.3.5 Redundanz und Unabhängigkeit	17
3.1.4 Druckhalterabblaseventile / Vorabspernung	4	7.3.6 Qualifizierung	18
3.2 Inhärente Sicherheit	5	7.3.6.1 Qualifizierung des Systems	18
3.3 Einbauten im Reaktordruckbehälter.....	5	7.3.6.2 Qualifizierung der Geräte.....	18
4. Behälter und Rohrleitungssysteme	5	7.3.7 Robustheit.....	18
4.1 Druckführende Umschließung des Reaktorkühlmittels.....	5	7.3.8 Mensch-Maschine-Schnittstelle.....	18
4.1.1 Geltungsbereich	5	7.3.9 Prüfung, Wartung.....	18
4.1.2 Auslegung, Gestaltung und Werkstoffwahl	5	7.4 Elektrische Komponenten des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung	19
4.1.3 Fertigung	6	7.5 Elektrische Energieversorgung des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung	19
4.1.3.1 Grundsätze.....	6	7.6 Software der Sicherheitsleittechnik	19
4.1.3.2 Begleitende zerstörende Prüfungen	7	7.6.1 Anforderungen für die Erstellung und Prüfung von Software	19
4.1.3.3 Begleitende zerstörungsfreie Prüfungen	7	7.6.1.1 Software für die Sicherheitsleittechnik der Kategorien 1 bis 3.....	19
4.1.4 Betrieb	8	7.6.1.2 Software für die Sicherheitsleittechnik der Kategorien 1.....	20
4.1.4.1 Grundsätze.....	8	7.6.1.3 Software für die Sicherheitsleittechnik der Kategorie 2.....	20
4.1.4.2 Begleitende zerstörende Prüfungen (Einhängeproben)	8	7.6.1.4 Software für die Sicherheitsleittechnik der Kategorie 3.....	20
4.1.4.3 Wiederkehrende Druckprüfung	8	7.6.2 Anforderungen für Betrieb und Sicherung.....	21
4.1.4.4 Zerstörungsfreie wiederkehrende Prüfungen am Reaktordruckbehälter.....	8	8. Schaltwarte	21
4.1.4.5 Zerstörungsfreie wiederkehrende Prüfungen an sonstigen Komponenten und Systemen der Druckführenden Umschließung.....	10	9. Lüftungsanlagen	21
4.2 Äußere Systeme	10	10. Strahlenschutzüberwachung	22
4.2.1 Geltungsbereich	10	10.1 Strahlenschutzüberwachung in der Anlage	22
4.2.2 Anforderungen an Konstruktion, Auslegung, Werkstoffe, Herstellung, Prüfbarkeit	10	10.1.1 Überwachung der Ortsdosisleistung.....	22
4.2.3 Herstellung	11	10.1.2 Überwachung der Radioaktivität der Raumluft.....	22
4.2.4 Betrieb	11	10.1.3 Kreislaufüberwachung	22
5. Sicherheitsbehälter	11	10.1.4 Feststellung von Kontaminationen.....	22
5.1 Auslegungsgrundlagen.....	11	10.2 Aktivitätsüberwachung.....	22
5.2 Bauliche Gestaltung	12	10.2.1 Aktivitätsüberwachung im Abwasser.....	22
5.3 Auslegungsbedingungen und Anforderungen an den Werkstoff	12	10.2.2 Aktivitätsüberwachung in der Fortluft	22
5.4 Herstellung.....	13	11. Brandschutz	23
5.5 Dichtheitsprüfungen, Leckratenprüfungen.....	13	12. Fluchtwege und Alarmierung	23
5.6 Durchführungen	14	13. Gestaltung von Arbeitsablauf, Arbeitsplatz und Arbeitsumgebung.....	24
6. Elektrische Einrichtungen des Betriebssystems	15	14. Vorkehrungen für Arbeiten in der Anlage	24
6.1 Betriebsüberwachung.....	15	15. Handhabung und Lagerung von Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen	24
6.2 Betriebliche Steuer- und Regeleinrichtungen	15	16. Stilllegung und Beseitigung.....	24
7. Elektrische Einrichtungen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung	15		
7.1 Geltungsbereich	15		

17. Vorsorge gegen Versagen von Komponenten	24	21.2 Zu unterstellende Leckagen und Brüche in der Frischdampf- bzw. Speisewasserleitung	27
17.1 Vorsorge gegen Turbinenversagen	24	22. Systeme zur Wärmeabfuhr nach Störfällen	28
17.2 Vorsorge gegen Pumpenschwungradversagen	25	22.1 Kernnot- und Nachkühlsystem	28
17.3 Vorsorge gegen Versagen von Rückflußverhinderern	25	22.1.1 Anforderungen	28
18. Naturbedingte Einwirkungen	25	22.1.2 Auslegung	28
18.1 Erdbeben	25	22.1.3 Annahmen für die Kernnotkühlrechnungen	29
19. Zivilisationsbedingte Einwirkungen	25	22.2 Notstandssystem	30
19.1 Flugzeugabsturz	25	23. Fernbetätigte Entgasung des Primärsystems	31
19.2 Chemische Explosionen	26	24. Maßnahmen zur Begrenzung der Wasserstoffkonzentration	31
19.3 Giftige und explosionsgefährliche Gase	26	25. Störfallinstrumentierung	32
19.4 Einwirkungen Dritter	26	25.1 Allgemeine Anforderungen	32
20. Versagen des Schnellabschaltsystems bei Betriebstransienten	26	25.2 Störfallablaufinstrumentierung	32
21. Zu unterstellende Leckagen und Brüche	26	25.3 Störfallfolgeinstrumentierung	33
21.1 Zu unterstellende Leckquerschnitte an der Hauptkühlmitteleitung einschließlich austenitischer Anschlußleitungen (Stahl 1.4550) DN > 200 mm und am Reaktordruckbehälter	26	25.3.1 Auslegung	33
		25.3.2 Funktionsprüfungen	34

Vorwort

Die Reaktor-Sicherheitskommission hat im folgenden die sicherheitstechnischen Anforderungen, die ihrer Ansicht nach bei der Auslegung, dem Bau und dem Betrieb eines Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor erfüllt werden sollen, in Leitlinien zusammengefaßt.

Die 2. Ausgabe der RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren vom 24.1.1979 ist in der hier vorliegenden 3. Ausgabe überarbeitet und erweitert worden.

Die Reaktor-Sicherheitskommission wird diese Leitlinien ab Oktober 1981 ihren Beratungen zum Standort und zum Sicherheitskonzept zur Errichtungsgenehmigung anstehender Druckwasserreaktoren zugrunde legen und die entsprechenden Kernkraftwerke im Laufe der Errichtung an diesen Leitlinien messen. Sie sind nicht ohne weiteres gedacht für eine Anpassung von bestehenden, im Bau oder Betrieb befindlichen Kernkraftwerken. Der Umfang der Berücksichtigung dieser Leitlinien wird bei diesen Anlagen von Fall zu Fall zu prüfen sein.

Zweck der Leitlinien ist es vor allem, den Beratungsprozeß innerhalb der Reaktor-Sicherheitskommission zu vereinfachen sowie bereits frühzeitig Hinweise auf die von der Reaktor-Sicherheits-

kommission für notwendig erachteten sicherheitstechnischen Anforderungen zu geben.

Bei Erfüllung der Leitlinien durch Hersteller und Betreiber wird die Reaktor-Sicherheitskommission kurzfristig zu Einzelprojekten Stellung nehmen. Kann oder will der Antragsteller eine Leitlinie nicht erfüllen, so muß nachgewiesen werden, daß durch andere Maßnahmen die Sicherheit mindestens in gleicher Weise gewährleistet ist. Hierdurch soll insbesondere der Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik der notwendige Raum gegeben werden.

Es wird erforderlich sein, die in Form einer Loseblattsammlung herausgegebenen Leitlinien in angemessenen Abständen fortzuschreiben, um den aktuellen, der Planung eines Kernkraftwerks zugrundezulegenden Stand von Wissenschaft und Technik sowie die Fortentwicklung des technischen Regelwerkes zu berücksichtigen.

Einige Kapitel der Leitlinien sind sehr ausführlich gehalten, weil entsprechende Regeln noch fehlen. Wenn entsprechende Regeln oder Richtlinien erstellt worden sind, ist im Text auf diese verwiesen.

Köln, den 14. Oktober 1981

1. Begriffsbestimmung

(1) Sicherheitssystem

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

2. Standort

2.1 Standortbeurteilung

Folgende BMI-Richtlinie liegt hierzu vor:

Zusammenstellung der im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren für Kernkraftwerke zur Prüfung erforderlichen Informationen (ZPI) A. Standort, Stand: 7.10.1981

Ergänzend gilt:

In dem Gutachten über die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung des Standortes sollen folgende Punkte behandelt werden:

1. Strahlenexposition durch die beantragte Abgabe radioaktiver Stoffe aus dem zu errichtenden Kernkraftwerk im bestimmungsgemäßen Betrieb,
2. Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung des beantragten Standortes durch die Abgabe radioaktiver Stoffe aus anderen kerntechnischen Anlagen und dem Umgang mit radioaktiven Stoffen.

Die Berechnungen sollen nach Maßgabe der vom Bundesminister des Innern zur Durchführung des § 45 StrlSchV veröffentlichten Berechnungsgrundlagen in ihrer jeweils gültigen Fassung erfolgen. Trotzdem sollen die Grundlagen der Berechnung der Strah-

lenexposition der Bevölkerung in der Umgebung des Standortes zusammenfassend dargestellt werden. Insbesondere sollen die betrachteten Belastungspfade und die verwendeten Berechnungsmodelle, einschließlich der Eingabedaten, vollständig aufgelistet werden, so daß Inhalt und Umfang der Berechnungen eindeutig dokumentiert sind.

2.2 Annahmen zur Ermittlung der Strahlenbelastung der Umgebung nach Störfällen

(1) Durch geeignete Auslegungsmaßnahmen müssen die radiologischen Auswirkungen von Störfällen innerhalb der durch § 28 Abs. 3 Satz 1 StrlSchV zulässigen Grenzen so gering wie möglich gehalten werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß diese Störfälle eine ausreichend geringe Eintrittswahrscheinlichkeit besitzen müssen. Freisetzungen bei anomalen Betriebsfällen (z.B. kurz dauernder Ausfall der Eigenbedarfsversorgung) sind auf die betrieblichen Abgaben gemäß 45 StrlSchV anzurechnen.

(2) In Analysen sind die relevanten Störfälle zu ermitteln, die zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung des Kernkraftwerks führen können.

(3) Für die gemäß (2) ermittelten Störfälle ist die Strahlenbelastung der Umgebung unter Verwendung realistischer, hinreichend gesicherter Annahmen über die Spaltproduktfreisetzung in die einschließenden Systeme, über die Ablagerungsfaktoren an den Einbauten sowie über den zeitlichen Verlauf von Leck- bzw. Ausströmraten für die einschließenden Systeme zu berechnen.

(4) Insbesondere sind der Berechnung der Strahlenbelastung nach dem unterstellten Bruch einer Hauptkühlmittelleitung folgende hypothetische Annahmen zugrunde zu legen:

1. Kerninventar

Bei der Berechnung des Aktivitätsinventars bei einem Störfall ist von einem Gleichgewichtskern Ende eines Betriebszyklus auszugehen. Dabei ist für das Kerndrittel mit dem höchsten Abbrand ein Vollastbetrieb von 2,5 Jahren anzunehmen.

2. Umfang der Freisetzung radioaktiver Stoffe aus den Brennstäben

Es ist zu unterstellen, daß 10 % aller Brennstäbe versagen, sofern nicht durch eine Schadensumfangsanalyse ein niedrigerer Wert nachgewiesen ist.

Bezogen auf das Inventar eines Brennstabs sind folgende Anteile als spontan freigesetzt anzunehmen:

- 10 % Edelgase
- 3 % Halogene
- 2 % flüchtige Feststoffe (Cs, Te)
- 0,1 % sonstige Feststoffe

3. Luftgetragene Stoffe im Sicherheitsbehälter

Der im Sicherheitsbehälter luftgetragen vorliegende Anteil der spontan freigesetzten radioaktiven Stoffe ist unter Berücksichtigung von Ablagerung, Auswaschung und ähnlichen Effekten auf dem Transportweg in den Sicherheitsbehälter und in diesem selbst mit

- 100 % Edelgase
- 25 % der Halogene
- 2,5 % der Feststoffe

anzusetzen.

Die luftgetragenen radioaktiven Stoffe sind als in der Sicherheitsbehälteratmosphäre gleichverteilt anzunehmen, während der ausgelaugte und abgeschiedene Anteil der Spalt- und Ak-

tivierungsprodukte im Sumpfwasser befindlich zu unterstellen ist.

4. Chemische Form der luftgetragenen Halogene

Es ist anzunehmen, daß nach Ablauf der unter 3. angegebenen Abscheideprozesse von den im Sicherheitsbehälter dann noch luftgetragen vorliegende Halogenen 85 % elementar, 10 % in organisch gebundener Form und 5 % aerosolförmig vorliegen.

5. Leckrate des Sicherheitsbehälters

Den Berechnungen zum zeitlichen Verlauf der Leckrate kann die aus den Störfallanalysen resultierende Druck-Zeitfunktion zugrundegelegt werden. Der Leckratenverlauf ist mit den Festlegungen der KTA-Regel 3405: "Integrale Leckratenprüfung des Sicherheitsbehälters mit der Absolutdruckmethode, Fassung 2/79", zu berechnen. Falls zur weiteren Rechenvereinfachung die zeitliche Änderung des Druckes nicht berücksichtigt werden soll, ist konservativerweise die Auslegungsleckrate für die Dauer von 24 h konstant einzusetzen.

Nach diesem Zeitraum braucht keine weitere Leckrate unterstellt zu werden.

6. Anteil organischen Jods in der Filterzuluft

Das elementare Jod wandelt sich auf dem Transport zu den Filtern zum Teil in organisch gebundenes Jod um. Es ist daher ein Anteil von 50 % organischen Jods am Gesamtjod in der Filterzuluft anzunehmen.

7. Abscheidegrade für Störfallfilter im Ringraum

Für die Wirksamkeit der zur Beherrschung des Störfalls vorgesehenen Filter sind folgende Abscheidegrade anzusetzen:

- 0 % für Edelgase
- 99 % für Halogene in organisch gebundener Form
- 99,99 % für Halogene in elementarer Form
- 99,9 % für alle Schwebstoffe.

Die Anforderungen an die Filteranlagen zur Störfallbeherrschung sind in Kapitel 9, Lüftungsanlagen, niedergeschrieben.

3. Reaktorkern

3.1 Reaktorauslegung

Folgende KTA-Regel liegt hierzu vor:

Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren

Teil 1: Grundsätze der thermohydraulischen Auslegung (KTA 3101.1) Fassung 2/80

3.1.1 Nukleare und thermohydraulische Auslegung

(1) Die der wärmetechnischen Auslegung des Reaktorkerns zugrunde gelegten Wärmestromdichten dürfen bei bestimmungsgemäßem Betrieb mit Sicherheit nicht überschritten werden. Ihre Einhaltung muß durch Messung ausreichend überwacht werden können

(2) Der Reaktor muß so ausgelegt sein, daß bei bestimmungsgemäßem Betrieb Filmsieden mit ausreichendem Sicherheitsabstand vermieden wird. Für die Bestimmung des Abstandes vom Filmsieden sind durch Messungen ausreichend abgesicherte Beziehungen zu verwenden.

(3) Durch Schwankungen der Betriebsvariablen bei bestimmungsgemäßem Betrieb (Leistung, Durchsatz, Temperatur, Druck) dürfen die als zulässig spezifizierten Grenzwerte für die Brennele-

mente und der für die Kernintegrität wichtigen Anlagenteile nicht überschritten werden.

(4) Bei der Auslegung der Brennelemente und der Berechnung sind höchste Anforderungen an die Berechnungsgrundlagen und -methoden zu stellen, wobei alle bedeutsamen Effekte zu berücksichtigen sind, wie z.B. der Einfluß der Bestrahlung auf Werkstoffeigenschaften, chemische Vorgänge, statische und dynamische, mechanische und thermische Belastungen, dynamisches (Struktur-) Verhalten des Brennstoff- und Hüllmaterials sowie Unsicherheiten in der Berechnung.

3.1.2 Abschaltssysteme

(1) Der Reaktor muß zwei voneinander unabhängige und verschiedenartige Abschaltssysteme besitzen. Jedes dieser beiden Abschaltssysteme muß den Reaktor aus jedem stationären Betriebszustand in den unterkritischen Zustand bringen können, ohne daß dabei die zulässigen Betriebsgrenzwerte des Reaktorkerns überschritten werden.

(2) Wenigstens eines der beiden Abschaltssysteme (als Schnellabschaltssystem bezeichnet) muß in der Lage sein, den Reaktor - auch bei möglichen Reaktivitätsstörungen - so schnell in den unterkritischen Zustand zu bringen, daß die jeweils zulässigen Grenzwerte nicht überschritten werden. Mindestens eines der beiden Abschaltssysteme muß in der Lage sein, den Reaktorkern langfristig allein unterkritisch zu halten.

(3) Mindestens ein Abschaltssystem muß in der Lage sein, bei betriebsmäßig zu erwartenden Transienten die Überschreitung von jeweils spezifizierten Werten und bei Störfällen, zusammen mit anderen Sicherheitseinrichtungen, die Beschädigung des Reaktorkerns und der Druckführenden Umschließung zu verhindern. Diese Bedingungen müssen auch erfüllt sein, wenn bei einer beliebigen Störung die zuerst anstehende Anregung ausfällt.

(4) Es ist ein Schnellabschaltssystem vorzusehen (vgl. (2)), das von Anregungen ausgelöst wird, die grundsätzlich von verschiedenen Prozeßvariablen abgeleitet und in sich redundant sind. Falls bei bestimmten Störfällen Anregungen nur von einer Prozeßvariablen ausgehen können, ist dafür zu sorgen, daß die betreffende Signalerfassung und -übertragung im Verhältnis zur Signalerfassung und -übertragung der übrigen Größen entsprechend sicherheitstechnisch höherwertig ausgeführt wird.

(5) Die Antriebe der Steuerelemente, einschließlich aller dazugehörigen Hilfssysteme, dürfen nur insoweit gemeinsame Komponenten haben, als sichergestellt ist, daß ein Einzelfehler die zuverlässige Abschaltung des Reaktors nicht beeinträchtigt.

(6) Die Abschaltssysteme müssen derart ausgeführt sein, daß beim Eintreten mehrerer voneinander nicht unabhängiger Ereignisse (z.B. Brände, Wassereintrich), die Abschaltung des Reaktors sichergestellt ist.

(7) Der Reaktivitätsgewinn bei maximaler Abkühlgeschwindigkeit (auch bei Störfällen, wie z.B. Frischdampfleitungsbruch oder Zulauf von kaltem Wasser) muß durch Abschaltssysteme so schnell ausgeglichen werden können, daß der Reaktorkern in den unterkritischen Zustand überführt und in diesem gehalten werden kann. Ein kurzes Wiederkritischwerden ist hierbei zulässig, wenn bestimmte spezifizierte Grenzwerte nicht überschritten werden.

(8) Arbeitet eines der beiden Abschaltssysteme mit einer Boreinspeisung, so ist eine Überwachung der Borkonzentration in den für die Sicherheit wichtigen Vorratsspeichern vorzusehen.

(9) Das mit den Steuerelementen arbeitende Abschaltssystem ist so auszulegen, daß die berechnete Abschaltreaktivität bei Nulllast im betriebswarmen Zustand und bei gezogenem, wirksamsten Steuerelement den Wert von 1 % während der Kernlebensdauer nicht unterschreitet.

(10) Gegen das unkontrollierte Ausfahren von Steuerelementen sind Maßnahmen vorzusehen. Es ist nachzuweisen, daß ein derartiger Störfall dennoch beherrscht werden kann.

(11) Gegen den Auswurf eines Steuerelements, z.B. infolge eines Bruches des Gehäuserohres oder des Antriebs ist außer der sicheren Auslegung und der sorgfältigen Fertigungskontrolle des Gehäuserohres eine davon unabhängige zweite Sicherheitsmaßnahme zu treffen, z.B. eine Auffangvorrichtung, es sei denn, die Energiefreisetzung infolge des Auswurfs des Steuerelements mit dem größten Reaktivitätswert führt mit Sicherheit zu keiner Beschädigung des Reaktorkerns und des Reaktorsystems. In diesem Falle ist vom Antragsteller ein entsprechender Nachweis vorzulegen. Durch den Bruch eines Steuerelementgehäuserohres oder eines Steuerelementantriebs dürfen an benachbarten Steuerelementgehäuserohren oder Steuerelementantrieben keine Folgeschäden auftreten, die die Funktionssicherheit anderer Steuerelemente beeinträchtigen würden. Wenn ein Folgeschaden nicht ausgeschlossen werden kann, ist nachzuweisen, daß auch bei diesem Störfall der Reaktorkern unbeschädigt bleibt.

(12) Wenn das Schnellabschaltssystem (z.B. Steuerelemente) gemeinsame Komponenten mit dem Steuersystem hat, muß sichergestellt sein, daß keine Funktion des Steuersystems (auch nicht eine durch Fehler im Steuersystem erzeugte Funktion) das bestimmungsgemäße Funktionieren des Schnellabschaltsystems verhindert oder ungünstig beeinflusst.

(13) In regelmäßigen Zeitabständen sind alle Steuerelemente auf Leichtgängigkeit zu prüfen und die Stabfallzeiten zu registrieren.

(14) Läßt sich ein Steuerelement nicht mehr verfahren, so ist der Reaktor unterkritisch zu machen und die weitere Betriebsfähigkeit zu überprüfen.

3.1.3 Betriebstransienten mit Anforderung des Schnellabschaltsystems

(1) Der Verlauf von Transienten, mit deren Eintreten während der Reaktorlebensdauer zu rechnen ist (Betriebstransienten) und in deren Ablauf so große Änderungen der Betriebsvariablen erzeugt werden, daß eine Reaktorschnellabschaltung erfolgt, ist zu untersuchen.

(2) Es ist zu zeigen, daß bei den beschriebenen Transienten

1. die Wärmestromdichten einen hinreichenden Abstand zur kritischen Wärmestromdichte haben,
2. der Druck in der Druckführenden Umschließung grundsätzlich unterhalb des Ansprechdrucks der Sicherheitsventile bleibt,
3. die Energiefreisetzung in den Brennstäben so gering ist, daß Schmelzen vermieden wird.

Bei den Analysen sind die für derartige Untersuchungen typischen Ausgangsbedingungen (z.B. Überlast oder Ausfall der ersten Schnellabschaltanregung) anzusetzen.

3.1.4 Druckhalterabblaseventile / Vorabspernung

(1) Die Anlage ist verfahrenstechnisch so auszulegen, daß nur bei seltenen Transienten mit hohem Druckanstieg ein Ansprechen der Druckhalterabblaseventile zu erwarten ist.

(2) Die Abblaseventile sind mit einer Vorabspernung zu versehen, die bei fehlerhaftem Offenbleiben des Ventils automatisch schließt.

(3) Für die Anregung der Vorabspernung (Detektierung des fehlerhaften Offenbleibens des Abblaseventils) sind direkte Informationen über die Stellung der Abblaseventile zu verwenden.

3.2 Inhärente Sicherheit

(1) Neben dem negativen Reaktivitätskoeffizienten der Brennstofftemperatur soll der Reaktivitätskoeffizient der Kühlmitteltemperatur bei Nennbetriebszustand negativ sein. Ist der Reaktivitätskoeffizient der Kühlmitteltemperatur vorübergehend während der Inbetriebsetzungsphase nicht negativ, so ist im Hinblick auf Störfälle (Kühlmittelverlust) nachzuweisen, daß der zusätzliche Leistungsbeitrag unbedenklich ist.

(2) Für den Nennbetriebszustand ist nachzuweisen, daß jede bei Störfällen mit Druckentlastung mögliche lokale Dampfblasenbildung stets eine negative Rückwirkung auf die Reaktivität und die lokale Leistungsdichte hat.

(3) Ist für Zustände unterhalb der Nenntemperatur eine vorübergehend positive Rückwirkung (Zyklusbeginn) nicht auszuschließen, so ist im Hinblick auf Störfälle nachzuweisen, daß der zusätzliche Leistungsbeitrag unbedenklich ist.

3.3 Einbauten im Reaktordruckbehälter

(1) Die Einbauten im Reaktordruckbehälter müssen den während des bestimmungsgemäßen Betriebs auftretenden Beanspruchungen standhalten. Die Einbauten im Reaktordruckbehälter müssen so ausgelegt sein, daß bei den in Kap. 21.1 genannten Störfällen die Unterkritikalität des Reaktors durch das Schnellabschaltssystem (Einfall einer ausreichenden Anzahl von Steuerelementen), die langfristige Abschaltung und die Kühlbarkeit des Reaktorkerns durch die dafür vorgesehenen Systeme gewährleistet sind.

(2) Es müssen geeignete Maßnahmen getroffen werden, um lose oder abgelöste Teile, die sich in der Druckführenden Umschließung befinden, feststellen zu können. Zusätzlich ist anzustreben, daß durch geeignete Maßnahmen lose oder abgelöste Teile in der Druckführenden Umschließung geortet werden können.

(3) Das Schwingungsverhalten der Einbauten im Reaktordruckbehälter ist durch geeignete Messungen schon während der Inbetriebnahme der Anlage zu untersuchen. Auch während der Betriebszeit der Anlage sollten Messungen wiederholt werden können.

4. Behälter und Rohrleitungssysteme

4.1 Druckführende Umschließung des Reaktorkühlmittels

Folgende KTA-Regeln liegen hierzu vor:

Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren

Teil: Werkstoffe (KTA 3201.1) Fassung 2/79

Teil: Auslegung, Konstruktion und Berechnung (KTA 3201.2) Fassung 10/80

Teil: Herstellung (KTA 3201.3) Fassung 10/79

4.1.1 Geltungsbereich

Zur Druckführenden Umschließung des Reaktorkühlmittels gehören der Reaktordruckbehälter, die Primärkühlmittel führenden Teile der Dampferzeuger, der Druckhalter, die Hauptkühlmittelpumpen und die verbindenden Rohr- und Anschlußleitungen, einschließlich der ersten Absperrarmatur. Der Sekundärmantel der Dampferzeuger ist hinsichtlich der Werkstoffwahl, der Auslegungsgrundsätze, der Qualitätssicherung, der Fertigungskontrolle und der wiederkehrenden Prüfungen ebenso wie die Druckführende Umschließung zu behandeln. Für Rohrleitungen kleiner Nennweiten, z.B. Meß- und Steuerleitungen, gilt sinngemäßes, wenn bei deren Versagen sicherheitstechnisch bedeutsame Folgen nicht auszuschließen sind.

4.1.2 Auslegung, Gestaltung und Werkstoffwahl

(1) Die nachfolgenden Anforderungen ergeben eine Basissicherheit der Druckführenden Umschließung, welche ein katastrophales, aufgrund herstellungsbedingter Mängel eintretendes Versagen eines Anlagenteils ausschließt.

Diese Basissicherheit eines Anlagenteils wird durch

- hochwertige Werkstoffeigenschaften, insbesondere Zähigkeit
- konservative Begrenzung der Spannungen
- Vermeidung von Spannungsspitzen durch optimale Konstruktion
- Gewährleistung der Anwendung optimierter Herstellungs- und Prüftechnologien
- Kenntnis und Beurteilung ggf. vorliegender Fehlerzustände
- Berücksichtigung des Betriebsmediums

bestimmt. Im einzelnen müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

(2) Die Druckführende Umschließung muß so ausgelegt werden, daß sie hinreichend oft den während des bestimmungsgemäßen Betriebs und bei Störfällen maximal auftretenden Belastungen ausgesetzt werden kann.

(3) Alle Komponenten der Druckführenden Umschließung sind konstruktiv so zu gestalten, daß die Prüfungen bei der Herstellung und am Aufstellungsort und die wiederkehrenden Prüfungen in ausreichendem Maße möglich sind. Dies gilt insbesondere für die Schweißnähte.

(4) Die Werkstoffe für die Druckführende Umschließung einschließlich Plattierung müssen so beschaffen sein, daß alle Komponenten entsprechend den Festlegungen dieser Leitlinien in ausreichendem Maße zerstörungsfrei prüfbar sind.

(5) Nicht oder nur beschränkt wiederkehrend prüfbare Bereiche der Druckführenden Umschließung müssen so klein gehalten werden, daß postulierte Fehler, die so groß sind wie die nicht prüfbaren Bereiche, zu keinem Versagen des Bauteils führen können, dessen Folgen nicht beherrschbar wären.

(6) Durch Werkstoffauswahl und sachgerechte Formgebung, Schweißung und Wärmebehandlung muß an allen Stellen der Druckführenden Umschließung bei allen betriebs- und störfallmäßig durchfahrbaren Anlagenzuständen ein ausreichend zäher Werkstoffzustand während der Lebensdauer der Anlage erhalten bleiben. Dieses ist u. a. durch eine Begrenzung der maximalen Neutronenfluenz im kernnahen Bereich der Wand des Reaktordruckbehälters auf $1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ (Energie $\geq 1 \text{ MeV}$) sicherzustellen. Für die der Neutronenstrahlung ausgesetzten Bereiche der Druckbehälterwand sind im Grundwerkstoff und im Schweißgut alle Anforderungen an die chemische Zusammensetzung einzuhalten, die zu einer Verminderung der Strahlenversprödung führen.

(7) Die Anforderungen an Auslegung, Gestaltung, Werkstoff und Herstellungsverfahren sind grundsätzlich vom Reaktoranlagenlieferer und Komponentenhersteller gemeinsam mit den Gutachtern in allen Einzelheiten abzustimmen. Die Auslegung, Werkstoffwahl und Verarbeitungsschritte sind unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik durch den Gutachter zu überprüfen.

(8) Für alle Komponenten der Druckführenden Umschließung sind nur solche Werkstoffe zu verwenden, für die eine auf den Hersteller, die Erzeugnisform und das Herstellungsverfahren bezogene Begutachtung stattgefunden hat. Diese Begutachtung muß spätestens bis zur Inbetriebnahme abgeschlossen oder durch

eine entsprechende, auf die Komponente ausgerichtete Einzelbegutachtung abgedeckt sein.

1. Sie umfaßt für ferritische Werkstoffe (ausgenommen Schraubenstähle) u.a. eine Überprüfung des Seigerungsverhaltens und Untersuchungen der Schweißbeignung und der Schweißsicherheit, zu denen u. a. Schweißsimulationsversuche, Rondereinschweißversuche bei dickwandigen Erzeugnisformen und Tangentialschliffprüfungen gehören. Ziel der Untersuchungen an schweißsimulierten Proben ist es, die Veränderungen des Zähigkeitsverhaltens von Gefügen der Wärmeeinflußzonen nach thermo-mechanischen Belastungen im Temperaturbereich des Spannungsarmglühens festzustellen. Der Mindestwert der Kerbschlagarbeit von 68 J - ermittelt an praxisnah simulierten Proben - darf bei Temperaturen der Betriebszustände nicht unterschritten werden.
2. Das Bauteilzähigkeitsverhalten ist mittels Großproben und bauteilähnlicher Versuche unter Berücksichtigung geschädigter und fehlerhafter Werkstoffbereiche zu untersuchen.
3. Darüber hinaus sind die Langzeiteinflüsse schwingender Beanspruchungen und bei statischen und zyklischen Beanspruchungen die Korrosionseinwirkungen, einschließlich der Bedingungen zu untersuchen, bei denen Spannungsrißkorrosion auftritt.
4. Alle Untersuchungen sind auf einer hinreichend breiten Parameterbasis durchzuführen.
5. Für Werkstoffe, von denen aufgrund sonstiger Untersuchungen, umfangreicher Fertigungserfahrung und langjähriger betrieblicher Bewährung bekannt ist, daß sie auch hinsichtlich der vorgenannten Gesichtspunkte für Komponenten der Druckführenden Umschließung geeignet sind, gilt die Bedingung der Begutachtung dann als erfüllt, wenn der Gutachter dies ausdrücklich mit Begründung bestätigt. ¹⁾

(9) Zähigkeitsanforderungen

1. Die ferritischen Werkstoffe müssen so beschaffen sein, daß für Grundwerkstoffe, Schweißgut und Wärmeeinflußzone die Referenz-NDT-Temperatur um mindestens 33 K sowohl unter der niedrigsten betrieblichen Beanspruchungstemperatur als auch unter der Druckprüfungstemperatur liegt. Hierbei ist die Referenz-NDT-Temperatur durch die folgenden Maßnahmen definiert:
 - Festlegung einer Temperatur T_{NDT} , welche gleich oder höher liegt als die Spröbruchübergangstemperatur, festgestellt mit Hilfe von Fallgewichtsversuchen.
 - Bei einer Temperatur nicht größer als $T_{NDT} + 33$ K soll jede Probe aus dem Kerbschlagbiegeversuch (ISO-V-Querproben) mindestens 0,9 mm laterale Breitung und nicht weniger als 68 J Kerbschlagarbeit aufweisen. Sind diese Anforderungen erfüllt, ist die T_{NDT} die RT_{NDT} . Die Kerbschlagarbeit muß in der Hochlage (ISO-V-Querproben) am Probenentnahmeort in einer Tiefe von einem Viertel der Vergütungs-wanddicke einen Wert von mindestens 100 J ergeben (Einzelwert).
 - Für den Fall, daß die oben genannten Forderungen nicht erfüllt sind, sind zusätzlich Kerbschlagbiegeprüfungen (ISO-V-Querproben) durchzuführen, in Sätzen von jeweils drei Proben, um die Temperatur T_{AV} zu bestimmen, bei welcher oben genannte Anforderungen erfüllt sind. In diesem Fall ist die Referenz-Temperatur $RT_{NDT} = T_{AV} - 33$ K. Somit

ist die Referenz-Temperatur RT_{NDT} die höhere Temperatur von T_{NDT} und $T_{AV} - 33$ K

- Falls der Kerbschlagbiegeversuch nicht bei $T_{NDT} + 33$ K durchgeführt wurde oder wenn er nicht bei $T_{NDT} + 33$ K die Minimalwerte von 68 J und 0,9 mm laterale Breitung aufweist, soll die Temperatur, bei der das Minimum der Kerbschlagarbeit von 68 J und der lateralen Breitung von 0,9 mm vorhanden ist, aus der vollständigen Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve (a_v -T-Kurve) ermittelt werden, die aus den unteren Werten aller Proben gebildet wird.
2. Für die Kerbschlagbiegeversuche ist bei der ursprünglichen Temperatur eine Wiederholungsprüfung unter folgenden Bedingungen gestattet:
 - Der Mittelwert der Prüfergebnisse darf den spezifizierten Einzelwert nicht unterschreiten.
 - Nicht mehr als eine Probe darf unter dem spezifizierten Einzelwert liegen.
 - Das Ergebnis der ausgefallenen Probe, die den spezifizierten Einzelwert nicht erreichte, darf nicht niedriger sein als 13,6 J oder 0,13 mm unter dem spezifizierten Wert.
 3. Eine Wiederholungsprüfung besteht aus zwei zusätzlichen Proben für die jeweils ausgefallene Probe, welche so nahe wie möglich am Ursprungsprobenentnahmeort entnommen werden müssen. Zur Erfüllung der Wiederholungsprüfung müssen beide Proben den spezifizierten Einzelwert erreichen.
 4. Falls der Nachweis der NDT-Temperatur wegen der Bauteilgeometrie (dünnwandige Erzeugnisform) nicht möglich ist, muß, soweit von den Bauteilabmessungen her eine Kerbschlagprobenentnahme möglich ist, nachgewiesen sein, daß die Kerbschlagarbeit mindestens 68 J und die laterale Breitung mindestens 0,9 mm betragen. Diese Werte sind in der Regel von ISO-V-Querproben zu erbringen. Bei geringer Wanddicke können ISO-V-ähnliche Proben zur Beurteilung herangezogen werden.
 5. Bei nicht ferritischen Werkstoffen (martensitisch, austenitisch) sind die Zähigkeitsanforderungen im Rahmen der Pläne für die Fertigung und Prüfung mit dem Gutachter zu regeln.

(10) In Ergänzung zur Werkstoffbegutachtung ist das Zähigkeitsverhalten nach Langzeitbeanspruchung (Temperatur, Lastwechsel, Neutronenbestrahlung und Korrosion) an Kleinproben zur Beurteilung des Langzeitverhaltens zu ermitteln.

(11) Für die geraden Stränge der Rohrleitungen der Druckführenden Umschließung sind in der Regel nahtlose Rohre zu verwenden. Die Verwendung nahtloser Krümmer ist anzustreben.

4.1.3 Fertigung

4.1.3.1 Grundsätze

(1) Die Fertigung und ihre Überwachung müssen von Beginn der Fertigung an in einen formalen Genehmigungsprozeß einbezogen werden. Vor Beginn der Fertigung sind vom Komponentenhersteller Pläne über Fertigung und Prüfung aufzustellen. Diese sind mit Anlagenlieferer und Gutachter abzustimmen. Der Komponentenhersteller, Reaktoranlagenlieferer und Gutachter haben dafür zu sorgen, daß der gesamte Fertigungsablauf vollständig überwacht und dokumentiert wird. Einzelne Festlegungen über die zerstörende und zerstörungsfreie Prüfung sind in den folgenden Kapiteln enthalten.

(2) Jedes Ausarbeiten und Ausbessern eines Fehlers bedarf der vorherigen Abstimmung mit dem Gutachter oder seinem Beauftragten. Dabei ist abzuwägen, inwieweit die vorgesehene Reparatur gegenüber einem Belassen des Fehlers sicherheitstechnische

¹⁾ Hinweis: Bis auf weiteres sollten diese Bestätigungen mit der RSK abgestimmt werden.

Vor- oder Nachteile bringt. Arbeitsvorgänge und charakteristische Fehlerdaten sind zu dokumentieren.

(3) Für Schweißgut, Schweißzusatzwerkstoffe und Schweißhilfsmittel sind geeignete Zulassungsprüfungen bzw. Eignungsprüfungen vorzunehmen.

(4) Auftragsschweißplattierungen müssen zerstörungsfrei prüfbar sein und so beschaffen sein, daß der Trägerwerkstoff von innen und außen einwandfrei mit Ultraschall geprüft werden kann.

(5) Bei Stahlgußgehäusen sind die für die Qualität und die Fehlerfreiheit maßgebenden gießtechnischen Einzelheiten in den Plan über die Fertigung aufzunehmen. Fertigungsschweißungen sind bei ferritischen Stählen je nach Werkstoff entweder zu normalisieren oder zu vergüten oder spannungsarm zu glühen. Sie sind zu dokumentieren.

4.1.3.2 Begleitende zerstörende Prüfungen

(1) Durch geeignete Prüfungen ist nachzuweisen, daß über die gesamte Wanddicke ausreichende Zähigkeits- und Festigkeitseigenschaften vorliegen.

(2) Falls bei Bauteilen mit großer Wanddicke Unterschreitungen der in den Werkstoffblättern genannten Mindestwerte für Streckgrenze und Zugfestigkeit im Wandinnern auftreten, sind sie nur dann zulässig, wenn sie z.B. im zylindrischen Bereich nicht über 10 % und in Rohrböden und Flanschringen nicht über 20 % liegen und wenn gezeigt wird, daß die Kerbschlagarbeit bei einer Prüftemperatur von 80 °C auch in der Wandmitte einen Wert von mindestens 68 J erreicht.

(3) Daß diese Anforderungen erfüllt werden, ist nicht nur durch die Untersuchungen im Rahmen der Begutachtung zu zeigen, sondern auch dann im Zuge der begleitenden Prüfungen in repräsentativem Umfang nachzuweisen, wenn dies am Halbzeug durch Entnahme von Bohrkernen, z.B. im Bereich von Stutzenanschnitten und dgl. möglich ist.

(4) Im Rahmen der Verfahrens- und Arbeitsprüfungen sind im repräsentativen Umfang erweiterte Prüfungen metallographischer Art (Querschliff- und Mehrstufen-Tangentialschliffe über die ganze Wanddicke) durchzuführen. Diese Prüfungen sind auch für Reparaturschweißungen vorzunehmen. Ebenso sind in repräsentativem Umfang Schweißsimulationsversuche der eingesetzten Schmelzen durchzuführen. Auf diese erweiterten Prüfungen kann innerhalb bestimmter Analysengrenzen verzichtet werden, wenn im Zuge der Werkstoffbegutachtung nach 4.1.2 (8) für diese Analysen nachgewiesen wurde, daß keine Relaxationsversprödungen und keine Relaxationsrisse auftreten. Wenn jedoch im Gegensatz zu den Ergebnissen dieser Untersuchungen bei der Fertigung Rißbildung auftritt oder Hinweise auf Versprödung oder Rißbildung vorhanden sind, sind Tangentialschliffuntersuchungen und Schweißsimulationsversuche wieder erforderlich. Für den Werkstoff der Schale des Reaktordruckbehälters (ausgenommen Stutzen und Anschweißteile) sind bei der Herstellung schmelzenweise schweißsimulierte Proben herzustellen und entsprechend Absatz 4.1.2 (8) zu prüfen.

4.1.3.3 Begleitende zerstörungsfreie Prüfungen

(1) Alle für die Druckführende Umschließung vorgesehenen Erzeugnisformen sind mit ausreichender Fehlererkennbarkeit zerstörungsfrei zu prüfen. Hierzu gehören die Ultraschallprüfung eines jeden Volumenelements und eine lückenlose Oberflächenrißprüfung. Bei größeren Rohrlängen mit Nennweiten unter 500 mm ist die Oberflächenrißprüfung an den Innenoberflächen soweit durchzuführen, wie diese von den Enden aus zugänglich sind.

(2) Die Auswahl der Prüftechniken und Einschallrichtungen ist so zu treffen, daß alle sicherheitstechnisch bedeutsamen Fehler mit beliebiger Orientierung gefunden werden. Dabei sind Fehler mit

Orientierungen senkrecht zu den Hauptspannungsrichtungen (Betriebsbeanspruchung) durch die Wahl von hierfür besonders geeigneten Prüftechniken und Einschallrichtungen zu berücksichtigen. Z. B. muß die Prüfung bei Schmiedestücken, Blechen, Gußstücken, Rohren mit Außendurchmessern von 100 mm aufwärts und Rohren für Regelstabdurchführungen sowohl mit Normal- als auch mit Schrägeinschallung vorgenommen werden. Bei der Schrägeinschallung sind mindestens zwei verschiedene Prüfrichtungen anzuwenden, die sich um etwa 90° voneinander unterscheiden sollen, wenn nur aus zwei Richtungen geprüft wird. An Schmiedestücken mit Wanddicken über 100 mm ist bei der Ultraschallprüfung zusätzlich die Tandemtechnik oder eine vergleichbare Prüftechnik anzuwenden. Rohre mit Außendurchmessern unter 100 mm sind mindestens auf Längsfehler zu prüfen. Die Oberflächenrißprüfung muß alle Richtungen erfassen.

(3) Bei den dickwandigen Erzeugnisformen der Wand des Reaktordruckbehälters, des Druckhalters, der Dampferzeuger (einschließlich der Sekundärmäntel) und der durchgesteckten Stutzen ist darüber hinaus der Schalldurchgang zu beachten. Dies bedeutet, daß an allen Stellen, an denen aufgrund der Geometrie ein Ruckecho oder ein Formecho zu erwarten ist, auch ein solches Echo auftritt. Stellen, an denen dieses Echo verschwindet oder erheblich geschwächt wird, müssen mittels verfeinerter Methoden auf die Ursache dieser Beeinträchtigung des Schalldurchgangs untersucht werden.

(4) Bei Armaturengehäusen aus Stahlguß ist anstelle der in (1) und (2) beschriebenen Ultraschallprüfung eine vollständige Durchstrahlungsprüfung vorzunehmen. Bei ferritischem Stahlguß sind Ultraschallprüfungen an Fertigungsschweißungen, Anschweißenden und solchen Stellen durchzuführen, bei denen die Durchstrahlungsprüfungen nicht die erforderliche Aufnahmequalität erreicht oder bei denen konstruktive oder gießtechnische Besonderheiten dies erforderlich machen. Bei austenitischem Stahlguß sind Einschränkungen der Durchstrahlungsprüfung durch entsprechende konstruktive Maßnahmen zu vermeiden.

(5) An den Schweißnahtflanken ist vor dem Schweißen eine Oberflächenrißprüfung vorzunehmen, die bei ferromagnetischem Werkstoff mit Magnetpulver durchgeführt werden soll.

(6) Alle Schweißnähte sind nach ihrer letzten Wärmebehandlung mittels Ultraschall und einem Verfahren der Oberflächenrißprüfung mit ausreichender Fehlererkennbarkeit zu prüfen. Bei Schweißnähten an Komponenten mit Nennweiten unter 500 mm, bei denen die Empfindlichkeit der Ultraschallprüfung durch die Werkstoffeigenschaften so beeinträchtigt wird, daß auch bei Anwendung der nach dem Stand der Technik verfügbaren Verfahren der Impulsmethode wie Einkopftechnik, fokussierende Prüfköpfe (mit gekrümmten Linsen), Sender-Empfänger-Technik, Breitbandprüfköpfe, Einsatz von Longitudinalwellen, keine aussagefähige Prüfung zustandekommt, kann die Ultraschallprüfung durch die Durchstrahlungsprüfung ersetzt werden.

(7) Bei Bauteilen mit 100 mm Außendurchmesser und mehr sind die Schweißnähte nach der Druckprüfung erneut zu prüfen. Einzelheiten sind mit dem Gutachter abzustimmen. Bei Rundnähten an Rohrleitungen kann diese Prüfung dann entfallen, wenn hier senkrecht zur Schweißnaht keine wesentlichen Beanspruchungen aufgetreten sind.

(8) Ergibt sich aus der Fertigungsfolge, daß die Prüfungen nach der letzten Wärmebehandlung nur mit einer geringeren Fehlererkennbarkeit durchgeführt werden können als vorher, ist eine zusätzliche Prüfung zu einem früheren Zeitpunkt notwendig, zu dem die Bedingungen für eine bestmögliche Fehlererkennbarkeit noch gegeben sind. Bei Stumpfnähten mit einer Wanddicke von 40 mm und darunter ist zusätzlich eine Durchstrahlungsprüfung zu einem hierfür geeigneten Zeitpunkt der Fertigungsfolge vorzunehmen. Bei Rundnähten mit Außendurchmessern unter 100 mm und

einem Verhältnis der Nennwanddicke zum Außendurchmesser von weniger als 0,1 kann bei einer nach der letzten Wärmebehandlung ausgeführten Durchstrahlungsprüfung bei bestmöglicher Bildgüte in Abstimmung mit dem Gutachter auf die Ultraschallprüfung verzichtet werden.

(9) Zur Ultraschallprüfung der Stumpf-, Stutzen- und Anschweißnähte sind bei Wanddicken von 40 mm an aufwärts für jedes Volumenelement mindestens zwei verschiedene Einschallwinkel zu benutzen. Im Hinblick auf die Prüfrichtung (Projektion des Hauptstrahls auf die Tangentialebene) sind alle Fehlerorientierungen senkrecht zur Oberfläche zu erfassen. Die Fehlerorientierungen längs und quer zur Schweißnaht, bei Großbadschweißungen auch 45° zur Nahrichtung, sind durch Hin- und Herbewegen des Prüfkopfes bei annähernd gleichbleibender Prüfrichtung zu berücksichtigen. Auf die dazwischenliegenden Fehlerorientierungen ist durch Hin- und Herfahren des Prüfkopfes unter fächerndem Schwenken zu prüfen. Bei Wanddicken von 100 mm an aufwärts ist zusätzlich zu dem üblichen Einkopfverfahren die Tandemtechnik anzuwenden.

(10) Falls einseitig geschweißte Nähte unvermeidbar sind, wie z.B. bei den Montagenähten der Rohrleitungen, ist die nach 4.1.2 geforderte Prüfbarkeit u. a. durch genaue Anpassung, Vermeidung von störendem Nahtversatz, gleichmäßige Wurzel Ausbildung und ausreichend große Ankopplungsflächen beiderseits der Naht für die Ultraschallprüfung uneingeschränkt sicherzustellen.

(11) Auftragsschweißungen sind nach der letzten Wärmebehandlung vollständig auf Oberflächenrisse zu prüfen. Austenitische Auftragsschweißungen sind mittels Senkrechteinschallung und ferritische Auftragsschweißungen zusätzlich mittels Schrägeinschallung nach der letzten Wärmebehandlung zu prüfen.

(12) Hilfsschweißungen, d.h. solche Schweißungen, die zu Montagezwecken angebracht und wieder entfernt werden, sind so durchzuführen, daß der Einbrand in den tragenden Werkstoff auf die übliche Aufschmelzzone begrenzt bleibt. Es muß ein den Verbindungsschweißnähten vergleichbarer zäher Werkstoffzustand im Schweißgut und in der Wärmeeinflußzone vorhanden sein. Alle Hilfsschweißstellen sind - auch wenn die Hilfsnähte entfernt wurden - unter genauer Angabe ihrer Lage und Ausdehnung zu dokumentieren. Sie sind nach der letzten Wärmebehandlung einer Härteprüfung, Oberflächenrißprüfung, Ultraschallprüfung auf Fehler unter der Oberfläche zu unterziehen und in den Umfang der wiederkehrenden Prüfung mit einzubeziehen, sofern nicht durch Überprüfung mittels Anätzen sichergestellt ist, daß der Überhitzungsbereich der Wärmeeinflußzone durch Abarbeiten vollständig beseitigt ist.

(13) Die gesamte Oberfläche im zugänglichen Bereich der Druckführenden Umschließung ist nach der letzten Wärmebehandlung mit einem Verfahren der Oberflächenrißprüfung zu untersuchen. Bei örtlicher Glühung beschränkt sich die Prüfung auf den durch die Glühung beeinflussten Bereich.

(14) Bei austenitischem Stahlguß ist durch geeignete Prüfungen (z.B. Bauteil-Metallographie) nachzuweisen, daß ein einwandfreier Gefügestand vorliegt. Dies hat bei jedem größeren Bauteil stückweise und bei kleineren Bauteilen losweise zu erfolgen.

4.1.4 Betrieb

4.1.4.1 Grundsätze

(1) Für alle Teile der Druckführenden Umschließung sind ausreichende Inspektions- und wiederkehrende Prüfmöglichkeiten vorzusehen. Für die Konzeptberatung ist deshalb ein Plan für die wiederkehrenden Prüfungen vorzulegen.

(2) Ein zum selben Zeitpunkt vorzulegender Plan soll Art und Anzahl von Werkstoffproben des Reaktordruckbehälters ausweisen, welche zur Feststellung von Änderungen der Materialeigen-

schaften durch Betriebseinflüsse, als Folge von Neutronenbestrahlung, nach bestimmten Betriebszeiten dienen. Durch Einhängen ist sicherzustellen, daß die Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften von Grundwerkstoff und Schweißverbindung nach bestimmter Neutronenbestrahlung ermittelt werden können.

(3) Die in (1) und (2) geforderten Pläne sind mit dem Gutachter abzustimmen.

(4) Die Druckführende Umschließung ist laufend auf Leckagen zu überwachen. Die Lokalisierung von Leckagen soll möglich sein.

(5) In Bereichen erhöhten Strahlenpegels sind an den zu inspizierenden Teilen Isolierungen so auszuführen, daß sie erforderlichenfalls schnell abgenommen und wieder montiert werden können. Eine Mechanisierung der Ultraschallprüfung soll mit Rücksicht auf die Strahlenbelastung des Personals möglich sein.

(6) Die Aussagefähigkeit der zerstörungsfreien Prüfungen ist vor der ersten Inbetriebnahme und bei wiederkehrenden Prüfungen vom Gutachter zu bestätigen.

(7) An Systemen der Druckführenden Umschließung und stützenden Gebäudeteilen müssen Setzungsdifferenzen feststellbar sein.

(8) Das Schwingverhalten der Komponenten und Systeme der Druckführenden Umschließung muß im Bereich zwischen Mindest- und Vollast der Anlage unter Berücksichtigung repräsentativer Betriebszustände während der Inbetriebnahme überprüft und in Meßprotokollen dokumentiert werden. Diese Messungen müssen auch als wiederkehrende Prüfungen durchführbar sein und während des Betriebs durch registrierbare Messungen ergänzt werden können.

4.1.4.2 Begleitende zerstörende Prüfungen (Einhängeproben)

Für das nach 4.1.4.1 (2) geforderte Bestrahlungsprogramm sind die Auswahl der Werkstoffe und die Festlegung der sonstigen Bedingungen mit dem Gutachter zu treffen. Hierbei sind die Bedingungen nach ASTM E 185-73 mit zu berücksichtigen.

4.1.4.3 Wiederkehrende Druckprüfung

(1) Die wiederkehrende Druckprüfung ist so durchzuführen, daß mindestens eine vergleichbare sicherheitstechnische Aussage wie bei der Erstdruckprüfung erzielt wird. Dazu müssen die wiederkehrenden Druckprüfungen an der gesamten Druckführenden Umschließung mit dem Druck der am Reaktordruckbehälter durchgeführten Erstdruckprüfung möglich sein. Die Prüftemperatur soll nicht mehr als 55 °C über der für den Prüfzeitpunkt berechneten NDT-Temperatur liegen, sie braucht jedoch nicht unter 50 °C zu liegen.

(2) Die Prüfintervalle werden im Regelfall auf 8 Jahre festgelegt.

(3) Im Anschluß an die wiederkehrende Druckprüfung ist eine zerstörungsfreie wiederkehrende Prüfung, z.B. mit Ultraschall, am Reaktordruckbehälter und an den im Hinblick auf die Beanspruchung repräsentativen Stellen der anderen Komponenten der Druckführenden Umschließung durchzuführen.

4.1.4.4 Zerstörungsfreie wiederkehrende Prüfungen am Reaktordruckbehälter

4.1.4.4.1 Prüftechnik

(1) Beim gegenwärtigen Stand der Prüftechnik sind die Verfahrensweisen der Ultraschallprüfung anzuwenden.

(2) Der Einsatz anderer Prüfverfahren (z.B. mittels Wirbelstrom, magnetischem Streufluß, Potentialsonde, Eindringflüssigkeiten) kann als zusätzliche Maßnahme an einzelnen Stellen notwendig werden, wenn aufgrund weiterer Erfahrungen hier mit dem Auftreten von sicherheitstechnisch bedeutsamen Oberflächenrisse zu rechnen ist. Andere Prüfverfahren sind anzuwenden, wenn sich

herausstellt, daß die Ultraschallprüfung die zu suchenden Fehler nicht sicher genug zu finden vermag.

(3) Die Prüftechniken und Einschallrichtungen müssen so gewählt sein, daß Risse und sonstige Trennungen mit den möglichen Orientierungen angezeigt werden können. Als solche Fehlerorientierungen gelten:

1. die senkrecht zu den Hauptspannungsrichtungen verlaufenden Flächen
2. die Schmelzflächen an Schweißnähten
3. die zur Richtung von Schweißnähten senkrechten Ebenen (Querfehlerprüfungen).

Zur Prüfung auf nicht oberflächennahe Fehler in der Behälterwand sind in der Regel Tandem- und Einzelkopftechnik zu kombinieren.

(4) Die Empfindlichkeitseinstellung der Ultraschallprüfung ist abhängig von der jeweils angewandten Prüftechnik. Für einige wichtige Techniken gelten die folgenden Festlegungen:

1. Bei einer Technik, die darauf beruht, daß der Schallstrahl senkrecht auf die Rißfläche in der erwarteten Orientierung trifft, oder bei einer auf dieser Orientierung ausgerichteten Tandemtechnik muß die Registriergrenze höchstens gleich der Echohöhe eines Kreisscheibenreflektors von 10 mm Durchmesser mit den in (3) Ziffer 1, 2, 3 angegebenen Orientierungen sein. Diese Bedingung muß an jeder Stelle des angewendeten Schallbündelquerschnittes erfüllt sein. Durch Versuche ist nachzuweisen, daß die üblicherweise auftretenden Orientierungsschwankungen von Fehlerflächen durch diese Bedingung erfaßt werden.
2. Wenn bei einer Einkopftechnik mit einem Einzelschwinger nur diffuse Streustrahlung von Rißflächen zur Anzeige ausgenutzt wird, d.h. die im Glanzwinkel zur Rißorientierung abgestrahlte Schallintensität gelangt nicht zum Prüfkopf, muß ein Kreisscheibenreflektor von 3 mm Durchmesser mit einer Orientierung senkrecht zum Schallstrahl als Registriergrenze angesetzt werden. Auch diese Bedingung muß an jeder Stelle des angewendeten Schallbündelquerschnittes erfüllt sein.

(5) Für andere Ultraschalltechniken, z.B. Streuanzeigeverfahren, Einkopftechnik mit getrenntem Sender- und Empfängerschwinger (SE Kopf), sind die erforderlichen Empfindlichkeiten durch Versuche zu bestimmen.

(6) Die durch Ankopplung, Schwächung und Streuung bedingten Schwankungen der Schallintensitäten sind grundsätzlich mittels Durchschallung in den zur Prüfung angewendeten Richtungen zu kontrollieren. Ist diese Kontrolle nicht durchführbar, ist durch andere Verfahren, z.B. Messung der Rückstreuung und Erfassung von formbedingten Rückechos, zumindest eine Ankopplungskontrolle vorzunehmen.

(7) Die Ergebnisse der in (6) geforderten Kontrollen sind aufzuzeichnen und bei der Empfindlichkeitskalibrierung und Auswertung zu berücksichtigen.

4.1.4.4.2 Anforderungen an den Prüfumfang

(1) Grundsätzlich ist für die gesamte innere und äußere Oberfläche der Reaktordruckbehälterwand die Möglichkeit zu einer Besichtigung zu schaffen. Optische Hilfsmittel, z.B. Fernsehkamera, können hierbei eingesetzt werden.

(2) Für solche Stellen der Reaktordruckbehälterwand, an denen eine Besichtigung der Oberfläche wegen unvermeidbarer, konstruktionsbedingter Behinderungen nicht durchführbar ist, muß dargelegt werden, in welcher Weise etwaige Mängel, wie z.B. klaffende Risse, Abzehrungen, Ablösungen von Anschweißbauteilen, durch andere Prüfverfahren sicher erkannt werden können.

(3) Für die Außeninspektion ist ein ausreichender Spalt zwischen Reaktordruckbehälter und biologischer Abschirmung mit den notwendigen Vorrichtungen erforderlich.

(4) Am Reaktordruckbehälter, insbesondere an den Schweißnähten, müssen nach der Inbetriebnahme Ultraschallprüfungen über das gesamte Volumen der Wand mit ausreichender Fehlererkennbarkeit von innen und ergänzend von außen (oder von außen und ergänzend von innen) durchführbar sein.

(5) Die Konstruktion des Reaktordruckbehälters, seine Oberflächen, sein Werkstoffzustand, einschließlich des Zustands der Schweißplattierungen, und die Prüfeinrichtungen müssen so beschaffen sein, daß das gesamte Volumen der Reaktordruckbehälterwand einwandfrei geprüft werden kann, soweit sich dies nur ermöglichen läßt. Die Einschränkungen der Prüfmöglichkeiten müssen auf die nachfolgend genannten Fälle unter den dort genannten Bedingungen begrenzt bleiben:

1. In Volumenzonen der Flansche, die weder von der Innenoberfläche noch von der Außenoberfläche aus wegen der Abschattung durch Kühlmittelstützenöffnungen oder Schraubenbolzenbohrungen mit einem Ultraschallstrahl in einer geeigneten Richtung erreicht werden können, darf auf eine Prüfmöglichkeit nur dann verzichtet werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:
 - Für alle oberflächennahen Zonen innen und außen sind Prüfmöglichkeiten vorhanden. Die zu prüfende Schichtdicke beträgt mindestens 35 mm. Eine Prüfung auf Oberflächenrisse ist durchführbar.
 - Für die unprüfbaren Volumenzonen innerhalb der Wand ist nachzuweisen, daß die Beanspruchungen klein sind. Sofern sich hier Schweißnähte befinden, ist zu zeigen, daß die unprüfbaren Bereiche klein sind gegenüber den kritischen Rißgrößen.
2. Sind einzelne Stege in Bohrlochfeldern bei Anwendung aller in Frage kommenden Ultraschalltechniken nicht über ihren ganzen Volumenbereich prüfbar, ist darzulegen, daß postulierte Risse in der Größe der nicht geprüften Gebiete nicht zu Leckstellen oder Brüchen führen können, welche im Falle ihres plötzlichen Auftretens nicht von der Notkühlung und den sonstigen Maßnahmen der Reaktorsicherheitssysteme beherrscht werden. Außerdem sind die genannten Beeinträchtigungen des Prüfumfanges an den Stegen bei Festlegung der Prüffristen zu berücksichtigen (vgl. Kap. 4.1.4.4.4).

(6) Die verwendete Ultraschalleinrichtung kann so beschaffen sein, daß die Prüfköpfe für einzelne Bereiche des Reaktordruckbehälters entweder nur an der Innenseite oder nur an der Außenseite angebracht sind. Hierbei muß vorausgesetzt werden, daß der gesamte Wandquerschnitt ausreichend geprüft wird. Für den Fall, daß diese Prüfkonzeption aufgrund späterer Erfahrungen revidiert werden muß, muß eine zusätzliche Prüfung von der komplementären Seite aus nachträglich ermöglicht werden können.

(7) Wie in (4) und (5) dargelegt, ist die Prüfbarkeit der gesamten Reaktordruckbehälterwand gefordert. Soweit künftige Erfahrungen keine Ausweitung des Prüfumfanges notwendig werden lassen, können die im Wiederholungsfall zu prüfenden Bereiche auf die folgenden Reaktordruckbehälterteile begrenzt bleiben:

1. alle Stumpf-, Stützen- und Anschweißnähte, einschließlich einer benachbarten Grundwerkstoffzone, deren Breite für Stumpf- und Stützennähte mindestens 50 mm bei Unterpulver- und Lichtbogenhandschweißung und 100 mm bei Elektroschlackeschweißung, und deren Breite und Tiefe bei Anschweißnähten mindestens 25 mm beträgt. Die Prüfung erfolgt auf längs und quer zur Nahrichtung verlaufende Fehler.

2. Stege zwischen den Bohrungen für die Durchführung der Steuerstabstutzen und Meßstutzen.
3. Innenkanten der Kühlmittelstutzen über ihren gesamten Umfang.
4. Schraubenbolzen und Muttern der Flanschverbindung zwischen Deckel und Unterteil.

(8) Vor der Inbetriebnahme sind von allen nach (5) als prüfbar anzusehenden Bereichen der Reaktor Druckbehälterwand Basismessungen durchzuführen und in einem Meßwertatlas (Nullatlas), der bei den wiederkehrenden Prüfungen zum Vergleich heranzuziehen ist, so zu dokumentieren, daß bei den wiederkehrenden Prüfungen ein Vergleich möglich ist.

4.1.4.4.3 Zulässige Fehler (Festlegung wird noch erarbeitet)

4.1.4.4.4 Prüffintervalle

- (1) Die zerstörungsfreien wiederkehrenden Prüfungen sind in Prüfzyklen von vier Jahren durchzuführen.
- (2) Bei Prüftechniken mit verhältnismäßig geringer Empfindlichkeit sind kürzere Fristen festzulegen.

4.1.4.5 Zerstörungsfreie wiederkehrende Prüfungen an sonstigen Komponenten und Systemen der Druckführenden Umschließung

An den sonstigen Komponenten der Druckführenden Umschließung sind zerstörungsfreie wiederkehrende Prüfungen erforderlich. Prüfumfang und Art der Prüfungen an den Komponenten sind, entsprechend der sicherheitstechnischen Bedeutung, mit dem Gutachter festzulegen.

4.2 Äußere Systeme

4.2.1 Geltungsbereich

(1) In den Geltungsbereich fallen die druckführenden Wandungen der Rohrleitungen, Formstücke, Armaturen, Druckbehälter und Pumpen mit sicherheitstechnischer Bedeutung²⁾. Für die Zuordnung von Systemen und Komponenten zu den Äußeren Systemen im Sinne dieser Leitlinien werden die folgenden Kriterien genannt:

1. Das Anlagenteil ist bei der Beherrschung von Störfällen notwendig hinsichtlich Abschaltung, Aufrechterhaltung langfristiger Unterkritikalität und Nachwärmeabfuhr.
2. Bei Versagen des Anlagenteils werden große Energien freigesetzt und die Versagensfolgen sind nicht durch bauliche Maßnahmen, räumliche Trennung oder sonstige Sicherheitsmaßnahmen auf ein im Hinblick auf die nukleare Sicherheit vertretbares Maß begrenzt.
3. Das Versagen des Anlagenteils kann unmittelbar oder in einer Kette von anzunehmenden Folgeereignissen zu einem Störfall (gemäß BMI Leitlinien für die Auslegung von Kernkraftwerken gegen Störfälle³⁾ im Sinne des § 28 Abs. 3 StrlSchV führen.

(2) Anlagenteile, die Hilfsfunktionen für diese Systeme ausführen, insbesondere Systeme und Komponenten kleiner Nennweite fallen nicht in den Geltungsbereich der Äußeren Systeme. Für die Se-

kundärmäntel der Dampferzeuger gelten die Regelungen nach Kapitel 4.1.

4.2.2 Anforderungen an Konstruktion, Auslegung, Werkstoffe, Herstellung, Prüfbarkeit

Die geforderte inhärent hohe Sicherheit der Komponenten und Systeme der Äußeren Systeme ist auf der Grundlage der Rahmenspezifikation "Basissicherheit von druckführenden Komponenten"⁴⁾ sicherzustellen.

Die Grundzüge der Anforderungen sind nachfolgend in (1) bis (5) und in Abschnitt 4.2.3 und 4.2.4 festgelegt.

(1) Die Konstruktion der Komponenten der Äußeren Systeme muß insgesamt optimiert sein hinsichtlich

- Funktion
- Beanspruchung
- Werkstoff
- Herstellung (Prüfung und Fertigung)
- Wartung
- wiederkehrender Prüfungen.

(2) Die Auslegung der Komponenten der Äußeren Systeme muß alle während des bestimmungsgemäßen Betriebs und bei Störfällen maximal auftretenden Belastungen mit den zu erwartenden Häufigkeiten berücksichtigen. Auslegungsüberdruck und -temperatur sind so festzulegen, daß die maximalen Drücke und Temperaturen im jeweiligen Systemabschnitt (z.B. Ansprechen der Sicherheitsventile) abgedeckt werden.

(3) Die aus der Summe der gleichzeitig wirkenden primären Membranspannungen nach der Schubspannungshypothese berechnete Vergleichsspannung ist auf $\frac{1}{3}$ Zugfestigkeit zu begrenzen. Durch Spannungs- und Ermüdungsanalysen ist nachzuweisen, daß bei den auftretenden Lastfällen die vorgegebenen zulässigen Spannungen für alle Spannungskategorien (Primär- und Sekundärspannungen) eingehalten werden.

(4) Bei Bauteilen mit vorwiegend ruhender Betriebsbeanspruchung sowie mit geringer thermisch induzierter Wechselbeanspruchung kann alternativ die Spannungsanalyse auf den Nachweis der Primärspannungen begrenzt bleiben. In diesem Fall darf die aus der Summe der gleichzeitig wirkenden primären Membranspannungen nach der Schubspannungshypothese berechnete Vergleichsspannung $\frac{1}{4}$ Zugfestigkeit nicht überschreiten. Hierbei wird auch vorausgesetzt, daß optimale Konstruktionsmerkmale vorliegen.

(5) Für alle Komponenten der Äußeren Systeme sind nur solche Werkstoffe zu verwenden, für die eine auf den Hersteller, die Erzeugnisform und das Herstellungsverfahren bezogene Begutachtung stattgefunden hat. Sinngemäßes gilt für Schweißzusatzwerkstoffe und Schweißhilfsstoffe.

(6) Es sind grundsätzlich solche Werkstoffe einschließlich Schweißzusatzwerkstoffe zu verwenden, die aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung, Homogenität, Zähigkeit, Verarbeitungssicherheit und Prüfbarkeit zusammen mit den Anforderungen an Konstruktion und Auslegung ein spontanes, bzw. katastrophales Versagen der Komponenten der Äußeren Systeme ausschließen lassen. Hierzu ist u.a. grundsätzlich erforderlich, daß bei den drucktragenden Schalen der Komponenten der Äußeren Systeme aus ferritischen Werkstoffen die Kerbschlagarbeit bei der Temperatur $T_{NDT} + 33 \text{ K}$ bzw. $RT_{NDT} + 33 \text{ K}$ bei mindestens 68 Joule

²⁾ Auflistung der in den Geltungsbereich der Äußeren Systeme fallenden Systeme und Komponenten, RSK

³⁾ Leitlinien für die Auslegung von Kernkraftwerken gegen Störfälle (§ 28 Abs. 3 StrlSchV), BMI

⁴⁾ Rahmenspezifikation "Basissicherheit von druckführenden Komponenten", RSK

liegt. Dabei wird davon ausgegangen, daß durch dieses Zähigkeitskonzept alle beanspruchungsmäßig relevanten Betriebszustände abgedeckt sind. Die Kerbschlagarbeit ist an ISO-V-Querproben zu ermitteln.

(7) Die Äußeren Systeme müssen mit ausreichender Fehlererkennbarkeit prüfbar sein.

4.2.3 Herstellung

(1) Für die Herstellung der Komponenten der Äußeren Systeme sind nur qualifizierte Hersteller zuzulassen, die herstellerseitig über eine zuverlässige Qualitätssicherung verfügen. Die Einhaltung der Anforderungen an die Qualitätssicherung des Komponenten- bzw. Halbzeugherstellers ist zu gewährleisten.

(2) Vor Beginn der Fertigung sind vom Komponentenhersteller Fertigungs- und Prüfunterlagen zu erstellen, die vom Reaktoranlagenlieferer zu bestätigen und vom Gutachter im Rahmen ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung in ausreichendem Umfang überprüft sein müssen. Betreiber, Reaktoranlagenlieferer und Komponentenhersteller haben in geeigneter Weise dafür Sorge zu tragen, daß die in den Fertigungs- und Prüfunterlagen enthaltenen Anforderungen erfüllt werden und deren Einhaltung dokumentiert wird. Der Gutachter soll sich von Beginn an in angemessenen Zeitabständen vom geforderten Fertigungsstandard überzeugen.

(3) Die bei der Werkstoffbegutachtung festgelegten mechanisch-technologischen Eigenschaften sind dem Gutachter im Rahmen der begleitenden Kontrolle für Grundwerkstoff, Schweißgut und Wärmeeinflußzone nachzuweisen.

(4) Erweiterte zerstörende und zerstörungsfreie Prüfungen der Wärmeeinflußzone auf Versprödung und/oder Rißbildung sind dann durchzuführen, wenn dies aufgrund von Erkenntnissen über die verwendeten Werkstoffe oder sonstiger Prüfergebnisse begründet ist.

(5) Nach Fertigstellung der Komponenten ist grundsätzlich eine Wasserdruckprüfung mit 1,3-fachem Auslegungsdruk vorzunehmen. Im Anschluß daran sind zerstörungsfreie Prüfungen an solchen Schweißnähten durchzuführen, die im Hinblick auf Beanspruchung, Fertigungsverfahren und Werkstoff hinreichend repräsentativ sind.

4.2.4 Betrieb

(1) An den Druckbehältern der Äußeren Systeme sind unter Hinzuziehung des Sachverständigen wiederkehrende innere Prüfungen, erforderlichenfalls ergänzt durch zerstörungsfreie Prüfungen, im Zyklus von vier Jahren vorzunehmen. Alle acht Jahre sind an diesen Druckbehältern Wasserdruckprüfungen vorzunehmen, es sei denn, daß im Einzelfall eine andere Regelung getroffen wird.

(2) An den übrigen, nicht unter (1) genannten Komponenten der Äußeren Systeme sind an höher beanspruchten Stellen wiederkehrende Prüfungen durchzuführen.

(3) Der Plan für die wiederkehrenden zerstörungsfreien Prüfungen ist mit dem Gutachter abzustimmen.

(4) Wiederkehrende Wasserdruckprüfungen sind mit dem Druck der Erstdruckprüfung vorzunehmen.

(5) Wenn bei der wiederkehrenden zerstörungsfreien Prüfung andere Verfahrenstechniken angewendet werden als bei der Fertigungsprüfung, ist vor der Inbetriebnahme eine Basisprüfung mit den für die wiederkehrende zerstörungsfreie Prüfung vorgesehenen Prüftechniken notwendig. Die Aussagefähigkeit der vorgesehenen Prüfung ist dem Gutachter nachzuweisen.

(6) Im Anschluß an die wiederkehrende Wasserdruckprüfung sind zerstörungsfreie Prüfungen an solchen Schweißnähten durchzuführen, die im Hinblick auf Beanspruchung, Fertigungsverfahren

und Werkstoff hinreichend repräsentativ sind. Die Einzelheiten sind im Prüfplan festzulegen.

5. Sicherheitsbehälter

Folgende KTA-Regeln liegen hierzu vor:

Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl

Teil: Werkstoffe (KTA 3401.1) Fassung 2/81

Teil: Auslegung, Konstruktion und Berechnung (KTA 3401.2) Fassung 6/80

Teil: Herstellung (KTA 3401.3) Fassung 10/79

Teil: Wiederkehrende Prüfungen (KTA 3401.4) Fassung 3/81

Grundsätzlich müssen alle unter Primärkühlmitteldruck stehenden Systeme der Reaktoranlage in einem Sicherheitsbehälter untergebracht werden. Hiervon ausgenommen sind Leitungen kleineren Querschnitts, wie z.B. Meßleitungen, soweit dies technisch notwendig ist und sofern deren Bruch nur zu geringfügigen Strahlenbelastungen führen würde.

5.1 Auslegungsgrundlagen

(1) Der Sicherheitsbehälter einschließlich aller Durchführungen und Kühleinrichtungen, soweit ihre Funktion zur Beherrschung der Störfallfolgen notwendig ist, ist so zu gestalten und auszulegen, daß er unter Einhaltung der zugrunde gelegten Leckrate den statischen, dynamischen und thermischen Belastungen (z.B. Kräften, inneren und äußeren Überdrücken und Temperaturen) standhält, die im Zusammenhang mit den gemäß Kap. 21.1 behandelten Störfällen und ihren Folgen sowie während des bestimmungsgemäßen Betriebes und bei betrieblichen Störungen auftreten können.

(2) Bei der Ermittlung des maximalen Störfalldrucks für das gesamte Leckspektrum ist davon auszugehen, daß der Störfall bei Nennbetriebszustand eintritt. Außerdem ist dabei zu unterstellen, daß während des Ausströmens des Primärkühlmittels über eine sekundärseitige Leckage auch der gesamte Energie- und Masseinhalt einer Sekundärseite eines Dampferzeugers einschließlich der Frischdampfleitung bis zur ersten Absperrarmatur in den Sicherheitsbehälter freigesetzt wird. Die Wärmeabgabe der Dampferzeuger an das ausströmende Kühlmittel bzw. an die Sicherheitsbehälteratmosphäre ist ebenfalls den Analysen zugrunde zu legen. Das in den Störfallrechnungen eingesetzte freie Volumen des Sicherheitsbehälters, der Druckführenden Umschließung und des Sekundärteiles des vorstehend angesprochenen Dampferzeugers bis zur ersten Absperrarmatur ist im Rahmen der Funktions- und Abnahmeprüfungen experimentell nachzuweisen. Bei der Ermittlung des maximalen Störfalldrucks ist folgende Vorschrift zu beachten:

1. Für die Freisetzung der oben definierten Energie- und Masseinhalte ist die ungünstigste Ausströmzeit und ein um 2 % (Bautoleranzen) größeres Volumen der Druckführenden Umschließung und des Sekundärkreises anzusetzen.
2. Spalt- und Nachzerfallsleistung werden nach 1,2-fachem ANS-Standard⁵⁾ unmittelbar dem Energieinhalt des ausströmenden Kühlmittels zugeschlagen.
3. Die zeitliche Abgabe der Speicherwärme von Reaktorkern, Reaktordruckbehälter, dessen Einbauten und den übrigen

⁵⁾ Proposed ANS-Standard. Decay Energy Release Rates Following Shutdown of Uranium-Fueled Thermal Reactors, ANS-5.1. Decay Heat Power in LWR, Revised Standard 6.78

Teilen der Druckführenden Umschließung werden dem Energieinhalt des Sicherheitsbehälters zugeschlagen.

4. Soweit notwendig, sind sekundärseitige Energien aus den übrigen Dampferzeugern sowie die Reaktionswärme von Metall-Wasser-Reaktionen zu berücksichtigen.
5. Das Volumen des Sicherheitsbehälters ist um 2 % niedriger anzusetzen. Die Ausgangsbedingungen für die Sicherheitsbehälteratmosphäre und für die Strukturen sind konservativ festzulegen.
6. Thermodynamisches Ungleichgewicht zwischen Wasser- und Dampfphase im Sicherheitsbehälter ist konservativ zu berechnen oder pauschal mit zusätzlich 0,3 bar für Auslegungsdrücke bis ca. 7 bar zu berücksichtigen.
7. Es dürfen nur Wärmeübergangskorrelationen verwendet werden, deren Anwendbarkeit in transienten Fluidodynamik-Rechenmodellen experimentell nachgewiesen ist.

Der Auslegungsdruck des Sicherheitsbehälters muß mindestens 15 % über dem so berechneten Störfalldruck liegen. Der Zuschlag von 15 % kompensiert nicht den für die Toleranzen der Bauausführung des Sicherheitsbehälters und seiner Einbauten oder der Druckführenden Umschließung und des Sekundärkreises anzusetzenden Zuschlag. Rechnungs- und Modellunsicherheiten sind in dem Sicherheitszuschlag enthalten.

(3) Für die Auslegungstemperatur der Stahlwand des Sicherheitsbehälters wird die beim Störfall auftretende maximale Ausgleichstemperatur der Sicherheitsbehälteratmosphäre zugrunde gelegt. Darüber hinaus sind bei der Auslegung die beim Störfall aufgrund von instationären Temperaturen örtlich auftretenden Wärmespannungen zu berücksichtigen.

(4) Bei der Auslegung von Räumen und Einbauten innerhalb des Sicherheitsbehälters ist zu beachten, daß Differenzdrücke, die sich im Verlauf der Druckausgleichsvorgänge während der gemäß Kap. 21.1 zu behandelnden Störfälle einstellen, nicht zu einer Beschädigung des Sicherheitsbehälters und seiner sicherheitstechnisch wesentlichen Einbauten führen. Die Standsicherheit von Zwischenwänden bzw. Einbauten muß bei den auftretenden Differenzdrücken gewährleistet sein. Bei der Ermittlung der Differenzdrücke, ausgehend vom Nennbetriebszustand, ist folgendermaßen zu verfahren:

1. Beim Einsatz von Mehrfachpunktmodellen muß eine hinreichend feine Nodalisation gewählt werden.
2. Für die Freisetzung der unter (2) definierten Energie- und Masseinhalte müssen die maximal möglichen Freisetzungsraten zu Beginn des Ausströmvorganges angesetzt werden.
3. Für jeden Raum muß die ungünstigste Bruchsituation erfaßt werden.
4. Wärmeabgabe an die Strukturen kann bei den Differenzdruckberechnungen in konservativer und experimentell abgesicherter Weise berücksichtigt werden.
5. Die beim Überströmvorgang zwischen den Räumen auftretenden Strömungswiderstände sind in realistischer Weise zu erfassen, jedoch für den Bruchraum konservativ anzusetzen. Die getroffenen Annahmen sind durch Experimente abzusichern.
6. Die verwendeten Rechenmodelle sollen Wassertransport- und Wasserabscheidevorgänge explizit ermitteln. Werden Rechenmodelle verwendet, die nur eine Erfassung durch empirische Konstanten erlauben, so sind diese Konstanten konservativ für das Differenzdruckverhalten festzulegen.
7. Annahmen, die nicht durch Experimente abgesichert sind, müssen konservativ getroffen werden.

Der Sicherheitszuschlag auf die so berechneten maximal auftretenden Differenzdrücke muß mindestens 15 % betragen. Er darf nicht kleiner sein als 0,1 bar.

(5) Für die Ermittlung der Belastung aus den gemäß Kap. 21.1 zu betrachtenden Störfällen, auf die sicherheitstechnisch wesentlichen Einbauten durch Strahlkräfte und Sprengstücke, ausgehend vom Nennbetriebszustand, sind geeignete Rechenmodelle heranzuziehen, die Freistrahlausbreitung und Rückwirkung auf im Wege liegende Strukturen erfassen. Für die Berechnung der Strahlkräfte auf die Strukturen (insbesondere die Sicherheitsbehälterwände selbst) ist die ungünstigste Bruchlage zu wählen. Zur Berechnung der Reaktionskräfte der Rohre sind entsprechende Rechenmodelle bzw. experimentell abgesicherte Beziehungen anzuwenden. Für die Belastung der sicherheitstechnisch wesentlichen Einbauten durch Strahlkräfte und Sprengstücke ist ein Sicherheitszuschlag von 15 % zugrunde zu legen.

5.2 Bauliche Gestaltung

(1) Der Sicherheitsbehälter, seine Absperrarmaturen und Kühlsysteme sowie die für seine Funktion erforderlichen Einbauten und die zur Überwachung und Beherrschung von Störfällen notwendigen meß- und regeltechnischen Geräte müssen gegen Sprengstücke und Strahlkräfte, die als Folge der in Kap. 21.1 genannten Störfälle auftreten, geschützt sein. Soweit die Standfestigkeit bzw. Integrität von Einbauten und Räumen erhalten bleiben muß, ist diese rechnerisch nachzuweisen.

(2) Der Sicherheitsbehälter muß von einer Betonhülle umgeben sein. Der Zwischenraum muß Inspektionen sicherheitstechnisch relevanter Anlagenteile erlauben. Er muß möglichst weitgehend, insbesondere jedoch an den Durchführungen und den hochbeanspruchten Bereichen, inspizierbar sein. Im Zwischenraum muß langfristig ausreichender Unterdruck gehalten werden können, auch wenn im Sicherheitsbehälter die Auslegungsbedingungen herrschen. Der Zwischenraum muß über Filter und Kamin zu entlüften sein.

(3) Die Betonhülle des Reaktorgebäudes muß Direktstrahlung nach außen in genügendem Maße abschirmen. Sie muß die Anlage gleichzeitig gegen Einwirkungen von außen schützen (vgl. Kap. 19.).

(4) Alle für die Beherrschung von Störfällen notwendigen elektrischen und mechanischen Einrichtungen innerhalb des Sicherheitsbehälters sind auf störfallbedingte Umgebungsbedingungen anzulegen.

(5) Im Sicherheitsbehälter verlegte Kabel und Rohrleitungen, die zur Beherrschung von Störfällen erforderlich sind, müssen redundant und räumlich ausreichend voneinander getrennt verlegt werden. Sie dürfen infolge eines Störfalles und seiner Folgen, wie z.B. infolge von Rohrbrüchen oder Bränden, sowie infolge von Einwirkungen von außen nicht in dem Maße in ihrer Funktion beeinträchtigt werden, daß die sichere Abschaltung des Reaktors und die Nachwärmeabfuhr verhindert werden.

(6) Eine sichere Handhabung des Wasserstoffs im Sicherheitsbehälter und in den Kreisläufen während des bestimmungsgemäßen Betriebs ist zu gewährleisten. Falls notwendig, müssen hierfür besondere Einrichtungen vorhanden sein.

5.3 Auslegungsbedingungen und Anforderungen an den Werkstoff

(1) Die Anforderungen an Auslegung, Werkstoff und Weiterverarbeitung sind grundsätzlich vom Reaktoranlagenlieferer und Komponentenhersteller gemeinsam mit dem Gutachter in allen Einzelheiten abzustimmen. Auslegungsdruck und Auslegungstemperatur sind als Grundlage bestimmend für die Dimensionierung des gesamten Sicherheitsbehälters.

(2) Durch konstruktive Gestaltung sind örtlich auftretende Spannungen möglichst klein zu halten. Schweißnähte sind möglichst nicht in Gebiete hoher Spannungen zu legen.

(3) Konstruktion und Oberflächenzustand des Sicherheitsbehälters müssen so beschaffen sein, daß ausreichende und aussagefähige zerstörungsfreie Prüfungen, insbesondere der Schweißnähte, möglich sind.

(4) Bei der Auslegung sind die nachfolgend angeführten Bedingungen für die zulässigen Spannungen einzuhalten:

1. Für die statische Berechnung (ohne Berücksichtigung von Eigenspannungen):
 - 1.1 Primäre allgemeine Membranspannungen: maximal $0,67 \cdot \sigma_{0,2}$
 - 1.2 Überlagerung primärer allgemeiner und primärer lokaler Membranspannungen: maximal $0,75 \cdot \sigma_{0,2}$
 - 1.3 Überlagerung von primären Biegespannungen mit primären Membranspannungen nach Ziffer 1.1 und 1.2: maximal $0,75 \cdot \sigma_{0,2}$
 - 1.4 Überlagerung von primären und sekundären Spannungen im gestörten Bereich einschließlich Spannungen infolge von Temperatureinflüssen: maximal $\frac{2 \cdot \sigma_{0,2}}{1,2}$, jedoch nicht über 500 N/mm^2
 - 1.5 Bei Berücksichtigung von äußeren Einwirkungen (z.B. Flugzeugabsturz, Erdbeben) können die maximal zulässigen Spannungen bei den Ziffern 1.1 bis 1.4 um den Faktor 1,25 größer gewählt werden.
 - 1.6 Während der Druckprüfung dürfen die zulässigen Spannungen wie folgt erhöht werden: auf $0,9 \cdot \sigma_{0,2}$ bei den Ziffern 1.1 bis 1.3, um 10 % bei der Ziffer 1.4.

Für $\sigma_{0,2}$ ist die gewährleistete Mindeststreckgrenze (0,2 %-Dehnungsgrenze) für die Auslegungstemperatur, bei primären allgemeinen Spannungen jedoch nicht mehr als 370 N/mm^2 bei Raumtemperatur und 320 N/mm^2 bei 150 °C einzusetzen.

2. Spitzenspannungen sind im Rahmen einer Ermüdungsanalyse abzusichern.
3. Bei hohen Lastwechselzahlen ist mit dem Sicherheitsbeiwert 2 gegen Dauerfestigkeit zu rechnen. Dabei sind insbesondere die den Schweißverbindungen entsprechenden Dauerfestigkeitskennwerte einzusetzen.
4. Bei Berechnung der Wanddicke können Schweißnähte mit einem Schweißnahtfaktor $V = 1,0$ bewertet werden.
5. Die Grenze der Wanddicke, bis zu der auf ein Spannungsarmglühen verzichtet werden kann, liegt bei 38 mm.

(5) Für alle Teile des Sicherheitsbehälters sind nur solche Werkstoffe zu verwenden, für die eine auf den Hersteller, die Erzeugnisform und Herstellungsverfahren bezogene Begutachtung stattgefunden hat. Diese Begutachtung muß spätestens bis zur Druckprüfung abgeschlossen oder durch eine entsprechende Einzelbegutachtung abgedeckt sein. Dabei sind die Bedingungen, die bei der Herstellung des Sicherheitsbehälters bestehen, zu berücksichtigen. Die Untersuchungen der Grundwerkstoffeigenschaften müssen eine Überprüfung des Seigerungsverhaltens umfassen. Die Werkstoffeigenschaften müssen sicherstellen, daß an allen Stellen der in (6) geforderte zähe Werkstoffzustand unter allen betriebs- und störfallbedingten Anlagenzuständen erhalten bleibt. Zu den Untersuchungen der Schweißbeignung und der Schweißsicherheit gehören u. a. Schweißsimulationsversuche. Für schweißsimulierte

Proben, die alle vorgesehenen Schweißverfahren hinreichend praxisnah abdecken müssen, gelten die Zähigkeitsanforderungen nach (6). Das Bauteilverhalten, hierzu zählen auch Schweißnahtausbildung, Anteil an Überhitzungsgefüge, Kerbschlagzähigkeit (ISO-V-Kerbe) in der Wärmeeinflußzone, ist mittels Großproben (Großplattenzugversuche mit Fehlerstellen in der Probe) und bauteilähnlicher Stützeinschweißversuche zu untersuchen.

(6) Zähigkeitsanforderungen

1. Die ferritischen Werkstoffe müssen so beschaffen sein, daß für Grundwerkstoff, Schweißgut und Wärmeeinflußzone die Referenz-NDT-Temperatur um mindestens 33 K sowohl unter der niedrigsten betrieblichen Beanspruchungstemperatur als auch unter der Druckprüfungstemperatur liegt. Hierbei ist die Referenz-NDT-Temperatur durch die folgenden Maßnahmen definiert:
 - Festlegung einer Temperatur T_{NDT} , welche gleich oder höher liegt als die Spröbruchübergangstemperatur, festgestellt mit Hilfe von Fallgewichtsversuchen.
 - Bei einer Temperatur nicht größer als $T_{\text{NDT}} + 33 \text{ K}$ soll jede Probe aus dem Kerbschlagbiegeversuch (ISO-V-Querproben) mindestens 0,9 mm laterale Breite und nicht weniger als 68 J Kerbschlagarbeit aufweisen. Sind diese Anforderungen erfüllt, ist die T_{NDT} die RT_{NDT} .
 - Für den Fall, daß die oben genannten Forderungen nicht erfüllt sind, sind zusätzliche Kerbschlagbiegeprüfungen (ISO-V-Querproben) durchzuführen, in Sätzen von jeweils drei Proben, um die Temperatur T_{AV} zu bestimmen, bei welcher oben genannte Anforderungen erfüllt sind. In diesem Fall ist die Referenz-Temperatur $RT_{\text{NDT}} = T_{\text{AV}} - 33 \text{ K}$. Somit ist die Referenz-Temperatur RT_{NDT} die höhere Temperatur von T_{NDT} und $T_{\text{AV}} - 33 \text{ K}$.
2. Die Hochlage der Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve darf nicht unter 100 J liegen.

5.4 Herstellung

(1) Die Fertigung und ihre Überwachung müssen von Beginn der Fertigung an in einen formalen Genehmigungsprozeß einbezogen werden. Vor Beginn der Fertigung sind vom Komponentenhersteller Pläne über Fertigung und Prüfung aufzustellen. Diese sind mit dem Reaktoranlagenlieferer und Gutachter abzustimmen. Die Komponentenhersteller, Reaktoranlagenlieferer und Gutachter haben dafür zu sorgen, daß der gesamte Fertigungsablauf vollständig überwacht und dokumentiert wird.

(2) Durch Auswahl der Fertigungsverfahren (Schweißung und Wärmebehandlung) ist sicherzustellen, daß an allen Stellen der geforderte zähe Werkstoffzustand unter allen betriebs- und störfallbedingten Anlagenzuständen erhalten bleibt.

(3) Der Prüfdruck bei der Erstdruckprüfung ist gleich dem 1,1-fachen Auslegungsdruck multipliziert mit dem Verhältnis der Streckgrenzen bei Prüf- und Auslegungstemperatur. Die Druckprüfung ist durch begleitende Spannungs- und Dehnungsmessungen zu überwachen.

(4) Nach der Druckprüfung und im Rahmen der wiederkehrenden Prüfungen sind zerstörungsfreie Prüfungen durchzuführen. Das Vorgehen ist mit dem Gutachter abzustimmen.

5.5 Dichtheitsprüfungen, Leckratenprüfungen

Folgende KTA-Regel liegt hierzu vor:

Integrale Leckratenprüfung des Sicherheitsbehälters mit der Absolutdruckmethode (KTA 3405) Fassung 2/79

Ergänzend gilt:

(1) Der Sicherheitsbehälter und seine Durchführungen sowie deren Abkammerungen sind vor der Inbetriebnahme einer Druckprüfung und einer Leckratenprüfung bis zum Auslegungsdruck zu unterziehen. Vor Beginn der Leckratenprüfung müssen alle mit der Druckprüfung in Verbindung stehenden Arbeiten abgeschlossen sein. Die Leckratenerstprüfung ist, ausgehend vom drucklosen Zustand des Sicherheitsbehälters mit ansteigender Druckstufenfolge bei dem für die regelmäßig wiederkehrende Leckratenprüfung vorgesehenen Druck von mindestens 0,5 bar Überdruck und Auslegungsdruck vorzunehmen.

(2) Grundsätzlich müssen zur ersten integralen Leckratenprüfung alle Durchführungen des Sicherheitsbehälters bis zum ersten inneren oder äußeren Festpunkt sowie ihre ersten inneren oder äußeren Absperrrichtungen vorhanden sein. Die Durchführungen des Sicherheitsbehälters sind durch die vorgesehenen Absperrrichtungen mit betriebsgerechtem Antrieb abzuschließen. Bei der Prüfung dürfen Blindverschlüsse bei denjenigen Systemen verwendet werden, die im späteren Betrieb nicht mit der Atmosphäre des Sicherheitsbehälters direkt in Verbindung stehen, weiterhin bei der Sumpfsaugleitung und an den für die Auslösung der Notkühlmaßnahmen notwendigen Wirkdruckleitungen, falls nachgewiesen wird, daß der Einfluß dieser Systeme auf die Dichtigkeit des Sicherheitsbehälters vernachlässigbar ist.

(3) Um die geforderte Dichtigkeit des Sicherheitsbehälters im Laufe der Betriebszeit zu gewährleisten, sind regelmäßig wiederkehrende Prüfungen der integralen Leckrate durchzuführen. Sie müssen bei solchen Drücken durchgeführt werden, bei denen die gemessenen Leckraten reproduzierbar sind und bei denen ein ausreichender Rückschluß auf die Leckrate bei Auslegungsbedingungen möglich ist. Der Prüfdruck muß mindestens 0,5 bar Überdruck betragen. Sind die gemessenen Leckraten trotz durchgeführter Ertüchtigungsarbeiten nicht innerhalb der zutreffenden Meßgenauigkeit reproduzierbar oder ist ein ausreichender Rückschluß auf die Leckrate bei Auslegungsbedingungen nicht möglich, so muß die Wiederholungsprüfung der integralen Leckrate bis hin zum maximalen Störfalldruck durchgeführt werden. Die Kammerungen der Durchführungen müssen bei Auslegungsdruck des Sicherheitsbehälters prüfbar sein.

(4) Die erste wiederkehrende Leckratenprüfung für den Sicherheitsbehälter ist vor Aufnahme des ersten Leistungsbetriebes durchzuführen. Alle weiteren wiederkehrenden Prüfungen der integralen Leckrate sind am Ende einer Abschaltphase nach Abschluß aller Wartungs- und Reparaturarbeiten durchzuführen, die die Dichtigkeit des Sicherheitsbehälters verändern können.

(5) Die Dichtigkeit der an das Leckabsaugsystem angeschlossenen Komponenten sowie des Systems selbst sind in einer gemeinsamen Messung mindestens einmal jährlich zu Beginn und am Ende einer Revisionsphase quantitativ zu bestimmen.

(6) Die Ummantelungen der Durchführungen des Sicherheitsbehälters sind regelmäßig im Betrieb auf Dichtigkeit zu prüfen.

(7) Der Erfolg aller Wartungs- und Reparaturmaßnahmen an Komponenten, die für die Dichtigkeit des Sicherheitsbehälters von Bedeutung sind, ist zu begutachten und ggf. zu prüfen.

(8) Für die beim Kühlmittelverluststörfall gegebenen Bedingungen ist die Zuverlässigkeit des Behälterabschlusses mit der dabei geforderten Dichtigkeit zu ermitteln.

(9) Die Absperrorgane sind regelmäßig wiederkehrenden Prüfungen zu unterziehen.

5.6 Durchführungen

Folgende KTA-Regeln liegen hierzu vor:

Kabeldurchführungen im Reaktorsicherheitsbehälter von Kernkraftwerken (KTA 3403) Fassung 10/80

Schleusen am Reaktorsicherheitsbehälter von Kernkraftwerken, Personenschleusen (KTA 3402) Fassung 11/76

Schleusen am Reaktorsicherheitsbehälter von Kernkraftwerken, Materialschleusen (KTA 3409) Fassung 6/79

(1) Den Sicherheitsbehälter durchdringende, an die Druckführende Umschließung anschließende Leitungen müssen grundsätzlich durch mindestens zwei Absperrarmaturen gesichert sein. In den Primärkühlmittel führenden Leitungen, die an die Druckführende Umschließung anschließen, ist je eine Absperrarmatur innen und außen nahe am Sicherheitsbehälter anzuordnen. Ausnahmen von diesen beiden Forderungen müssen sicherheitstechnisch begründet sein. Abschlußarmaturen müssen, sofern sie nicht in Meßleitungen angeordnet sind, fernbetätigt oder passiv schließen und ausreichend dicht sein. Für sicherheitstechnisch relevante Leckquerschnitte muß die Signalgewinnung für das Schließen dieser Absperrarmaturen zuverlässig gewährleistet sein. Der plötzliche vollständige Bruch einer Leitung mit derartigen Armaturen muß sicherheitstechnisch beherrscht werden.

(2) Durchführungen, die zur Einhaltung der Funktion des Sicherheitsbehälters geschlossen werden müssen, sind durch Mehrfachauslegung der Abschlußorgane in Hintereinanderstellung zu sichern. Die Abschlußorgane müssen im Störfall automatisch betätigt werden. Die Abschlußorgane und ihre Versorgung mit Energie müssen voneinander unabhängig sein. Ausreichende räumliche Trennung ist erforderlich. Die Abschlußorgane müssen gegen Sprengstücke geschützt sein. Dasselbe gilt für ihre Energieversorgung und ihre zugehörige Steuerung, sofern sie aus Sicherheitsgründen funktionstüchtig bleiben müssen. Jedes einzelne Abschlußorgan muß die spezifizierten Dichtheitsbedingungen für sich allein voll erfüllen. Die Abschlußorgane müssen unter den möglichen Störfallbedingungen (z.B. Überdruck, Temperatur, Strahlung und Feuchte) einwandfrei funktionieren.

(3) Die zur Be- und Entlüftung des Sicherheitsbehälters notwendigen Querschnitte der Leitungen, die in den Sicherheitsbehälter führen, sollen möglichst klein sein. Die Absperrklappen müssen im Bedarfsfall schnell und mit hoher Zuverlässigkeit schließen und hinreichend lange dicht bleiben.

(4) Montageöffnungen und Reservedurchführungen müssen nach Benutzung auf Dichtigkeit überprüft werden.

(5) Alle übrigen Öffnungen des Sicherheitsbehälters müssen während des Betriebs geschlossen sein. Der geschlossene Zustand muß von der Warte aus überwacht werden können.

(6) Bei der Auslegung des Sicherheitsbehälters und seiner Rohrlitungsdurchführungen ist darauf zu achten, daß ein Bruch bzw. ein Riß einer an die Gebäudeabsperrrarmatur anschließenden Rohrleitung nicht zu einer Beeinträchtigung der Integrität des Sicherheitsbehälters einschließlich der Absperrventile führt und/oder die Nachwärmeabfuhr gefährdet wird. Für den Rohrleitungsabschnitt zwischen den Gebäudeabsperrrarmaturen ist durch sorgfältige Auslegung, Auswahl geeigneter Werkstoffe sowie durch Prüfung ein Riß oder Bruch auszuschließen.

(7) Bei den Primärkühlmittel führenden Leitungen ist der Leitungsabschnitt zwischen Sicherheitsbehälter und äußerem Absperrventil konstruktiv so auszulegen, daß eine Leckage in diesem Abschnitt äußerst unwahrscheinlich wird. Dies bedeutet unter anderem, daß kurze Rohrlängen anzustreben sind. Rohrverzweigungen und Abzweigstutzen sind zwischen beiden Absperrarmaturen und dem Sicherheitsbehälter nicht zulässig. Die Durchführungen durch den Sicherheitsbehälter müssen räumlich so weit voneinander getrennt und so ausgeführt werden, daß eine Störung an einer Durchführung nicht die Beschädigung weiterer Durchführungen zur Folge hat. An jeder Durchführung müssen wiederkeh-

rende Prüfungen oder gleichwertige Ersatzmaßnahmen möglich sein.⁶⁾

(8) Die besonders beanspruchten Durchführungen des Sicherheitsbehälters müssen an der Durchführungsstelle in Kammern eingeschlossen werden, die regelmäßig im Betrieb auf Dichtheit zu überprüfen sind.

(9) Schleusen und Lüftungsklappen sind an ein Leckabsaugsystem anzuschließen, mit dem Leckagen in den Sicherheitsbehälter zurückgepumpt werden können.

(10) Eine Liste sämtlicher Durchführungen mit Angabe der Anforderungen an die verschiedenen Durchführungstypen (z.B. Angabe der Funktion, Beanspruchungsart, Ausführung) ist vorzulegen.

6. Elektrische Einrichtungen des Betriebssystems

Für die Durchführung des bestimmungsgemäßen Betriebes ist eine Betriebsinstrumentierung vorzusehen. Zur Betriebsinstrumentierung gehören alle Meßeinrichtungen und meßwertverarbeitenden Einrichtungen, wie z.B. die Meß-, Steuer und Regeleinrichtungen, die für den bestimmungsgemäßen Betrieb erforderlich sind.

6.1 Betriebsüberwachung

(1) Die zur Beurteilung des Betriebszustandes notwendigen Daten sind in der Warte anzuzeigen und zu dokumentieren.

(2) Wichtige Stellungsanzeigen von aktiven Komponenten sind möglichst direkt vom verfahrenstechnischen Stellglied abzugreifen. Eine zuverlässige Kopplung zwischen dem Stellungssignalgeber und dem verfahrenstechnischen Stellglied muß gewährleistet sein.

6.2 Betriebliche Steuer- und Regeleinrichtungen

(1) Betriebliche Steuer- und Regeleinrichtungen sind möglichst einfach und zuverlässig aufzubauen.

(2) Die Steuer- und Regeleinrichtungen sind so auszulegen und einzustellen, daß sie im Zusammenwirken mit den vermaschten Regelstrecken im Betriebsbereich der jeweiligen Einrichtung stabil arbeiten.

7. Elektrische Einrichtungen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung

7.1 Geltungsbereich

Zu den elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung gehören:

- die Sicherheitsleittechnik
- die elektrischen Komponenten des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung
- die Energieversorgung des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung

7.2 Allgemeine Anforderungen

7.2.1 Auslegung

(1) Es ist sicherzustellen, daß eine Reaktoranlage nur mit einem funktionsbereiten Sicherheitssystem betrieben wird. Bei jedem Anlagenzustand muß die jeweils erforderliche Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Sicherheitssystems gegeben sein.

(2) Bei der Auslegung der elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems sind Störungen und Störfälle innerhalb und außerhalb des Sicherheitssystems in Betracht zu ziehen.

(3) Ein einzelnes versagensauslösendes Ereignis darf eine erforderliche Funktion des Sicherheitssystems im Bedarfsfall nicht verhindern.

(4) Eingriffe von Unbefugten in die elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems sind vorzugsweise durch technische Einrichtungen so weit wie möglich zu erschweren oder zu verhindern. Eine Absicherung durch administrative Maßnahmen ist auf solche Bereiche zu beschränken, die durch technische Maßnahmen nicht sinnvoll abgesichert werden können. Das Ausmaß der Maßnahmen muß sich an der Zugänglichkeit der abzusichernden Bereiche orientieren.

(5) Zur Absicherung gegen Bedienungsfehler sind technische Maßnahmen vorrangig vor administrativen vorzusehen.

(6) Eingriffe in die Einrichtungen des Sicherheitssystems sind zu dokumentieren.

(7) Die elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems sind zur Sicherung ihrer Funktionsfähigkeit zuverlässig auszulegen. Auch bei Prüfungen, Wartungsarbeiten oder Reparaturen der elektrischen Einrichtungen muß das Sicherheitssystem seine Aufgabe mit ausreichender Zuverlässigkeit erfüllen. Für die Sicherheitsleittechnik gilt 7.3.

- a) Die elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems sind redundant sowie räumlich getrennt oder durch sicherheitstechnisch gleichwertige Maßnahmen geschützt und elektrisch unabhängig auszuführen.
- b) Ein Ausfall in den elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems darf nur die Funktion eines der zueinander redundanten Stränge des Sicherheitssystems beeinträchtigen.
- c) Ein einzelnes anlageninternes versagensauslösendes Ereignis darf nicht zum Ausfall mehrerer der zueinander redundanten Stränge des Sicherheitssystems führen.
- d) Die elektrischen Einrichtungen, die für die Funktionsfähigkeit des Sicherheitssystems nach Eintritt von Störfällen erforderlich sind, müssen den jeweils ungünstigsten Umgebungs- und Störfallbedingungen standhalten, die im zugehörigen Aufstellungs- oder Installationsbereich durch den Aufbau und die Auslegung des Kernkraftwerks vorgegeben sind.

e) Bei Ausfall einzelner Stränge des Sicherheitssystems durch Einwirkungen von außen müssen die übrigen Stränge zur Beherrschung des jeweiligen Störfalles ausreichen.

(8) Es sind auf ihre Eignung geprüfte oder für den Einsatzfall und für die unterstellten Einsatzbedingungen betriebsbewährte und möglichst wartungsfreie Geräte zu verwenden.

(9) Die Störfallfestigkeit der elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems ist, soweit erforderlich, nachzuweisen.

(10) Leitungen und Kabel sind nach Strängen getrennt und, soweit erforderlich, gegen äußere Einwirkungen geschützt zu verlegen. Leitungen und Kabel zur Signalübertragung und Stromversorgung von redundanten Meß- und Steuereinrichtungen des Sicherheitssystems sollen ohne Einschleifen in Warten oder zentrale Rangierverteiler unmittelbar zu den signalverarbeitenden Baugruppen

⁶⁾ vgl. hierzu auch 4.2

geführt werden. Sie sind so zu verlegen oder so abzuschirmen, daß durch äußere Störquellen, wie z.B. durch Starkstromkabel, eine unzulässige Beeinflussung der Meß- und Steuersignale vermieden wird. Für die Sicherheitsleittechnik gilt 7.3.

(11) Die elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems sind so auszulegen, daß eine regelmäßige und lückenlose Überprüfung in Abschaltphasen und, soweit aus Zuverlässigkeitsgründen erforderlich, auch während des Normalbetriebs möglich ist. Die Prüfungen sollen mittels eingebauter Prüfhilfen leicht durchführbar sein. Prüfeingriffe und Handbefehle dürfen notwendige Sicherheitsfunktionen weder verhindern noch die Zuverlässigkeit ihrer Anregung signifikant vermindern.

(12) Es ist sicherzustellen, daß eine gleichzeitige Prüfung redundant vorhandener elektrischer Einrichtungen des Sicherheitssystems verhindert wird. 7.2.1 (7b) ist anzuwenden.

(13) Es sind Maßnahmen vorzusehen, die es ermöglichen, die Funktionsfähigkeit der elektrischen Einrichtungen und deren Zusammenwirken mit den aktiven und passiven Komponenten des Sicherheitssystems zu überprüfen und den Zustand dieser sicherheitstechnischen Einrichtungen zu überwachen.

(14) Müssen die Bereitschaftsstellungen von Sicherheitseinrichtungen verändert werden, so ist sicherzustellen, daß diese Veränderungen nur durchgeführt werden, wenn entsprechende Freigabebedingungen erfüllt sind, und daß diese Veränderungen automatisch (z.B. bei den Druckspeicherarmaturen beim An- und Abfahren der Anlage) oder durch betriebstechnische und administrative Maßnahmen wieder aufgehoben werden, wenn die Freigabebedingungen nicht mehr erfüllt sind. In dem sicherheitstechnisch geforderten Zustand sind dann die Einrichtungen gegen Eingriffe weitgehend zu sichern.

(15) Soweit bei Sicherheitseinrichtungen eindeutige Bereitschaftsstellungen von Stellgliedern bei Normalbetrieb vorgeschrieben sind, ist das Verlassen dieser Bereitschaftsstellung zu melden. Handarmaturen sind in Bereitschaftsstellung möglichst eingriffssicher zu blockieren.

(16) Die elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems sollten nur für Aufgaben innerhalb des Sicherheitssystems benutzt werden. Sofern Sicherheitseinrichtungen auch für betriebliche Aufgaben eingesetzt werden, müssen die zugehörigen elektrischen Einrichtungen so ausgelegt werden, daß die geforderte Zuverlässigkeit dieser Sicherheitseinrichtungen nicht unzulässig beeinträchtigt wird.

(17) Die Hilfsanlagen und die Hilfsmedienversorgung des Sicherheitssystems sind so zuverlässig auszulegen, daß sie die Nichtverfügbarkeit der zu versorgenden Systeme nicht bestimmen.

(18) Rückmeldungen von aktiven Systemkomponenten (z.B. Stellantrieben), welche den Funktionsablauf der Sicherheitsleittechnik mitbestimmen, sollen vorzugsweise aus der Prozeßvariablen abgeleitet oder unmittelbar am verfahrenstechnischen Stellglied abgegriffen werden. Eine zuverlässige Kopplung zwischen dem Stellungsignalgeber und dem verfahrenstechnischen Stellglied muß gewährleistet sein.

7.2.2 Prüfungen

(1) Die Funktionsfähigkeit der elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung ist während der Nutzungsdauer der Anlage durch geeignete Prüfungen nachzuweisen. Diese Prüfungen müssen alle funktionswichtigen Komponenten erfassen.

(2) Art und Umfang der Prüfungen und die Zeitabstände zwischen den Prüfungen sind in allen Einzelheiten festzulegen.

(3) Die Ergebnisse der Prüfungen sind zu dokumentieren.

7.2.3 Vorzulegende Unterlagen

Zur Begutachtung sind Unterlagen vorzulegen, die alle sicherheitstechnisch wichtigen Einzelheiten der elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems prüffähig beschreiben. Hierzu gehört auch eine Liste, in der alle Antriebe und Stellglieder des Sicherheitssystems aufgeführt sind.

7.3 Sicherheitsleittechnik

Folgende Regeln liegen hierzu vor:

Reaktorschutzsystem und Überwachungseinrichtungen des Sicherheitssystems (KTA 3501) Fassung 6/85

Typprüfung von elektrischen Baugruppen des Reaktorschutzsystems (KTA 3503) Fassung 11/86

Typprüfung von Meßwertgebern und Meßumformern des Reaktorschutzsystems (KTA 3505) Fassung 11/84

Systemprüfung der leittechnischen Einrichtungen des Sicherheitssystems in Kernkraftwerken (KTA 3506) Fassung 11/84

Werksprüfungen, Prüfungen nach Instandsetzung und Nachweis der Betriebsbewährung für leittechnischen Einrichtungen des Sicherheitssystems (KTA 3507) Fassung 11/86

7.3.1 Geltungsbereich

Die Sicherheitsleittechnik ist die Leittechnik des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung. Die Sicherheitsleittechnik umfaßt die Leittechnik-Funktionen der Kategorien 1, 2 und 3. Sie wird durch Einrichtungen realisiert, bei denen Geräte Leittechnik-Funktionen ausführen.

7.3.2 Allgemeine Anforderungen

(1) Die Sicherheitsleittechnik muß bewirken, daß die Schutzziele sichergestellt werden. Dabei sollen gestaffelte Maßnahmen angewendet werden. Die Einrichtungen der Sicherheitsleittechnik führen dabei Leittechnik-Funktionen unterschiedlicher sicherheitstechnischer Bedeutung aus.

(2) Entsprechend ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung sind die Leittechnik-Funktionen in unterschiedliche Kategorien einzuordnen, für die abgestufte Sicherheitsanforderungen gelten:

Kategorie 1

Die Leittechnik-Funktionen der Kategorie 1 umfassen alle Funktionen, die erforderlich sind, um nichttolerable Auswirkungen der Störfälle zu verhindern.

Kategorie 2

Die Leittechnik-Funktionen der Kategorie 2 umfassen alle Funktionen, die erforderlich sind, um die Ausweitung einer Störung zu einem Störfall zu verhindern.⁷⁾

Kategorie 3

Die Leittechnik-Funktionen der Kategorie 3 umfassen alle übrigen Funktionen mit sicherheitstechnischer Bedeutung.⁸⁾

(3) Entsprechend der unterschiedlichen sicherheitstechnischen Bedeutung der Leittechnik-Funktionen sind die sie ausführenden Geräte der Sicherheitsleittechnik in Kategorien mit abgestuften Qualifizierungsanforderungen einzuordnen:

⁷⁾ Bei Ausfall dieser Leittechnik-Funktionen sind nur geringe Schadensauswirkungen zu erwarten.

⁸⁾ Funktionen dieser Einrichtungen sind z.B. Teile der Störfall- und der Strahlenschutzinstrumentierung.

Kategorie E1

Geräte der Kategorie E1 umfassen alle Geräte, die Leittechnik-Funktionen der Kategorien 1 oder 2 ausführen.

Kategorie E2

Geräte der Kategorie E2 umfassen alle Geräte, die Leittechnik-Funktionen der Kategorie 3 ausführen.

- (4) Der Aufbau der Sicherheitsleittechnik der Kategorie 1 soll einfach sein. Er soll erforderliche Nachweise zur Qualifizierung des Systems zuverlässig ermöglichen.⁹⁾
- (5) Bei der Auslegung der Sicherheitsleittechnik der Kategorie 1 ist Vorsorge gegen systematische Ausfälle zu treffen.
- (6) Es ist nachzuweisen, daß die Sicherheitsleittechnik der Kategorie 1 ihre Aufgaben auch dann erfüllt, wenn zusätzlich zum Störfall ein Zufallsausfall und ein systematischer Ausfall und Folgeausfälle eintreten. Ein systematischer Ausfall braucht dabei nicht angenommen zu werden, wenn ausreichende Maßnahmen zu seiner Vermeidung nachgewiesen werden. Während eines Instandhaltungsfalls ist auch ein Störfall zu unterstellen. Dabei brauchen innerhalb einer Zeitspanne von 100 h der systematische Ausfall und der Zufallsausfall nicht überlagert zu werden.
- (7) Es ist nachzuweisen, daß die Sicherheitsleittechnik der Kategorie 2 ihre Aufgaben auch dann erfüllt, wenn zusätzlich zur Störung ein Zufallsausfall und Folgeausfälle eintreten. Während eines Instandhaltungsfalls ist auch eine Störung zu unterstellen.
- (8) Eingriffe in die Sicherheitsleittechnik der Kategorien 1 und 2 sollen angezeigt werden.
- (9) Fehlerhaftes Ansteuern des Sicherheitssystems ist unter Berücksichtigung der Ausfallkombinationen nach 7.3.2 (6) zu verhindern, wenn dadurch Störfälle mit nichttolerablen Auswirkungen auftreten können.
- (10) Die Sicherheitsleittechnik darf die Unverfügbarkeit des Sicherheitssystems nicht bestimmen.
- (11) Die Sicherheitsleittechnik soll Schutzaktionen zur Beherrschung von Störfällen automatisch auslösen. Das Sicherheitssystem ist so auszulegen, daß notwendige von Hand auszulösende Schutzaktionen zur Beherrschung von Störfällen nicht vor Ablauf von 30 Minuten erforderlich werden.
- (12) Leittechnik-Funktionen zur Durchführung von Handmaßnahmen, die erforderlich sind, um nichttolerable Auswirkungen der Störfälle zu verhindern, und die dazu notwendigen Informationen können nach Kategorie 2 klassifiziert werden, wenn die Überlagerung der Ausfallannahmen nach 7.3.2 (6) eingehalten wird.
- (13) Die Funktionsfähigkeit der Sicherheitsleittechnik ist unabhängig von Art und Umfang der zeitlichen Änderung ihrer Eingangssignale¹⁰⁾ zu gewährleisten.
- (14) Die Sicherheitsleittechnik soll selbstüberwachend ausgelegt werden.
- (15) Die Sicherheitsleittechnik ist so auszulegen, daß notwendige Anpassungen an regelmäßig wiederkehrende Zustände des Normalbetriebs (z.B. Streckbetrieb) einfach und zuverlässig durchgeführt werden können.

⁹⁾ Im folgenden wird die Sicherheitsleittechnik, die Leittechnik-Funktionen der Kategorie 1 ausführt, mit "Sicherheitsleittechnik der Kategorie 1" bezeichnet, entsprechendes gilt für die Sicherheitsleittechnik der Kategorien 2 und 3.)

¹⁰⁾ Ein Meldeschwall ist zuverlässig zu verarbeiten.

(16) Gegen versagenauslösende Ereignisse außerhalb der Reaktoranlage wie Überflutung, Blitz, Sturm und Erdbeben sind ausreichende Vorsorgemaßnahmen zu ergreifen, so daß durch diese Ereignisse die Funktion der Sicherheitsleittechnik nicht unzulässig beeinträchtigt wird.

7.3.3 Anforderungsspezifikation

- (1) Sämtliche Anforderungen an die Sicherheitsleittechnik sind in übersichtlicher Darstellung in einer Anforderungsspezifikation zu dokumentieren.
- (2) Die Aufgaben der Sicherheitsleittechnik sind aufgrund einer Analyse von Ereignisabläufen zu ermitteln, die zu unterstellende Störungen und Störfälle sowie die Betrachtung anlageninterner Notfallmaßnahmen umfaßt.
- (3) In der Anforderungsspezifikation ist die verfahrenstechnische Aufgabenstellung der Sicherheitsleittechnik in klar abgegrenzte Teilaufgaben geringen Funktionsumfangs zu gliedern. Diese Teilaufgaben sind in Leittechnik-Funktionen darzustellen. Die Gesamtheit aller Leittechnik-Funktionen ist übersichtlich strukturiert zu dokumentieren.
- (4) Für die Leittechnik-Funktionen sind die Aufgabe, die Einordnung in Kategorien entsprechend 7.3.2 (2), die Anregekriterien, die Ansteuerungen und die Signalverarbeitung anzugeben.
- (5) Es ist nachzuweisen, daß die Schutzziele mit den Leittechnik-Funktionen entsprechend der Anforderungsspezifikation bei allen zu unterstellenden Ereignisabläufen erreicht werden.

7.3.4 Erfassung von Störfällen und Störungen

- (1) Für die Erfassung von Störfällen und Störungen müssen repräsentative Prozeßvariable bestimmt werden.
- (2) Für jeden von der Sicherheitsleittechnik zu beherrschenden Störfall sollen mindestens zwei unterschiedliche Anregekriterien herangezogen werden, die aus physikalisch unterschiedlichen Prozeßvariablen gebildet werden sollen. Wenn dies technisch nicht sinnvoll ist, sind andere Maßnahmen zum Erreichen hoher Zuverlässigkeit zu treffen.

7.3.5 Redundanz und Unabhängigkeit

- (1) Die Sicherheitsleittechnik ist so aufzubauen, daß die in den aktiven Sicherheitseinrichtungen vorgegebene Redundanz gewahrt bleibt.
- (2) Die redundanten Stränge der Sicherheitsleittechnik müssen voneinander unabhängig sein, so daß ein anlageninternes versagenauslösendes Ereignis nicht zum Ausfall mehrerer redundanter Stränge des Sicherheitssystems führen kann. Bei Ausfall einzelner Stränge der Sicherheitsleittechnik durch Einwirkungen von außen müssen die übrigen Stränge zur Beherrschung des jeweiligen Störfalls ausreichen.
- (3) Zum Schutz gegen versagenauslösende Ereignisse innerhalb der Sicherheitsleittechnik und innerhalb der Reaktoranlage sollen zueinander redundante Stränge räumlich getrennt angeordnet werden.
- (4) Die Sicherheitsleittechnik muß von der Betriebsleittechnik unabhängig sein, so daß bei versagenauslösenden Ereignissen in der Betriebsleittechnik die Funktion der Sicherheitsleittechnik erhalten bleibt.
- (5) Ausgangssignale der Sicherheitsleittechnik müssen Vorrang vor Signalen der Betriebsleittechnik haben.
- (6) Innerhalb der Sicherheitsleittechnik müssen die Einrichtungen der verschiedenen Kategorien unabhängig sein, so daß bei versagenauslösenden Ereignissen in den Einrichtungen der sicherheitstechnisch niederwertigeren Kategorie die Funktionen der sicherheitstechnisch höherwertigeren Kategorie erhalten bleiben.

(7) Innerhalb der Sicherheitsleittechnik müssen Ausgangssignale von Einrichtungen einer sicherheitstechnisch höherwertigeren Kategorie Priorität vor den Ausgangssignalen von Einrichtungen einer sicherheitstechnisch niederwertigeren Kategorie haben.

(8) Verbindungen der Sicherheitsleittechnik der Kategorien 1 und 2 zu anderen Datenverarbeitungs- oder Datenübertragungseinrichtungen sind grundsätzlich zu vermeiden. Sofern sie unvermeidbar sind, sind sie so auszuführen, daß darüber keine Einwirkungen auf die Sicherheitsleittechnik möglich sind.

7.3.6 Qualifizierung

7.3.6.1 Qualifizierung des Systems

(1) Es ist nachzuweisen, daß mit den in der Anforderungsspezifikation dargestellten Leittechnik-Funktionen alle zu unterstellenden Ereignisabläufe beherrscht werden, und zu zeigen, daß die im Rahmen des anlageninternen Notfallschutzes vorgesehenen Maßnahmen durchführbar sind.

(2) In allen Phasen der Entwicklung, Herstellung, Inbetriebnahme und des Betriebs der Sicherheitsleittechnik sind administrative, konstruktive und analytische Maßnahmen einschließlich praktischer Prüfungen im Rahmen der Qualitätssicherung durchzuführen und zu dokumentieren.¹¹⁾

(3) Die praktische Prüfung der Sicherheitsleittechnik muß schrittweise mit der Integration der Systemteile erfolgen. Die einzelnen Systemteile sind hinsichtlich Systemspezifikation und Ausführung darauf zu prüfen, ob die an sie gestellten leittechnischen Anforderungen erfüllt werden.

(4) Die Sicherheitsleittechnik ist unter möglichst realistischen Anlagen- und Einsatzbedingungen umfassend daraufhin zu testen, ob alle zu unterstellenden Ereignisabläufe beherrscht werden. Bei Änderungen in der Sicherheitsleittechnik ist mindestens zu testen, ob die geänderten Teile ihre Funktion erfüllen und mit den unveränderten Teilen anforderungsgemäß zusammenwirken.

(5) Nach Montage der Sicherheitsleittechnik in der Anlage ist eine Inbetriebsetzungsprüfung durchzuführen.

7.3.6.2 Qualifizierung der Geräte

(1) Für die Geräte der Kategorie E1 sind zuverlässige, typgeprüfte oder für die unterstellten Einsatzbedingungen betriebsbewährte sowie möglichst wartungsfreie Geräte zu verwenden.

(2) Für die Geräte der Kategorie E2 sind zuverlässige und für die unterstellten Einsatzbedingungen geeignete Geräte zu verwenden.

(3) Die anlagenbezogene Eignung der Geräte ist durch den Vergleich der Eigenschaften der Geräte mit den spezifizierten Anforderungen nachzuweisen.

7.3.7 Robustheit

(1) Die zulässigen elektrischen, elektromagnetischen, thermischen, mechanischen- und strahlungs- sowie feuchtigkeitsbedingten Belastungen sind so festzulegen, daß die zu unterstellenden Betriebs- und Störfallbedingungen zuverlässig abgedeckt werden. Ausfälle und Fehlverhalten der Sicherheitsleittechnik dürfen erst bei deutlichen Überschreitungen dieser Belastungen auftreten.

(2) Die Funktionssicherheit der Geräte darf durch Bedienung und Instandhaltung nicht unzulässig beeinträchtigt werden.

(3) Die leittechnischen Einrichtungen, die für die Durchführung der im Rahmen des anlageninternen Notfallschutzes vorgesehenen

Maßnahmen erforderlich sind, dürfen durch die Folgen dieser Ereignisse ihre erforderliche Funktionsfähigkeit nicht verlieren.

(4) Die Sicherheitsleittechnik ist so auszulegen, daß hinreichende Reserven gegenüber Alterungseffekten vorhanden sind.

(5) Die Sicherheitsleittechnik soll möglichst unempfindlich gegenüber Überschreitungen des zulässigen Spannungsbereichs der elektrischen Energieversorgung sein.

(6) Die Sicherheitsleittechnik ist fehlertolerant aufzubauen. Das Ausfallverhalten soll sicherheitsgerichtet sein.

7.3.8 Mensch-Maschine-Schnittstelle

(1) Auf der Warte müssen alle Informationen und Bedienmöglichkeiten verfügbar sein, die zum Beobachten des Anlagenzustandes und zum Bedienen in allen Betriebszuständen erforderlich sind.

(2) In der Anforderungsspezifikation des Informationssystems sind die sicherheitsrelevanten Informationsziele zu definieren.

(3) Die Informationsdarbietung ist ergonomisch so zu gestalten, daß sie die Beurteilung und Diagnose des Anlagenzustandes durch das Betriebspersonal unterstützt. Bei hoher Informationsverdichtung soll der Zugriff auf sicherheitstechnisch relevante Einzelinformationen gewahrt bleiben.

(4) Anregekriterien der Sicherheitsleittechnik der Kategorie 1 und die dadurch ausgelösten Maßnahmen müssen in der Warte übersichtlich angezeigt werden.

(5) Die durch die Sicherheitsleittechnik ausgelösten Maßnahmen sind zusammen mit ihren Auswirkungen auf den Prozeß so in der Warte darzustellen, daß eine Überprüfung des Anlagenzustandes durch das Betriebspersonal zuverlässig und rechtzeitig möglich ist.

(6) Zur Überwachung der Schutzziele sind vorrangig bildhafte Darstellungen zu verwenden. Die Darstellungen sind mit Signalen von qualifizierten Meßeinrichtungen zu versorgen.

(7) Das Sicherheits-Informationssystem ist gemäß seiner sicherheitstechnischen Bedeutung zu qualifizieren. Wird das Informationssystem in ein Sicherheits- und in ein Prozeß-Informationssystem aufgeteilt, dann sind beide Teile in voneinander unabhängigen Einrichtungen zu realisieren.

(8) Die für die Beherrschung von Störfällen und für die Durchführung von anlageninternen Notfallmaßnahmen erforderlichen Eingriffsmöglichkeiten in die Sicherheitsleittechnik sind vorzusehen. Diese dürfen die Funktionsfähigkeit der Sicherheitsleittechnik nicht unzulässig beeinträchtigen und sind gegen Fehlbedienung zu sichern.

(9) Für den Fall, daß die Warte nicht zur Verfügung steht, muß die Anlage von einer anderen Stelle in einen langfristig sicheren Zustand überführt und dort gehalten werden können.

7.3.9 Prüfung, Wartung

(1) Während des bestimmungsgemäßen Betriebs sollen Prüfungen durchgeführt werden können, mit denen die einwandfreie Funktion der gesamten Sicherheitsleittechnik nachgewiesen werden kann. Die Sicherheitsleittechnik soll so ausgelegt werden, daß Veränderungen durch Prüfungen rückgesetzt werden. Es können automatische und manuelle Prüfungen vorgesehen werden. Durch eine Prüfung darf keine unzulässige Minderung der Sicherheit der Reaktoranlage eintreten.

(2) Prüfungen sollen von zentralen Stellen überwachbar sein.

(3) Die Sicherheitsleittechnik ist so auszulegen, daß während des Leistungsbetriebs nach Möglichkeit keine Wartungsarbeiten durchgeführt werden müssen.

¹¹⁾ Die Anforderungen an die Qualifizierung der Software sind in Abschnitt 7.6 beschrieben.

(4) Erforderliche Wartungsarbeiten müssen ohne unzulässige Minderung der Sicherheit der Reaktoranlage durchführbar sein. Die Überprüfung des ordnungsgemäßen Zustandes nach Ausführung der Tätigkeit soll leicht durchführbar sein oder automatisch erfolgen. Auswirkungen zu unterstellender Fehlhandlungen müssen auf einen Strang beschränkt sein.

(5) Bei Änderungen der Sicherheitsleittechnik müssen die gleichen Qualitätsstandards angewendet werden wie bei Erstellung der Sicherheitsleittechnik.

7.4 Elektrische Komponenten des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung

Folgende Regel liegt hierzu vor:

Elektrische Antriebe des Sicherheitssystems in Kernkraftwerken (KTA 3504) Fassung 9/88

(1) Die elektrischen Komponenten des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung müssen ihre sicherheitstechnische Aufgabe bei den beim Störfall herrschenden Umgebungsbedingungen und verfahrenstechnischen Belastungen auch dann zuverlässig erfüllen, wenn die jeweils ungünstigsten auslegungsgemäß zu unterstellenden elektrischen Bedingungen auftreten.

(2) Einrichtungen zum Schutz der Komponenten, z.B. gegen Überspannung, Unterspannung, Überlast sind mit den zu schützenden Komponenten so abzustimmen, daß auch bei den ungünstigsten auslegungsgemäß zu unterstellenden Bedingungen ein ausreichender Abstand zu den Auslösewerten der Schutzeinrichtungen verbleibt.

(3) Bei elektrischen Anschlüssen sind ausreichende Abstände (Luft- und Kriechstrecken) einzuhalten. Verschmutzungs- und Alterungseffekte sind zu berücksichtigen.

7.5 Elektrische Energieversorgung des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung

Folgende Regeln liegen hierzu vor:

Übergeordnete Anforderungen an die elektrische Energieversorgung des Sicherheitssystems in Kernkraftwerken,

Teil 1: Einblockanlagen (KTA 3701.1) Fassung 6/78

Teil 2: Kernkraft-Mehrblockanlagen (KTA 3701.2) Fassung 6/82

Notstromerzeugungsanlagen mit Dieselaggregaten in Kernkraftwerken

Teil 1: Auslegung (KTA 3702.1) Fassung 6/80

Notstromerzeugungsanlagen mit Batterien und Gleichrichtergeräten in Kernkraftwerken (KTA 3703) Fassung 6/86

Notstromanlagen mit Gleichstrom-Wechselstrom-Umformern in Kernkraftwerken (KTA 3704) Fassung 6/84

Schaltanlagen, Transformatoren und Verteilungsnetze zur elektrischen Energieversorgung des Sicherheitssystems in Kernkraftwerken (KTA 3705) Fassung 9/88

(1) Die Sicherheitsleittechnik der Kategorien 1 und 2 ist von unterbrechungslosen Notstromanlagen mit Energiespeicherung durch Batterien zu versorgen. Die Kapazität jeder Batterie ist unter der Annahme, daß der Leistungsbedarf des Stranges nur aus dieser Batterie gedeckt wird, so zu bemessen, daß die Versorgung mindestens 2 h aufrechterhalten werden kann, ohne daß die zulässige Mindestspannung unterschritten wird. Nach vollständigem Spannungsausfall oder Unterschreiten der Mindestspannung muß

die Sicherheitsleittechnik nach Spannungswiederkehr funktionsfähig sein.

(2) Bei der Auslegung der elektrischen Energieversorgung der Sicherheitsleittechnik sind die gleichen Ausfallkombinationen zugrunde zu legen wie bei der Auslegung der Sicherheitsleittechnik (vgl. Abschnitt 7.3.2).

(3) Die Auslegung der einspeisenden Erzeugungsanlagen, der Verteilernetze und der Geräte der Sicherheitsleittechnik ist so aufeinander abzustimmen, daß die für die Geräte der Sicherheitsleittechnik zugrundegelegten Beanspruchungen nicht überschritten werden.

Insbesondere dürfen die statischen und dynamischen Grenzwerte der für die Geräte der Sicherheitsleittechnik spezifizierten zulässigen Versorgungsspannungen nicht überschritten werden.

(4) Dynamische Spannungsänderungen in einem Stromkreis sollen nicht zu Fehlfunktionen von Geräten der Sicherheitsleittechnik in benachbarten Stromkreisen führen.

(5) Ausfälle der elektrischen Energieversorgung für die Geräte der Sicherheitsleittechnik sind durch Überwachungseinrichtungen zu erfassen und zu melden.

7.6 Software der Sicherheitsleittechnik

7.6.1 Anforderungen für die Erstellung und Prüfung von Software

Die Anforderungen für die Erstellung und Prüfung der Software sind gemäß 7.3.2 (2) in 3 Sicherheitskategorien abgestuft.

7.6.1.1 Software für die Sicherheitsleittechnik der Kategorien 1 bis 3

(1) Die Software ist nach einem Phasenmodell zu entwickeln (Bild 1).

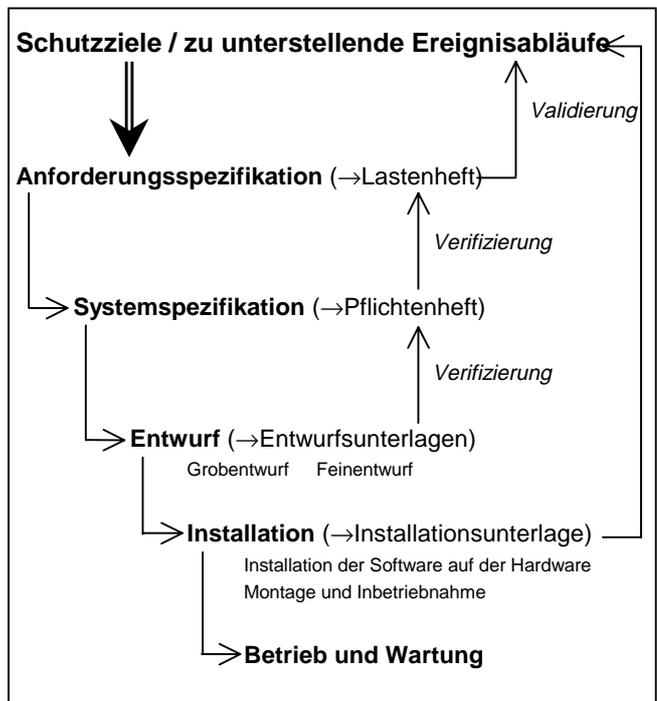


Bild 1: Phasenmodell

(2) Die Funktionen der Anwendersoftware und der Systemsoftware¹²⁾ sind in eigenständigen Softwareeinheiten zu realisieren. In der Softwarearchitektur ist die Anwendersoftware von der Systemsoftware zu trennen.

(3) Die Software ist so auszulegen, daß keine Rückwirkungen von der Sicherheitsleittechnik der sicherheitstechnisch niederwertigeren Kategorien auf die Sicherheitsleittechnik der sicherheitstechnisch höherwertigeren Kategorien auftreten.

(4) Der anforderungsgerechte Ablauf der Programme ist unabhängig von Art und Umfang der zeitlichen Änderung ihrer Eingangssignale zu gewährleisten.

7.6.1.2 Software für die Sicherheitsleittechnik der Kategorie 1

7.6.1.2.1 Grundsätze

(1) Die Entwicklung und Qualifizierung der Software der Kategorie 1 hat so zu erfolgen, daß eine durchgängige Nachweisführung der korrekten Arbeitsweise der Software gewährleistet ist. Entwurf und Implementierung sollen mit formalen¹³⁾ und rechnergestützten Konstruktions- und Prüfmethode n erfolgen. Diese Methoden sollen auch in den anderen Entwicklungsphasen weitgehend verwendet werden.

(2) Die Software der Kategorie 1 soll einfach aufgebaut sein.

(3) Der Funktionsumfang der Software der Kategorie 1 soll auf das notwendige Maß begrenzt sein.

(4) Die Programme sind robust und selbstüberwachend auszulegen.

7.6.1.2.2 Konstruktive Qualitätssicherung

(1) Die Software muß nach einem Phasenmodell durchgängig mit rechnergestützten Werkzeugen erstellt werden.

(2) Die Software ist aus klar abgegrenzten und mit geringem Funktionsumfang versehenen Einheiten aufzubauen. Diese Softwareeinheiten sind möglichst einfach bei Beschränkung auf unverzichtbare Anweisungen und Schnittstellen zu programmieren und zu einer übersichtlichen Programmstruktur zu integrieren.

7.6.1.2.3 Analytische Qualitätssicherung

(1) Die Phasenergebnisse sind unter Anwendung formaler Analysemethoden und zusätzlicher Tests an den Vorgaben vollständig zu verifizieren. Dazu sind an definierten Meilensteinen Prüfungen vorzunehmen.

(2) Nach Installation auf den Rechnern soll das anforderungsgerechte Verhalten des Hardware- und Softwaresystems validiert werden.

7.6.1.2.4 Organisation und Administration

(1) Die Organisation und Administration muß sicherstellen, daß die Software nach vollständigen Entwicklungs-, Prüf-, Wartungs- und Qualitätssicherungsplänen erstellt und eingesetzt wird. Die Unabhängigkeit zwischen Konstruktion und Qualitätssicherung muß durchgehend gewahrt werden. Es ist eine vollständige Entwicklungs-, Qualitätssicherungs- und Benutzerdokumentation zu erstellen.

¹²⁾ Zur Systemsoftware gehören z.B. das Betriebssystem und bei Mehrrechnersystemen die Software zur Kommunikation der Rechner.

¹³⁾ Formale Methoden haben eine mathematische Basis. Sowohl die Notation (Syntax) als auch die Bedeutung (Semantik) der verwendeten Symbole sind exakt definiert. Die so erstellten Beschreibungen sind einer mathematischen Analyse zugänglich.)

(2) Die Sicherstellung der konsistenten Konfiguration der Programme ist mit geeigneten Verfahren und Methoden nachzuweisen (Konfigurationsmanagement).

7.6.1.2.5 Einsatz von Standardsoftware

Bei Standardprodukten, z.B. bei der Systemsoftware ist eine Beschränkung auf unverzichtbare Bestandteile vorzunehmen; diese Teile sind Prüfungen und Tests zu unterziehen, die in Umfang und Tiefe den Nachweisen für die Anwenderprogramme gleichwertig sind.

7.6.1.3 Software für die Sicherheitsleittechnik der Kategorie 2

7.6.1.3.1 Grundsätze

(1) Für die Entwicklung und Qualifizierung der Software der Kategorie 2 sind rechnergestützte Beschreibungen und Testverfahren anzuwenden, die den Nachweis der korrekten Arbeitsweise unterstützen.

(2) Die Programme sind robust und selbstüberwachend auszulegen.

7.6.1.3.2 Konstruktive Qualitätssicherung

(1) Die Softwareerstellung muß einem durchgängigen und methodisch abgestimmten Phasenmodell folgen und weitgehend mit rechnergestützten Werkzeugen durchgeführt werden.

(2) Die Software ist aus hinsichtlich der Funktion klar abgegrenzten Einheiten aufzubauen. Diese Softwareeinheiten sind auf unverzichtbare Anweisungen und Schnittstellen zu beschränken und zu einer übersichtlichen Programmstruktur zu integrieren.

7.6.1.3.3 Analytische Qualitätssicherung

(1) Die Phasenergebnisse sind einer Prüfung zu unterziehen und zu dokumentieren. Alle sicherheitsrelevanten Programmteile sind durch eine Kombination von Testverfahren zu prüfen, wobei eine vollständige Testüberdeckung erreicht werden soll.

(2) Das anforderungsgerechte Verhalten des Hardware- und Softwaresystems soll in seinen sicherheitsrelevanten Funktionen validiert werden.

7.6.1.3.4 Organisation und Administration

(1) Die Organisation und Administration müssen sicherstellen, daß die Software nach vollständigen Entwicklungs-, Prüf-, Wartungs- und Qualitätssicherungsplänen erstellt und eingesetzt wird. Die Unabhängigkeit zwischen Konstruktion und Qualitätssicherung muß durchgehend gewahrt werden. Es ist eine vollständige Entwicklungs-, Qualitätssicherungs- und Benutzerdokumentation zu erstellen.

(2) Die konsistente Konfiguration der Programme ist sicherzustellen.

7.6.1.3.5 Einsatz von Standardsoftware

Eingesetzte Standardsoftware soll betriebsbewährt sein und ist Prüfungen und Tests zu unterziehen, die in Umfang und Tiefe den Nachweisen für die Anwenderprogramme gleichwertig sind.

7.6.1.4 Software für die Sicherheitsleittechnik der Kategorie 3

7.6.1.4.1 Grundsatz

Die Software der Kategorie 3 ist nach anerkannten Methoden der Softwaretechnik zu qualifizieren.

7.6.1.4.2 Konstruktive Qualitätssicherung

Bei der Softwareerstellung sind die Entwicklungsschritte einzeln auszuweisen. Nach Möglichkeit sind bei wesentlichen Entwicklungsschritten Werkzeuge zu nutzen.

7.6.1.4.3 Analytische Qualitätssicherung

- (1) Das Erreichen der Phasenziele ist durch entsprechende Prüfungen nachzuweisen und zu dokumentieren.
- (2) Das anforderungsgerechte Verhalten des Hardware- und Softwaresystems soll in seinen sicherheitsrelevanten Funktionen validiert werden.

7.6.1.4.4 Organisation und Administration

Die Software ist nach einem anerkannten Qualitätssicherungsplan zu erstellen. Es ist eine vollständige Entwicklungs-, Qualitätssicherungs- und Benutzerdokumentation zu erstellen.

7.6.1.4.5 Einsatz von Standardsoftware

Eingesetzte Standardsoftware soll zertifiziert oder betriebsbewährt sein.

7.6.2 Anforderungen für Betrieb und Sicherung

- (1) Änderungen der Software der Sicherheitsleittechnik müssen unter Einhaltung der Qualitätsstandards nach 7.6.1 vorgenommen werden. Durch Änderungen der Software der Sicherheitsleittechnik und durch fehlerhafte Eingriffe darf keine unzulässige Minderung der Sicherheit der Reaktoranlage hervorgerufen werden. Alle Eingriffe in die Software müssen automatisch dokumentiert werden und vollständig nachvollziehbar sein.
- (2) Eingriffe Unbefugter in die Software der Sicherheitsleittechnik sind durch vorzugsweise technische oder durch administrative Maßnahmen zu verhindern.
- (3) Daten und Programme der Sicherheitsleittechnik müssen rekonstruierbar sein; hierzu sind regelmäßig sowie bei Änderungen der Software Sicherungskopien anzufertigen. Programm- und Datenbestände sind zu archivieren.

8. Schaltwarte

- (1) Die Warte ist so anzuordnen, zu gestalten, abzuschirmen, zu belüften und mit Notstrom zu versorgen, daß sich das Personal im Bedarfsfall in der Warte aufhalten, sie verlassen und betreten kann.
- (2) Die Informationsdarbietung in der Warte muß dem Betriebspersonal jederzeit einen ausreichenden Überblick über den Betriebszustand und das Verhalten der Anlage vermitteln. Hierfür sollten funktionsmäßig zusammengehörige Größen in gemeinsamen Wartenfeldern zusammengefaßt werden.
- (3) Die für einen sicheren Betrieb der sicherheitstechnischen Systeme und für die Beherrschung von Störfällen notwendigen Steuerungsmaßnahmen und Schalthandlungen müssen von der Warte aus vorgenommen werden können.
- (4) Die für die Durchführung von Steuerungsmaßnahmen und Schalthandlungen notwendigen Unterlagen müssen in unmittelbarer Nähe der Schaltwarte und in der Notsteuerstelle greifbar bereitliegen.

9. Lüftungsanlagen

Folgende BMI-Richtlinie liegt hierzu vor:

Auslegungsrichtlinien und -richtwerte für Jod-Sorptionsfilter zur Abscheidung von gasförmigem Spaltjod in Kernkraftwerken; Stand: 25.2.1976

Ergänzend gilt:

(1) Räume, die dauernd zum Kontrollbereich gehören müssen, sind an die Lüftungsanlagen anzuschließen. In solchen Räumen muß durch Unterdruckhaltung und entsprechend gerichtete Strömungsführung oder durch Schließen geeigneter Absperrklappen ein unkontrolliertes Entweichen von Aktivität in die Umgebung verhindert werden. Die dazu notwendigen Zuluftstränge dieser Lüftungsanlagen müssen von der Warte aus absperrbar sein. Die Abluft muß überwacht und erforderlichenfalls über Filter abgegeben werden. Abluft, die zur Unterdruckhaltung bei bestimmungsgemäßem Betrieb aus Bereichen des Sicherheitsbehälters, in denen Primärkreis Komponenten vorhanden sind, anfällt, ist kontinuierlich durch Schwebstoff- und Jod-Sorptionsfilter zu reinigen.

(2) Es ist ein automatischer Lüftungsabschluß vorzusehen, der bei hoher Aktivität im Sicherheitsbehälter anspricht.

Der Grenzwert soll so eingestellt werden, daß es abhängig von:

- der Primärkreisaktivität (Auslegungsaktivität)
- der Leckagemenge,
- der Zeitdauer bis zur Erkennung

nicht zu unnötigen Auslösungen kommt.

Vor dem Grenzwert, der automatische Aktionen auslöst, sollen Grenzwerte angeordnet sein, die Gefahrenmeldungen auslösen.

(3) Filteranlagen, die ausschließlich während oder nach Störfällen zur Reinigung der Abluft und damit zur Begrenzung der Störfallfolgen eingesetzt werden (z.B. Störfallfilter der Ringraumabsaugung), sind so auszulegen, daß folgende Abscheidegrade beim störfallbedingten Einsatz mit Sicherheit nicht unterschritten werden:

- Schwebstoffe: $\eta = 99,9 \%$
- organisch gebundenes Radiojod: $\eta = 99 \%$
- Radiojod in elementarer Form: $\eta = 99,99 \%$.

Diese Filteranlagen sind so zu errichten und zu betreiben, daß eine Schadstoffbelastung der Filter vor Beginn des Einsatzes mit Sicherheit vermieden wird. Die Funktionsfähigkeit der Filteranlagen unter den für den Störfall definierten Bedingungen ist nachzuweisen. Der Zustand der Filter ist durch regelmäßig durchzuführende Prüfungen zu überwachen.

(4) Filteranlagen, die beim bestimmungsgemäßen Betrieb des Kernkraftwerks dauernd oder zeitweise mit Abluft beaufschlagt werden und während oder nach Störfällen eingesetzt werden müssen, sind so zu errichten und zu betreiben, daß die Unterschreitung eines bei der Planung technischer Schutzmaßnahmen gegen Störfälle zugrundegelegten Mindestabscheidegrades ausgeschlossen wird. Insbesondere ist der Einfluß der Schadstoffbelastung während des Einsatzes beim bestimmungsgemäßen Betrieb des Kernkraftwerks zu überwachen und ein angemessener Abstand zum Mindestabscheidegrad durch rechtzeitigen Wechsel des Filtermaterials sicherzustellen. Die bei bzw. nach Störfällen herrschenden Bedingungen sind anzugeben. Die Funktionsfähigkeit der Filteranlagen unter diesen Bedingungen ist nachzuweisen.

Ggf. kann der Nachweis der Vermeidung eines unzulässigen Abfalles des Abscheidegrades darin bestehen, daß gezeigt wird, wie im Zeitraum zwischen Störfalleintritt und Einsatz der Filteranlage das Filtermaterial gewechselt wird. Dabei ist nachzuweisen, daß die Strahlenbelastung des Personals die zulässigen Grenzwerte nicht übersteigt, die erneuerten Filter leckdicht sind und die Einhaltung des Mindestabscheidegrades gewährleistet wird.

(5) Filteranlagen nach (3) sind bezüglich ihrer aktiven Komponenten (Ventilator und Nacherhitzer) $3 \cdot 100\%$ oder $4 \cdot 50\%$ und bezüglich ihrer passiven Komponenten $2 \cdot 100\%$ (wahlweise zuschalt- und umschaltbar) auszulegen. Sie sind mit Feuchteabscheidern und Nacherhitzern oder technisch gleichwertigen Einrichtungen auszustatten, um Taupunktunterschreitungen in der Filterzuluft und Kondensateinspeicherung zu verhindern oder auf ein Ausmaß zu begrenzen, das nachweisbar nicht zur Unterschreitung der geforderten Abscheidegrade führen kann. Die während oder nach Störfällen auftretenden Bedingungen in der Filterzuluft sind vom Reaktorhersteller anzugeben. Eine Aufstellung redundanter Filter in einem Raum ist zulässig.

(6) Es dürfen nur Schwebstofffilter eingesetzt werden, für die Typprüfzeugnisse vorliegen. Bei Verwendung von Schwebstofffiltern der Klasse S ist die Dichtheit der Filterzelle und der Filtersitze durch quantitative Vor-Ort-Prüfungen oder gleichwertige Prüfverfahren nachzuweisen. Geeignete Vorrichtungen für derartige Prüfungen sind vorzusehen.

(7) Die Eignung des Sorptionsmaterials von Jodfiltern ist im Laborversuch unter Bedingungen des bestimmungsgemäßen Betriebs und unter Störfallbedingungen nachzuweisen. Bei der Festlegung der Mengen des Jodsorptionsmaterials sind dessen Alterung und Vergiftung zu berücksichtigen. Zur Überwachung des Zeitstandverhaltens sind am Jodsorptionsteil mit Kontrollfiltern ausgerüstete Bypass-Strecken oder gleichwertige Einrichtungen anzubringen. Weiterhin sind Vorrichtungen vorzusehen, die eine Vor-Ort-Prüfung der Filter erlauben.

(8) Die Auslegung der Lüftungsanlagen ist mit den Forderungen für Brandschutz abzustimmen. Im Hinblick auf die Filteranlagen ist nachzuweisen, daß ein eventueller Brand der Aktivkohle nicht zu Folgeschäden an anderen Komponenten und zu einer Brandausbreitung, z.B. über die Lüftungsanlage, führen kann.

(9) Die Störfallfilteranlagen der Ringraumabsaugung innerhalb des Ringraums sind gegen Erdbeben auszulegen. Die Leitungen außerhalb des Ringraumes sind so zu gestalten, daß sie Anforderungen im Sinne der DIN-Norm 4149 "Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten", Fassung 4.81, genügen.

10. Strahlenschutzüberwachung

10.1 Strahlenschutzüberwachung in der Anlage

10.1.1 Überwachung der Ortsdosisleistung

Folgende KTA-Regel liegt hierzu vor:

Ortsfestes System zur Überwachung von Ortsdosisleistungen innerhalb von Kernkraftwerken (KTA 1501) Fassung 10/77

Ergänzend gilt:

Für Wartungs- und Reparaturarbeiten, für Störfälle sowie für das Betreten nicht routinemäßig begangener Räume soll eine ausreichende Anzahl geeigneter tragbarer Strahlenschutzmeßgeräte vorhanden sein.

10.1.2 Überwachung der Radioaktivität der Raumluft

(1) Räume oder Raumgruppen des Kontrollbereiches, die vom Betriebspersonal regelmäßig betreten werden und in denen Raumluftkontaminationen auftreten können, die bei dauernder Einwirkung zu einer Überschreitung der in § 52 Abs. 1, Punkt 1 der StrlSchV aufgeführten Grenzwerte der Aktivitätszufuhr führen, sind durch kontinuierliche Direktmessung der Aktivitätskonzentration von Aerosolen und gasförmigem Jod mit kontinuierlichen Anreicherungsverfahren zu überwachen. Eine entsprechende Überwachung ist auch für in gleichem Maße kontaminationsge-

fährdete Räume oder Raumgruppen des Kontrollbereiches, die nicht regelmäßig betreten werden, bei längerer Aufenthaltsdauer von Betriebspersonal vorzusehen. Dazu können bewegliche Meßgeräte eingesetzt werden.

10.1.3 Kreislaufüberwachung

(1) Zur frühzeitigen Entdeckung etwaiger Freisetzungen radioaktiver Stoffe ist in sämtlichen Kreisläufen, die als Barriere gegen das Entweichen radioaktiver Stoffe dienen, die Konzentration radioaktiver Stoffe durch ortsfeste Einrichtungen kontinuierlich zu messen. Die Meßeinrichtungen müssen die Aktivitätskonzentration und deren Änderungen im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei Störfällen mit der erforderlichen Genauigkeit erfassen und bei Überschreiten vorgegebener Grenzwerte Gefahrenmeldungen in der Warte auslösen. Außerdem ist die Aktivitätskonzentration in regelmäßigen Abständen durch Probenahme zu bestimmen.

(2) Für den Primärkreislauf und die damit unmittelbar verbundenen Kreisläufe kann die Überwachung durch ortsfeste Einrichtungen entfallen, wenn in hinreichend kurzen Abständen die Aktivitätskonzentration durch Probenahme bestimmt wird. Dasselbe gilt für die Beckenkühl- und Reinigungskreisläufe.

(3) Eine Bestimmung der Aktivitätskonzentration in den Kreisläufen durch Probenahme hat außerdem zu erfolgen, wenn Anzeichen für eine erhöhte Aktivitätskonzentration vorliegen.

10.1.4 Feststellung von Kontaminationen

(1) Das Kernkraftwerk muß über geeignete Einrichtungen und Geräte verfügen, mit denen Kontaminationen von Personen und Gegenständen gemessen werden können (z.B. Hand-Fuß-Kleider-Monitore und Kontaminationsmonitore). Diese Geräte müssen ständig betriebsbereit und an zweckmäßig gewählten Orten, wie z.B. auf Verbindungswegen zwischen Überwachungs- und Kontrollbereich, an Personenschleusen, in Dekontaminationspassagen, aufgestellt sein. Entsprechend ihrer Zuverlässigkeit ist eine angemessene Zahl von Ersatzgeräten bereitzuhalten.

(2) Sämtliche Geräte müssen in regelmäßigen Abständen mit dünnen β -Präparaten und gegebenenfalls mit dünnen α -Präparaten kalibriert und geprüft werden, wobei die Kalibrierfaktoren und die Empfindlichkeiten bezogen auf eine punktförmige Aktivität und auf eine homogene Flächenaktivität anzugeben sind. Falls die Geräte auch Kontaminationen niederenergetischer β -Strahlen nachweisen sollen (z.B. H 3 und C 14), ist eine Kalibrierung mit entsprechend dünnen Präparaten (z.B. radioaktiv markierte Folien) durchzuführen. Wenn kein dünnes Präparat zur Verfügung steht, kann eine Kalibrierung auch mit einem Präparat in sättigungsdicker Schicht erfolgen.

10.2 Aktivitätsüberwachung

10.2.1 Aktivitätsüberwachung im Abwasser

Folgende KTA-Regel liegt hierzu vor:

Messung flüssiger radioaktiver Stoffe zur Überwachung der radioaktiven Ableitungen (KTA 1504) Fassung 6/78

10.2.2 Aktivitätsüberwachung in der Fortluft

Folgende KTA-Regel liegt hierzu vor:

Messung und Überwachung der Ableitung gasförmiger und aerosolgebundener radioaktiver Stoffe

Teil 1: Messung und Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminabluft bei bestimmungsgemäßigem Betrieb (KTA 1503.1) Fassung 2/79

(1) Es müssen Einrichtungen vorhanden sein, mit denen es möglich ist, die Ableitung und Freisetzung gasförmiger und aerosolförmiger radioaktiver Stoffe kontinuierlich und getrennt zu über-

wachen und zu registrieren. Die hierfür erforderlichen Einrichtungen sind hinreichend zuverlässig auszuliegen.

(2) Zur Überprüfung der tatsächlich auftretenden Strahlenbelastung ist während des bestimmungsgemäßen Betriebs die Nuklidzusammensetzung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe zu ermitteln und zu registrieren. Die hierfür eingesetzte Meßmethode muß entsprechend den sich aus der Abgabegenehmigung ergebenden Forderungen gewählt werden. Die Abgabe radioaktiver Gase muß durch eine kontinuierliche Messung der Aktivitätskonzentration mit ausreichender Nachweisgrenze überwacht werden. Beim Nachweis radioaktiver Gase ist eine Direktmessung der Aktivitätskonzentration nur dann ausreichend, wenn der gesamte Fortluftstrom keinen größeren zeitlichen Schwankungen unterliegt. Anderenfalls ist eine Messung des Aktivitätsausstoßes, bei der der Fortluftstrom zwangsläufig berücksichtigt ist, erforderlich. Für die Messung radioaktiver Aerosole und gasförmigen Jods muß ein kontinuierliches Anreicherungsmeßverfahren mit hinreichender Nachweisgrenze benutzt werden. Bei zeitlich konstantem Fortluftstrom müssen die Aktivitätskonzentrationen und bei veränderlichem Fortluftstrom der Aktivitätsausstoß gemessen werden. Die Probeentnahme muß repräsentativ für die Aktivitätsabgabe in die Atmosphäre sein, d.h. sie muß hinter den Abluftfiltern erfolgen (Siehe auch folgende BMI-Richtlinie: *"Richtlinie zur Überwachung der Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Kaminluft von Kernkraftwerken mit leichtwassergekühltem Reaktor"*, Stand: September 1975).

(3) Geräte zur kontinuierlichen Aktivitätsüberwachung müssen mit Doppelgrenzwerteinheiten für automatische Funktionskontrolle und Alarmgabe bei Überschreiten vorwählbarer Grenzwerte für die Freisetzung ausgerüstet sein. Sämtliche Meßwerte müssen registriert werden.

(4) Zur Bilanzierung und Überwachung der radioaktiven Ableitungen aus Bereichen außerhalb des Sicherheitsbehälters sind die Abluft und Abgase aus aktivitätsführenden Behältern und sonstigen Anlagenteilen zu überwachen. Dies kann beispielsweise durch eine Sammelüberwachung vor der Kaminüberwachung erfolgen.

11. Brandschutz

(1) Die Verwendung brennbarer Stoffe als Konstruktionselemente oder als Betriebsstoffe ist möglichst zu vermeiden. In Bereichen, in denen die Verwendung solcher Stoffe unvermeidbar ist, sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, die der Entstehung von Bränden vorbeugen und deren Ausbreitung begrenzen. Baustoffe müssen aber mindestens der Baustoffklasse B 1 (schwer entflammbar) nach DIN 4102 entsprechen. Soweit in Räumen mit sicherheitstechnischen Einrichtungen brennbare Stoffe verwendet werden, sind für diese schnell wirksame Löscheinrichtungen vorzusehen. Automatische Löscheinrichtungen sind gegen fehlerhafte Auslösung zu sichern, bzw. die Räume sowie deren Anlagen dagegen auszulegen. Beim Einbringen brennbarer Stoffe im Zusammenhang mit Wartungs- und Reparaturarbeiten sind gesonderte Vorsichtsmaßnahmen zu treffen.

(2) Die einzelnen redundanten Systeme des Sicherheitssystems sind zueinander so anzuordnen, daß im Brandfall ein durch Brandhitze oder Rauchgase bedingter Ausfall der anderen redundanten Systeme ausgeschlossen werden kann. Wenn eine ausreichende räumliche Trennung nicht durchführbar ist, so sind die einzelnen redundanten Systeme mindestens mit einer Feuerwiderstandsklasse F 90 abzuschotten. Ist dies nicht möglich, so sind gleichwertige brandschutztechnische Maßnahmen zu treffen, die geeignet sind, im Brandfall einen Ausfall von anderen redundanten Systemen zu verhindern.

(3) Leitungen und Kabel zur Signalübertragung und Stromversorgung von Meß- und Steuereinrichtungen sind grundsätzlich ge-

trennt von warmgehenden Rohrleitungen oder solchen, die brennbare Medien führen, zu verlegen. Bei unvermeidbaren Kreuzungen sind besondere Maßnahmen zu treffen. Leistungskabel müssen hinreichend getrennt von Signal- und Steuerkabeln verlegt werden. Die Isolation sicherheitstechnisch wichtiger Kabel muß mindestens aus schwer entflammbarem Material hergestellt sein.

(4) Anlagenbezirke mit Sicherheitseinrichtungen und Kontrollbereiche sind mit einer geeigneten Instrumentierung zur Früherkennung von Bränden auszustatten. Die Einrichtungen zur Früherkennung von Bränden sind hinreichend zuverlässig (z.B. redundant) auszuführen.

(5) Die Abfuhr von Brandhitze und von Brandgasen darf weder die Funktion von Rettungswegen noch von Redundanzbereichen gefährden. Werden die raumluftechnischen Anlagen zur Entrauchung verwendet, sind diese entsprechend den zu erwartenden thermischen Belastungen auszulegen. Gegebenenfalls sind besondere Rauch- und Wärmeabzugsanlagen vorzusehen. Die Trennung der einzelnen Brandabschnitte ist gegebenenfalls dadurch sicherzustellen, daß in den Lüftungskanälen Brandschutzklappen vorgesehen werden.

(6) Bei der Auswahl und Installation der aktiven und passiven Brandschutzmaßnahmen sind die im Kontrollbereich vorhandenen Beschränkungen zu beachten.

(7) Die Brandschutzeinrichtungen sind regelmäßig wiederkehrenden Prüfungen im Hinblick auf ihre Funktionsfähigkeit zu unterziehen. Die Prüfzeiten sind entsprechend dem Gefährdungspotential der Anlagen und der Anfälligkeit der Brandschutzeinrichtungen vom Gutachter festzulegen. Ein Alarmplan für Maßnahmen im Brandfall ist zu erstellen. Aus dem Betriebspersonal ist eine Betriebslöschmannschaft zu bilden. Neben dieser ist auch die zuständige Feuerwehr mit den Räumlichkeiten der Anlagen sowie den besonderen Gegebenheiten eines Kernkraftwerks vertraut zu machen. Diese Einweisung ist regelmäßig zu wiederholen. Einsatzübungen sind in ausreichenden Abständen durchzuführen.

12. Fluchtwege und Alarmierung

Folgende KTA-Regeln liegen hierzu vor:

Alarmanlagen, Personensuchanlagen und Fernmeldeverbindungen in und von Kernkraftwerken (KTA 3901) Teil 1: Einblockanlagen, Fassung 3/81

Schleusen am Reaktorsicherheitsbehälter von Kernkraftwerken - Personenschleusen (KTA 3402), Fassung 11/76

Ergänzend gilt:

(1) Fluchtwege müssen auf möglichst kurzem Weg aus der Gefahrenzone führen. Fluchtwege müssen so gekennzeichnet und ausreichend beleuchtet sein, daß eine Orientierung auch unter erschwerten Bedingungen, wie z.B. Rauch oder Dampfentwicklung möglich ist. Die Beschaffenheit der Fluchtwege sollte den Transport Verletzter aus gefährdeten Bereichen ermöglichen.

(2) Es sollen anlagen- und störfallspezifische Kriterien für die Art und den Auslösezeitpunkt der festgelegten Alarme, ggf. automatische Alarme, aufgestellt und die erforderlichen Aktionen des Personals in u. U. mehreren Alternativen geplant und - soweit möglich - in gewissen Zeitabständen auch geprobt werden.

(3) Durch technische Maßnahmen muß gewährleistet werden, daß dem Personal beim Ansprechen von Sicherheitsventilen im Sicherheitsbehälter (insbesondere Ansprechen der Berstscheibe des Druckhalterabblasebehälters) ausreichend Zeit zur Flucht bleibt oder unter den auftretenden Bedingungen ausreichender Schutz gewährt ist.

13. Gestaltung von Arbeitsablauf, Arbeitsplatz und Arbeitsumgebung

Folgende BMI-Richtlinien liegen hierzu vor:

Richtlinie über das Verfahren zur Vorbereitung und Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken; Stand: 10.5.1978

Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor: Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge; Stand: 10.5.1978

Ergänzend gilt:

- (1) Arbeitsabläufe, bei denen mit einer nennenswerten Strahlenexposition des Personals zu rechnen ist, sind so zu planen, daß die Strahlenbelastung des Personals so gering wie möglich bleibt. Entsprechende Anweisungen sind in geeigneter Form möglichst vollständig festzuhalten.
- (2) Arbeitsabläufe, bei denen die Verfügbarkeit sicherheitstechnisch wichtiger Systeme eingeschränkt wird, sind sorgfältig zu planen und in geeigneter Form möglichst vollständig festzuhalten.
- (3) Schwierige Arbeiten an Komponenten, bei denen eine hohe Strahlenbelastung erwartet wird, sollten so weit möglich, mechanisiert und vorher erprobt und geübt werden, ggf. an Modellen der Komponenten, wenn hierdurch eine nennenswerte Herabsetzung der Strahlenbelastung erreichbar ist.

14. Vorkehrungen für Arbeiten in der Anlage

Folgende BMI-Richtlinie liegt hierzu vor:

Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor: Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge; Stand: 10.5.1978

Ergänzend gilt:

- (1) Die bauliche Gestaltung der Gebäude und die Ausführung und Anordnung der Komponenten hat so zu erfolgen, daß bei späteren Inspektions-, Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie bei wiederkehrenden Prüfungen die Arbeiten zuverlässig ausgeführt werden können und die Strahlenbelastung für das Personal so gering wie möglich bleibt. Insbesondere sind ausreichende Zugänglichkeit, Abschirmung der Zugangs- und Transportwege sowie geeignete Vorkehrungen für die Ausführung von Dekontaminationsarbeiten, auch an Behältern und Rohrleitungssystemen (z.B. durch mechanische Reinigung und Spülung), sicherzustellen. Bei der Planung der vorgesehenen Maßnahmen ist von einem nach langjährigem Betrieb für diese Bauausführung zu erwartenden Strahlenpegel auszugehen.
- (2) Bei der baulichen Gestaltung der Anlage sowie bei der Konstruktion und Anordnung insbesondere Aktivität führender Komponenten ist auch zu berücksichtigen, daß deren Austausch während der Betriebszeit eines Kernkraftwerks notwendig werden kann. Die deshalb zu treffenden Vorkehrungen müssen so geeignet sein, Komponenten - soweit technisch möglich und sinnvoll - unzerlegt und bei möglichst geringer Strahlenbelastung auszutauschen. Die zur Erfüllung dieser Forderungen notwendigen Maßnahmen dürfen sicherheitstechnischen Erfordernissen nicht entgegenstehen; z.B. darf die Möglichkeit wiederkehrender Prüfungen der Komponenten nicht eingeschränkt werden.

15. Handhabung und Lagerung von Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen

Folgende KTA-Regel liegt hierzu vor:

Hebezeuge in kerntechnischen Anlagen (KTA 3902), Fassung 6/78

Ergänzend gilt:

- (1) Für die Handhabung, Aufbereitung und vorübergehende Lagerung der im bestimmungsgemäßen Betrieb anfallenden radioaktiven festen, flüssigen und gasförmigen Stoffe sind geeignete, in ihrer Kapazität für den zu erwartenden Anfall fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe ausreichend bemessene und dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend ausgelegte Einrichtungen vorzusehen.
- (2) Für die Erkennung und Beherrschung von Schäden an Brennelementen bei der Handhabung sind geeignete Maßnahmen zu treffen.
- (3) Für die vorübergehende Lagerung defekter Brennelemente sind Einrichtungen vorzusehen, die eine nennenswerte zusätzliche Kontamination des Kühlwassers des Brennelementlagerbeckens verhindern.
- (4) Der Wasserstand und die Temperatur im Brennelementlagerbecken muß von der Schaltwarte aus überwachbar sein. Auch bei Undichtheiten des Brennelementlagerbeckens oder beim Bruch von Anschlußleitungen muß eine wirksame Kühlung der Brennelemente gewährleistet sein.
- (5) Die Transportwege der Brennelementtransportbehälter sind so zu gestalten, daß keine Bedingungen auftreten, die die Auslegungsbedingungen der Behälter überschreiten.
- (6) Der Absturz eines Brennelementtransportbehälters oder anderer Lasten auf das Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente muß entweder durch Verriegelungen und administrative Maßnahmen hinreichend unwahrscheinlich gemacht werden oder durch die Auslegung beherrscht werden.

16. Stilllegung und Beseitigung

- (1) Bei der Auslegung und Anordnung von Bauten, Komponenten und Systemen, insbesondere der im bestimmungsgemäßen Betrieb aktivierten und kontaminierten Anlagenteile, sind geeignete Maßnahmen zur endgültigen Stilllegung der Anlage, zu ihrer Sicherung bzw. ihrer Beseitigung zu berücksichtigen (z.B. getrennter Aufbau des inneren und äußeren biologischen Schildes).
- (2) Die in Betracht zu ziehenden Anlagenteile sind so auszulegen und anzuordnen, daß im Fall ihrer Beseitigung der Zugang zu ihnen, ihre Dekontamination, ihr Abbau und ihr Transport in der Anlage bei einer möglichst geringen Strahlenbelastung durchführbar sind.
- (3) Die für die Stilllegung und Beseitigung der Anlage im Konzept vorgesehenen wesentlichen Vorkehrungen und Maßnahmen sind darzulegen.

17. Vorsorge gegen Versagen von Komponenten

17.1 Vorsorge gegen Turbinenversagen

Gegen die Beschädigung sicherheitstechnisch wichtiger Anlagenteile durch Bruchstücke des Turbosatzes ist Vorsorge zu treffen. Z. B. kann die Gebäudeanordnung, auch bei Mehrblockanlagen, so gewählt werden, daß die sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten (Reaktorgebäude, Notspeisegebäude) nicht innerhalb der

wahrscheinlichen Flugrichtung möglicher Bruchstücke des Turbosatzes (ca. ± 20 Grad senkrecht zur Turbinenachse) liegen. Befinden sich räumlich getrennte sicherheitstechnische Einrichtungen innerhalb des oben angegebenen Kegels, so darf angenommen werden, daß nur eine dieser sicherheitstechnischen Einrichtungen von den Bruchstücken getroffen wird.

17.2 Vorsorge gegen Pumpenschwungradversagen

Es sind Maßnahmen zu treffen, die gewährleisten, daß das Pumpenschwungrad infolge zu hoher Drehzahl beim Kühlmittelverluststörfall nicht zerstört wird.

17.3 Vorsorge gegen Versagen von Rückflußverhinderern

Alle Rückflußverhinderer im Kernkraftwerk, die im Normalbetrieb offen sind und bei einem Störfall bei hohem Druck und hoher Strömungsgeschwindigkeit sicher schließen müssen, sind so zu dämpfen, daß die hydrodynamischen Belastungen auf die Rückflußverhinderer, die Rohrleitungen und ihre Verankerung sowie ggf. auf die Sicherheitsbehälterdurchführungen tolerierbar sind. Dämpfungsmaßnahmen können entfallen, wenn unzulässige Belastungen auf die Rohrleitungen und deren Verankerungen auszu-schließen sind.

18. Naturbedingte Einwirkungen

18.1 Erdbeben

Folgende KTA-Regel liegt hierzu vor:

Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen (KTA 2201)

Teil 1: Grundsätze, Fassung 6/75

Teil 5: Seismische Instrumentierung, Fassung 6/77

Ergänzend gilt:

Für die Druckführende Umschließung ist mit Hilfe von Analysen sicherzustellen, daß unter Beachtung der Zahl der Schwingungen, die durch das Erdbeben angeregt werden, die im Falle des Sicherheitserdbebens resultierenden Belastungen des Rohrleitungssystems die zulässigen Spannungsgrenzen nicht überschreiten. Werden dabei Stellen gefunden, die besonders gefährdet sind und deren Versagen zu einem Kühlmittelverluststörfall oder zu anderen gefährlichen Zuständen des Reaktors führen könnten, so ist durch Anpassung des Werkstoffs und der Auslegung sowie durch zweckmäßige Festlegung von Prüfungen Abhilfe zu schaffen. Andernfalls ist ein Kühlmittelverluststörfall als kausale Folge des Erdbebens nicht auszuschließen. Von der Überlagerung eines Sicherheitserdbebens mit einem Kühlmittelverluststörfall kann auch abgesehen werden, wenn sich aus den Analysen ein genügender zeitlicher Abstand beider Ereignisse ergibt.

19. Zivilisationsbedingte Einwirkungen

19.1 Flugzeugabsturz

Die RSK hält es zur Verminderung des verbleibenden Risikos eines Flugzeugabsturzes auf das Reaktorgebäude eines Kernkraftwerks sowie auf Gebäude, die im Hinblick auf die sichere Nachwärmeabfuhr geschützt werden müssen und nicht durch entsprechende Redundanz geschützt sind, für erforderlich, daß die Anlage den nachfolgend spezifizierten Anforderungen genügt.

(1) Für die Konzeptberatung ist eine Liste der gegen Flugzeugabsturz zu schützenden Gebäude, Bauteile und Anlagenteile, einschließlich ihrer sicherheitstechnischen Funktionsbeschreibung, vorzulegen. Außerdem ist darzulegen, wie im Belastungsfall die Standsicherheit der Bauteile und der Gesamtkonstruktion gewährleistet wird.

(2) Der Auslegung sind folgende Lastannahmen zugrunde zu legen:

1. Stoßlast-Zeit-Diagramm

Stoßzeit (ms)	Stoßlast (MN)
0	0
10	55
30	55
40	110
50	110
70	0

2. Auftrefffläche

Die Auftrefffläche ist mit 7 m^2 kreisförmig anzunehmen.

3. Auftreffwinkel

Der Auftreffwinkel ist als normal auf die Tangentialebene im Auftreffpunkt anzusetzen.

(3) Die Auslegung eines Bauteils auf Vollschutz ist immer dann erforderlich, wenn sich hinter dem Bauteil sicherheitstechnisch notwendige Anlagenteile befinden und diese bei der Auslegung des Bauteils nur gegen Penetration durch herausgeschleuderte Betonbrocken beschädigt werden könnten, sofern ihr Ausfall nicht durch das Prinzip der räumlichen Trennung abgedeckt werden kann.

(4) Die Auswirkungen von Trümmern und von Treibstoffbränden müssen bei der Auslegung beachtet werden. Die Schutzwirkungen vorgelagerter Bauteile dürfen dabei berücksichtigt werden. Der Schutz gegen Flugzeugtrümmer kann bei redundanten Systemen auch durch räumliche Trennung erreicht werden.

(5) Die Ionenaustauscher der Primärwasser-Reinigungsanlage, zugehörige Harzabfallbehälter und andere Komponenten und Systeme, die ähnlich hohe Aktivitäten in grundsätzlich brennbarer Form enthalten, sind durch besondere bautechnische oder brandschutztechnische Maßnahmen gegen Beschädigungen zu schützen, um eine nennenswerte durch einen Treibstoffbrand verursachte Freisetzung von Radioaktivität zu verhindern.

(6) Die durch den Flugzeugaufprall induzierten Erschütterungen sind zu beachten. Dies kann ¹⁴⁾ wie folgt geschehen:

Der Nachweis der Standsicherheit kann bei Komponenten und Systemen im Reaktorgebäude, die sich nicht gegen Außenwände abstützen oder die an von Außenwänden getrennten Decken bzw. der Fundamentplatte angeordnet sind, durch Annahme einer stati-

¹⁴⁾ Hinweis: Bedingung für Zulässigkeit des beschriebenen Nachweisverfahrens ist, daß die Reaktorgebäude in folgenden Punkten vom Reaktorgebäude des Kernkraftwerks Grohnde, für das die Zulässigkeit des Verfahrens nachgewiesen wurde, nicht wesentlich abweichen:

- nicht in die Außenschale eingebundene Decken und Wände im Reaktorgebäude
- Wanddicke und Bewehrung der Außenschale
- Betongüte
- Gesamtgewicht
- Außendurchmesser
- Einbindungstiefe in den Baugrund
- Baugrundverhältnisse (Der Einfluß der Bodendämpfung ist gering. Lediglich bei extremen Gründungsverhältnissen wie Pfahlgründung oder Felsgründung ist die Zulässigkeit der Anwendung des vereinfachten Nachweisverfahrens nachzuweisen.)

Für andere Bauweisen als die der KWU-Druckwasserreaktoren vom Typ Kernkraftwerk Grohnde und folgende sowie für andere zu schützende Gebäude als das Reaktorgebäude ist bei Verwendung des pauschalen Nachweisverfahrens die Höhe der statischen Ersatzlast gutachterlich festzulegen.

schen Ersatzlast resultierend aus einer Beschleunigung von $\pm 0,5g$ in horizontaler und vertikaler Richtung im Frequenzbereich bis 16 Hz geführt werden. Für die Komponentenauslegung ist die Ersatzlast in ungünstigster Kombination gleichzeitig wirkend anzusetzen. Im Frequenzbereich über 16 Hz muß gesichert sein, daß Relativverschiebungen zwischen Komponente und Auflage bis zu 1 mm elastoplastisch aufgenommen werden können.

(7) Bei der Auslegung gegen einen Flugzeugabsturz ist das gleichzeitige Auftreten eines Einzelfehlers nicht zu unterstellen; auch ein gleichzeitiger Instandsetzungsfall wird nicht postuliert.

(8) Erfordert die Beherrschung eines derartigen Flugzeugabsturzes die Funktion von Sicherheitseinrichtungen eher als nach einer Zeit von 30 Minuten, so ist ein Einzelfehler in den aktiven Systemteilen zu unterstellen. Bei der Betrachtung der Langzeit-Nachkühlphase ist nachzuweisen, daß erforderlichenfalls an den für die Langzeit-Nachkühlphase benötigten Sicherheitseinrichtungen rechtzeitig Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden können.

19.2 Chemische Explosionen

Folgende BMI-Richtlinie liegt hierzu vor:

Richtlinie für den Schutz von Kernkraftwerken gegen Druckwellen aus chemischen Reaktionen durch Auslegung der Kernkraftwerke hinsichtlich ihrer Festigkeit und induzierter Schwingungen sowie durch Sicherheitsabstände, Stand: 13.9.1976.

Ergänzend gilt:

Für die Konzeptberatung ist eine Liste der gegen Druckwellen und gegen die dadurch induzierten Schwingungen auszulegenden Gebäude- und Anlagenteile vorzulegen.

19.3 Giftige und explosionsgefährliche Gase

(1) Es ist aufzuzeigen, wie das Eindringen standortbedingter giftiger Gase in Räume festgestellt und verhindert werden kann, in denen der Aufenthalt von Personal möglich sein muß.

(2) Das Ansaugen standortbedingter explosionsgefährlicher Gase in sicherheitstechnisch wichtige Bereiche ist zu verhindern oder durch Redundanz und räumliche Trennung sowie sichere Lage der Ansaugöffnungen so einzuschränken, daß die Erfüllung der sicherheitstechnischen Funktion gewährleistet wird.

(3) Während der Lebenszeit der Anlage sind die Maßnahmen nach (1) und (2) den sich ändernden Gegebenheiten anzupassen.

19.4 Einwirkungen Dritter

Gegen vorsätzliche Beschädigungen der Anlage ist Vorsorge zu treffen. Dies ist durch eine der folgenden Maßnahmen oder eine Kombination dieser Maßnahmen zu gewährleisten.

1. Prinzip der räumlichen Trennung, wonach die redundanten Systeme zur Abschaltung und Nachkühlung in getrennten Räumen so anzuordnen sind, daß die Zerstörung mehr als eines Systems aus der gleichen Ursache ausgeschlossen werden kann.
2. Bauliche Maßnahmen und stützende technische Einrichtungen.
3. Administrative Maßnahmen ergänzend zu 1. und 2.

20. Versagen des Schnellabschaltsystems bei Betriebstransienten

Zur Verminderung des verbleibenden Risikos beim Versagen des Schnellabschaltsystems bei Betriebstransienten hält die RSK die

im folgenden genannten Untersuchungen bzw. die Einhaltung der genannten Bedingungen für erforderlich:

(1) Der Verlauf von Betriebstransienten ist auch unter der Annahme zu untersuchen, daß das Schnellabschaltsystem vollständig ausfällt. Im einzelnen ist zu zeigen, daß bei den folgenden Betriebstransienten auch bei Ausfall des Schnellabschaltsystems die unter (2) und (3) genannten Bedingungen eingehalten werden:

1. Ausfall der Hauptwärmesenke, z.B. infolge Verlustes des Kondensatorvakuums bzw. Schließen der Frischdampfschieber, bei vorhandener Eigenbedarfsversorgung.
2. Ausfall der Hauptwärmesenke bei ausgefallener Eigenbedarfsversorgung
3. Maximaler Anstieg der Dampfantnahme, z.B. infolge Öffnens der Umleitstation oder der Frischdampfsicherheitsventile
4. Vollständiger Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung
5. Maximale Reduzierung des Kühlmitteldurchsatzes
6. Maximale Reaktivitätszufuhr durch Ausfahren von Steuerelementen oder Steuerelementgruppen ausgehend von den Betriebszuständen Vollast und heißer Bereitschaftszustand
7. Druckentlastung durch unbeabsichtigtes Öffnen eines Druckhaltersicherheitsventils
8. Maximale Reduzierung der Reaktoreintrittstemperatur verursacht durch einen Fehler in einer aktiven Komponente der Speisewasserversorgung.

Bei der Analyse dieser Ereignisse kann grundsätzlich vom normalen Betriebszustand ausgegangen werden.

Allerdings sind in der Analyse die durch Steuerungs- und Regelvorgänge eventuell verursachten Änderungen von Betriebsparametern und Systemzuständen mit zu berücksichtigen. Mit Ausnahme der als gestört angenommenen Systeme können alle übrigen Systeme als funktionsfähig vorausgesetzt werden, solange ihre Funktionsfähigkeit nicht durch die Auswirkungen des Ereignisses beeinträchtigt wird, d.h. das gleichzeitige Auftreten eines Einzelfehlers ist nicht zu unterstellen; auch ein gleichzeitiger Instandsetzungsfall wird nicht postuliert.

(2) Bei diesen Störfällen dürfen in der Druckführenden Umschließung die nach ASME Code Section III, Division 1, NB-3224 Level C Service Limits, zulässigen Spannungen nicht überschritten werden.

(3) Das Borierungssystem (betriebliches System zulässig) und die Systeme zur Wärmeabfuhr müssen so ausgelegt sein, daß ihre Funktionsfähigkeit unter diesen Ereignisbedingungen bzw. nach diesen Ereignissen gewährleistet ist und der Reaktor abgefahren werden kann.

21. Zu unterstellende Leckagen und Brüche

21.1 Zu unterstellende Leckquerschnitte an der Hauptkühlmitteleitung einschließlich austenitischer Anschlußleitungen (Stahl 1.4550) DN > 200 mm und am Reaktordruckbehälter

(1) Reaktions- und Strahlkräfte auf Rohrleitungen, Komponenten, Komponenteneinbauten und Gebäudeteile

1.¹⁵ Hinsichtlich der Belastungsannahme für die Reaktions- und Strahlkräfte auf Rohrleitungen, Komponenten und Gebäudeteile ist ein Leck mit einem Querschnitt von 0,1 F (F = offene

¹⁵) Hinweis: Diese Festlegung ist relevant für die Auslegungsanforderungen in Kap. 3.3 (1) Einbauten im Reaktordruckbehälter
5.1 (5) Einbauten im Sicherheitsbehälter
5.2 (1), (5) Elektrische Einrichtungen im Sicherheitsbehälter

Querschnittfläche in der jeweiligen Leitung) und statischer Ausströmung für verschiedene Bruchlagen zu unterstellen. Als Belastungsannahme für die Einbauten des Reaktordruckbehälters ist ein schnellöffnendes Leck (lineares Öffnungsverhalten, Öffnungszeit 15 ms) mit einem Querschnitt von 0,1 F in den Hauptkühlmittelleitungen für verschiedene Bruchlagen zu unterstellen.

- Zur Beherrschung der Auswirkungen (Druckaufbau in der Reaktorgrube, Entlastungsdruckwelle auf Einbauten des Reaktordruckbehälters) eines unterstellten Lecks mit dem Querschnitt 0,1 F zwischen Reaktordruckbehälter und biologischem Schild sind Vorkehrungen, z.B. Doppelrohre im Bereich der Durchführung der Hauptkühlmittelleitungen durch den biologischen Schild, vorzusehen.
- (2) Vorgaben für die Auslegung und den Sicherheitsnachweis der Notkühlsysteme, des Sicherheitsbehälters und dessen Einbauten sowie der Abstützung der Primärkreis Komponenten.

Bei der Auslegung und rechnerischen Überprüfung sind folgende Postulate maßgebend:

- Bei der Analyse der Kernnotkühlwirksamkeit (vgl. Kap. 22.1.1) sind Leckquerschnitte in den Hauptkühlmittelleitungen bis 2 F zugrunde zu legen. Die Notkühlsysteme sind entsprechend auszulegen.
- Der Ermittlung des Auslegungsdrucks des Sicherheitsbehälters sowie der Ermittlung der Druckdifferenzen innerhalb des Sicherheitsbehälters sind Leckquerschnitte bis zu 2 F in den Hauptkühlmittelleitungen zugrunde zu legen. Auch bei der Ermittlung des Auslegungsdrucks und der Auslegungstemperatur für störfallfeste elektrische Einrichtungen ist von einem Leckquerschnitt in den Hauptkühlmittelleitungen von 2 F auszugehen.
- Für den Nachweis der Standsicherheit der Komponenten Reaktordruckbehälter, Dampferzeuger, Hauptkühlmittelpumpen und Druckhalter sind folgende formale Annahmen zu treffen:

Die Standsicherheit der Komponenten muß für die statische Kraft P_{ax} gewährleistet sein

Größe: $P_{ax} = p \cdot F \cdot S$
 p = Nennbetriebsdruck
 F = offene Querschnittfläche
 $S = 2$ (Sicherheitsfaktor)

Angriffspunkt: Mittelpunkt des Rohrquerschnitts im Bereich der Stutzenrundnaht

Wirkung: Stutzenmittellachse in Richtung Komponente

Diese Kraft wirkt jeweils nur an einem Stutzen. Der Standsicherheitsnachweis muß für jeden Stutzen getrennt geführt werden.

Hinweis: Beim Dampferzeuger ist die Standsicherheit in gleicher Weise für den Anschluß des Sekundärkreislaufs zu gewährleisten.

- (3) Deterministisch zu unterstellender Leckquerschnitt am Reaktordruckbehälter.

- Im Hinblick auf die Verankerung des Reaktordruckbehälters, die Belastung der Einbauten im Reaktordruckbehälter, die Auslegung des Kernnotkühlsystems ist am Reaktordruckbehälter auch ein Leck von etwa 20 cm² (geometrischer Querschnitt: kreisförmig) unterhalb der Reaktorkernoberkante zu unterstellen. Vorschäden am Reaktordruckbehälter, die zu ei-

ner Leckgröße von mehr als 20 cm² führen könnten, müssen mittels geeigneter Überwachungsmaßnahmen rechtzeitig erkennbar sein.

- Der Auslegung sind auch die Auswirkungen des plötzlichen Bruches eines Steuerelementstutzens mit dem maximal möglichen Leckquerschnitt sowie die postulierten Leckagen am Reaktordruckbehälter zugrunde zu legen.

(4) Druckabsicherung des Niederdrucksystems gegen das Hochdrucksystem

Es sind Vorkehrungen gegen einen Druckaufbau im Niederdrucksystem infolge Versagens der Druckabsicherung zum Hochdrucksystem (Druckführende Umschließung) zu treffen (z.B. Wiederkehrende Prüfung der Funktion der Armaturen, Messung des Druckes zwischen zwei hintereinander geschalteten Armaturen, Anzeige von Leckagen auf der Warte).

21.2 Zu unterstellende Leckagen und Brüche in der Frischdampf- bzw. Speisewasserleitung

(1) Für die Frischdampf- und Speisewasserleitungen zwischen Dampferzeuger und Armaturenstation außerhalb des Sicherheitsbehälters werden Leckagen aus unterkritischen Rissen unterstellt. Diese können auf der Basis der Bruchmechanik ermittelt werden oder werden auf 0,1 F begrenzt.

Hinsichtlich der Belastungsannahmen für die Reaktions- und Strahlkräfte auf die Frischdampf- und Speisewasserleitungen im Bereich zwischen Dampferzeuger und erster Absperrarmatur außerhalb des Sicherheitsbehälters ist abdeckend eine Lecköffnung von 0,1 F (F = offene Querschnittsfläche der Rohrleitung) und statische Ausströmung unterstellen.

(2) Hinsichtlich dynamischer Belastungen sind einlaufende Entlastungsdruckwellen, die sich aus Brüchen in Leitungsbereichen hinter der ersten Absperrarmatur außerhalb des Sicherheitsbehälters ergeben, oder als Folge äußerer Einwirkungen unterstellt werden, anzusetzen und der Bemessung zugrunde zu legen. Hierzu wird als Eingangsgröße für die Rechnung ein Rundabriß mit einem linearen Öffnungsverhalten und einer Öffnungszeit von 15 msec postuliert. Mit dieser Annahme erübrigen sich Analysen von dynamischen Belastungen aus unterkritischen Rissen.

(3) Für die Standsicherheit des Dampferzeugers sind im Hinblick auf den Anschluß des Sekundärkreises folgende formale Annahmen zu treffen (vgl. Kap. 21.1 (2) 3.):

Die Standsicherheit des Dampferzeugers muß für die statische Ersatzkraft P_{ax} zusätzlich zum Eigengewicht gewährleistet sein

Größe: $P_{ax} = 2 \cdot p \cdot F$
 p = Nennbetriebsdruck
 F = offene Querschnittfläche

Angriffspunkt: Mittelpunkt des Rohrquerschnitts im Bereich der ersten Anschlußschweißnaht

Wirkrichtung: Stutzenmittellachse in Richtung Komponente

Diese Kraft wirkt jeweils nur an einem Stutzen. Der Standsicherheitsnachweis muß für jeden Stutzen getrennt geführt werden.

(4) Die Belastungen, die bei einem entsprechend (2) zu unterstellenden Frischdampf- bzw. Speisewasserleitungsbruch oder Offenbleiben eines sekundärseitigen Sicherheitsventils auf die Dampferzeugerheizrohre durch die statische und transiente Beanspruchung (Druckwelle, Strömungskräfte, statische Druckdifferenzen über die Dampferzeugerheizrohre) auftreten, müssen bestimmt werden. Es ist nachzuweisen, daß die Dampferzeugerheizrohre diesen Belastungen standhalten.

Jedoch ist bei der Störfallanalyse für den Frischdampfleitungsbruch grundsätzlich das Versagen einiger weniger Dampferzeugerheizrohre als zufälliger nicht als Folge des Frischdampfleitungsbruchs auftretender zusätzlicher Fehler zu unterstellen, der einhüllend durch die Annahme des vollständigen Bruches (2 F) eines Dampferzeugerheizrohres im betroffenen Dampferzeuger zu berücksichtigen ist.

Ein Einzelfehler an anderer Stelle ist bei dieser Störfallanalyse dann nicht mehr zu unterstellen.

Beim Frischdampfleitungsbruch außerhalb der äußeren Absperrarmatur mit zusätzlichem Einzelfehler "Nicht-Schließen der Absperrarmatur" braucht ein Dampferzeugerheizrohrversagen nicht unterstellt zu werden, wenn der oben genannte Belastungsnachweis positiv geführt worden ist.

Bei Speisewasserleitungsbruch braucht ein Dampferzeugerheizrohrversagen nicht unterstellt zu werden.

Bei Unterstellung von unterkritischen Rissen entsprechend (1) oder Abriß einer Kleinleitung wird kein zusätzliches Dampferzeugerheizrohrversagen überlagert.

(5) Die Auswirkungen eines Frischdampfleitungsbruches sowie einer Kaltwassertransiente auf das Reaktivitätsverhalten und auf die Änderung von Druck und Temperatur im Reaktor sowie die daraus resultierenden Belastungen auf den Reaktordruckbehälter mit seinen Einbauten müssen beherrscht werden.

22. Systeme zur Wärmeabfuhr nach Störfällen

22.1 Kernnot- und Nachkühlsystem

Zur Wärmeabfuhr nach Kühlmittelverluststorfällen muß ein zuverlässig wirksames redundantes Kernnot- und Nachkühlsystem vorhanden sein. Es muß geeignet sein, bei den in Kapitel 21.1 genannten Leckagen und Brüchen in der Druckführenden Umschließung die Kerntemperaturen langfristig auf einem niedrigen Wert zu halten.

22.1.1 Anforderungen

(1) Durch die Kernnotkühlung muß gewährleistet sein, daß:

1. die berechnete maximale Brennstabhüllentemperatur 1200 °C nicht überschreitet,
2. die berechnete Oxidationstiefe der Hülle an keiner Stelle den Wert von 17 % der tatsächlichen Hüllrohrwandstärke überschreitet,
3. bei der Zirkon-Wasser-Reaktion nicht mehr als 1 % des gesamten in den Hüllrohren enthaltenen Zirkoniums reagiert,
4. infolge von Hüllrohrschäden die in Kapitel 2.2 (4) unter Nr. 2 genannten Freisetzungen von Spaltprodukten nicht überschritten werden,
5. keine Änderungen in der Geometrie des Reaktorkerns auftreten, die eine ausreichende Kühlung des Reaktorkerns verhindern.

Die genannten Vorschriften sind bis zur Ablösung durch eine abgestufte Temperatur-Zeit-Funktion zu verwenden.

(2) Auch bei langfristiger Kühlung des Reaktorkerns nach einem Kühlmittelverluststörfall muß die Unterkritikalität des Reaktorkerns gewährleistet sein. Die Wirksamkeit des Schnellabschaltsystems darf bei der Langzeitreaktivitätsbilanz nicht berücksichtigt werden.

22.1.2 Auslegung

(1) Jedes Kernnotkühlteilsystem muß grundsätzlich aus redundanten, nicht vermaschten Strängen bestehen. Die Stränge müssen nicht nur maschinentechnisch, sondern auch bezüglich ihrer Energie- und Medienversorgung und der erforderlichen Instrumentierung und Steuerung getrennt ausgeführt werden (Anforderungen an elektrische Einrichtungen vgl. Kap. 7). Den Strängen gemeinsame aktive Komponenten sind nicht zulässig. Eine gemeinsame Meßwerterfassung zur Ansteuerung redundanter aktiver Sicherheitseinrichtungen ist zulässig, wenn die Anforderungen im Kap. 7 erfüllt werden. Sind gemeinsame Komponenten (z.B. Leitungen) in den Strängen unumgänglich, ist zu zeigen, daß:

1. es möglich ist, sich während des Reaktorbetriebes von der Funktionsbereitschaft der gemeinsamen Komponenten zu überzeugen,
2. ein Versagen der gemeinsamen Komponenten des Kernnotkühlsystems nicht zu einem Kühlmittelverluststörfall führt oder die Wirksamkeit der anderen Kernnotkühlteilsysteme behindert,
3. die Funktion der gemeinsamen Komponenten nicht durch die Folgen eines Kühlmittelverluststorfalles oder in dessen Verlauf beeinträchtigt werden kann,
4. eine derartige Schaltung die Zuverlässigkeit des Kernnotkühlsystems gegenüber einem unvermaschten System nicht verschlechtert.

(2) Der Ausfall eines Kernnotkühlstranges darf unabhängig von der Ausfallursache nicht zum Ausfall eines weiteren Kernnotkühlstranges führen.

(3) Das Kernnotkühlsystem muß bei Auftreten eines Einzelfehlers seine sicherheitstechnische Aufgabe mit ausreichender Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit erfüllen. Dies muß auch während Prüfungen und Reparaturen gewährleistet sein. Wenn bei kurzzeitigen Reparaturen die Gesamtverfügbarkeit des Kernnotkühlsystems nicht wesentlich verschlechtert wird, braucht ein zusätzlicher Einzelfehler bei passiven Systemen nicht vorausgesetzt zu werden.

(4) Der Raum um den Reaktordruckbehälter muß bei einem Leck am Reaktordruckbehälter mindestens bis zur Reaktorkernoberkante geflutet werden können.

(5) Durch Leckagen in Nachkühlern oder Dampferzeugern darf die zum Unterkritischhalten des Reaktors benötigte Borkonzentration im Primärkühlmittel nicht in unzulässigem Maße vermindert werden.

(6) Bei einem Leck im Nachkühlsystem an beliebiger Stelle außerhalb des Sicherheitsbehälters muß der Wasservorrat im Gebäudesumpf für die Kernnotkühlung ausreichend bleiben. Die Funktionsfähigkeit des Nachkühlsystems darf nicht durch Überflutung beeinträchtigt werden.

(7) Um zu verhindern, daß bei einem Leck in der Sumpfsaugleitung zwischen Sicherheitsbehälter und Absperrarmatur während der Kernnot- und Nachkühlphase das Wasser aus dem Sumpf des Sicherheitsbehälters in den Ringraum fließt und dadurch die Kernnot- und Nachkühlung vollständig ausfällt, müssen technische Vorkehrungen getroffen werden (z.B. Doppelrohr).

(8) Die Kernnotkühlteilsysteme müssen vor Störfallfolgen geschützt sein. Insbesondere sind die Auswirkungen von Brüchen druckführender oder rotierender Teile zu berücksichtigen. Die dabei entstehenden Bruchstücke, die Reaktions- und Strahlkräfte sowie der Einfluß von Druck, Temperatur und Feuchte dürfen keine Beeinträchtigung der Kernnotkühlung bewirken. Wegen der geforderten Redundanz müssen räumliche Trennung oder bauliche Schutzmaßnahmen vorgesehen sein, durch die gemeinsame Feh-

lerursachen oder gegenseitige Beeinflussung redundanter Stränge verhindert werden.

(9) Die Kernnotkühlteilsysteme müssen baulich und elektrisch derart ausgeführt sein, daß durch Wassereintrich im Reaktorgebäude die Kernnot- und Nachkühlung des Reaktors nicht gefährdet wird. Dies gilt ebenso für die nachgeschalteten Kühlsysteme. Die wesentlichen aktiven Komponenten der Nachkühlssysteme müssen während des langfristigen Nachkühlvorganges gewartet werden können.

(10) Eine systemtechnische Verknüpfung der Kernnotkühlung mit der Brennelementlagerbeckenkühlung ist nur zulässig, wenn Störungen im Beckenkühlsystem (z.B. Fehlschaltung von Armaturen) nachweislich nicht zu einer nennenswerten Beeinträchtigung der Zuverlässigkeit der Kernnotkühlung führen können. Die zur Umschaltung auf die Beckenkühlung zu betätigenden Armaturen sind soweit möglich und sinnvoll außerhalb des Sicherheitsbehälters anzuordnen.

(11) In Anlagen, bei denen das Kernnotkühlsystem mit dem Brennelementbecken-Kühlsystem systemtechnisch verknüpft ist, ist ein zusätzlicher Beckenkühlstrang vorzusehen. Dieser Strang muß allein in der Lage sein, das Brennelementbecken nach Kühlmittelverluststörfällen zu kühlen. Das System soll soweit möglich und sinnvoll keine aktiven Komponenten innerhalb des Sicherheitsbehälters haben. Armaturen, die zur Inbetriebnahme des Systems betätigt werden müssen, sind soweit möglich und sinnvoll außerhalb des Sicherheitsbehälters anzuordnen.

(12) Die Brennelementbecken-Kühlssysteme sind so zu gestalten, daß auch bei Leckagen an einem der Kühlstränge die Kühlung des Brennelementbeckens über einen anderen Strang gewährleistet werden kann.

(13) Das Kernnotkühlsystem soll so ausgelegt werden, daß folgende Bedingungen erfüllt werden:

1. Angemessene Druck- und Funktionsprüfungen müssen regelmäßig durchführbar sein.
2. Die bauliche Integrität und Leckdichtigkeit seiner Komponenten muß gewährleistet sein.
3. Die Betriebsfähigkeit des gesamten Systems muß unter Bedingungen, die der Auslegung so nahe wie möglich kommen, getestet werden können.
4. Der Ablauf der gesamten Betriebsfolge für die Inbetriebnahme des Systems muß getestet werden können. Hierzu gehören der Betrieb der entsprechenden Teile des Schutzsystems, die Umschaltung von Normal- bzw. Eigenbedarfs- auf Notstromversorgung sowie der Betrieb des zugehörigen Kühlwassersystems.
5. Die Einspeisung des Notkühlmittels in die Druckführende Umschließung nach einer störfallbedingten Anregung muß zuverlässig angezeigt werden. Die hierfür erforderlichen Meßeinrichtungen sollen möglichst nahe bei den Stellen der Einspeisung in die Druckführende Umschließung angebracht werden.

(14) Zur Beherrschung kleiner Lecks müssen folgende Annahmen getroffen bzw. Auslegungsbedingungen erfüllt werden:

1. Komponenten und Systeme, die bei Auftreten kleiner Lecks zusätzlich erforderlich sind, (z.B. Notspeisepumpen, sekundäre Abblasestation sowie ihre Ansteuerungen) müssen als Teilsysteme des Kernnot- und Nachkühlsystems betrachtet werden, für das die Anforderungen an die Auslegung in diesem Kapitel festgelegt sind.

2. Für die Störfallanalyse ist der Ausfall der Eigenbedarfsversorgung zu unterstellen.
3. Sofern zur Störfallbeherrschung unmittelbar eine sekundärseitige Druckabsenkung erforderlich ist, muß diese automatisiert sein.
4. Der Wasservorrat für die Notspeisung sowie für die Flutbehälter muß ausreichend konservativ bemessen sein.
5. Die Antriebe der Notspeisepumpen sind so zu gestalten, daß sie zusätzlich zur Notstromversorgung aus der Eigenbedarfsanlage mit Energie versorgt werden können.

(15) Um bei kleinen Lecks auch bei hypothetischen Ausfallkombinationen im Notkühlsystem die ausreichende Kühlung des Reaktorkerns sicherzustellen, ist die Möglichkeit einer Hochdruckeinspeisung im Sumpfbetrieb vorzusehen. Für die Inbetriebnahme der Hochdruckeinspeisung aus dem Sumpf sind Handmaßnahmen zulässig.

22.1.3 Annahmen für die Kernnotkühlrechnungen

(1) Für jeden relevanten Betriebsbereich sind experimentell abgesicherte analytische Nachweise über die ausreichende Wirksamkeit der Kernnotkühlung vorzulegen. Diese Nachweise sind mit folgenden Annahmen für die Berechnung der Brennstabtemperaturen zu führen (vgl. auch Kap. 22.1.2 (3) und Kap. 21.1):

1. Ausströmrates

Die Ausströmrates im unterkühlten Bereich des Wassers sind mit experimentell belegten Ausströmbeziehungen zu berechnen. Soweit der experimentelle Nachweis nicht erbracht werden kann, ist für die Bestimmung der Sicherheitsbehälterbelastung sowie der Belastungen der Rohrleitungen und der Einbauten der Druckführenden Umschließung nach der Bernoulli-Beziehung zu rechnen. Die Konservativität der verwendeten Ausströmbeziehungen ist auch im Hinblick auf die Ermittlung des Reaktorkerndurchsatzes zu begründen.

Für die kritische Zweiphasenströmung sind nach Möglichkeit neueste experimentelle Ergebnisse zu verwenden. Soweit der experimentelle Nachweis nicht erbracht werden kann, ist die Moody-Beziehung¹⁶⁾ zu verwenden. Die ungünstigsten Auswirkungen auf das Brennstabverhalten sind in einer Parameterstudie für den Ausströmoeffizienten zu ermitteln.

2. Burnout-Verzug

Die Festlegung des Burnout-Zeitpunktes ist für die Ausströmrechnung und für die Heißstabberechnung mit den jeweils als konservativ zu betrachtenden Beziehungen vorzunehmen. Unmittelbar nach Überschreiten der kritischen Heizflächenbelastung sind bis zum Vorliegen relevanter experimenteller Ergebnisse für die Wärmeübergangszahlen Gleichungen für stabiles Filmsieden zu benutzen.

Für sehr große Leckagen ist der Burnout-Zeitpunkt für die Ausström- bzw. Heißstabberechnung durch jeweils konservative Abschätzungen festzulegen.

3. Wärmeübergang beim Ausströmen und vor Trockenlegung des Reaktorkerns

Für die Heißstabberechnung sind nach Überschreiten der kritischen Heizflächenbelastung experimentell gesicherte Wärmeübergangsbeziehungen anzuwenden. Sofern diese nicht vor-

¹⁶⁾ F. J. Moody, Maximum Flow Rate of Single Component, Two Phase Mixture, Trans. AFME, Februar 1965, S. 134-142

liegen, ist die modifizierte Dougall-Rohsenow Gleichung ¹⁷⁾ anzuwenden.

Für die thermohydraulische Analyse des mittleren Kanals ist zu prüfen, ob bei Anwendung anderer Wärmeübergangsbedingungen für Filmsieden thermohydraulische Zustände erreicht werden können, die zu höheren Brennstabtemperaturen im Heißkanal führen.

4. Wärmeübergang vor Flutbeginn

Für die Phase vom Ende des Ausströmens bis zum Erreichen der Kernunterkante durch das Kühlwasser ist mit adiabatischer Kernaufheizung zu rechnen, oder es sind die Wärmeübergangszahlen anhand experimenteller Ergebnisse nachzuweisen.

5. Leckage aus der Bruchstelle

Das direkt zur Bruchstelle beförderte Wasser darf nicht für die Kühlung des Kerns berücksichtigt werden.

6. Wärmeübergang beim Wiederauffüllen

Oberhalb der Quenchfront bzw. zwischen den Quenchfronten ist mit experimentell gesicherten Werten zu rechnen; andernfalls ist die modifizierte Dougall-Rohsenow-Gleichung ¹⁷⁾ zu verwenden.

7. Dampfblockade

Durch geeignete Maßnahmen ist sicherzustellen, daß durch Kondensation oder Ableitung des Dampfes eine Dampfblockade verhindert wird.

8. Pumpenverhalten

Bei der Berücksichtigung des Pumpenverhaltens während der Druckentlastungsphase und der Wiederauffüllphase sind die experimentell nicht hinreichend bestimmten Einflußgrößen durch jeweils konservative Annahmen abzudecken. Mögliche Versperrungen freier Strömungsquerschnitte in der Druckführenden Umschließung durch beschädigte Anlagenteile sind in die Betrachtungen einzubeziehen.

9. Restwassergehalt

Die Analysen zur Kernnotkühlung bei großem Leck in den Rohrleitungen der Druckführenden Umschließung sind auch unter der Annahme durchzuführen, daß nach der Druckentlastungsphase kein Restwasser im Reaktordruckbehälter vorhanden ist. Andere Annahmen über den Restwassergehalt sind zu begründen und durch konservative Rechnung zu belegen.

10. Durchsatzreduktion

Der aus der eindimensionalen Druckentlastungsrechnung resultierende Massenstrom ist für die Heißstab-Temperaturberechnung unter Berücksichtigung thermohydraulisch bedingter Strömungsverteilungen und eventueller Kühlkanalverengungen um 20 % zu reduzieren, solange keine anderen abgesicherten Werte vorliegen.

11. Gegendruck im Sicherheitsbehälter

Den Analysen ist der im Sicherheitsbehälter herrschende um 20 % reduzierte Störfalldruck zugrunde zu legen.

12. Leistungsverteilung im Kern

Für die spezifische Stableistung und Leistungsdichteverteilung im Reaktorkern ist von den ungünstigsten Werten auszugehen, die im bestimmungsgemäßen Betrieb unter Berücksichtigung der Begrenzungseinrichtungen auftreten können.

13. Druckdifferenzen im Reaktordruckbehälter

In den Rechenmodellen, die zu den Analysen herangezogen werden, muß eine zur Ermittlung der Druckdifferenzen im Reaktordruckbehälter geeignete Zonenaufteilung vorgenommen werden.

14. Nachzerfallsleistung des Kerns

Für die Berechnung bis zum Abschluß des Wiederauffüllvorganges ist die Nachzerfallsleistung nach dem ANS-Standard ¹⁸⁾ zuzüglich eines Sicherheitszuschlages von 20 % zu verwenden.

(2) Das Kernnotkühlsystem muß für große Lecks so ausgelegt sein, daß bei Kernnotkühlung nach Beendigung des Wiederauffüllvorganges Dampfabgabe aus der Druckführenden Umschließung langfristig vermieden wird.

(3) Für die Zulaufhöhe der Nachkühlpumpen muß nach Umschaltung auf Sumpfbetrieb mit Atmosphärendruck im Sicherheitsbehälter gerechnet werden.

22.2 Notstandssystem

(1) Bei Funktionsuntüchtigkeit der Warte muß sichergestellt sein, daß die Anlage mit Hilfe des Notstandssystems ohne Handeingriff in einen sicheren Zustand übergeht und mindestens 10 Stunden darin verbleiben kann. Darüber hinaus muß die Anlage mit Hilfe des Notstandssystems durch Abblasen auf der Sekundärseite in einen Zustand gebracht werden können, der die anschließende Nachwärmeabfuhr über das spezielle Notnachkühlsystem erlaubt. Für dieses Notnachkühlsystem ist keine Redundanz erforderlich.

Notstandsmaßnahmen, für die eine hinreichende Karenzzeit besteht oder für deren Auslösung durch administrative Maßnahmen Vorsorge getroffen werden kann, müssen nicht automatisiert werden. Zur Langzeitbeherrschung des Notstandsfalls kann auf örtliche Hilfsmaßnahmen zurückgegriffen werden.

(2) Das Notstandssystem soll im einzelnen folgenden sicherheitstechnischen Anforderungen genügen:

1. Komponenten und Teilsysteme des Notstandssystems müssen gegen äußere Einwirkungen und Einwirkungen Dritter besonders geschützt werden,
2. Durch eine konsequente Trennung des Notstandssystems von anderen Kernkraftwerkssystemen muß sichergestellt sein, daß die Funktion des Notstandssystems nicht durch Schäden in zerstörbaren Anlagenbereichen unzulässig beeinträchtigt werden kann. Dies gilt sowohl für verfahrenstechnische Systeme als auch für die Energieversorgung und das Reaktorschutzsystem.
3. Durch die Trennung muß darüber hinaus sichergestellt werden, daß Fremdeingriffe und Fehlbedienungen auf der Warte oder in anderen nicht besonders geschützten Anlagenbereichen nicht zu einer unzulässigen Beeinträchtigung der Funktion des Notstandssystems führen können.

¹⁷⁾ R. S. Dougall, W. M. Rohsenow, Film Boiling on the Inside of Vertical Tubes with Upward Flow of the Fluid at Low Qualities, MIT-Report 9079-26, Cambridge, Massachusetts, September 1963

¹⁸⁾ Proposed ANS-Standard. Decay Energy Release Rates Following Shutdown of Uranium-Fueled Thermal Reactors, ANS -5.1, Decay Heat Power in LWR, Revised Standard 6.78

4. An dem Notstandssystem dürfen weder aus betrieblichen Gründen noch zu Prüfzwecken Eingriffe vorgenommen werden, die, wenn sie im Notstandsfall nicht mehr zurückgenommen bzw. zu Ende geführt werden können, zu einer unzulässigen Beeinträchtigung der Funktion des Systems führen können.

23. Fernbetätigte Entgasung des Primärsystems

Damit bei einem Kühlmittelverluststörfall auch die Möglichkeit besteht, das Primärsystem ggf. zu entgasen, ist

- für Anlagen mit U-Rohrdampferzeugern eine Verbindung zwischen Reaktordruckbehälter und Druckhalter, bzw. Abblasebehälter,
- für Anlagen mit Geradrohrdampferzeuger eine Verbindung zwischen den höchsten Punkten des Primärsystems und dem Druckhalter- Abblasebehälter

vorzusehen. Die Ansteuerung der Armaturen soll fernbetätigt von Hand erfolgen. Es ist eine Absicherung gegen Fehlbedienung vorzusehen. Die Einrichtungen, die zur fernbetätigten Entgasung benötigt werden sind so auszulegen, daß sie den Umgebungsbedingungen bei einem Störfall standhalten.

24. Maßnahmen zur Begrenzung der Wasserstoffkonzentration

(1) Zur Verhinderung einer Explosionsgefahr (oder Brandgefahr) im Sicherheitsbehälter darf zu keiner Zeit weder integral noch lokal sowohl während des Betriebes als auch infolge eines Kühlmittelverluststörfalls die Zündgrenze des Wasserstoffs (4 % Wasserstoff in Luft) überschritten werden.

Sofern nicht nachgewiesen werden kann, daß Gemische mit höherer Wasserstoffkonzentration - auch in örtlich begrenzten Bereichen - nicht auftreten, müssen wirksame Gegenmaßnahmen vorgesehen werden.

(2) Das Überwachungssystem

1. Aufgabe des Überwachungssystems

Die örtliche und zeitliche Verteilung von Wasserstoff infolge eines Kühlmittelverluststörfalls muß überwacht werden. Es muß ein Meßsystem vorhanden sein, welches auch unter den nach einem Störfall zu erwartenden Bedingungen eine zuverlässige Bestimmung der Wasserstoffverteilung innerhalb der kritischen Bereiche des Sicherheitsbehälters sicherstellt.

2. Auslegung des Überwachungssystems

- Zur Auslegung des Überwachungssystems sind geeignete Rechenverfahren zur Bestimmung der zu erwartenden örtlichen und zeitlichen Wasserstoffverteilung anzuwenden. Aufgrund dieser Rechnungen sind Meßstellen festzulegen, die eine zuverlässige Überwachung der Wasserstoffkonzentration ermöglichen.
- Zur Berücksichtigung der Einflußgrößen Temperatur, Druck und Feuchte sind bei den Meßstellen die Temperaturen zu messen. Druckwerte können der übrigen Störfallfolgeinstrumentierung entnommen werden. Im übrigen gelten die Bestimmungen zur Störfallfolgeinstrumentierung (Kap. 25.3).

- Die Aktivität der entnommenen Gasproben muß gemessen werden können.

(3) Wasserstoffbildung und Freisetzung

Für die Wasserstoffbildung nach dem Kühlmittelverluststörfall sind folgende Quellen zu berücksichtigen:

- Radiolyse im Kern
- Radiolyse im Sumpf
- Radiolyse im Brennelementlagerbecken
- Metall-Wasser-Reaktion im Kern
- sonstige Metall-Wasser-Reaktionen

Die Berechnung der Wasserstoffbildung ist für mindestens 100 Tage nach Störfalleintritt durchzuführen. Hierbei ist der aus Metall-Wasser-Reaktionen stammende Wasserstoff als sofort freigesetzt, näherungsweise homogen verteilt anzunehmen. Der langfristige durch Radiolyse entstehende Wasserstoff ist als mit bzw. aus dem Kühlmittel kontinuierlich freigesetzt zu betrachten. Hierbei muß der Freisetzungsort berücksichtigt werden.

Für die Berechnung der Wasserstoffquellstärken gelten folgende Vorschriften:

1. Nettoentstehungsraten für Kern- und Sumpf-Radiolyse

$G(H_2)$ -Wert: 0,44 Moleküle/100 eV

Dieser Wert stellt die experimentell abgesicherte obere Grenze der Bildungsrate für die zu erwartende wirksame Strahlung dar.

2. Wirksame Nachzerfallsleistung des Kerns

- Als Quelle der radiolytisch wirkenden Strahlung ist mindestens der der vorgesehenen Abbrandstrategie entsprechende Gleichgewichtskern am Zyklusende anzunehmen, wobei die Spaltstoffzusammensetzung einschließlich der Aktivierungsprodukte der im Kern befindlichen Brennelemente zu berücksichtigen ist. Für die Berechnung der Zeitfunktion der γ -Nachzerfallsleistung $P(t)$ sind die Werte von Shure¹⁹⁾ zugrunde zu legen und mit einem Zuschlag von 20 % zu versehen.
- Der im Kühlmittel absorbierte Anteil der γ -Nachzerfallsleistung ist als Zeitfunktion zu ermitteln. Sind die für die Berechnung vereinfachenden Annahmen erforderlich (z.B. Einteilung in Energiegruppen, Vereinfachung der Reaktorkern- Geometrie), so ist der Nachweis zu führen, daß diese Annahmen zu konservativen Werten führen. Andernfalls ist ein zeitlich konstanter Wert von 10 % zu verwenden.
- Eine Absorption von β -Strahlung im Kühlmittel braucht wegen des Selbstabschirmungseffekts nicht berücksichtigt zu werden.

3. Wirksame Nachzerfallsleistung im Sumpf

Für die in das Kühlmittel freigesetzten Spaltprodukte sind die in Kap. 22.1.1 (1) Pkt. 4 genannten Werte konservativ auch dann zugrunde zulegen, wenn die Auslegung der Kernnotkühlung niedrigere Werte erwarten läßt. Für die Radiolyseberechnung ist anzunehmen, daß sich die freigesetzten Spaltprodukte

¹⁹⁾ K. Shure, Fission Product Decay Energy, WAPD-BT-24, 1961
Abweichende Werte und Rechenverfahren können zugelassen werden, wenn der Hersteller entsprechende Nachweise vorlegt.

vollständig im Kühlmittel befinden und ihre γ - und β -Strahlungsenergie zu 100 % vom Sumpfwasser absorbiert wird.

4. Radiolyse im Brennelement-Lagerbecken

Die Radiolyse im Brennelement-Lagerbecken ist zu berücksichtigen.

5. Metall-Wasser-Reaktion im Reaktorkern

Zur Berechnung der reagierenden Zirkonmenge ist die Baker-Just-Gleichung²⁰⁾ zu verwenden. Der zeitliche und räumliche Temperaturverlauf ist den Ergebnissen der Kernnotkühlrechnungen zu entnehmen.

6. Sonstige Metall-Wasser-Reaktionen

Sonstige Metall-Wasser-Reaktionen brauchen dann nicht berücksichtigt zu werden, wenn der Nachweis erbracht ist, daß aus ihnen keine nennenswerten Wasserstoffmengen freigesetzt werden.

(4) Maßnahmen zur Verhinderung von zündfähigen Wasserstoffkonzentrationen

Für Maßnahmen zur Verhinderung von zündfähigen Wasserstoffkonzentrationen in der Sicherheitsbehälteratmosphäre nach einem Kühlmittelverluststörfall gelten folgende Grundsätze:

1. Ergeben die Berechnungen, daß in Teilbereichen des Sicherheitsbehälters die Wasserstoffkonzentration auf Werte oberhalb der Zündgrenze ansteigen kann, so sind aktive Einrichtungen vorzusehen, die eine ausreichende Zwangsdurchmischung der Sicherheitsbehälteratmosphäre sicherstellen.
2. Ergibt die Berechnung der integralen Wasserstoffkonzentration, daß ein Volumengehalt von 4 % nicht ausgeschlossen werden kann, gilt folgendes:
 - Es muß gezeigt werden, daß am Sicherheitsbehälter geeignete Anschlußmöglichkeiten für einen Störfallrekombinator vorgesehen sind. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn ein Rekombinatorsystem, das bei einem Störfall eingesetzt werden kann, fest installiert ist.
 - Von den Betreibern der Kernkraftwerke ist dafür Sorge zu tragen, daß bei einem Störfall der rechtzeitige und zuverlässige Einsatz von Störfallrekombinatoren gewährleistet ist.
 - Der Durchsatz des Störfallrekombinators ist so zu bemessen, daß die integrale Wasserstoffkonzentration bei maximaler Vorbelastung durch Wasserstoff aus der Zr-H₂O Reaktion, gemäß (3), stets unter der Zündgrenze von 4 % Volumengehalt bleibt.
 - Die Auslegung des Störfallrekombinators muß seine zuverlässige Verfügbarkeit und Funktion gewährleisten, auch unter den Bedingungen die zum Zeitpunkt der notwendigen Einschaltung innerhalb des Sicherheitsbehälters herrschen. Es ist nachzuweisen, daß die unter konservativen Randbedingungen ermittelte Spaltproduktbelastung des Störfallrekombinators durch luftgetragene Halogene und flüchtige Feststoffe und die daraus resultierende Wärmetönung im Störfallrekombinator den Störfallbetrieb unter radiologischen und sicherheitstechnischen Gesichtspunkten nicht unzulässig beeinträchtigen.
 - Der Aufstellungsort des Störfallrekombinators soll im Hinblick auf die Möglichkeit, daß nach Störfällen u. U. erhebliche

Aktivitätsmengen aus dem Sicherheitsbehälter in den Rekombinatorstrang verlagert werden, so nah wie von der Zugänglichkeit her möglich, am Sicherheitsbehälter liegen. Der Aufstellungsort und Räume außerhalb des Sicherheitsbehälters, durch die die Zu- und Ableitungen des Störfallrekombinatorsystems geführt werden, sind über Aerosol- und Jodfilter zu entlüften, um unzulässige radioaktive Freisetzungen über eventuelle Leckagen zu vermeiden. Die Rohrleitungen sind entsprechend abzuschirmen.

3. Als Planungsmaßnahmen zur Verringerung der integralen Wasserstoffkonzentration ist ein Aufpumpen des Sicherheitsbehälters nicht zulässig.

(5) Sicherheitsanforderungen

1. Aktive Maßnahmen müssen rechtzeitig vor aber auch bei unterstellter Wasserstoffkonzentration von 4 % Volumengehalt noch eingesetzt werden können.
2. Der Einsatz solcher Maßnahmen kann auf den Anforderungsfall beschränkt bleiben, d.h. aufgrund von Messungen mit Hilfe des Überwachungssystems. Ein Einzelfehler ist beim Einsatz solcher Maßnahmen nicht zu unterstellen, soweit Reparatur oder Ersatzmaßnahmen möglich sind.
3. Die Ansteuerung kann - da es sich um ein Langzeitproblem handelt - von Hand geschehen.

25. Störfallinstrumentierung

25.1 Allgemeine Anforderungen

- (1) Die Störfallinstrumentierung hat die Aufgabe, vor, während und nach
 - einem Störfall oder
 - einem Ereignis, das zu einer erhöhten Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Kernkraftwerksumgebung führen kann,
 einen Überblick über den Betriebszustand zu ermöglichen und alle den Anlagenzustand beschreibenden wesentlichen Daten sowie die wichtigsten Wetterdaten anzuzeigen und zeitgerecht zu dokumentieren.
- (2) Zur Erfüllung ihrer Aufgabe ist die Störfallinstrumentierung in eine Störfallablaufinstrumentierung und in eine Störfallfolgeinstrumentierung zu unterteilen.
- (3) Die Störfallfestigkeit der Störfallinstrumentierung ist, soweit erforderlich, vor deren Einsatz nachzuweisen.
- (4) Die Einrichtungen der Störfallinstrumentierung sind an eine unterbrechungslose Notstromversorgung des Notstromsystems anzuschließen.
- (5) Für jede erfaßte Meßgröße der Störfallinstrumentierung muß die Tageszeit aus den zugehörigen Dokumentationsunterlagen so genau bestimmt werden können, daß eine zeitliche Zuordnung zu Daten aus anderen Informationsquellen möglich ist.
- (6) Die Dokumentationseinrichtungen sind so auszulegen, daß das Zeitverhalten der Meßgrößen mit ausreichender Genauigkeit erfaßt wird.
- (7) Zur Begutachtung sind Unterlagen vorzulegen, die das Auslegungskonzept und die sicherheitstechnisch wichtigen Einzelheiten der Störfallinstrumentierung prüffähig beschreiben.

25.2 Störfallablaufinstrumentierung

- (1) Die Störfallablaufinstrumentierung ist so auszulegen, daß die zur Feststellung eines Störfallablaufs ausgewählten Zustandsgrößen

²⁰⁾ L. Baker Jr., W. C. Just, Studies of Metal-Water-Reactions of High Temperatures III, Experimental and Theoretical Studies of the Zirconium-Water-Reaction, ANL-6548, 1962

ben übersichtlich und in der richtigen zeitlichen Folge dokumentiert werden.

(2) Die Störfallablaufinstrumentierung muß grundsätzlich jederzeit in Betrieb sein. Eine eingeschränkte Funktionsfähigkeit (z.B. bei erforderlichen Instandsetzungsarbeiten) ist zulässig, wenn im Bedarfsfall eine ausreichende Mindestinformation durch den funktionsfähigen Teil der Störfallinstrumentierung gewährleistet ist. Die vollständige Funktionsfähigkeit der Störfallablaufinstrumentierung ist so schnell wie möglich wiederherzustellen.

(3) Es ist festzulegen, welche Einrichtungen der Störfallablaufinstrumentierung auch bei abgefahrter Reaktoranlage in Betrieb sein müssen.

(4) Für die Aufzeichnung und Speicherung der Störfallablaufdaten sind zwei möglichst diversitäre Datenspeicher einzusetzen. Der Ausfall eines Datenspeichers ist anzuzeigen.

(5) Die bei Störfallabläufen aufgezeichneten Störfallablaufdaten sind gesichert aufzubewahren. Es ist sicherzustellen, daß diese Daten weder verändert noch gelöscht werden.

(6) Die nach Eintritt eines anlageninternen Störfalls auftretenden Umgebungsbedingungen dürfen nicht zum Ausfall der zur Störfallbeurteilung erforderlichen Meßeinrichtungen und Informationsführen führen.

25.3 Störfallfolgeinstrumentierung

25.3.1 Auslegung

(1) Die Störfallfolgeinstrumentierung ist so auszulegen, daß die Daten, die nach Eintreten

- eines Störfalls oder
- eines Ereignisses, das zu einer erhöhten Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Kernkraftwerksumgebung führen kann,

für die Beurteilung der Anlagensicherheit, der Wirksamkeit des Sicherheitssystems und für die Entscheidung über Notfallschutzmaßnahmen²¹⁾ eine entscheidende sicherheitstechnische Bedeutung haben, zuverlässig und ausreichend genau angezeigt und dokumentiert werden.

(2) Die Störfallfolgeinstrumentierung muß in bezug auf Meßbereiche, Störfallfestigkeit, Zuverlässigkeit und Genauigkeit so ausgelegt werden, daß sich das Bedienungspersonal auf diese Instrumentierung jederzeit verlassen kann.

(3) Es sind eignungsgeprüfte oder für den Einsatzfall und für die unterstellten Einsatzbedingungen bewährte und möglichst wartungsfreie Geräte zu verwenden.

(4) Die Einrichtungen zur Erfassung, Verarbeitung und Dokumentation der Meßgrößen sind technisch so einfach wie möglich aufzubauen.

(5) Es sind zum Beispiel folgende Meßgrößen anzuzeigen und zu dokumentieren:

- Druck in der Druckführenden Umschließung
- Kühlmittel- und -austrittstemperaturen in den Hauptkühlkreisläufen

- Siedeabstand (Druck und Temperatur)
- Neutronenflußdichte
- Füllstand im Primärsystem²²⁾
- Füllstand im Druckhalter
- Füllstände im Sekundärsystem
- Druck im Sicherheitsbehälter
- Temperatur der Sicherheitsbehälteratmosphäre
- Temperatur im Brennelementlagerbecken
- Ortsdosisleistung an der Personenschleuse
- Aktivität der Kaminfortluft (Aktivitätskonzentration und Durchsatz) aufgetrennt in Edelgase, Aerosole und Jod
- Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Ausbreitungskategorie (z.B. durch Erfassung des Temperaturgradienten)

(6) Die Einrichtungen zur Messung der Kernaustrittstemperaturen sind so auszulegen, daß Temperaturen bis ca. 1000 °C erfaßt werden können.

(7) Die Meßgrößen der Störfallfolgeinstrumentierung sind grundsätzlich in der Schaltwarte des Kernkraftwerkes und in der Notsteuerstelle anzuzeigen und aufzuzeichnen.

(8) Durch Störfälle und deren Folgen darf die Funktion der Störfallfolgeinstrumentierung nicht so beeinträchtigt werden, daß die Erfassung, Anzeige und Aufzeichnung der Störfallfolgemeßgrößen verhindert wird. Meßstellen außerhalb der Reaktoranlage sind so anzuordnen und zu installieren, daß ein Ausfall dieser Meßstellen zusammen mit sicherheitstechnisch wichtigen Teilen der Anlage durch Einwirkungen von außen hinreichend unwahrscheinlich ist.

(9) Eine redundante Meßwerterfassung und Meßwertverarbeitung für eine Meßgröße ist nicht erforderlich, wenn nachgewiesen wird, daß

- der Informationsgehalt dieser Meßgröße auch durch Meßwerte anderer Meßgrößen der Störfallfolgeinstrumentierung - oder durch Meßgrößen einer nachweislich gleichwertigen Instrumentierung - vermittelt werden kann
- oder der Ausfall von Meßwerten einer Meßgröße im Bedarfsfall für eine bestimmte Zeitdauer akzeptiert und innerhalb dieser Zeit unter den dann herrschenden Bedingungen der Ausfall behoben oder eine Ersatzlösung realisiert werden kann.

(10) Die Einrichtungen der Störfallfolgeinstrumentierung im gegen Einwirkungen von außen ungeschützten Bereich sind rückwirkungsfrei von den Einrichtungen des geschützten Bereichs zu entkoppeln.

(11) Die Anzeigeeinrichtungen sind so auszulegen, daß sie eindeutig und mühelos abgelesen werden können.

(12) Die Anzeige- und Dokumentationseinrichtungen sind übersichtlich anzuordnen und deutlich und eindeutig zu kennzeichnen.

(13) Die Störfallfolgeinstrumentierung ist so auszulegen, daß jederzeit ihre lückenlose Überprüfung möglich ist. Die Prüfungen sollen leicht durchführbar sein.

²¹⁾ Hinweis: Um Notfallschutzmaßnahmen einleiten und durchführen zu können, ist neben der im Kap. 25 geforderten Störfallinstrumentierung innerhalb der Anlage eine rasche Durchführung von Messungen außerhalb der Anlage in der Kernkraftwerksumgebung sicherzustellen. (Siehe "Empfehlung zur Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken", verabschiedet im Länderausschuß für Atomenergie am 15. und 16.6.1976)

²²⁾ Hinweis: Es ist eine Meßrichtung vorzusehen, die dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht und Aussagen über die Bedekung des Reaktorkerns ermöglicht.

25.3.2 Funktionsprüfungen

(1) Die Funktionsfähigkeit der Störfallfolgeinstrumentierung ist während der Nutzungsdauer der Anlage durch geeignete Prüfungen nachzuweisen. Diese Prüfungen müssen alle funktionswichtigen Komponenten erfassen.

(2) Art und Umfang der Prüfungen und die Zeitabstände zwischen den Prüfungen sind festzulegen.

(3) Die Ergebnisse der Prüfungen sind zu dokumentieren.

BAnz Nr. 69 vom 14.04.1982, Beilage Nr. 19/82

1. Änderung: Neufassung des Abschnitts 21.2 der Leitlinie (Empfehlung aus der 181. RSK-Sitzung am 15.12.1982)
BAnz Nr. 106 vom 10.06.1983
2. Änderung: Neufassung des Abschnitts 21.1 der Leitlinie (Empfehlung aus der 194. RSK-Sitzung am 21.03.1984)
BAnz Nr. 104 vom 05.06.1984
3. Änderung: Neufassung des Abschnitts 7 der Leitlinie (Empfehlung aus der 298. RSK-Sitzung am 20.03.1996)
BAnz Nr. 158a vom 23.08.1996
4. Änderung: Berichtigung (BMU-Bekanntmachung vom 29.10.1996)
BAnz Nr. 214 vom 15.11.1996