
RSK-Empfehlung

(475. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 15.04.2015)

Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter

1 Anlass der Beratung

Die RSK wurde auf ihrer 458. Sitzung am 23.05.2013 über die Ergebnisse eines ENSREG-Workshops in Brüssel über die nach dem EU-Stresstest aufgestellten „Nationalen Aktionspläne“ informiert. Dabei wurde berichtet, dass bislang im deutschen Aktionsplan zum Thema Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter, das als Konsequenz der in Fukushima eingetretenen Wasserstoffexplosionen diskutiert wird, keine Aussagen gemacht werden.

In Fukushima kam es

- vermutlich zu einem Übertrag von Wasserstoff beim Venting aus Block 3 in das Reaktorgebäude von Block 4 mit anschließender Wasserstoffexplosion im Block 4, da die genutzten Abluftsysteme vor dem gemeinsamen Kamin zusammengeführt und Strömungen in den Block 4 nicht durch entsprechende Vorkehrungen verhindert wurden;
- zu Leckagen von Wasserstoff aus den Sicherheitsbehältern der Blöcke 1, 2 und 3 in das jeweilige Reaktorgebäude, insbesondere bedingt durch die aufgetretenen hohen Drücke und Temperaturen in den Sicherheitsbehältern, die in Folge zu Wasserstoffexplosionen in den Blöcken 1 und 3 führten (in Block 2 ist eine Ansammlung von Wasserstoff vermutlich durch Öffnungen am Reaktorgebäude verhindert worden).

Hintergrund der Beschäftigung mit diesem Thema ist daher die Besorgnis, dass ggf. Wasserstoff-Leckagen aus dem Sicherheitsbehälter (SHB) in Räumlichkeiten außerhalb des SHB eintreten können, diese Räume möglicherweise nicht auf Wasserstoff überwacht werden und/oder keine Maßnahmen zum Umgang mit Wasserstoff darin vorhanden sind.

Die RSK hat den Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK (AST) in ihrer 458. Sitzung am 25.05.2013 gebeten, das Thema „Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des Sicherheitsbehälters“ generisch zu beraten. Die RSK beriet und verabschiedete die vom Ausschuss AST vorbereitete Stellungnahme in ihrer 475. Sitzung am 15.04.2015.

2 Sachstand

Wasserstoff außerhalb des Sicherheitsbehälters kann

-
- bei einer gefilterten Druckentlastung des SHB in den Ventingleitungen, in ggf. genutzten sonstigen Abluftleitungen oder im Kamin, sowie,
 - bei Leckagen aus dem Sicherheitsbehälter im Reaktorgebäude und ggf. in angrenzenden Gebäuden

aufzutreten. Im Folgenden werden diese beiden Aspekte in jeweils eigenen Abschnitten behandelt.

Szenarien, die unmittelbar zu auslegungsüberschreitenden Freisetzungen von Wasserstoff aus dem SHB führen, wie beispielsweise ein Mehrfachversagen von SHB-Abschlussarmaturen bzw. SHB-Bypass-Szenarien werden aufgrund ihrer geringen Eintrittshäufigkeit nicht betrachtet. Ebenso werden Unfallabläufe während des Nichtleistungsbetriebs, bei denen der SHB nicht rechtzeitig geschlossen werden kann, nicht betrachtet.

Szenarien nach einem großflächigen Versagen des Sicherheitsbehälters infolge Schmelzeeinwirkung werden aufgrund der zu unterstellenden unmittelbaren Wasserstoffexplosion im Reaktorgebäude (Ringraum) nicht betrachtet.

2.1 Gefilterte Druckentlastung des Sicherheitsbehälters

Generell sind die zur Einleitung und Durchführung von präventiven und mitigativen Notfallmaßnahmen erforderlichen Handlungen, zu letzteren zählt die gefilterte Druckentlastung des SHB, im Notfallhandbuch aufgeführt. Darüber hinaus wurden in allen deutschen Anlagen seit 2013 Handbücher zu mitigativen Notfallmaßnahmen (HMN) als Severe Accident Management Guidelines (SAMG) zur Unterstützung der Arbeit des anlageninternen Krisenstabes eingeführt. Diese greifen die bereits existierenden und in den NHB der Anlage beschriebenen mitigativen Notfallmaßnahmen wieder mit auf und sind u.a. nach verschiedenen Gefährdungszuständen des SHB strukturiert.

Die Anforderungen an die gefilterte Druckentlastung (Venting) sind in zusammengefasster Form im Grundlagenpapier KTA-GS-66 [1] zusammengestellt. Die RSK hatte in ihrer 218. Sitzung am 17.12.1986 eine diesbezügliche Empfehlung zur Auslegung für DWR und auf ihrer 222. Sitzung vom 24.06.1987 für SWR verabschiedet. Die abschließende Stellungnahme mit Anforderungen an die Filterauslegung wurde im Ergebnisprotokoll der 263. RSK Sitzung am 24.06.1991 als Anlage 6 veröffentlicht. Die Systeme wurden danach in unterschiedlicher Ausführung mit Trockenfiltersystemen oder Venturiwäschern und mit unterschiedlicher Leitungsführung bis zur Freisetzung in die Umgebung implementiert. Eine Übersicht wurde im Rahmen des ENSREG-Stresstests erstellt, Anforderungen an die Überprüfung der Systeme sind in [5,17] aufgeführt.

Zum Thema „Wasserstofffreisetzung beim Venting des Sicherheitsbehälters“ liegt zudem die in Folge des Unfalls in Fukushima erstellte GRS-Weiterleitungsnachricht (WLN) 2012/02 [5] vor, in der zusätzliche Anforderungen hinsichtlich einer Überprüfung der Ventingsysteme formuliert wurden. Dieser WLN zufolge soll das System zur gefilterten SHB-Druckentlastung dahingehend analysiert werden, ob im Zusammenhang mit dem Druckentlastungsvorgang stehende potentielle H₂-Verbrennungsvorgänge auch in den Ventingleitungen und gegebenenfalls in den Sammelräumen für die Fortluft oder in Bereichen des Reaktorgebäudes ausgeschlossen werden können. Zudem sind gemäß der WLN wirksame Vorkehrungen gegen direkte Auswirkungen auf einen Nachbarblock z. B. durch den Übertrag von H₂ oder Radionukliden über gemeinsam genutzte Systeme und Leitungen vorzusehen. Gemäß der RSK-Stellungnahme (450. Sitzung) sind die Einrichtungen

zur gefilterten Druckentlastung so abzusichern, dass die Druckentlastung auch bei bzw. nach Bemessungs-EVA und bei Station Blackout wiederholt durchgeführt werden kann.

Eine Druckentlastung des Reaktorsicherheitsbehälters (Venting) ist erforderlich, wenn bei einem auslegungsüberschreitenden Ereignis vorgelagerte Notfallmaßnahmen nicht erfolgreich waren und es zu einem Druckaufbau im SHB kommt oder kommen kann, der die Integrität des SHB gefährdet. Generelle Ziele des Venting sind, ein Versagen des Containments durch anhaltenden Druckanstieg zu verhindern und eine radioaktive Freisetzung durch eine gefilterte Abgabe zu minimieren. Die zur Durchführung erforderliche Prozedur ist im Notfallhandbuch der Anlage beschrieben und kann ggf. unterbrochen oder wiederholt werden. Kriterien zur Vorbereitung und Beendigung der Maßnahme sind ebenfalls festgelegt. Sie werden mit der Einführung des HMN ggf. erweitert.

In den laufenden deutschen DWR-Anlagen sind alternativ zwei Filtersysteme nachgerüstet worden: Eine Kombination aus Metallfaservliesfilter und Molekularsieb oder eine Kombination aus Gleitdruck-Venturiwäscher und Metallvliesfilter. Der Auslegungsdruck des Ventingsystems liegt oberhalb des Auslegungsdrucks des Sicherheitsbehälters. Bei den laufenden SWR besteht das von beiden Blöcken gemeinsam genutzte Filtersystem aus einer Kombination von Gleitdruck-Venturiwäscher und Metallfaservliesfilter. Bei den SWR ist das System zur gefilterten Druckentlastung während des Betriebs mit Stickstoff unter Überdruck gefüllt und wird auf Dichtheit überwacht.

Die Ableitung des Gasgemisches nach dem Filter erfolgt im SWR über eine separate Reingasleitung bis zur Umgebung, während bei den DWR dies anlagenspezifisch unterschiedlich ist und über eine Einbindung der Reingasleitung nahe Kamin in Abluftsysteme der Gebäude oder direkt in den Kamin erfolgt [11].

Abschätzung der Wasserstofffreisetzung beim Venting und möglicher Verbrennungen

Zur Frage, ob während der gefilterten Druckentlastung brennbare Gasgemische im Ventingsystem entstehen können, sind bis ca. 2001 von der GRS exemplarisch Untersuchungen für DWR KONVOI im Rahmen einer PSA der Stufe 2 durchgeführt worden [11, 16]. Mit der dort getroffenen Annahme, dass die Lüftungssysteme der Gebäude beim Venting nicht betrieben werden, gab es darin einen Hinweis auf die Gefahr von Wasserstoffverbrennungen im Ventingsystem von DWR nach Einbindung der Ventingleitung in das Abluftsystem vor dem Kamineintritt.

Im Rahmen eines laufenden Vorhabens des BMUB analysiert die GRS derzeit die Belastung mit Radionukliden von Gleitdruckwäschern in SHB-Ventingsystemen von Konvoi-DWR (Referenzanlage GKN-2) und von SWR-72 bei jeweils 2 charakteristischen Unfallabläufen. Analysen zur H₂-Situation in der Reingasstrecke sind dabei gemäß [11] kein gesonderter Arbeitspunkt, so dass die nachfolgend dargestellten Erkenntnisse bisher auf einer nur groben Modellierung der Gegebenheiten für DWR beruhen.

Hierbei kommt die GRS für ein DWR-Ventingsystem (Beispiel der Referenzanlage GKN-2) zu dem vorläufigen Ergebnis, dass zu Beginn der Druckentlastung für einen begrenzten Zeitbereich brennbare Gasgemischzustände in der Abluftkammer und im Kamin auftreten können, wenn kein Lüftungssystem läuft. Laufende Lüftungssysteme, zu deren Betrieb eine Spannungsversorgung erforderlich ist, verhindern die Bildung brennbarer Gasgemische in der gemeinsam genutzten Abluftstrecke inkl. Kamin. Aus derzeitiger Sicht der

GRS [11] sind für den Fall ohne Lüftungssysteme insbesondere im oberen Teil des Kamins brennbare Zustände zu erwarten, da Gegenströmungen wegen der geringen Gasgeschwindigkeit am Kaminaustritt und des vergleichsweise großen Durchmessers des Kamins möglich sind; nach Beendigung der Druckentlastung können daher brennbare Gemische in größeren Bereichen des Kamins auftreten, da dort noch Wasserstoff aus dem beendeten Druckentlastungsvorgang vorhanden sein kann.

Für SWR-72 sind nach Ansicht der GRS derartige Zustände nicht zu erwarten, da die Reingasleitung vom Austritt des Wäschers bis zum Kaminaustritt separat geführt ist und mit DN350 einen wesentlich kleineren Durchmesser aufweist, als der bei DWR genutzte Kamin zur Ableitung der Gase beim Venting. Außerdem wird bei der Reingasleitung eine passive Durchströmung (vergleichbar zum Naturzug in einem Kamin) durch das Schließen von Ventilen hinter dem Venturiwäscher unterbunden. Darüber hinaus sind auch direkte Auswirkungen auf den Nachbarblock durch das gemeinsam genutzte System, z. B. durch Übertrag von Gasen, durch die administrativen und konstruktiven Gegebenheiten gemäß [20] ausgeschlossen.

2.2 Leckagen aus dem Sicherheitsbehälter

- **SWR-72**

Gemäß [15] gelten für den SWR-72 folgende Sachverhalte:

Auslegungsmerkmale

Der Auslegung des Sicherheitsbehälters für Ereignisse bis zur Sicherheitsebene 3 liegt die Auslegungsspezifikation zugrunde. Die hinsichtlich der Gewährleistung der Dichtefunktion und Integrität des SHB notwendigen Bauteile wie Ladedeckel, Montageöffnungen und Schleusen sind festigkeitsmäßig in Verbindung mit der Werkstoffauswahl anforderungsgerecht ausgelegt. Die Zähigkeits- und Festigkeitsanforderungen an den Werkstoff in Verbindung mit der Spannungsabsicherung entsprechen den KTA-Regeln 3401.1 und 3401.2.

Der Auslegungsdruck des SHB beträgt $3,3 \text{ bar}_i$, der Prüfdruck $3,6 \text{ bar}_i$ und der Versagensdruck wurde im Genehmigungsverfahren mit 10 bar_i berechnet. Die maximal zulässige Leckagerate bei Auslegungsdruck beträgt 1 vol.-% pro Tag ; bei wiederkehrenden Prüfungen (WKP) wurde eine durchschnittliche Leckagerate von $0,5 \text{ vol.-% pro Tag}$ gemessen. Beim SWR-72 ist ein redundantes notstromgesichertes Leckabsaugesystem vorhanden, mit dem bei Störfällen die Rückförderung von eventuell auftretenden Leckagen an Schleusen und Lüftungsklappen in den SHB erfolgt.

Das Reaktorgebäude ist mit einer redundanten notstromgesicherten Störfallunterdruckhalteanlage ausgestattet, die im Anforderungsfall eine Gasmenge von $4600 \text{ m}^3/\text{h}$ absaugt, filtert und über den Kamin abgibt.

Zur Messung der Wasserstoff- und Sauerstoffkonzentration im SHB ist ein Wasserstoffüberwachungssystem vorhanden.

Zusätzlich zu dem für Auslegungsstörfälle konzipierten Wasserstoffabbausystem ($2 \times 100 \%$) des SWR sind für auslegungsüberschreitende Ereignisse die Kondensationskammer im Leistungsbetrieb inertisiert und im SHB 78 autokatalytische, passiv arbeitende Rekombinatoren mit einer Wasserstoffabbauleistung von insge-

samt 37 g/s entsprechend 133,2 kg/h installiert, von denen sich 12 in der Kondensationskammer befinden. Der Auslegung lagen die Szenarien Station Blackout (Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung, Ausfall aller aktiven Einspeisesysteme) mit der anfänglichen Dampf- und Wasserstofffreisetzung in die Kondensationskammer und der Frischdampfleitungsbruch mit der Freisetzung von Dampf und Wasserstoff direkt in die Druckkammer zugrunde. Nach Abschätzungen können aufgrund der begrenzten Menge an Sauerstoff in der Druckkammer und der inertisierten Kondensationskammer ca. 350 kg Wasserstoff im gesamten SHB abgebaut werden [14], bis der vorhandene Sauerstoff aufgebraucht ist und sich der Wasserstoff im SHB ansammelt.

Leckagerate in das Reaktorgebäude

Durch periodische Leckratentests des SHB wird sichergestellt, dass die Leckagerate unterhalb der Auslegungsleckagerate liegt. Die Annahme, dass die Leckagerate maximal der Auslegungsleckagerate entspricht, setzt voraus, dass weder durch unfallablaufbedingte Temperaturerhöhungen im SHB noch durch chemische Einwirkungen die Dichtheit vorhandener SHB-Dichtungen signifikant beeinträchtigt wird.

Im Hinblick auf die Einwirkung erhöhter Temperaturen auf die SHB-Dichtungen wurde im Rahmen des Genehmigungsverfahrens bei Untersuchungen des Grenzlastverhaltens des Ladedeckels und der Montageöffnungen berechnet, dass sich bei einem SHB-Druck von 10 bar_i und einer SHB-Temperatur von 200°C am Dichtungsbereich langfristig eine Temperatur von ca. 160°C einstellt. Diese liegt zwar im Bereich der Auslegungstemperatur der Dichtungen, aber die Dichtflächen der Schleusentüren, des Ladedeckels und der Montageöffnungen sind durch in Nuten liegende Polymerdichtringe abgedichtet. Bei Druck liegen die Metallflächen der Dichtbereiche und Flansche auf und die Dichtung liegt in ihrer Nut, sodass keine offenen Kontaktflächen zur SHB-Atmosphäre bestehen. Die Beständigkeit von im SWR eingesetzten Polymerdichtungen wurde auch durch Versuche für Dichtmaterialien im eingebauten Zustand anhand des Modells der Ladedeckelabdichtung des SHB bis 400°C bestätigt.

Im Hinblick auf die chemische Beständigkeit von Dichtungen und Schleusen im SHB wird festgestellt, dass

- Kabeldurchführungen durch Druckglaseinschmelzungen abgedichtet sind,
- bei Polymerdichtungen die Auslegungstemperatur, wie oben ausgeführt, nicht überschritten wird, so dass die chemische Beständigkeit gegeben bleibt,
- ansonsten chemisch beständige Metalledichtungen und Kompensatoren eingesetzt werden.

Im Ergebnis bedeutet dies, dass keine signifikanten Auswirkungen auf die maximal angesetzte Leckagerate infolge erhöhter Temperaturen im SHB bzw. chemischer Einwirkungen unterstellt werden müssen.

Abschätzung der Wasserstoffkonzentration im Reaktorgebäude

Bei Kernschmelzszenarien, die im weiteren Unfallverlauf zu einem Druckaufbau im SHB führen, kann es ohne SHB-Versagen über Leckagepfade zu einer Wasserstofffreisetzung aus dem SHB in das Reaktorgebäude kommen. Vergleichsweise langsam ablaufende Szenarien, bei denen das SHB-Venting erst relativ spät eingeleitet wird, führen zu entsprechend lang anhaltenden Leckagezeiten. Diesem Ansatz wird das Kern-

schmelzszenario „KOKA-Temperatur > 150°C durch Ausfall der Nachwärmeabfuhr“ am ehesten gerecht. Hier steigt der SHB-Druck nach Störfalleintritt kontinuierlich an, nach etwa elf Stunden erfolgt Venting bei 6 bar_i, danach stabilisiert sich der SHB-Druck bei etwa 3 bar_i und die Temperatur bei ca. 150°C.

Da das Reaktorgebäude aus verschiedenen getrennten Raumbereichen besteht, sind die räumliche Anordnung der SHB-Durchführungen und das Volumen der angrenzenden Anlagenräume ebenfalls zu berücksichtigen. Wasserstofffreisetzungen würden vor allem in Anlagenräume, die großflächig an den SHB angrenzen und über eine große Anzahl von SHB-Durchführungen verfügen, erfolgen. Beim SWR-72 sind dies in erster Linie die Raumbereiche oberhalb der 40-Meter-Ebene und der Raumbereich oberhalb der 18,5-Meter-Ebene. In diesen Raumbereichen befinden sich etwa die Hälfte aller SHB-Durchführungen (inkl. Ladedeckel, Montage-deckel, Transportschacht, Hauptschleuse und obere Schleuse).

Unter Berücksichtigung des großen Raumvolumens oberhalb der 40-Meter-Ebene von ca. 31.000 m³ (ohne Transportschacht), wird die weitere abschätzende Betrachtung auf den Wasserstoffaustritt aus dem SHB in den Raumbereich oberhalb der 18,5-m-Ebene beschränkt, der ein freies Volumen von ca. 7.500 m³ aufweist.

Mit den konservativen Annahmen, dass

- die maximale Wasserstoffmenge von ca. 2.300 kg (ca. 1.150 kg durch die Zirkon-Wasser-Reaktion entsprechend einer ca. 35%-igen Kernoxidation und von ca. 1.150 kg durch die Schmelze-Beton-Wechselwirkung) ab Beginn des Störfalls vorhanden ist,
- durch die 78 Rekombinatoren im SHB kein Wasserstoff abgebaut wird,
- der Druck im SHB bereits ab Störfallbeginn dem Auslegungsdruck entspricht,
- die Leckagerate von Beginn an der Auslegungsleckagerate entspricht,
- 50 % der Auslegungsleckage in den Raumbereich oberhalb der 18,5-Meter-Ebene eingetragen werden,
- die Lüftung, die Unterdruckhalteanlage und das Leckabsaugesystem im Reaktorgebäude komplett ausgefallen sind,

ergibt sich ein Wasserstoffeintrag von ca. 0,5 kg pro Stunde (entsprechen 5,8 m³ pro Stunde bei 1,013 bar Atmosphärendruck) in den Raumbereich oberhalb der 18,5-m-Ebene. Unter der Annahme einer homogenen Vermischung des Leckagestroms stellt sich nach 11 h (zum Zeitpunkt: Einleitung Venting) in diesem Raumbereich eine Wasserstoffkonzentration von ca. 0,85 vol.-% ein. Die Zündgrenze von 4 vol.-% Wasserstoff wird unter diesen Annahmen nicht erreicht.

Bei gleichen Annahmen wäre die Wasserstoffkonzentration im Raumbereich oberhalb der 40-Meter-Ebene um ca. den Faktor 4 geringer.

Verteilung des Wasserstoffs in Räumen des Reaktorgebäudes

Analytische Untersuchungen zur Verteilung von Wasserstoff im Reaktorgebäude aus SHB-Leckagen wurden für den SWR nicht durchgeführt.

Im Raumbereich oberhalb der 40-m-Ebene ist eine thermische Schichtung nicht zu erwarten, da die Wärme- und die Leckagequelle unterhalb der Ebene liegen.

Die Raumbereiche oberhalb 18,5 m sind bis 28,5 m miteinander ohne größere bauliche Behinderungen verbunden, eine thermische Schichtung aufgrund von Temperaturverteilungen im SHB ist aus ingenieurmäßiger Sicht beim SWR für diese Bereiche wegen der Zirkulation im SHB und der Wanddicken des Spannbetonbehälters sowie der räumlichen Gegebenheiten des Reaktorgebäudes nicht zu erwarten. In den oben genannten Raumbereichen sind zudem keine Toträume vorhanden, in denen sich zündfähige Wasserstoffgemische anreichern könnten.

Im eingeführten HMN (SAMG) wird für fortschreitende Kernschmelzszenarien ein frühzeitiges Venting (vor Erreichen von 6 bar_i) empfohlen, was auch zu einer Begrenzung der Wasserstoffleckagen führt. Außerdem ist gemäß HMN die Unterdruckhalteanlage nach Ausfall wieder in Betrieb zu nehmen. Dies führt zur Durchmischung des ausgetretenen Wasserstoffs mit der Raumatmosphäre im gesamten Reaktorgebäude und der Ableitung des Wasserstoffs auf dem Abluftpfad.

- **DWR**

Auslegungsmerkmale

Gemäß [6, 7] hat der kugelförmige SHB eines DWR KONVOI mit 56 m Durchmesser einen Ringraum zwischen Containmentwandung und Reaktorgebäudeaußenwand mit einer mittleren Breite von ca. 1,6 m. Durch den SHB führen auf verschiedenen Ebenen etwa entlang des Horizontes die Personenschleuse, die Materialschleuse, zwei Notschleusen, ca. 120 Rohrdurchführungen und ca. 475 Kabeldurchführungen. Der Auslegungsdruck des SHB beträgt ca. 5,3 bar_i, die Auslegungstemperatur der Stahlschale 145°C und die Ausleungsleckagerate 0,25 vol.-% pro Tag. Bei der Inbetriebsetzung wurde der SHB beim Auslegungsdruck auf Dichtheit geprüft. Das zyklische Überwachungsprogramm für den SHB beinhaltet Dichtigkeitsprüfungen an Durchführungen, Funktionsprüfungen der Schleusen und Lüftungsklappen, die Feststellung der Gesamtleckage des SHB bei 0,5 bar_i im Anschluss an die Revision bei abgeschalteter Anlage und die Prüfung des Qualitätszustandes der Rohrdurchführungen, der Kabeldurchführungen und der Schleusen.

Probabilistische Analysen haben ergeben, dass der Versagensdruck der SHB etwa doppelt so hoch wie der Auslegungsdruck ist [6, 12]. Auch Ausdehnungen des SHB infolge eines Druckaufbaus und thermischer Belastungen hinsichtlich eines Kontaktes der SHB-Wandung mit Bauteilen im Ringraum wurden untersucht und ein Versagen ausgeschlossen. Die Versagenswahrscheinlichkeit von Kompensatoren, Dichtungen und Schleusen steigt diesen Analysen zufolge erst bei einem Druck von mehr als 10 bar und einer Temperatur von ca. 145°C an.

Für den Fall einer Wasserstofffreisetzung in den SHB sind im Auslegungsbereich folgende Systeme vorhanden:

- Ein Wasserstoffüberwachungssystem zur Bestimmung der örtlichen und zeitlichen Wasserstoffverteilung im SHB.
- Ein Wasserstoffdurchmischungssystem für eine Durchmischung der SHB-Atmosphäre zur Vermeidung von Wasserstoffkonzentrationen oberhalb der Zündgrenze.

-
- Ein Wasserstoffabbausystem für die Rekombination im Abgassystem mittels thermisch arbeitender Rekombinatoren.

Für auslegungsüberschreitende Ereignisse mit unfallbedingter Wasserstofffreisetzung in den SHB bzw. im SHB sind folgende Systeme vorhanden:

- Das im SHB installierte Wasserstoffabbausystem, bestehend aus ca. 58 autokatalytischen, passiv arbeitenden Rekombinatoren unterschiedlicher Größe mit einer Wasserstoffabbauleistung von integral ca. 200 kg H₂/h (bei im Mittel 4 vol.% H₂ und 3 bar_{abs}).

Leckagerate in den Ringraum

Durch periodische Leckratentests des SHB wird sichergestellt, dass die Leckagerate unterhalb der Auslegungsleckagerate liegt. Die der folgenden Abschätzung zugrunde gelegte Annahme, dass die Leckagerate maximal der Auslegungsleckagerate entspricht, setzt voraus, dass weder durch unfallablaufbedingte Temperaturerhöhungen im SHB noch durch chemische Einwirkungen die Dichtheit vorhandener SHB Dichtungen signifikant beeinträchtigt wird.

Im Hinblick auf die Einwirkung erhöhter Temperaturen auf die Dichtheit der Dichtungen des SHB wird in [6, 12] abgeschätzt, dass die maximal erreichten Temperaturen im SHB im Bereich der Kuppel ca. 150°C betragen und damit im Bereich der Auslegungstemperatur der Dichtungen (Polymerdichtungen: 145°C) liegen. Da aber die Dichtflächen der Schleusentüren durch in Nuten liegende Polymerdichtringe abgedichtet sind, bei hohen Drücken die Metallflächen von Tür und Sitz aufliegen und die Dichtung in ihrer Nut liegt, sodass keine offenen Kontaktflächen zur SHB Atmosphäre bestehen, ist zu erwarten, dass die Temperatur an der Dichtung deutlich unterhalb der maximalen SHB Temperatur liegt.

Im Hinblick auf die chemische Beständigkeit von Dichtungen und Schleusen im SHB wird in [6] festgestellt, dass

- Kabeldurchführungen durch Druckglaseinsmelzungen abgedichtet sind,
- Polymerdichtungen eine Auslegungstemperatur von 145 °C aufweisen, die, wie oben ausgeführt, nicht überschritten wird, so dass die chemische Beständigkeit gegeben bleibt,
- ansonsten chemisch beständige Metaldichtungen und Kompensatoren eingesetzt werden.

Im Ergebnis bedeutet dies gemäß [6], dass keine signifikanten Auswirkungen auf die maximal angesetzte Leckagerate infolge erhöhter Temperaturen im SHB bzw. chemischer Einwirkungen unterstellt werden müssen.

Abschätzung der Wasserstofffreisetzung in den Ringraum

Für eine Abschätzung der Wasserstofffreisetzung wurden der RSK generische Betrachtungen für ein Szenario „vollständiger Ausfall der Drehstromversorgung (Station Blackout)“ vorgelegt [7]. Bei diesem Szenario steigt

der Druck im Containment nach dem Öffnen der Berstscheiben am Abblasebehälter zunächst an. Nach ca. 10 ½ h würde es zum Versagen des RDB kommen. Nach etwa 2 ½ Tagen wird das Kriterium für die gefilterte Druckentlastung (GDE) von 7 bar_{abs.} erreicht. Mit Beginn der GDE fällt der Druck im Containment ab.

Gemäß [6] sind nur wenige Durchführungen unterhalb der Einspannung des SHB vorhanden. Diese sind ausschließlich Kabel- und Rohrdurchführungen, die aufgrund ihrer Ausführung eine hohe Robustheit aufweisen [12]. Ein relevanter Eintrag von Wasserstoff in die untenliegenden, abgetrennten Räume des Ringraums ist gemäß [6] als vernachlässigbar zu bewerten. Ergänzend wird darauf hingewiesen, dass entsprechend den Ergebnissen der „Risikostudie Kernkraftwerke Phase B“ die durch den Ringraum führenden Lüftungsleitungen, für die unter diesen Bedingungen ein Lüftungsabschluss vorliegt, verstärkt worden sind, um eventuelle Wasserstoffaustritte in den Ringraum zu vermeiden.

Die weiteren Betrachtungen zur Wasserstoffansammlung im Ringraum werden auf die obere Hälfte der Kugelschale des Ringraums beschränkt. Dabei ist die Wasserstoffabbauleistung durch die Rekombinatoren unter Berücksichtigung der im Containment vorhandenen Sauerstoffmenge in den rechnerischen Abschätzungen mit berücksichtigt worden. Mit den konservativen Annahmen, dass

- eine Wasserstoffmenge von ca. 2.240 kg (ca. 1.120 kg durch die Zirkon-Wasser-Reaktion, entsprechend einer ca. 80 %-igen Kernoxidation, und von ca. 1.120 kg durch die Schmelze-Beton-Wechselwirkung) ab Beginn des Störfalls vorhanden ist,
- der Auslegungsdruck ab Störfallbeginn im SHB vorliegt und
- die Leckagerate von Beginn an der Auslegungsleckagerate (0,25 Vol. %/Tag) entspricht,

ergibt sich eine Wasserstoffaustrittsmasse von ca. 6 kg pro Tag (entsprechend 67,25 m³ pro Tag bei 1,013 bar, Atmosphärendruck). Bei nicht funktionierender Ringraumabsaugung (wegen fehlendem Drehstrom) ist davon auszugehen, dass die Wasserstoffkonzentration langsam ansteigt. Es wird abgeschätzt, dass unter der Annahme einer homogenen Vermischung des Leckagestroms in der Kugelkalotte des Ringraums eine Wasserstoffkonzentration von 4 vol.-% im Ringraum nach ca. vier Tagen noch nicht erreicht wird.

Es wird ergänzt, dass eine derzeit geplante Anpassung der Venting-Prozeduren in den HMN zu einem günstigeren Verlauf führen und den abdeckenden Charakter der o. g. Abschätzung nicht beeinflussen würde.

Verteilung des Wasserstoffs im Ringraum

Die GRS verweist hierzu auf Experimente am Battelle-Modell-Containment (BMC), bei denen ab dem Jahr 1979 Grundlagenversuche zur Verteilung von Wasserstoff in verbundenen, zumeist vertikal übereinander angeordneten Räumen unter verschiedenen Bedingungen nach einem Kühlmittelverluststörfall durchgeführt wurden [9]. In diesem Rahmen wurde ein Experiment zur Temperaturschichtung (oberer Raum heiß, unterer Raum kalt) und zur Wasserstoffeinspeisung in eine Raumkette im unteren Bereich mit einer Temperatur analog dieses Raumes durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass eine thermische Schichtung den Aufstieg von Wasserstoff in den oberen Raum behindert. Nach der Theorie ist die Sperrwirkung desto ausgeprägter, je höher die Temperaturdifferenz ist. Die BMC-Versuche lieferten eine qualitative Verifizierung dieser

Theorie. Übertragen auf die Zustände im Ringraum eines DWR unter Unfallbedingungen bedeutet dies, dass bei einer tiefliegenden Leckage von Wasserstoff aus dem SHB in den Ringraum in Folge der dort unter Störfallbedingungen zu erwartenden thermischen Schichtung ebenfalls ein Aufstieg von Wasserstoff in den oberen Ringraum behindert wird.

Die GRS führt weiter aus, dass globale Konvektionsvorgänge im SHB ereignisabhängig sind und z. B. auch davon abhängen, ob im Ereignisverlauf auf den Dampferzeugertürmen eine größere Anzahl von Berstfolien versagen sowie weitere Öffnungen im Trümmerschutzzylinder entstehen. Eine eingeschränkte oder gute Konvektion innerhalb des SHB ist eine wichtige Randbedingung für Verteilungsvorgänge von Dampf und Gasen und letztlich auch für die Energieabfuhr in den Ringraum und sich dort einstellende Temperaturverteilungen.

Im Ringraum kann gemäß [9] unter Stör- und Unfallbedingungen eine thermische Schichtung vorliegen. Die Temperaturunterschiede hängen vom Ablauf im SHB ab. Die Zustände im Ringraum und die Größe der Freisetzung von Wasserstoff und anderen Gasen aus dem SHB über Leckagen sind abhängig von

- der im Unfallablauf erzeugten und innerhalb des SHB vorhandenen Masse an Wasserstoff und langfristig der Dauer der Wasserstofffreisetzung aus der Beton-Schmelze-Wechselwirkung,
- der Lage und Größe der Leckage vom SHB in den Ringraum und damit auch von der Temperatur des Leckmassenstroms,
- der Funktion der Ringraum-Störfallabsaugung,
- dem Zeitpunkt der Durchführung des Ventings und damit der Ableitung von Wasserstoff aus dem SHB und
- Einwärts-Leckagen aus der Umgebung bzw. dem Hilfsanlagegebäude und deren Lage in den Ringraum, sofern die Störfallabsaugung während des Unfallablaufs einen Unterdruck aufrechterhalten kann.

Die Bildung eines brennbaren Gasgemisches im Ringraum ist sowohl von der Größe der Leckage des SHB zum Ringraum als auch der Lage der Leckage abhängig [9]. Aus den vorliegenden Unterlagen folgt:

- Sofern die SHB-Leckagerate auf die Auslegungsleckagerate beschränkt wird, zeigen die Ergebnisse [6, 9], dass die Entstehung brennbarer Zustände im Ringraum im Zeitbereich einiger Tage nach Unfallbeginn nicht zu erwarten ist. Die Ergebnisse zeigen dies auch bei Berücksichtigung thermischer Schichtungen im Ringraum [9,10], wo somit keine, wie in [6, 7] angenommen, homogene Vermischung des Leckageeintrags im Ringraum erfolgt.
- Sofern eine gegenüber der Auslegungsleckagerate mindestens 10-fach erhöhte SHB-Leckagerate an der Materialschleuse angenommen und ein Schichtungsverhalten in den Analysen berücksichtigt wird, zeigen Rechnungen [9], dass brennbare Zustände in den Raumbereichen oberhalb der angesetzten Leckagestelle im Ringraum auftreten können [9].

Die von der GRS durchgeführten Analysen [21 – 24] standen im Zusammenhang mit der Entwicklung des Rekombinatorkonzepts für DWR und umfassen verschiedene Szenarien unbeherrschter Kühlmittelverluststöße sowie Transienten, die nach Aussage der GRS im Hinblick auf die Wasserstoffentstehung im SHB, die Druckverläufe und die maximalen Temperaturen nach als „repräsentativ“ (gemäß Abschnitt 3.1) angesehen werden können. Dies beinhaltet, dass die Analysen unter „realistischen“ Randbedingungen unter Berücksichtigung der Funktion der im SHB installierten Rekombinatoren durchgeführt wurden. Es wurden unterschiedliche Positionen der SHB-Leckage und der Randbedingungen bzgl. der Ringraum-Störfallabsaugung in den in [21 - 24] beschriebenen Analysen angenommen, die Analysen wurden nur über einen begrenzten Zeitbereich nach Beginn des Kernschadens durchgeführt und jeweils vor einem nach einigen Tagen zu erwartenden SHB-Venting beendet. Eine systematische Untersuchung der bei unterschiedlichen SHB-Leckagen in den Ringraum dort zu erwartenden Zustände und Bewertung möglicher Gegenmaßnahmen, die alle Aspekte berücksichtigt, liegt mit den Analysen aus [21 – 24] nicht vor.

3 Bewertung

3.1 Bewertungsgrundlage

Für eine Bewertung der Wasserstofffreisetzung und möglicher daraus resultierender Gefährdungen bei den o. g. Vorgängen ist es erforderlich zu entscheiden, welche Unfallablaufsznarien und Annahmen den Betrachtungen zu Grunde gelegt werden sollen. Aus Sicht der RSK ist es für diese Betrachtungen ausreichend, wenn bei der Ableitung der zu betrachtenden Szenarien vergleichbar vorgegangen wird wie bei der Auslegung (Anzahl und räumliche Anordnung) der autokatalytischen Wasserstoffrekombinatoren im SHB der DWR und SWR der Baulinie 72.

Daher nimmt die RSK bei der Bewertung von Szenarien zur „Wasserstofffreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter“ Bezug auf die RSK-Stellungnahme „Gefährdung des Sicherheitsbehälters von DWR durch Wasserstoffreaktionen infolge der Zünderwirkung von passiven autokatalytischen Rekombinatoren“ [13] und den darin formulierten Ansatz zur Ableitung zu betrachtender Szenarien. Dieser Ansatz wird auch für den SWR Baulinie 72 herangezogen.

Gemäß [13, 17] sowie [26] ist es im Hinblick auf die Wirksamkeit eines Systems von Rekombinatoren zur Schadensbegrenzung bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen das übergeordnete Ziel, großräumige Wasserstoffverbrennungen infolge eines Kernschmelzunfalls, die die Containmentintegrität gefährden, zu verhindern. Hierzu sind „repräsentative Ereignisablaufsequenzen“ zu definieren, die die hinsichtlich ihrer Häufigkeit dominierenden Pfade und einen großen Bereich der charakteristischen und für die betrachteten Vorgänge relevanten Zustände abdecken sollen. Bei der Auswahl der repräsentativen Ereignisablaufsequenzen können sowohl qualitative als auch quantitative Erkenntnisse aus probabilistischen Untersuchungen herangezogen werden.

Im Hinblick auf die Wasserstofffreisetzung aus dem SHB sollten aus Sicht der RSK daher jedenfalls solche Ereignisabläufe herangezogen werden, die die diesbezüglich relevanten Zustände bzw. Vorgänge im SHB repräsentativ im Sinn des vorhergehenden Absatzes abdecken.

Diese Zustände bzw. Vorgänge sind insbesondere

-
- die sich unter Unfallbedingungen ausbildende Wasserstoffkonzentration und deren Verteilung im SHB,
 - der Zeitverlauf der Druckentwicklung im SHB (relevant im Hinblick auf die Leckagerate aus dem SHB) bis zum Venten,
 - die Temperaturmaxima im Bereich der Durchführungen des SHB bzw. deren Verteilung im SHB, die für die Frage des Dichtigkeitserhalts der SHB Durchführungen neben dem Druck relevant sind,
 - die vertikale Temperaturverteilung im SHB, die ggf. relevant ist für die Frage der Ausbildung thermischer Schichtungen in Räumen außerhalb des SHB.

Bezüglich der Leckagen aus dem SHB sind mögliche Leckageorte, die zu unterschiedlichen Zuständen in angrenzenden Gebäuden führen können, zu unterscheiden.

Für die bezüglich o. g. Zustände bzw. Vorgänge repräsentativen Ereignisabläufe sollte geprüft werden, ob die Ausbildung eines zündfähigen Gemisches in Räumen außerhalb des SHB unterstellt werden muss.

Sofern sich aus den Prüfungen ergibt, dass zündfähige Gemische außerhalb des SHB unterstellt werden müssen, sind Untersuchungen zu Maßnahmenmöglichkeiten zu deren Vermeidung oder ggf. Nachweise zur Beherrschung von damit möglichen Wasserstoffverbrennungen durchzuführen.

3.2 Wasserstofffreisetzung bei der gefilterten Druckentlastung des Sicherheitsbehälters

Zum Thema „Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des Sicherheitsbehälters bei Venting“ weist die RSK darauf hin, dass in der GRS Weiterleitungsnachricht (WLN) 02/2012 [5], in den Anforderungen an das Ventingsystem dahingehend formuliert wurde, dass im Zusammenhang mit dem Druckentlastungsvorgang stehende potentielle H₂-Verbrennungsvorgänge auch in den Ventingleitungen und gegebenenfalls in den gemeinsam genutzten Sammelräumen für die Fortluft, dem Kamin oder anderen Bereichen des Reaktorgebäudes, die während des Venting betroffen sind, ausgeschlossen werden sollen. Zudem sind gemäß der WLN wirksame Vorkehrungen gegen direkte Auswirkungen auf einen Nachbarblock, z. B. durch den Übertrag von H₂ oder Radionukliden über gemeinsam genutzte Systeme und Leitungen, vorzusehen.

Für die analysierte DWR Referenzanlage GKN-2 muss gemäß aktuellen exemplarischen Untersuchungen der GRS [11] mit brennbaren Zuständen für einen begrenzten Zeitbereich in der Abluftkammer und im Kamin gerechnet werden, wenn zu Beginn des SHB-Venting kein Abluftsystem der Gebäude der Anlage läuft. Nach diesen Untersuchungen verhindern laufende Lüftungssysteme, für die eine Stromversorgung erforderlich ist, die Bildung brennbarer Gasgemische in der Abluftkammer und im Kamin durch die damit erfolgende Verdünnung der abgegebenen Gase.

Für SWR-72 sind derartige Zustände nicht zu erwarten, da die Reingasleitung vom Austritt des Wäschers bis zum Kaminaustritt separat geführt ist. Direkte Auswirkungen auf den Nachbarblock durch das gemeinsam genutzte System, z. B. durch Übertrag von Gasen, sind gemäß [20] durch die administrativen und konstruktiven

ven Gegebenheiten ausgeschlossen. Der RSK sind keine Hinweise bekannt geworden, die diese Bewertung in Frage stellen.

Die RSK empfiehlt bezüglich der DWR-Anlagen, dass auf Basis repräsentativer Analysen gemäß dem in Abschnitt 3.1 beschriebenen Ansatz untersucht wird, welche Notfallmaßnahmen zur Vermeidung brennbarer Zustände bei der SHB-Druckentlastung in gemeinsam genutzten Abluftsystemen, wie z. B. in der Abluftkammer und im Kamin, vorgesehen werden können oder alternativ zu zeigen, dass Wasserstoffverbrennungen nicht zu sicherheitstechnisch relevanten Auswirkungen führen. Inwiefern diese Maßnahmen konkret sachgerecht realisiert werden, ist anlagenspezifisch zu zeigen.

3.3 Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des Sicherheitsbehälters

- **SWR-72**

Gemäß [15] liegen der Auslegung der im SHB installierten Rekombinatoren die Szenarien Station Blackout (Ausfall der gesamten Drehstromversorgung, Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung, Ausfall aller aktiven Einspeisesysteme) mit der anfänglichen Dampf- und Wasserstofffreisetzung in die Kondensationskammer und der Frischdampfleitungsbruch mit der Freisetzung von Dampf und Wasserstoff direkt in die Druckkammer zugrunde. Für eine Abschätzung der „Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des Sicherheitsbehälters“ wird in [15] ein im Hinblick auf den Druckaufbau im SHB langsam ablaufendes Szenario, bei dem das Venting relativ spät eingeleitet wird, als führend eingestuft, da dabei die Leckage aus dem SHB lange anhält. Der Abschätzung wurde das Kernschmelzszenario „KOKA-Temperatur > 150°C durch Ausfall der Nachwärmeabfuhr“ zugrunde gelegt (siehe Abschnitt 2.2), bei dem bis zum Erreichen der Ventingbedingung ca. 11 h vergehen.

Auf Basis der Darlegungen zur Auslegung der SHB-Dichtungen in Abschnitt 2.2 und der demnach bei repräsentativen Szenarien maximal erreichten Temperaturen im Umfeld der Durchführungen kommt die RSK zu dem Schluss, dass für die hier gemäß Abschnitt 3.1 vorzunehmende Bewertung und die dafür herangezogenen Szenarien keine gegenüber der Auslegung erhöhte Leckagerate unterstellt werden muss.

Aus Sicht der RSK kann das in [15] der Abschätzung der Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des Sicherheitsbehälters zugrunde gelegte Kernschmelzszenario „KOKA-Temperatur > 150°C durch Ausfall der Nachwärmeabfuhr“ in Verbindung mit den o.g. Annahmen insgesamt als ausreichend repräsentativ im Sinne des Abschnitts 3.1 angesehen werden. Aus der PSA Level 2 für den SWR 72 ergeben sich keine Hinweise darauf, dass weitere repräsentative Szenarien herangezogen werden müssen.

Als Ergebnis der Abschätzung zur Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des SHB ergibt sich gemäß [15] zum Zeitpunkt der Einleitung des Venting für den Raumbereich oberhalb der 18,5-m-Ebene eine Wasserstoffkonzentration von ca. 0,85 vol.-%. Die Zündgrenze von 4 vol.-% Wasserstoff wird bis dahin nicht erreicht.

Da die Wasserstoffbildung mit dem Venting nicht beendet ist und weiterhin ein Druckgefälle zwischen SHB und Reaktorgebäude bestehen bleibt, wird die Leckage mit dem Venting zwar verringert, aber nicht beendet. Ohne Gegenmaßnahmen im Reaktorgebäude – bei unterstellter gleichgroßer Wasserstoffleckage in dieses

Raumvolumen hinein – ist davon auszugehen, dass innerhalb von zwei bis drei Tagen die Zündgrenze erreicht wird.

Auf Basis der o. g. Darlegungen bestätigt die RSK, dass die Ausbildung zündfähiger Gemische innerhalb einiger Tage unterstellt werden muss. Daher empfiehlt die RSK die Einführung von Maßnahmen im HMN, um das Luft-Wasserstoffgemisch aus den Räumen des Reaktorgebäudes, in denen ein zündfähiges Gemisch entstehen kann, auszuspülen. Dabei sind die Möglichkeiten zur Aktivitätsrückhaltung einzubeziehen.

- **DWR**

Mit [9] hat die GRS der RSK Analyseergebnisse aus [21 – 24] vorgelegt, in denen die Ausbildung zündfähiger Gemische unter Berücksichtigung des Potenzials für sich ausbildende vertikale Schichtungen des Gasgemisches im Ringraum für verschiedene Szenarien unbeherrschter Kühlmittelverluststörfälle sowie Transienten untersucht wurden. Diese Szenarien sowie die darin angesetzten Randbedingungen umfassen nach Aussage der GRS die der Rekombinatorauslegung im SHB zu Grunde gelegten Ereignisabläufe. Sie decken die hinsichtlich der Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des SHB charakteristischen Zustände der Druck- und Temperaturentwicklung sowie die Temperaturverteilung im SHB im Sinn von 3.1 repräsentativ ab. Eine systematische Untersuchung der bei unterschiedlichen SHB-Leckagen in den Ringraum dort zu erwartenden Zustände und möglicher Gegenmaßnahmen liegt mit den Analysen aus [21 - 24] allerdings nicht vor.

Aus den Analysen der GRS ergeben sich für eine Leckagerate, die auf die Auslegungsleckagerate begrenzt ist, auch für eine hochliegende Position der SHB-Leckage in den geschichteten Zonen keine zündfähigen Wasserstoffkonzentrationen innerhalb der ersten 4 Tage.

Auf Basis der Darlegungen zur Auslegung der SHB-Dichtungen in Abschnitt 2.2 und der demnach bei repräsentativen Szenarien maximal erreichten Temperaturen im Umfeld der Durchführungen kommt die RSK zu dem Schluss, dass für die hier gemäß Abschnitt 3.1 vorzunehmende Bewertung und die dafür herangezogenen Szenarien keine gegenüber der Auslegung erhöhte Leckagerate unterstellt werden muss.

Nach weiteren Analysen der GRS [25] ist bei unveränderter Leckagerate in den Ringraum und ohne Gegenmaßnahmen nach ca. fünf Tagen das Erreichen zündfähiger Bedingungen im Ringraum nicht mehr auszuschließen. Schichtungen in der Ringraumatmosfera können lokal zu erhöhten Wasserstoff-Konzentrationen führen.

Um bei derartigen Szenarien die Ausbildung von zündbaren Gasgemischen zu vermeiden, empfiehlt die RSK, dass im Rahmen der mitigativen Notfallmaßnahmen eine Maßnahme entwickelt und implementiert wird, mit der eine Umwälzung der Atmosphäre im Ringraum (Beseitigung von Schichtungen) sowie rechtzeitig eine kontrollierte Belüftung (Begrenzung des Anstiegs der H₂-Konzentration) hergestellt wird. Für die dazu erforderliche Absaugung von Ringraumlufte ist zu bewerten, ob dabei Maßnahmen zur Verringerung der Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung genutzt werden können (z. B. Filterung, Abgabe über Kamin). Alternativ können auch Möglichkeiten zum Wasserstoffabbau vorgesehen werden.

4 Empfehlungen

Als Ergebnis ihrer Beratungen spricht die RSK die folgenden o. g. Empfehlungen aus:

Empfehlung 1:

Hinsichtlich der Wasserstofffreisetzung im Rahmen der gefilterten Druckentlastung des Sicherheitsbehälters ist bei DWR-Anlagen (s. Kapitel 3.2) auf Basis repräsentativer Analysen gemäß dem in Kapitel 3.1 beschriebenen Ansatz zu untersuchen, welche Notfallmaßnahmen zur Vermeidung brennbarer Zustände bei der SHB-Druckentlastung in gemeinsam genutzten Abluftsystemen, wie z. B. in der Abluftkammer und im Kamin, vorgesehen werden können. Alternativ ist zu zeigen, dass Wasserstoffverbrennungen nicht zu sicherheitstechnisch relevanten Auswirkungen führen. Inwiefern diese Maßnahmen konkret sachgerecht realisiert werden, ist anlagenspezifisch zu zeigen.

Empfehlung 2:

Bezüglich der Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des Sicherheitsbehälters beim SWR-72 (s. Kapitel 3.3) sind Maßnahmen in das HMN einzuführen, um das Luft-Wasserstoffgemisch aus den Räumen des Reaktorgebäudes, in denen ein zündfähiges Gemisch entstehen kann, auszuspülen. Dabei sind die Möglichkeiten zur Aktivitätsrückhaltung einzubeziehen.

Empfehlung 3:

Bezüglich der Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des Sicherheitsbehälters beim DWR (s. Kapitel 3.3) ist zur Vermeidung der Ausbildung von zündbaren Gasgemischen im Rahmen der mitigativen Notfallmaßnahmen eine Maßnahme zu entwickeln und zu implementieren, mit der eine Umwälzung der Atmosphäre im Ringraum (Beseitigung von Schichtungen) sowie rechtzeitig eine kontrollierte Belüftung (Begrenzung des Anstiegs der H₂-Konzentration) hergestellt wird. Für die dazu erforderliche Absaugung von Ringraumluft ist zu bewerten, ob dabei Maßnahmen zur Verringerung der Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung genutzt werden können (z. B. Filterung, Abgabe über Kamin). Alternativ können auch Möglichkeiten zum Wasserstoffabbau vorgesehen werden.

Beratungsunterlagen

- [1] Sachstandsbericht KTA-GS-66
Zusammenstellung anlageninterner Notfallschutzmaßnahmen und die Prüfung ihrer
Regelung im KTA
Salzgitter, Juni 1997

- [5] Weiterleitungsnachricht zu Ereignissen in ausländischen Kernkraftwerken
(WLN 2012/02)
Auswirkungen des Tohoku-Erdbebens an den japanischen Kernkraftwerksstandorten
Fukushima Dai-ichi (1) und Dai-ni (11) am 11.03.2011 und des Niigataken Chuetsu-
Oki-Erdbebens am japanischen Kernkraftwerksstandort Kashiwazaki-Kariwa
am 16.07.2007
Köln, 15.02.2012

- [6] Dr. Frank Sommer
H₂-Austrag in Räume außerhalb des SHB
Präsentationen, 93. und 94. AST-Sitzung am 24.10.2013 und am 28.11.2013

- [7] Dr. Frank Sommer, Carsten Ahrens, EKK Hannover
Wasserstoffeintrag in Gebäude außerhalb des SHB
Präsentation, 96. AST-Sitzung am 13.03.2014

- [9] M. Sonnenkalb, GRS
Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des Sicherheitsbehälters – Analysen für
DWR
Präsentation, 96. AST-Sitzung am 13.03.2014

- [11] M. Sonnenkalb, S. Schwarz, GRS
Wasserstofffreisetzung in den Kamin bei der gefilterten Druckentlastung
Präsentation, 96. AST-Sitzung am 13.03.2014

- [12] U. Klapp, F. Sommer
Dichtigkeit des SHB bei schweren Störfällen
Präsentation, 09.05.2014

- [13] Reaktor-Sicherheitskommission, Stellungnahme der RSK „Gefährdung des Sicher-
heitsbehälters von DWR durch Wasserstoffreaktionen infolge der Zünderwirkung von
passiven autokatalytischen Rekombinatoren“, 03.09.2009 (419. Sitzung der RSK)

- [14] GRS, Kernkraftwerk Gundremmingen II (KRB II, Block B und C), Gutachterliche
Stellungnahme zur Nachrüstung eines Wasserstoffabbausystems mit katalytischen Re-
kombinatoren im Sicherheitsbehälter, Juli 1999

-
- [15] Reichenbach, Trobitz, 06.11.2014
Sachstand, Gefilterte Druckentlastung des Sicherheitsbehälters für SWR
- [17] Reaktor-Sicherheitskommission, Empfehlung „Maßnahmen zur Risikominderung bei Freisetzung von Wasserstoff in den Sicherheitsbehälter von bestehenden Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor nach auslegungsüberschreitenden Ereignissen“, 17.12.1997 (314. Sitzung der RSK)
- [20] KGG Gundremmingen
Notfallhandbuch Teil 3, Kap 7, Druckentlastung SHB (Venting),
- [21] M. Sonnenkalb
"Unfallanalysen für DWR mit dem Integralcode MELCOR 1.8.3", Juni 1998, GRS-A-2579
- [22] M. Sonnenkalb
Unfallanalysen für DWR vom Typ KONVOI (GKN-2) mit dem Integralcode MELCOR 1.8.4, Bericht zum Vorhaben SR 2306: „Bewertung von Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes zur Schadensbegrenzung für LWR“, Dezember 2001, GRS-A-2954
- [23] M. Sonnenkalb
„Bewertung von Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes zur Schadensbegrenzung für LWR, Abschlussbericht zum Vorhaben SR 2306“, September 2001, GRS-A-2921
- [24] S. Band, Schwarz, S., Sonnenkalb, M.
„Nachweis der Wirksamkeit von H₂-Rekombinatoren auf der Basis ergänzender analytischer Untersuchungen mit COCOSYS für die Referenzanlage GKN-2, Vorhaben 3609R01375, Anforderungen an den Nachweis der Wirksamkeit von H₂-Rekombinatoren auf der Basis ergänzender analytischer Untersuchungen“, März 2012, GRS-A-3652
- [25] M. Sonnenkalb, Wasserstofffreisetzung in Räume außerhalb des Sicherheitsbehälters – Fortsetzung von Analysen für DWR (siehe Basisvortrag 96. Sitzung des RSK Ausschusses AST), 104. Sitzung des RSK Ausschusses Anlagen- und Systemtechnik, 12.2.2015
- [26] Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke
3. März 2015, BAnz AT 30.03.2015 B2