

## **RSK - EMPFEHLUNG**

### **Grundsätzliche Anforderungen an die Maßnahmen zur Verhinderung unzulässiger Radiolysegasreaktionen**

**10.07.2003**

#### **Beauftragung**

Auf Grund von in der jüngsten Vergangenheit mehrfach aufgetretenen Störfällen infolge Radiolysegasreaktion (zuletzt Schadensfälle in den Kernkraftwerken Brunsbüttel und Hamaoka in Japan) war aus Sicht der RSK zu prüfen, inwieweit mit den bisher getroffenen Maßnahmen und der dabei in Ansatz gebrachten Sicherheitsphilosophie die erforderliche Vorsorge gegen Ereignisse mit Radiolysegasreaktionen weiterhin sichergestellt werden kann oder ob aufgrund neuer Erkenntnisse eine neue sicherheitstechnische Konzeption und Vorgehensweise unter Einschluss zusätzlicher und weitergehender Maßnahmen bzw. Analysen in den betroffenen kerntechnischen Anlagen als erforderlich angesehen wird.

Die RSK richtete daraufhin in ihrer 352. Sitzung am 13.06.2002 eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe „Radiolysegas“ ein, die die Vorgehensweise sowie die Bewertungsmaßstäbe für eine Überprüfung der Einhaltung der erforderlichen Vorsorge erarbeiten sollte. Die RSK beauftragte die Arbeitsgruppe, den Entwurf einer diesbezüglichen Empfehlung für die RSK vorzubereiten und konkretisierte den Beratungsauftrag an die Ad-hoc-Arbeitsgruppe auf ihrer 353. Sitzung am 11.07.2002.

Auf der 1. Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe am 08.08.2002 bat der BMU-Vertreter die RSK um eine Empfehlung, wie der Nachweis der nach Stand von Wissenschaft und Technik erforderlichen Vorsorge gegen Schäden aus Radiolysegasreaktionen zu erbringen sei.

#### **Beratungsablauf**

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe RADIOLYSEGAS trat am 08.08.2002 zu ihrer 1. Sitzung zusammen, hörte Berichte an und bereitete auftragsgemäß den Entwurf einer Empfehlung vor, die der RSK auf ihrer 354. Sitzung am 05.09.2002 vorgelegt wurde. Die Anmerkungen der RSK wurden von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe auf ihrer 2. und 3. Sitzung (22.11.2002 bzw. 21.01.2003) bei der Beratung zum Aufbau und Inhalt der Empfehlung berücksichtigt.

Im Rahmen der 3. Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe RADIOLYSEGAS am 21.01.2003 wurde beschlossen, zunächst die schematische Vorgehensweise zur Beherrschung von Radiolysegasansammlungen (siehe Abbildung 1) und eine Auflistung von möglichen Maßnahmen (siehe Tabelle 1) aufzustellen. Diese wurden in

der 361. RSK-Sitzung am 10.04.2003 abgestimmt, außerdem wurden die Grundzüge des erläuternden Textteils der Stellungnahme erarbeitet. Auf der 364. RSK-Sitzung am 10.07.2003 wurde diese Stellungnahme verabschiedet.

Die in dieser Stellungnahme festgelegte Vorgehensweise ist für die Analyse von SWR-Anlagen entwickelt worden. Die Vorgehensweise kann sinngemäß auf Verhältnisse in Systemen von DWR-Anlagen übertragen werden, soweit dort unzulässige Radiolysegasreaktionen auftreten können.

### **Grundsätzliche Anforderungen**

Die RSK ist der Auffassung, dass ein Schutz gegen unzulässige Radiolysegasreaktionen von Kernkraftwerksbetreibern vorzusehen ist. Dies erfordert ausreichende Vorsorgemaßnahmen zur Verhinderung und ggf. Maßnahmen zur Folgenbegrenzung. Dabei ist – abhängig vom möglichen Schadensausmaß nach Radiolysegasreaktionen - nach den vier Sicherheitsebenen zu unterscheiden.

Spezifische Regelungen zum Schutz gegen unzulässige Radiolysegasreaktionen finden sich im deutschen Regelwerk bisher nicht, auch wenn sich verschiedene Anforderungen des bestehenden Regelwerks sinngemäß auf die Fragen in Zusammenhang mit Radiolysegasreaktionen übertragen lassen.

Grundsätzlich gilt auch hier das gestaffelte Sicherheitskonzept für kerntechnische Anlagen basierend auf der Einhaltung der vier Schutzziele:

- Kontrolle der Reaktivität,
- Kühlung der Brennelemente,
- Einschluss radioaktiver Stoffe und
- Begrenzung der Strahlenexposition.

Die erforderliche Vorsorge gegen Schäden ist dann gegeben, wenn die Einhaltung dieser Schutzziele mit der – von den einzelnen Sicherheitsebenen abhängigen – erforderlichen Zuverlässigkeit gegeben ist.

### **Vorgehensweise**

Zur Prüfung, ob die erforderliche Vorsorge gegen Schäden gegeben ist, hat eine umfassende Analyse der Auswirkungen potenzieller Radiolysegasreaktionen und möglicher Gegenmaßnahmen zu erfolgen. Sie besteht aus drei Teilen:

- In einem ersten Teil sind die Bereiche zu identifizieren, in denen das Potenzial für Radiolysegasanreicherungen besteht. Dazu müssen alle Bereiche der Anlage untersucht werden.

- In einem zweiten Teil ist für jeden der identifizierten Bereiche zu untersuchen, welche maximalen Auswirkungen aus einer Radiolysegasreaktion entstehen können.
- In einem dritten Teil sind für jeden identifizierten Bereich Maßnahmen zur Vorsorge festzulegen. Die Anforderungen an die Qualität der Maßnahmen zur Verhinderung einer Radiolysegasreaktion hängen dabei von der Sicherheitsebene ab, der das potenzielle Ereignis zuzuordnen ist.

In Abbildung 1 sind die notwendigen Analyseschritte als Ablaufschema dargestellt.

### **Identifikation der Systembereiche mit Potenzial für Radiolysegasanreicherungen**

Der Teilschritt „Identifikation betroffener Systembereiche“ erfolgt, um eine systematische Erfassung aller Bereiche der Anlage zu gewährleisten, die ein Potenzial für Radiolysegasanreicherungen haben. Die Erfassung geschieht unabhängig davon, ob bereits Maßnahmen zur Verhinderung von Radiolysegasreaktionen getroffen wurden. Dies ist einerseits zur Gewährleistung der Vollständigkeit der Auflistung aller betroffener Systembereiche erforderlich, andererseits wird bei späteren Änderungen in der Anlage die Auflistung benötigt, um die Rückwirkungsfreiheit von Änderungsmaßnahmen auf die Beherrschung unzulässiger Radiolysegasreaktionen systematisch prüfen zu können.

Das in diesem Teilschritt einzuhaltende Ablaufschema ist im ersten Teil der Abbildung 1 dargestellt.

In einem ersten Schritt werden die potenziell betroffenen Systembereiche in der Anlage erfasst. Dies sind diejenigen, bei denen in einer der nach BHB oder Schichtanweisungen möglichen Fahrweisen und Betriebszuständen (Volllast, Teillast, anomaler Betrieb, Instandhaltung) eine Beaufschlagung mit Primärdampf möglich ist. Zusätzlich sind in der Untersuchung Leckagen an Grenzarmaturen oder an Wärmetauschern zu unterstellen. Bei der Erfassung ist auch die Ansammlung von Radiolysegas an tief gelegenen Stellen, die Schichtung von Dampf und Radiolysegas, der Eintrag von Wasser in dampfführende Systeme sowie der Eintrag von Dampf in wasserführende Systeme zu betrachten.

In einem zweiten Schritt ist für die identifizierten Systeme bzw. Systemabschnitte die Prüfung auf „stagnierendes“ Medium vorzunehmen. Da in Systemen mit langsamen Strömungen Bereiche mit Anreicherungen von Radiolysegas nicht gänzlich auszuschließen sind, wird konservativ festgelegt, dass erst beim Vorliegen turbulenter Strömung Radiolysegasanreicherungen sicher auszuschließen sind. Als Kriterium für „stagnierendes“ Medium ist deshalb von einer Strömungszahl  $Re_c < Re_{krit}$  auszugehen.

In einem dritten Schritt wird für die erfassten Systemabschnitte geprüft, ob eine Radiolysegasanreicherung durch Kondensation von Primärdampf stattfinden kann. Soweit andere Anreicherungsmechanismen für Radiolysegas im betreffenden System bzw. Systemabschnitt möglich sind, sind diese ebenfalls zu berücksichtigen.

## **Identifizierung der maximalen Auswirkungen einer Radiolysegasreaktion**

Für die identifizierten Systeme bzw. Systembereiche sind die möglichen maximalen Auswirkungen zu bestimmen. Bei dieser Bestimmung ist prinzipiell zu unterstellen, dass ein wirksamer Zündmechanismus vorhanden ist. Dies begründet sich aus den vielfältigen Möglichkeiten für Zündmechanismen bei wasserstoffhaltigen Gasmischungen, aufgrund derer der Beweis der Abwesenheit von Zündmechanismen nicht mit hinreichender Sicherheit zu führen ist. Die Analyse ist unabhängig von den vorhandenen und vorgesehenen Maßnahmen zu führen, da in einem späteren Schritt der Analyse auch überprüft werden muss, ob vorhandene bzw. vorgesehene Maßnahmen den ermittelten Sicherheitsebenen entsprechen.

In der Analyse ist eine Radiolysegasreaktion bei einem vollständig mit Radiolysegas gefüllten Systemabschnitt, damit bei maximal möglicher Radiolysegaskonzentration, zu postulieren. Der Reaktionsdruck dieser postulierten Reaktion (Detonation oder alternativ Deflagration bei begründetem Ausschluss der für eine Detonation notwendigen physikalischen Randbedingungen) sowie die Auswirkungen auf die Anlage, das System und benachbarte Komponenten durch Bruchstücke und Druckwellen sowie durch Kühlmittelverlust, Strahlkräfte, Aktivitätsfreisetzung, Reaktionskräfte, Temperatur, Feuchte sind zu ermitteln. Es ist dabei zu beachten, dass aufgrund der spezifischen energetischen Verhältnisse bei einer Radiolysegasreaktion mechanische Auswirkungen größer sein können als bei anderen zu unterstellenden Auslegungsfällen.

Die in der Analyse ermittelten möglichen maximalen Auswirkungen sind anhand der linken Spalte des zweiten Teils der Abbildung 1 den Sicherheitsebenen 1 bis 4 zuzuordnen, wobei Sicherheitsebene 1 und 2 hier zusammengefasst betrachtet werden können. Bei der Zuordnung zur entsprechenden Sicherheitsebene sind die unter den in Sicherheitsanalysen üblichen konservativen Annahmen (z. B. hinsichtlich Ausfall von Sicherheitssystemen oder hinsichtlich Auswirkung von Bruchstücken) entstehenden maximalen Auswirkungen zu unterstellen.

## **Festlegung der Vorsorgemaßnahmen**

In Abhängigkeit der Sicherheitsebene, der die ermittelten möglichen maximalen Auswirkungen zuzuordnen sind, ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Art und Zuverlässigkeit der Maßnahmen zur Verhinderung von Radiolysegasreaktionen. Generell gilt neben dem Grundsatz der erforderlichen Schadensvorsorge auf jeder Sicherheitsebene als Anforderung an die Maßnahmen, dass sie dazu führen müssen, dass auf den jeweiligen Sicherheitsebenen unter Berücksichtigung des Auslegungsspektrums kein dominanter Beitrag zur Schadenshäufigkeit durch Radiolysegasreaktionen entsteht.

Eine weitere Anforderung hinsichtlich der Vermeidung von unzulässigen Radiolysegasanreicherung besteht hinsichtlich der betrieblichen Vorschriften, der Arbeitsanweisungen, der Sorgfalt bei der Durchführung, der Abnahme und der Dokumentation von Tätigkeiten in betroffenen Bereichen bei Instandhaltungsvorgängen und sonstigen Eingriffen in die Anlage.

Gleiches gilt für die Wiederkehrenden Prüfungen, die zum Nachweis des Erhalts der Wirksamkeit der Maßnahmen zur Vermeidung und Überwachung von unzulässiger Radiolysegasanreicherung erforderlich sind. Umfang und Art der Wiederkehrenden Prüfungen im Zusammenhang mit den ergriffenen Maßnahmen sind in den entsprechenden Prüfhandbüchern festzuschreiben. Die entsprechenden Festlegungen sind auf der Basis der Betriebserfahrungen fortzuschreiben.

Die in der Anlage in den gefährdeten Bereichen installierten Temperaturmessstellen sind neben den vorgeschriebenen Auswertekriterien und daraus abgeleiteten Eingriffsvorschriften auch hinsichtlich möglicher Radiolysegasreaktionen, die zu keinem direkten Integritäts- oder Funktionsversagen führen, regelmäßig auszuwerten. Werden so relevante Temperaturabsenkungen, die in keinem direkten Zusammenhang mit unmittelbaren betrieblichen Vorgängen stehen, beobachtet und sind dabei unplausible Änderungen der Daten oder andere unplausible Hinweise vorhanden, so ist konservativ eine Analyse einer unerkannten Radiolysegasreaktion einzuleiten. Um das Risiko aus den Folgen einer daraus resultierenden Vorschädigung für den weiteren Betrieb möglichst auszuschließen, sind vorzugsweise die betroffenen Bereiche umgehend auf Schäden zu inspizieren. Weitere Maßnahmen zum Erkennen solcher Vorgänge können z. B. spezielle Körperschallüberwachungssysteme und Bewegungsindikatoren sein.

In der rechten Spalte des zweiten Teils der Abbildung 1 sind die Maßnahmen bzw. Anforderungen an die Maßnahmen vorgegeben, die zur Verhinderung von Radiolysegasreaktionen mit Auswirkungen auf der jeweiligen Sicherheitsebene vorzusehen sind. Beispiele für zu treffende Maßnahmen und ihre Zuordnung zu den Sicherheitsebenen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Mit den Beispielen in Tabelle 1 wird auch das notwendige Niveau der Maßnahmen bei Auswirkungen entsprechend den verschiedenen Sicherheitsebenen festgelegt.

Zur Verhinderung von Radiolysegasreaktionen mit Auswirkungen in der Sicherheitsebene 3 sind kontinuierliche und zuverlässige Überwachungsmaßnahmen gefordert. Neben der Anforderung, dass alle Maßnahmen eine hohe Ausführungsqualität, vergleichbar dem bei der Absicherung ähnlicher Risiken, besitzen müssen, sind hierunter beispielsweise bei Ausfall selbstmeldende und redundante Überwachungsmaßnahmen zu verstehen. Auf Redundanz darf nur dann verzichtet werden, wenn das Erkennen des Ausfalls und die damit verbundene Aussage über den Zustand in dem entsprechenden Bereich auf der Basis der getroffenen Vorkehrungen in einem gestaffelten System in jedem Fall erkannt wird und umgehend Maßnahmen zur Wiederherstellung der Überwachung getroffen werden. Die dafür benötigten bzw. vorgeschriebenen Zeiten müssen so klein sein, dass sich in den betroffenen überwachten Systembereichen unter konservativen Annahmen keine relevanten Radiolysegaskonzentrationen aufbauen können. Wie nach Meldung eines Ausfalls vorzugehen ist, und in welcher Zeit der überwachte Zustand wiederhergestellt sein muss, ist im BHB (SSP) festzulegen.

Zur Verhinderung von Radiolysegasreaktionen mit Auswirkungen entsprechend der Sicherheitsebene 4 sind kontinuierliche und hochwertige (Redundanz, Diversität oder Ausfallüberwachung) Überwachungsmaßnahmen gefordert. Entsprechend des höheren möglichen Schadens muss hier die Überwachung hochwertiger aufgebaut sein als bei Systembereichen, bei denen maximal mögliche Auswirkungen der Sicherheitsebene 3 zuzuordnen sind.

Besondere Bedeutung nehmen in den Sicherheitsebenen 3 und 4 passive Maßnahmen ein. Von dieser Anforderung darf nur dann abgewichen werden, wenn keine entsprechenden passiven Maßnahmen realisierbar sind; dies ist zu begründen. Mit den in einem solchen Fall zu treffenden Maßnahmen muss ein gleichartiges Niveau erreicht werden, wie dies beim Einsatz passiver Maßnahmen der Fall ist.

Bei allen Maßnahmen in den Sicherheitsebenen 3 und 4 sind zusätzlich im BHB (SSP) Kriterien und Maßnahmen bei Abweichungen von Sollvorgaben anzugeben. Dies dient dazu, dass für den Fall von Störungen bzw. Ausfällen von Maßnahmen eindeutige Festlegungen für das weitere Vorgehen getroffen werden, bis hin zur Festlegung des Abfahrens der Anlage, wenn die Funktionsfähigkeit einer Maßnahme nicht rechtzeitig wiederhergestellt wird.

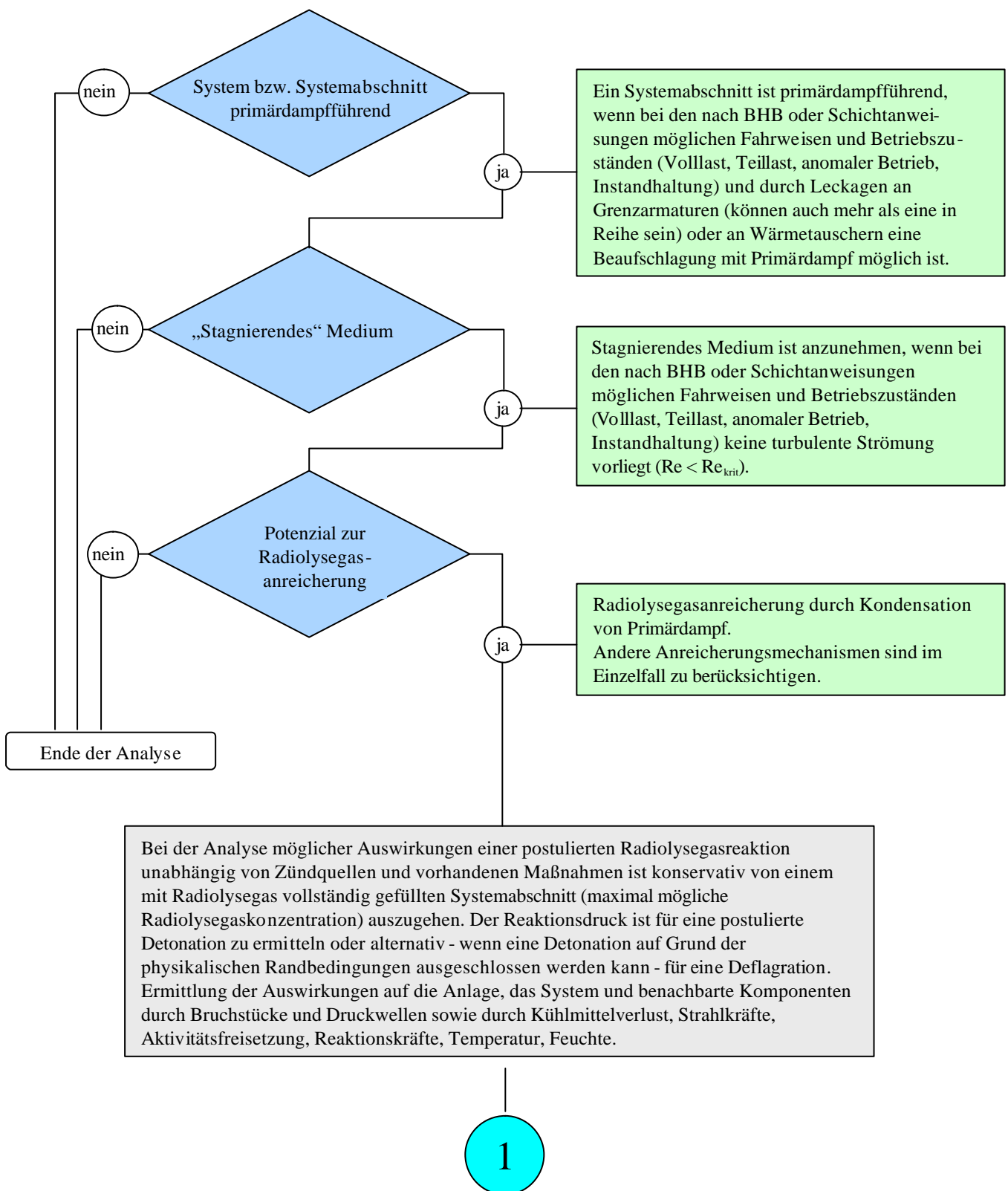


Abbildung 1: Schematische Vorgehensweise zur Analyse der Auswirkungen potenzieller Radiolysegasreaktionen

Fortsetzung Abbildung 1:

1

### Maßnahmen zur Verhinderung von Ereignissen der jeweiligen Sicherheitsebene

Auswirkungen einer Radiolysegasreaktion führen zu keiner erforderlichen Anforderung von Sicherheitssystemen. Funktionseinschränkungen an Sicherheitseinrichtungen bleiben innerhalb der Grenzen, die durch die Verfügbarkeitskriterien gemäß BHB – Auflagen und Bedingungen für den Betrieb – festgelegt sind.  
Freisetzungen radioaktiver Stoffe führen zu keiner Überschreitung der Grenzwerte nach § 47 StrlSchV.

**Ereignisse auf Sicherheitsebenen 1 oder 2**

Ja

Wenn in dem System offensichtliche Zündquellen wie bewegte Teile, Katalysatoren etc. vorhanden sind, sind zur Vermeidung von Radiolysegasreaktionen Maßnahmen vorzusehen, wobei vom Zusammenwirken mehrerer Maßnahmen Kredit genommen werden kann. Die Maßnahmen können auch administrativer Art sein und diskontinuierlich erfolgen. Dies gilt auch für die Überwachung auf Radiolysegasansammlungen. Die erforderliche Vorsorge ist dann erfüllt, wenn die abgeschätzte Eintrittswahrscheinlichkeit derartiger Ereignisse keinen dominanten Beitrag zur Schadensrate von Komponenten hat und die Anforderungen an anomale Betriebsfälle gemäß dem Sicherheitskonzept für Kernkraftwerke eingehalten werden.

Nein

Auswirkungen einer Radiolysegasreaktion bleiben auf die für Auslegungstörfälle zulässigen Folgen begrenzt (z. B. Kernkühlung, Unterkritikalität, Barrierenerhalt SHB, Unterschreitung Planungsgrenzwerte gemäß § 49 StrlSchV müssen gewährleistet bleiben) und sind durch das Spektrum der betrachteten Auslegungstörfälle gemäß der Genehmigung der jeweiligen Anlage abgedeckt.

**Ereignisse auf Sicherheitsebene 3**

Ja

Mindestens eine Maßnahme sollte für sich allein wirksam sein. Der Vermeidung von Radiolysegasansammlungen ist Priorität einzuräumen. Passive Maßnahmen sind zu bevorzugen. Die Wirksamkeit der Maßnahmen muss durch kontinuierliche und zuverlässige Überwachungen verfolgt werden. Im BHB (SSP) sind die Kriterien und Maßnahmen bei Abweichungen von Sollvorgaben zu benennen. Die erforderliche Vorsorge ist dann erfüllt, wenn aus Radiolysegasreaktionen sich kein dominanter Beitrag zu Häufigkeit von Leckstörfällen ergibt und die Anforderungen an Auslegungstörfälle gemäß dem Sicherheitskonzept für Kernkraftwerke eingehalten werden.

Nein

Maßnahmen des Sicherheitssystems zur Störfallbeherrschung sind nicht ausreichend wirksam  
**oder**  
Zur Störfallbeherrschung erforderliche Komponenten werden auslegungsüberschreitend beansprucht  
**oder**  
Aktivitätsfreisetzung oberhalb der Planungswerte nach § 49 StrlSchV

**Ereignisse auf Sicherheitsebene 4**

Ja

Mindestens eine Maßnahme muss für sich allein wirksam sein. Ziel ist die Verhinderung von Radiolysegasansammlungen. Die Maßnahmen sollen passiv wirken. Die Wirksamkeit der Maßnahmen muss durch eine kontinuierliche und hochwertige Überwachung verfolgt werden. Im BHB (SSP) sind die Kriterien und Maßnahmen bei Abweichungen von Sollvorgaben zu benennen. Die erforderliche Vorsorge ist dann erfüllt, wenn nach den Maßstäben der praktischen Vernunft derartige Ereignisse ausgeschlossen werden können.



**Tabelle 1:** Beispiele für Maßnahmen zur Verhinderung oder Beherrschung von Radiolysegasreaktionen

Maßnahme	Zur Vermeidung von Ereignissen auf Sicherheitsebene
Zyklisches Spülen durch Handmaßnahmen; Wirksamkeitsüberwachung durch kontinuierliche Temperaturmessung mit Meldung bei Grenzwertüberschreitung oder Ausfall.	1/2
Katalysator oder thermisch gesteuerter Entlüfter; Wirksamkeitsüberwachung durch diskontinuierliche Messungen zulässig.	1/2
Spülleitung mit Armaturenverriegelung in Offenstellung; Stellungskontrolle vor Anfahren; Wirksamkeitsprüfung beim Anfahren durch Messung	1/2
Katalysator; Wirksamkeitsüberwachung durch kontinuierliche Temperaturmessung mit Meldung bei Grenzwertüberschreitung oder Ausfall.	3
Nachweis durch betriebliche Messungen, dass durch physikalische Effekte (Konvektion, Diffusion, Gastransport im Kondensat) eine Ansammlung verhindert wird; Wirksamkeitsüberwachung durch kontinuierliche Temperaturmessung mit Meldung bei Grenzwertüberschreitung oder Ausfall.	3
Spülleitung mit Armaturen; Armaturenverriegelung in Offenstellung; Stellungskontrolle vor Anfahren und Wirksamkeitsprüfung durch kontinuierliche Messung beim Betrieb.	3
Bauliche Schutzmaßnahmen, die die Reduzierung der Auswirkungen auf eine niedrigere Sicherheitsebene begrenzen.	3/4
Gesicherte Durchströmung nachgewiesen auf Basis physikalischer Prinzipien mit kontinuierlicher hochwertiger Überwachung. Dies kann bspw. eine Spülbohrung oder Spülleitung ohne Armaturen sein, wobei eine unzulässige Beeinträchtigung der Wirksamkeit durch betriebliche Einflüsse auszuschließen ist.	4