

## **RSK - STELLUNGNAHME**

vom 22.07.2004 (374. Sitzung)

### **Anforderungen an den Nachweis der Notkühlwirksamkeit bei Kühlmittelverluststörfällen mit Freisetzung von Isoliermaterial und anderen Stoffen**

Vorbemerkung: Die nachfolgende Stellungnahme aktualisiert die Stellungnahme „Wirksamkeit der Notkühlsysteme bei Freisetzung von Isoliermaterial bei „Kühlmittelverluststörfällen“ aus der 320. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 16.09.1998 [11].

#### **1 Beratungsauftrag**

Mit Schreiben des BMU - RS I 3 - 14203/29 vom 25.04.2003 [1] war die RSK gebeten worden, in ihrer 362. Sitzung am 08.05.2003 das Thema „Befunde im Ansaugbereich der Nachkühlpumpen der Anlage Biblis A“ zu beraten. Das BMU konkretisierte seinen Beratungsauftrag mit Schreiben RS I 3 – 17018/1 vom 12.05.2003 [2] und mit Schreiben RS I 3 – 17018/1 vom 19.05.2003 [3] und bat, die Beratungen zum Thema „Ansaugbereich der Nachkühlpumpen“ wieder aufzugreifen und den Stand von Wissenschaft und Technik auch unter Berücksichtigung der Ergebnisse aktueller Untersuchungen der Betreiber und der GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH darzustellen.

Im Einzelnen bat das BMU um die Beratungen folgender Punkte:

- Beratung des aktuellen Sachverhalts hinsichtlich Nachkühlung einschließlich der verwendeten Ansätze zur Notkühlwirksamkeit, wie z. B. Siebflächenänderungen und Druckdifferenzen.
- Klärung der Frage, welche Lecköffnungsgröße für die Verstopfungsproblematik der Sumpfansaugsiebe nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zu unterstellen ist.
- Darlegung der sicherheitstechnischen Bedeutung der Postulatsvarianten sowie der Gründe, Vor- und Nachteile hinsichtlich der Postulate 2 F- und 0,1 F-Leck.
- Darlegung der Randbedingungen, unter denen ein Kühlmittelverluststörfall mit Anforderung von Nachkühlpumpen beherrscht wird und Beantwortung der Frage, ob während des Notkühlfalles ein Abschalten von Nachkühlpumpen zulässig oder gar erforderlich ist.
- Beratung der Ergebnisse der neueren Versuche zur Nachkühlung.
- Darlegung des internationalen Standes der Maßnahmen zur Beherrschung der „Barsebäck“-Problematik zur Ableitung des Standes von Wissenschaft und Technik.

Die Ergebnisse der Beratungen sind dem BMU in Form einer Stellungnahme vorzulegen.

## 2 Beratungsgang

Der RSK-Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK hatte in seiner 11. Sitzung am 14.05.2001 einen Bericht der GRS zur Erstellung einer Bewertungsgrundlage zum Verhalten von Isoliermaterial nach Kühlmittelverlust (KMV)-Störfällen [4] und in seiner 12. Sitzung am 20.09.2001 einen Bericht der Betreiber über das Versuchsprogramm zum Nachweis der gesicherten Sumpfansaugung [5] angehört und beraten.

Die RSK trat in ihrer 362. Sitzung am 08.05.2003 in die Beratung des Beratungsauftrags des BMU ein, hörte Berichte des Betreibers, des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (HMULV), des TÜV Nord und des TÜV Süddeutschland [6 – 10] an und diskutierte sie. Sie bat den RSK-Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK, die Versuche der Betreiber zum Verhalten des Isoliermaterials und die daraus folgenden Auswirkungen auf die Stellungnahme der RSK zur Wirksamkeit der Notkühlssysteme bei Freisetzung von Isoliermaterial bei KMV-Störfällen (320. Sitzung am 16.09.1998) [11] nach dem Vorliegen der diesbezüglichen Abschlussberichte zu beraten.

In ihrer 363. Sitzung am 04./05.06.2003 setzte die RSK ihre Beratungen mit einem Bericht der GRS zum internationalen Vorgehen bei der Bewertung der Sicherstellung der Sumpfansaugung nach einem Kühlmittelverluststörfall mit Berücksichtigung der Ablösung von Isoliermaterial sowie einem Bericht über das Leck-vor-Bruch-Konzept auf der Basis von Versuchen an austenitischen und ferritischen Rohren fort. Die RSK bat um eine Darstellung, die einen detaillierten Vergleich der internationalen Vorgehensweise bei der Betrachtung der Freisetzung von Isoliermaterial bei einem KMV ermöglicht und bat den RSK-Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK, in ihrer 364. Sitzung am 10.07.2003 über das Ergebnis seiner Beratungen zu den Auswertungen der Versuche der Betreiber zum Befund im Ansaugbereich der Nachkühlpumpen im Kernkraftwerk KWB-A zu berichten.

Zur Strukturierung der Beratungen der generischen Aspekte zur möglichen Verstopfung der Sumpfansaugöffnungen bei einem KMV bildete die RSK in ihrer 364. Sitzung am 10.07.2003 eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe, die in einer Sitzung am 25.08.2003 einen Strukturierungsvorschlag für die Beratung generischer Aspekte einer möglichen Verstopfung der Sumpfansaugöffnungen bei einem Kühlmittelverluststörfall erstellte, den die RSK in ihrer 365. Sitzung am 18.09.2003 zustimmend zur Kenntnis nahm [38].

Daraufhin hörte der RSK-Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK in seiner 19. Sitzung am 02.07.2003 zum Thema „Kernkraftwerk Biblis, Block A, Versuche zur Rückhaltung von Isoliermaterial im Sumpfansaugbereich der Not- und Nachkühlpumpen“ Berichte der Betreiber und der Gutachter TÜV Süddeutschland und TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt sowie einen Bericht von Herrn Sandervag, SKI, zum Thema „Generische Fragen zur Verstopfung im Sumpfansaugbereich bei einem Kühlmittelverluststörfall unter Berücksichtigung schwedischer Erkenntnisse“ [12 - 22] an. Der Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK berichtete der RSK in ihrer 364. Sitzung am 10.07.2003 über das Ergebnis seiner Beratungen [23; 24] und setzte die Beratungen in seiner 20. Sitzung am 04.09.2003, in seiner 22. Sitzung am 18.11.2003 und in seiner 23. Sitzung am 18.12.2003 fort [25-36]. In der 24. Sitzung des Ausschusses am 05.02.2004 gab die GRS eine Synopse der GRS- und Betreiber-Vorschläge für die Bewertungsgrundlage generischer Fragen zur möglichen Verstopfung im Sumpfansaugbereich bei einem Kühlmittelverluststörfall. Der Ausschuss setzte die Beratungen und die Erstellung des Entwurfs einer

Stellungnahme in seiner 25., 26. und 27. Sitzung am 30.03., am 06.05., am 17.06.2004 und in einer Ad-hoc-Arbeitsgruppe am 08.07.2004 fort.

### **3        Bewertungsmaßstab**

Übergeordneter Maßstab für die sicherheitstechnische Bewertung der Freisetzung von Isoliermaterial bei einem Kühlmittelverluststörfall ist die Gewährleistung der Kernkühlung. Dazu muss anlagenspezifisch nachgewiesen sein,

- dass die Menge des im Kern abgelagerten Isoliermaterials unterhalb der Menge bleibt, bei der eine Kernkühlung nicht mehr gewährleistet ist,
- dass die Lastabtragung an den Sumpfsieben und ihren Strukturen aufgrund der durch die Ablagerung von Isoliermaterial entstehenden Druckdifferenzen sichergestellt ist und
- dass in den Nachkühlpumpen keine Kavitation stattfindet, die zu einer unzulässigen Durchsatzverringerung führt.

### **4        Empfehlungen zur Nachweisführung**

Die RSK kam in ihren Beratungen zu den nachfolgend aufgeführten Empfehlungen hinsichtlich der Nachweisführung zur Sicherstellung der Sumpfansaugung und Kernkühlung nach einem postulierten Leckstörfall unter Berücksichtigung der Freisetzung von Isoliermaterial. Diese Empfehlungen aktualisieren die Stellungnahme der RSK auf der 320. Sitzung vom 16.09.1998 [11], da sich in den letzten Jahren durch weitere nationale und internationale Versuche und Analysen neue Erkenntnisse ergeben haben, die eine Überarbeitung dieser Stellungnahme erforderlich machen.

Die vorliegenden Empfehlungen folgen mehreren Grundsätzen:

- Die hier empfohlene Vorgehensweise gilt für Anlagen mit Druckwasserreaktoren. Die von der Anlagenausführung her vergleichbaren Einzelaspekte sind auch auf Anlagen mit Siedewasserreaktoren anwendbar.
- Die Empfehlung betrifft die Nachweisführung für Ereignisse der Sicherheitsebene 3. Darüber hinaus werden zusätzlich anlageninterne Notfallmaßnahmen empfohlen.
- Die vorliegenden Erkenntnisse stützen sich im Wesentlichen auf Experimente und gestatten keine durchgehend analytische Behandlung der Thematik. Sie zeigen jedoch, dass durch freigesetztes Isoliermaterial bei einem Kühlmittelverluststörfall ein unzulässig hoher Druckverlust über die Sumpfansaugsiebe oder über den Kern ohne entsprechende Nachweise nicht ausgeschlossen werden kann. Mit der im Folgenden dargestellten Vorgehensweise werden die bei der Nachweisführung zukünftig einzuhaltenden Randbedingungen empfohlen.

- Mit der im Folgenden empfohlenen Vorgehensweise sollen noch vorliegende Erkenntnisunsicherheiten in einzelnen Aspekten in Bezug auf ein abdeckendes Gesamtergebnis berücksichtigt werden. Dabei kann grundsätzlich von typenspezifischen oder generischen Untersuchungen Kredit genommen werden, wenn die Ergebnisse auf die jeweilige Anlage in geeigneter Weise übertragen werden können.
- Die vorzusehenden Maßnahmen zur Beherrschung von Ereignissen auf der Sicherheitsebene 3 sind so zu gestalten, dass anlageninterne Notfallmaßnahmen auslegungsgemäß nicht erforderlich sind.
- Je nach Ausführung der Sumpfsiebe kann ein unzulässig hoher Druckverlust, der zu einer unzureichenden Kühlung des Reaktorkerns führen kann, entweder an den Sumpfsieben oder im Kern durch Behinderung des Kühlmitteldurchsatzes durch die Brennelemente auftreten. Im Hinblick auf mögliche ergänzende anlageninterne Notfallmaßnahmen und deren Durchführbarkeit und Wirksamkeit sind die Siebgröße und Maschenweite der Sumpfsiebe so zu gestalten, dass ein ggf. auftretender unzulässig hoher Druckverlust nur an den Sumpfsieben zu besorgen wäre. Für diesen Fall sind anlageninterne Notfallmaßnahmen vorzusehen, um den Druckverlust zu begrenzen bzw. zu reduzieren.

Die nachfolgend aufgeführten Anforderungen an die Nachweisführung und die Maßnahmen gelten für alle Leckgrößen, bei denen ein Sumpfbetrieb im Verlauf des Störfalls erforderlich ist.

- **Leckort**

Bei der Bestimmung der Leckorte sind diejenigen bei der Nachweisführung zu berücksichtigen, bei denen das freigesetzte Isoliermaterial zu den ungünstigsten Bedingungen hinsichtlich des Druckverlustes an den Sieben bzw. des Eintrags in den Kern führt. Dies muss in der Analyse anlagenspezifisch und nachvollziehbar dargelegt werden.

- **Freisetzung von Isoliermaterialien und anderen Stoffen**

Der Ist-Zustand der Isolierung und der verwendeten Materialien ist zu erfassen und zu dokumentieren.

Die Berechnung der freigesetzten Isoliermaterialmenge soll nach dem so genannten NRC-Kegel-Modell erfolgen [38]. Dabei wird die freigesetzte Menge abhängig von der Leckgröße (äquivalenter Durchmesser D), dem Abstand vom Leckort (Entfernung L) und der Isoliermaterialart analog folgender Tabelle mit einem Öffnungswinkel des Kegels von 90° berechnet:

	<b>Abstand</b>	<b>Freisetzung</b>		
<b>Zone</b>		<b>Kassettenisolierung</b>	<b>Matratzenisolierung</b>	<b>Konventionelle Isolierung</b>

<b>1</b>	$L \leq 3 D$	100 %	100 %	100 %
<b>2</b>	$3 D < L \leq 7 D$	50 %	100 %	100 %
<b>3</b>	$7 D < L \leq 30 D$	0 %	0 %	100 %

Zur Belegung der Gültigkeit dieser Annahmen wurden Versuche [39] durchgeführt. Bei der Berechnung der freigesetzten Isoliermaterialmenge sind beim Vorhandensein von Kassettenisolierungen zusätzlich die Halb-Kassette(n) vollständig zu berücksichtigen, die die als kreisförmig angenommene Leckstelle auf der betroffenen Rohrleitung umgibt bzw. umgeben.

Bei Kassetten, die vom Strahlkegel in Zone 1 und 2 teilweise getroffen werden und die zum größten Teil außerhalb des Strahlkegels liegen, ist der außerhalb des Strahlkegels liegende Kassettenbereich der Zone 2 zuzurechnen. Für zusätzlich innerhalb der Kassetten z. B. durch Gewebetaschen geschütztes Isoliermaterial ist im Einzelfall zu bewerten, ob ein Zuschlag für außerhalb des Strahlkegels liegende Bereiche erforderlich ist.

Der Effekt von Verlagerungen der Strahlrichtung beim Abriss von Leitungen, die zu einer Vergrößerung der getroffenen Isoliermaterialfläche führen könnten, ist anlagenspezifisch bei der Ermittlung der Freisetzung zu berücksichtigen.

Infolge der Leckausströmung können auch andere Stoffe (wie z. B. Anstriche, Betonteilchen, Staub, Folien, Brandschutzmaterial) in den Sumpf gespült werden. Die Freisetzungsmenge dieser Stoffe ist anlagenspezifisch abzuschätzen und bei der Bewertung zu berücksichtigen.

- **Transport im Sicherheitsbehälter**

Zum Transport des freigesetzten Isoliermaterials im Sicherheitsbehälter von DWR liegen zurzeit noch keine Integralversuche vor. Aus dem Ereignis in der Anlage Barsebäck-2 sowie schwedischen und amerikanischen Versuchen kleineren Maßstabs [16], [22] lässt sich schließen, dass mehr als die Hälfte der freigesetzten Isoliermaterialmenge im Sicherheitsbehälter zurückgehalten wird. Für deutsche Anlagen ist zu berücksichtigen, dass im Unterschied zu ähnlichen ausländischen Druckwasserreaktoren kein Sprühsystem im Störfallverlauf eingesetzt wird, das weiteres Abwaschen von freigesetztem Isoliermaterial ermöglicht.

Die bei der Nachweisführung zu treffende Annahme eines 50 %-igen Transports des freigesetzten Isoliermaterials und anderer Stoffe in den Sumpf ist für deutsche Anlagen als abdeckend anzusehen. Bei dieser Festlegung wird keine Unterscheidung hinsichtlich der Leckorte und -größen getroffen.

- **Transport im Sumpfwasser**

International wird der Transport im Sumpfwasser durch Postulate festgelegt, da die diesbezüglichen Phänomene noch nicht vollständig analytisch behandelt werden können. Die deutschen Betreiber führten daher Großversuche durch, um die im Sumpf transportierbare Isoliermaterialmenge (Ablagerung am Sieb plus Penetration) zu bestimmen [19], [33]. Ergebnisse liegen im Wesentlichen für den Isolierstoff MD 2 (83) vor. Der Einfluss unterschiedlicher Isoliermaterialien, Mischungen von Faser- und Partikelisolierungen sowie anderer Stoffe auf den Transport wird gegenwärtig untersucht.

Für die Nachweisführung ist der transportierbare Anteil der in den Sumpf eingetragenen Isoliermaterialmenge durch repräsentative Versuche zu ermitteln und konservativ festzulegen.

Für das Isoliermaterial MD 2 (83) ist bei Vorliegen einer turbulenten Strömung im Sumpf infolge des Leckstrahls beim Sumpfbetrieb der Druckverlust an den Sumpfsieben für einen Transportanteil von 20 % bis 40 % und der damit korrelierten Größenverteilung des Isoliermaterials zu bestimmen. Andere Werte für den Transportanteil bedürfen der Absicherung durch Versuche. Für Mineralwolle RTD 2 und andere Isolierstoffe als MD 2 (83) sowie Kombinationen von faser- und partikelförmigen Stoffen sind die Transportraten basierend auf Experimenten konservativ festzulegen. Dabei sind auch Skalierungseffekte zu berücksichtigen.

- **Druckverlust an den Sumpfsieben**

Der Druckverlust an den Sumpfsieben ist von einer Reihe von Parametern abhängig, wie z. B. der Art und Größenverteilung des an die Sumpfsiebe transportierten Isoliermaterials, der Menge des am Sieb abgelagerten Isoliermaterials, der eingelagerten Partikel, der Fläche und Maschenweite des Sumpfsiebes, der Temperatur des Sumpfwassers und der Anströmgeschwindigkeit am Sieb. Dabei ist die ungünstigste Ausfallkombination der Nachkühlpumpen hinsichtlich Ablagerungen und Strömungsgeschwindigkeit am Sieb zu unterstellen.

Validierte Ansätze, diese Parameter in eine allgemein gültige Gleichung für den Druckverlust zu fassen, sind derzeit nicht vorhanden. Weltweit werden daher die zu erwartenden Druckverluste am Sumpfsieb zurzeit durch Versuche bestimmt. Die RSK empfiehlt diese Vorgehensweise auch für deutsche Anlagen. Für die zu betrachtenden Lecklagen und Leckgrößen ist die Bandbreite und die Art der freigesetzten und auf den Sieben abgelagerten Stoffe nach oben genanntem Ansatz festzustellen und der daraus resultierende Druckverlust experimentell unter Beachtung anlagenspezifischer Bedingungen zu bestimmen. Dieser Druckverlust ist unter angemessener Berücksichtigung der sonstigen Konservativitäten mit einem Sicherheitszuschlag zu versehen.

Bei feinmaschigen Sieben ist konservativ davon auszugehen, dass das gesamte transportierbare Material am Sieb abgelagert wird. Bei grobmaschigen Sieben ist der Rücktransport von penetriertem Isoliermaterial über das Leck in den Sumpf zu berücksichtigen. Um diesem Effekt Rechnung zu tragen, ist für die Berechnung des Druckverlustes die in den Versuchen gemessene Ablagerungsmenge um 50 % der gemessenen Penetrationsmenge zu erhöhen.

Der sogenannte Dünnschichteffekt („thin bed effect“), der auftritt, wenn sich Partikel in eine dünne (wenige Millimeter dicke) Schicht von Fasern auf den Sieben einlagern oder überwiegend feine Faserteilchen ein kompaktes Filterbett (nur bei geringen Transportraten im Sumpf möglich) bilden, ist besonders zu beachten. Der daraus resultierende Druckverlust kann den einer wesentlich größeren Menge von Fasern (und Partikeln) übersteigen. Die RSK empfiehlt daher, den gleichzeitigen Einsatz partikel- und faserförmiger Isoliermaterialien in den Anlagen soweit zu begrenzen, dass der oben dargestellte Effekt nur geringe Auswirkungen hat.

Die Abtragbarkeit der aus Druckdifferenzen resultierenden Lasten über die Siebgitterstruktur sowie durch die Unterstützungs- und Betonstrukturen ist für die Kurzzeit-(Blow-Down-)Phase und die Langzeit-(Nachkühl)-Phase nachzuweisen.

- **Penetration von Isoliermaterial durch das Sieb**

Die Penetration von Isolierstoffen und anderen Stoffen durch das Sieb hängt im Wesentlichen von der Art und Größenverteilung der Stoffe, von der Belegung des Siebs, von der Strömungsgeschwindigkeit und von der Maschenweite des Siebs ab. Die für die weitere Nachweisführung zu unterstellende Penetration ist, wie der Druckverlust am Sieb, anlagenspezifisch unter Berücksichtigung der für den Absolutwert der Penetration ungünstigsten zu erwartenden Siebbelegung zu bestimmen. Dabei ist in Abhängigkeit von der Sumpfkfiguration und der Anzahl verfügbarer Pumpen von dem ungünstigsten Fall auszugehen.

- **Pumpenvordruck**

Die Nachkühlpumpen benötigen einen ausreichenden Pumpenvordruck, um nicht zu kavitieren. Bei Kavitationsbetrieb ist der Durchsatz des Kühlmittels eingeschränkt und unter Umständen nicht ausreichend, um den Kern ausreichend zu kühlen.

Es ist nachzuweisen, dass nach der Sumpfschaltung unter Berücksichtigung des für die ungünstigste Siebbelegung ermittelten Druckverlustes am Sumpfsieb eine unzulässige Beeinträchtigung der Funktion der Nachkühlpumpen durch Kavitation nicht auftritt. Dazu ist nach Auffassung der RSK ein ausreichender Sicherheitsabstand einzuhalten.

Gemäß RSK-Leitlinien DWR sind bei der Analyse der Kernnotkühlwirksamkeit Leckquerschnitte in den Hauptkühlmittelleitungen (HKL) von 2F zu Grunde zu legen (Kap. 21.1 (2)). Für die Zulaufhöhe der Nachkühlpumpen ist gemäß Kap. 22.1.3 (3) als Berechnungsvorschrift nach der Umschaltung auf Sumpfbetrieb Atmosphärendruck im Sicherheitsbehälter zu Grunde zu legen. Bei Anwendung dieser Vorschrift ergibt sich bei den derzeitigen Auslegungen ein ausreichender Abstand zur Kavitation ohne Berücksichtigung eines erhöhten Druckverlustes über die Sumpfsiebe infolge der Ablagerung von Isoliermaterial.

Bei einem erhöhtem Druckverlust infolge der Ablagerungen von Isoliermaterial an den Sumpfsieben kann die Notkühlwirksamkeit unter Beachtung der Berechnungsvorschrift nach den RSK-Leitlinien (Kap. 22.1.3

(3)) unter Umständen nicht nachgewiesen werden. In solchen Fällen ist wie nachfolgend beschrieben vorzugehen:

Durch die Rechenvorschrift nach RSK-Leitlinien (d. h. Nicht-Berücksichtigung des Überdrucks im Sicherheitsbehälter) ergeben sich sehr hohe Auslegungsreserven. Vor diesem Hintergrund und der zusätzlichen Berücksichtigung der kurzzeitigen Fahrweise bei hohen Sumpftemperaturen ist nach Ansicht der RSK die Berücksichtigung des Überdrucks im Sicherheitsbehälter unter folgenden Voraussetzungen zulässig:

- Die Druck- und Temperaturbedingungen in der Sicherheitsbehälteratmosphäre bzw. im Sumpf sind nachvollziehbar konservativ im Hinblick auf niedrige Drücke und hohe Sumpftemperaturen mit validierten Rechenprogrammen zu bestimmen. Die Zulaufhöhen für die Nachkühlpumpen sind mit diesen errechneten Werten sowie unter Berücksichtigung der konservativ bestimmten Druckverluste an den Sumpfsieben zu ermitteln, die durch das auf den Sieben abgelagerte Isoliermaterial verursacht werden.
- Die so ermittelte Zulaufhöhe muss größer sein als die zur Vermeidung von Kavitation erforderliche Zulaufhöhe. Zur Bewertung der ausreichenden Sicherheit ist der dabei ermittelte Abstand zur Kavitationsgrenze auszuweisen und mit dem entsprechenden Wert nach RSK-Berechnungsvorschrift (ohne Berücksichtigung von Isoliermaterial) zu vergleichen.

Als weitere Bedingung ist einzuhalten, dass infolge des Druckverlustes am Sieb nur eine geringfügige Dampfbildung zulässig ist, die zu keiner wesentlichen Verringerung des Kühlmitteldurchsatzes führt.

#### • **Druckverlust im Kern durch Eintrag von Isoliermaterial**

Ein Teil des Isoliermaterials, das durch das Sumpfsieb penetriert ist, kann sich an den Brennelementfüßen und an den Abstandshaltern ablagern. Der restliche Anteil (Feinstpartikel) kann in der Kühlmittelströmung verbleiben und in den Sicherheitsbehälter-Sumpf zurückströmen.

Es ist nachzuweisen, dass das im Kern abgelagerte Isoliermaterial die Wärmeabfuhr aus dem Kern nicht unzulässig beeinträchtigt. Der Einfluss anderer potenziell eingetragener Stoffe ist zu bewerten. Bei der Nachweisführung ist abdeckend davon auszugehen, dass das gesamte penetrierte Material in den Reaktorbehälter gelangt. Die Ablagerung im Kern ist unter Berücksichtigung der Strömungsverteilung im RDB und der Rückhaltung im Kern mit Experimenten abdeckend zu ermitteln. Liegen keine Experimente vor, ist konservativ zu unterstellen, dass das gesamte penetrierte Material im Kern abgelagert wird.

Für die Analysen zur Kühlbarkeit des Kerns mit eingetragener Isoliermaterialmenge ist anlagenspezifisch die ungünstigste Kombination von Leckort und Einspeisekonfiguration der Nachkühlpumpen zu unterstellen.

Der für die Nachweisführung verwendete Druckverlust an den Brennelementen muss in Abhängigkeit von Brennelementtyp und eingetragener Isoliermaterialmenge, Isoliermaterialart, der Temperatur, der Strömungsgeschwindigkeit und der chemischen Zusammensetzung des Kühlmittels durch Versuche



bestimmt werden. Dieser Druckverlust ist unter angemessener Berücksichtigung der sonstigen Konservativitäten mit einem Sicherheitszuschlag zu versehen. Dabei ist auch der Einfluss anderer potenziell eingetragener Stoffe zu bewerten.

Der maximal zulässige Druckverlust über den Kern infolge von Materialablagerungen und der Nachweis der ausreichenden Kernkühlung sind durch Analysen mit qualifizierten thermohydraulischen Rechenprogrammen zu ermitteln bzw. zu führen und dürfen die Wärmeabfuhr aus dem Kern nicht unzulässig beeinträchtigen. Eine gesicherte Wärmeabfuhr ist gegeben, wenn es nach der Sumpfschaltung nicht zu einer Netto- Dampfbildung im Kern und nicht zu einer Dampfausströmung aus dem Kern kommt. Dabei sind gemäß RSK-Leitlinien thermohydraulische Randbedingungen zu Grunde zu legen, die Lecks bis zu 2F abdecken.

Die Wärmeabfuhr aus dem Kern ist gegeben, wenn der aufgrund der Materialablagerung an den Brennelementen bestimmte Druckverlust im Kern ausreichend unter dem als zulässig ermittelten Druckverlust liegt.

- **Komponenten im Nachkühlkreislauf**

Neben den Brennelementen können auch Pumpen, Ventile und Wärmetauscher durch den Eintrag von Isoliermaterial in ihrer Funktion eingeschränkt sein. Es ist darzulegen, dass die zur Störfallbeherrschung erforderlichen Funktionen des Not- und Nachkühlsystems, die durch den Eintrag von penetriertem Isoliermaterial und anderen Stoffen beeinträchtigt werden können, uneingeschränkt gewährleistet sind.

- **Langzeitverhalten**

Bezüglich der möglichen Änderung der Druckverluste über längere Zeiträume sollte der Einfluss der Korrosion von Einbauten im Sicherheitsbehälter durch boriertes Wasser untersucht werden. Korrosionspartikel, die sich im Faserbett auf dem Sieb ablagern, können den Druckverlust erhöhen.

Die zu erwartende Korrosionsrate von Metalloberflächen im Sumpfwasserbereich ist für die Nachweisführung abzuschätzen und im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die Druckverluste über die Sumpfsiebe und den Kern zu berücksichtigen.

Der Borgehalt des Sumpfwassers beeinflusst nach heutigem Kenntnisstand bei Mineralwolle im Gegensatz zu Glaswolle lediglich die Viskosität des Kühlmittels. Chemische Reaktionen mit der Mineralwolle sind daher nicht zu erwarten. Der Kenntnisstand bezüglich des langfristigen Einflusses von boriertem Sumpfwasser auf den Druckverlust am Sumpfsieb sollte jedoch weiter experimentell abgesichert werden. Hierzu sind Versuche mit relevanten Kombinationen von Isoliermaterialien zur Unterstützung der getroffenen Annahmen durchzuführen.

- **Sauberkeit der Anlage**

Wegen des Beitrags anderer Stoffe („latent debris“), die sich in ein Faserbett aus Isoliermaterial einlagern und zu einer weiteren Erhöhung des Druckverlustes über die Sumpfsiebe führen, ist besonders auf Sauberkeit, Korrosionsfreiheit und Haftung von Anstrichen im Sicherheitsbehälter zu achten. Die Verwendung von Materialien wie Brandschutzmaterialien, Abdeckfolien, Klebebändern und Materialien, die bei einem Kühlmittelverluststörfall in den Sicherheitsbehältersumpf gelangen können, ist möglichst gering zu halten. Nach Arbeiten im Sicherheitsbehälter und nach einer Revision ist die Entfernung aller unnötigen Materialien und vor dem Wiederanfahren die Sauberkeit im Sicherheitsbehälter zu überprüfen.

Staub kann sich an Oberflächen im Sicherheitsbehälter und in Lüftungskanälen ansammeln. Da die Lüftungskanäle bei einem Kühlmittelverluststörfall zerstört werden können, sollten diese soweit wie möglich innen sauber gehalten werden. Nach heutigen Erkenntnissen ist der Einfluss von Partikeln wie Staub auf den Druckverlust über die Siebe nicht auszuschließen und sollte daher experimentell untersucht werden. Es ist nachzuweisen, dass der Einfluss von Staub nicht zu einem unzulässigen Druckverlust („Thin Bed Effect“) am Sieb und im Kern führt (s. a. Abschnitt „Druckverlust an den Sumpfsieben“).

#### • **Anlageninterne Notfallmaßnahmen**

Um die Kernkühlung bei nicht auslegungsgemäßigem Verhalten im Sumpfbetrieb bei einem Kühlmittelverluststörfall zu gewährleisten, sind Maßnahmen der Sicherheitsebene 4 (anlageninterne Notfallmaßnahmen) vorzusehen, die einen sich ggf. aufbauenden unzulässigen Druckverlust über die Siebe ausreichend begrenzen bzw. reduzieren ohne die Kernkühlung zu gefährden. Die anlageninternen Notfallmaßnahmen sind so auszulegen, dass der Druckverlust am Sumpfsieb auf zulässige Werte begrenzt werden kann, wobei es nicht zu einer nennenswerten Erhöhung der Penetration und des Kerneintrags kommen darf. Für die Einleitung und Durchführung dieser anlageninternen Notfallmaßnahmen sind Kriterien nur aufgrund von Messungen vorzusehen, die auch nach einem 2F-Kühlmittelverluststörfall verfügbar sind. Kriterien und Maßnahmen sind im Notfallhandbuch zu beschreiben.

## **5 Beantwortung der Fragen des BMU**

Die RSK kam in ihrer Beratung bezüglich der im Schreiben des BMU [1-3] aufgeführten Punkte zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Beratung des aktuellen Sachverhalts hinsichtlich Nachkühlung einschließlich der verwendeten Ansätze zur Notkühlwirksamkeit, wie z. B. Siebflächenänderungen und Druckdifferenzen.

Grundsätzlich sieht die RSK eine ausreichend große Siebfläche und eine kleine Maschenweite (ca. 3 mm) bei den Sumpfansaugsieben als geeignete Maßnahme an, um den Druckverlust über die Sumpfsiebe und die Penetration von Isoliermaterial durch die Sumpfsiebe zu begrenzen und damit eine auslegungsgemäße Kernkühlung zu gewährleisten.

Siebe mit kleinen Maschenweiten sind darüber hinaus auch unter dem Aspekt anlageninterner Notfallmaßnahmen zu bevorzugen, da sie gewährleisten, dass die Ablagerung von Fremdstoffen bevorzugt am Sieb erfolgt und somit ein unzulässiger Druckverlust allenfalls am Sieb auftritt, wo Maßnahmen der Sicherheitsebene 4 zur Anwendung kommen können.

Die bei der Nachweisführung zu verwendenden Nachweiskriterien, Postulate und experimentell abzuleitenden Werte sind in Abschnitt 4 dargestellt.

- Klärung der Frage, welche Lecköffnungsgröße für die Verstopfungsproblematik der Sumpfansaugsiebe nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zu unterstellen ist.
- Darlegung der sicherheitstechnischen Bedeutung der Postulatsvarianten sowie der Gründe, Vor- und Nachteile hinsichtlich der Postulate 2F- und 0,1F-Leck.

Diese beiden Fragen sind von der RSK noch nicht abschließend beraten worden. Bis zum Abschluss dieser Beratungen kann für die Freisetzung von Isoliermaterial entsprechend der Stellungnahme der RSK (Anlage 3 zum Ergebnisprotokoll der 320. Sitzung der RSK am 16.09.1998) [11] für Rohrleitungen, für die die Voraussetzungen für den Bruchausschluss nachgewiesen sind, ein 0,1F-Leck als Postulat zu Grunde gelegt werden.

- Darlegung der Randbedingungen, unter denen ein Kühlmittelverluststörfall mit Anforderung von Nachkühlpumpen beherrscht wird und Beantwortung der Frage, ob während des Notkühlfalles ein Abschalten von Nachkühlpumpen zulässig oder gar erforderlich ist.

Die Einzelheiten der Anforderungen an die Nachweisführung zur Einhaltung der Anforderungen der Sicherheitsebene 3 sind in Abschnitt 4 dargestellt. Dabei sind gemäß den übergeordneten Anforderungen des Regelwerks Handmaßnahmen innerhalb von 30 Minuten nach Störfalleintritt nicht vorzusehen. Nach 30 Minuten sind die ggf. im Betriebshandbuch festgelegten Drosselungsmaßnahmen grundsätzlich möglich. Eine Abschaltung zum Zwecke der Begrenzung des Druckverlustes über die Sumpfsiebe ist bei Beachtung der vorstehend beschriebenen Anforderungen auslegungsgemäß nicht erforderlich.

Nicht auslegungsgemäße Ereignisabläufe, die zu unzulässigen Differenzdrücken an den Sumpfsieben führen können und Maßnahmen erforderlich machen, die ein gezieltes Abschalten von Nachkühlpumpen beinhalten können, sind der Sicherheitsebene 4 zuzuordnen. Entsprechende Regelungen sind in das Notfallhandbuch aufzunehmen.

- Beratung der Ergebnisse der neueren Versuche zur Nachkühlung.

Die RSK hat die von den Betreibern durchgeführten Versuche [32 – 34] eingehend beraten und bei der Ableitung der empfohlenen Vorgehensweise in Abschnitt 4 berücksichtigt.

- Darlegung des internationalen Standes der Maßnahmen zur Beherrschung der „Barsebäck“-Problematik zur Ableitung des Standes von Wissenschaft und Technik.

International erzielte Ergebnisse sind insoweit berücksichtigt worden, dass bei der Übertragung dieser Ergebnisse auf deutsche Anlagen beachtet wurde, dass kein Sicherheitsbehälter-Sprühsystem vorhanden ist und Mineralwolle in Kassetten statt Glaswolle in Blechummantelung oder in Matratzen verwendet wird. Eine abschließende Beurteilung der Situation hinsichtlich Bruchpostulaten bei ausländischen Anlagen ist bisher nicht erfolgt.

## **6 Empfehlung**

Die RSK bittet das BMU um Sachstandsberichte in ca. einem Jahr zu den folgenden Problemstellungen:

- Darstellung, inwieweit es durch Verlagerung der Strahlrichtung bei Abriss von Leitungen zu einer erhöhten Freisetzung von Isoliermaterial und anderen Stoffen kommen kann.
- Transportverhalten anderer Isoliermaterialien als MD 2 (83) sowie anderer Stoffe („latent debris“) im Sumpf und ihre Auswirkung auf den Druckverlust am Sumpfsieb.
- Einfluss des „Dünnschichteffektes“ auf den Druckverlust am Sieb.
- Langzeitverhalten und chemische Effekte (Korrosion) durch Borsäure.
- Funktionstüchtigkeit der Komponenten im Nachkühlbetrieb mit Faserbelastung.
- Wirksamkeit und Verträglichkeit von anlageninternen Notfallmaßnahmen, die den Druckverlust am Sieb begrenzen bzw. reduzieren, sowie zum Stand ihrer Implementierung.
- Anwendbarkeit der Empfehlungen auf Siedewasserreaktoren.

## Beratungsunterlagen

- [1] Schreiben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Az.: RS I 3 – 14203/29) vom 25.04.2003 an die RSK-Geschäftsstelle, betr.: Kernkraftwerk Biblis A, Information vom 17.04.2003 über einen Befund im Ansaugbereich der Notnackkühlumpen der Anlage Biblis A
  
- [2] Schreiben des BMU (Az.: AG RS I 3 – 17018/1) vom 12.05.2003 an die RSK-Geschäftsstelle, betr.: Atomkraftwerk Biblis, Block A, Befunde im Ansaugbereich der Notnackkühlumpen, Stellungnahme der RSK zu dem Meldepflichtigen Ereignis vom 17.04.2003
  
- [3] Schreiben des BMU (Az.: AG RS I 3 – 17018/1) vom 19.05.2003 an die RSK-Geschäftsstelle, betr.: Atomkraftwerk Biblis, Block A, Befunde im Ansaugbereich der Notnackkühlumpen, Meldepflichtiges Ereignis vom 17.04.2003
  
- [4] TOP 3: Verhalten von Isoliermaterial bei KMW-Störfällen  
Dr. Michael Maqua, GRS  
Tischvorlage, 14.05.2001
  
- [5] E.ON Kernkraft  
Nachweis der gesicherten Sumpfansaugung  
– Versuchsprogramm der deutschen KKW-Betreiber 2001 –  
A. Zühlke, E.ON Kernkraft, Bereich-TA  
Folienkopien, 20.09.2001
  
- [6] Kernkraftwerk Biblis, Block A  
Befund im Ansaugbereich der Notnackkühlumpen  
RWE Power, Folienkopien, 08.05.2003
  
- [7] Biblis A, Nachweissituation für den Ist-Zustand der Anlage  
RWE Power, Folienkopien, 08.05.2003
  
- [8] Bericht der Landesbehörde zu Befunden im Ansaugbereich der Notnackkühlumpen  
KKW Biblis, Block A (Stand 07.05.2003, zur Unterrichtung der RSK)

- [9] TOP 4, Kernkraftwerk Biblis, Block A  
„Befund im Ansaugbereich der Notnachkühlpumpen“  
TÜV Nord-Gruppe, Folienkopien, 08.05.03
- [10] Barsebäck, WLN 14/92  
Großversuchen zu deutschen DWR-Anlagen infolge Ereignis in Barsebäck 2  
TÜV Süddeutschland, Bau und Betrieb, Folienkopien, 08.05.03
- [11] Anlage 3 zum Ergebnisprotokoll der 320. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission  
am 16.09.1998  
Wirksamkeit der Notkühlsysteme bei Freisetzung von Isoliermaterial  
bei KMV-Störfällen  
STELLUNGNAHME
- [12] Notiz vom 20.05.2003 „Leckpostulate (DWR) Primärkreis“ von Herrn Wieland
- [13] RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren  
Ursprungsfassung (3. Ausgabe vom 14.10.1981) mit Änderungen vom 15.11.1996  
Fassung 11.96
- [14] RWE Power Aktiengesellschaft  
Eintrag von Mineralwolle in den Sumpfbereich bei DWR  
Ergebnisse neuerer Versuche und Übertragung auf die Anlage Biblis A  
EN-U/Dr.Pa/Ro, 23.06.2003
- [15] Auszug aus dem Ergebnisprotokoll der 362. Sitzung der RSK am 08.05.2003  
(TOP 4: Kernkraftwerk Biblis, Block A (KWB-A))  
Befund im Ansaugbereich der Notnachkühlpumpen
- [16] U.S. Nuclear Regulatory Commission  
Draft Regulatory Guide 1.82 Rev. d  
Water Sources For Long-Term Recirculation Cooling Following A Loss-Of-Coolant  
Accident, February 2003

- [17] Gesicherte Sumpfansaugung nach KMV  
Spezifische Randbedingungen in deutschen DWR im Vergleich zu ausländischen Anlagen  
Framatome ANP FANP/NGPS Waas  
Folienkopien, 02.07.2003
- [18] Biblis, Block A, Rückhaltung von Isoliermaterial  
Versuchstechnische Absicherung der Nachweisführung zu Druckverlust und Kerneintrag  
RWE Power. EN-U/Dr.Pa, 02.07.2003  
Folienkopien
- [19] GKSS-Großversuche zum Absetzverhalten und zur Rückhaltung von Isoliermaterial im RSB-Sumpf  
TÜV Süddeutschland, 02.07.2003, Folienkopien
- [20] Kraftwerk Biblis, Block A  
Versuche zum Thema: Vergrößerung der Sumpfsiebe  
Hannover, 28.06.2003  
TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt e. V., Folienkopien
- [21] Auslaugverhalten und Druckverlustmessungen von Isoliermaterial der Reaktorkühlkreisisolierung (Lieferung GKN-2) unter simulierten LOCA-Bedingungen  
Siemens-Arbeitsbericht, Erlangen, 16.12.1989
- [22] Safety Issues of Strainer Clogging in Sweden  
Bonn, 2003-07-01—02, Oddbjörn Sandervag, SKI  
Folienkopien
- [23] RSK-Information RSK364/4  
Bericht des Vorsitzenden des Ausschusses ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK über die 19. Sitzung des Ausschusses am 02.07.2003  
Kernkraftwerk Biblis, Block A  
Versuche zur Rückhaltung von Isoliermaterial im Sumpfansaugbereich der Not- und Nachkühlpumpen

- [24] TOP 4 der 364. RSK-Sitzung am 10.07.2003  
Bericht von der 19. AST-Sitzung am 02.07.2003 zu Versuchen zur Rückhaltung von Isoliermaterial im Sumpfbereich der Not- und Nachkühlpumpen  
Edmund Kersting, Folienkopien
- [25] U. S. Nuclear Regulatory Commission  
Office of Nuclear Reactor Regulation, Washington, DC 20555  
NRC-Bulletin 2003-01: Potential Impact of Debris Blockage on Emergency Sump Recirculation At Pressurized Water Reactors, June 9, 2003
- [26] Auszug aus dem Ergebnisprotokoll der 11. AST-Sitzung am 14.05.2001, TOP 3
- [27] Bericht des Vorsitzenden des Ausschusses ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK über die 19. Sitzung des Ausschusses am 02.07.2003  
RSK-Information Nr. RSK364/4 vom 09.07.2003
- [28] Generische Fragen zur möglichen Verstopfung im Sumpfansaugbereich bei einem Kühlmittelverluststörfall  
Dr. Michael Maqua, Dr. Bernhard Pütter, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln  
Tischvorlage für die 20. Sitzung des RSK-Ausschusses Anlagen- und Systemtechnik
- [29] Überblick zum Thema „Auswirkungen der Freisetzung von Isoliermaterial bei KMV“  
Tischvorlage, GRS, 04.09.2003
- [30] RSK-Information RSK365/5.2  
Überblick zum Thema „Auswirkung der Freisetzung von Isoliermaterial bei KMV“, 18.09.2003
- [31] Überblick zum Thema „Auswirkung der Freisetzung von Isoliermaterial bei KMV“  
RSK-Information Nr. RSK 365/Info-5.2 vom 03.09.2003
- [32] Bestätigung der gesicherten Sumpfansaugung und ausreichenden Kernkühlung nach KMV bei DWR im Rahmen der Untersuchungen nach Eintritt des Barsebäck-Ereignisses  
Arbeitsbericht, Framatome ANP, KWU NDS4/98/014A, 27.10.2003



- [33] Experimenteller Nachweis der gesicherten Sumpfansaugung nach einem Kühlmittelverluststörfall bei KWU Druckwasserreaktoren  
Technischer Bericht, Framatome ANP, NGES1/2002/de/0210, 06.11.2003
- [34] Generische Fragen zur möglichen Verstopfung im Sumpfansaugbereich bei einem Kühlmittelverluststörfall  
Framatome ANP Seeberger/Waas RSK-AST am 18.11.2003, Folienkopien
- [35] „Generische Fragen zur möglichen Verstopfung im Sumpfansaugbereich bei einem Kühlmittelverluststörfall“, 18.11.2003,  
Bericht der Hochschule Zittau/Görlitz (FH), Institut für Prozeßtechnik,  
Prozeßautomatisierung und Meßtechnik (IPM)  
R. Hampel, W. Kästner, Folienkopien
- [36] Generische Fragen zur möglichen Verstopfung im Sumpfansaugbereich bei einem Kühlmittelverluststörfall  
Bericht der GRS: Vorschlag für eine praktikable Bewertungsgrundlage  
Dr. Michael Maqua, GRS, 18. November 2003, Folienkopien
- [37] RSK-Information RSK365/5.1  
Strukturierung der Beratung generischer Aspekte einer möglichen Verstopfung der Sumpfansaugöffnungen bei einem Kühlmittelverluststörfall, 18.09.2003
- [38] U. S. Nuclear Regulatory Commission  
Containment Emergency Sump Performance  
NUREG-0897, Revision 1, 01.10.1985
- [39] Blow-down Investigations on Performance Insulating Systems  
Battelle, B.I.G. V-32.608, August 1995