

**Zusammenfassende Stellungnahme der RSK zu zivilisatorisch bedingten Einwirkungen, Flugzeugabsturz**

**STELLUNGNAHME**

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Aktuelle Untersuchungen.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Schutzkonzept der deutschen Kernkraftwerke gegen Flugzeugabsturz.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Festlegung von Randbedingungen.....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Methodik der Untersuchungen und Bewertungen.....</b>	<b>8</b>
<b>5.1</b>	<b>Detailliert zu untersuchende Bauwerke.....</b>	<b>8</b>
<b>5.2</b>	<b>Modellierung von Reaktorgebäude und Flugzeug.....</b>	<b>9</b>
<b>5.3</b>	<b>Bewertung der Anlagentechnik hinsichtlich induzierter Erschütterungen.....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Ergebnisse zu Konvoi-Anlagen.....</b>	<b>12</b>
<b>6.1</b>	<b>Ergebnisse zu Schutzgrad 2.....</b>	<b>12</b>
<b>6.2</b>	<b>Ergebnisse zu Schutzgrad 3.....</b>	<b>13</b>
<b>6.3</b>	<b>Übertragbarkeit der Ergebnisse von der Referenzanlage auf andere Konvoi-Anlagen.....</b>	<b>15</b>
<b>6.4</b>	<b>Ergebnisse Postulat Leckage in der DfU.....</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Ergebnisse zu Vorkonvoi-Anlagen.....</b>	<b>16</b>
<b>7.1</b>	<b>Ergebnisse zu Schutzgrad 2.....</b>	<b>16</b>
<b>7.2</b>	<b>Ergebnisse zu Schutzgrad 3.....</b>	<b>17</b>
<b>7.3</b>	<b>Übertragbarkeit der Ergebnisse von der Referenzanlage auf andere Vorkonvoi-Anlagen.....</b>	<b>19</b>
<b>7.4</b>	<b>Ergebnisse Postulat Leckage in der DfU.....</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>Ergebnisse zum Siedewasserreaktor Baulinie 72.....</b>	<b>20</b>
<b>8.1</b>	<b>Ergebnisse zu Schutzgrad 2.....</b>	<b>20</b>
<b>8.2</b>	<b>Ergebnisse zu Schutzgrad 3.....</b>	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>22</b>

---

## 1 Einleitung

Das Bundesumweltministerium hat am 17.03.2011 im Zusammenhang mit den Ereignissen in der japanischen Anlage Fukushima die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) aufgefordert, einen Anforderungskatalog für eine Sicherheitsüberprüfung der deutschen Kernkraftwerke zu erstellen und die Ergebnisse einer solchen Überprüfung anhand von Kriterien zu bewerten. Gegenstand dieser Sicherheitsüberprüfung war die Bewertung der Robustheit der deutschen Kernkraftwerke gegenüber auslegungsüberschreitenden Ereignissen.

Zur Einordnung der Ergebnisse der Sicherheitsüberprüfung hat die RSK gestufte Kriterien zur Robustheit definiert. Dabei wird unterschieden zwischen Robustheitsleveln für naturbedingte Einwirkungen, Postulate und Notfallmaßnahmen und Robustheitsschutzgraden für die gemäß RSK Anforderungskatalog ebenfalls zu betrachtenden zivilisatorisch bedingten Ereignisse.

Bezüglich der zivilisatorisch bedingten Einwirkung Flugzeugabsturz wurden folgende Schutzgrade für die Beherrschung derartiger Ereignisse festgelegt:

### **Mechanischer Schutzgrad 1**

Erhalt der vitalen Funktionen beim Absturz eines Militärflugzeuges vom Typ Starfighter.

### **Thermischer Schutzgrad 1**

Erhalt der vitalen Funktionen bei unterstellten Freisetzungen und Brand von Treibstoffen beim Absturz eines Militärflugzeuges mindestens vom Typ Starfighter.

### **Mechanischer Schutzgrad 2**

Erhalt der vitalen Funktionen bei der Last-Zeit-Funktion gemäß RSK-Leitlinien sowie einer Last-Zeit-Funktion eines mittleren Verkehrsflugzeuges.

### **Thermischer Schutzgrad 2**

Erhalt der vitalen Funktionen bei unterstellten Freisetzungen und Brand von Treibstoffen beim Absturz eines mittleren Verkehrsflugzeuges.

### **Mechanischer Schutzgrad 3**

Auslegung mit der Last-Zeit-Funktion gemäß RSK-Leitlinien sowie Erhalt der vitalen Funktionen bei einer Last-Zeit-Funktion eines großen Verkehrsflugzeuges.

### **Thermischer Schutzgrad 3**

Erhalt der vitalen Funktionen bei unterstellten Freisetzungen und Brand von Treibstoffen beim Absturz eines großen Verkehrsflugzeuges.

Die Überprüfung der RSK ergab für die derzeit noch in Betrieb befindlichen Anlagen, dass für alle Anlagen die Anforderungen aus den Lastannahmen gemäß RSK-Leitlinie (Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeuges vom Typ Phantom) erfüllt werden. Aufgrund des hohen Grundschutzes der noch in Betrieb befindlichen Anlagen hielt die RSK die Erfüllung der Schutzgrade 2 und 3 für möglich. Für die Bestätigung des Erreichens der Schutzgrade 2 und 3 für den gezielten Absturz eines Verkehrsflugzeuges wurden weitere Nachweise für erforderlich gehalten.

---

## Leckpostulat

Die RSK hat im Rahmen der Sicherheitsüberprüfung zur Bewertung der Robustheit in Hinblick auf mögliche cliff-edge-Effekte darauf hingewiesen, dass aufgrund der Auslegung der Anlagen gegen einen Flugzeugabsturz mit der Last-Zeit-Funktion gemäß RSK-Leitlinie kein Versagen von kühlmittelführenden Leitungen infolge der Einwirkungen unterstellt wurde und wird. Nichtsdestotrotz hat die RSK vorgesehen, die Auswirkungen bei einem postulierten Abriss einer Kleinleitung der druckführenden Umschließung im Sinne der Robustheit und im Hinblick auf das Potential für cliff-edge-Effekte bei einem Flugzeugabsturz ergänzend zu untersuchen.

## 2 Aktuelle Untersuchungen

Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) beauftragt, Untersuchungen durchzuführen, ob unter Berücksichtigung der zu erwartenden Ausfälle und Beeinträchtigungen infolge der mechanischen Einwirkungen und der Kerosinbrände für repräsentative Referenzanlagen der Schutzgrad 2 bzw. der Schutzgrad 3 gemäß RSK-Sicherheitsüberprüfung erreicht wird. Diese Untersuchungen sollen die Abtragbarkeit der thermischen und mechanischen Einwirkungen so weit möglich mit best-estimate-Berechnungen ermitteln.

Es wurde jeweils eine Referenzanlage der folgenden Typen ausgewählt:

- DWR Konvoi-Anlage,
- DWR Vorkonvoi-Anlage und
- SWR Baulinie 72.

Die Berechnung und Bewertungen der Lastfälle für die einzelnen Anlagen erfolgen in der angegebenen Reihenfolge nacheinander.

Die Betreiber haben zudem eigene Untersuchungen durch ein auf diesem Gebiet erfahrenes Ingenieurunternehmen beauftragt und zusätzlich die Auswirkungen beim Postulat „Abriss einer Kleinleitung (DN 50) im Primärkreis beim Flugzeugabsturz mit der Last-Zeit-Funktion gemäß RSK-Leitlinie“ untersucht. Diese Untersuchung wurde nur für Druckwasserreaktoren (DWR) vorgenommen, da beim Siedewasserreaktor (SWR) Baulinie 72 im Lastfall Flugzeugabsturz nur Lecks im Sicherheitseinschluss zu Auswirkungen auf den Kern führen können und deshalb auch nur dort postuliert sind. Nach der schnellen Druckentlastung kann dann eine Einspeisung des Kühlmittels aus der Kondensationskammer erfolgen.

Auch wurde eine Analyse von den Betreibern vorgenommen, nach welcher Zeit mit Löschmaßnahmen auf dem Anlagengelände im Falle eines Absturzes eines Verkehrsflugzeuges gerechnet werden kann.

Die RSK beauftragte in ihrer 446. Sitzung am 05.04.2012 die Ad-hoc-AG FLUGZEUGABSTURZ (AG FLAB) mit der Begleitung der Analysen und der Erarbeitung einer Stellungnahme. Der erste Teilbericht bezieht sich ausschließlich auf die Berechnungen und Bewertungen zu den Konvoi-Anlagen. Die RSK verabschiedete die zugehörige Stellungnahme in ihrer 499. Sitzung am 06.12.2017. Die vorliegende Stellungnahme ersetzt die Stellungnahme aus der 499. RSK-Sitzung und umfasst neben den Ergebnissen für die Konvoi-Anlagen auch die Analysen und Bewertungen zu den Vorkonvoi-Anlagen und der Anlage der

---

SWR Baulinie 72. Wie schon beim ersten Teilbericht schließt auch diese abschließende Stellungnahme die Ergebnisse der Analysen der Betreiber ein, soweit nach Bewertungen der Betreiberanalysen eine unabhängige Analyse durch Sachverständige nicht für erforderlich gehalten wurde. Dies wird in den folgenden Kapiteln im Einzelnen ausgewiesen. Die RSK beriet und verabschiedete diese Stellungnahme in ihrer 524. Sitzung am 20.10.2021.

### **3 Schutzkonzept der deutschen Kernkraftwerke gegen Flugzeugabsturz**

Bei der Auslegung der noch im Betrieb befindlichen Kernkraftwerke wurden der unfallbedingte Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeugs vom Typ „Phantom F4E“ unterstellt und es wurden entsprechende Schutzmaßnahmen durch bauliche Auslegung oder räumliche Trennung redundanter Einrichtungen getroffen. Die zugrunde gelegten Lastannahmen fanden Eingang in die RSK-Leitlinien von 1979.

Nach den Ereignissen vom 11. September 2001 in den USA mit einem absichtlich herbeigeführten Angriff mit Passagierflugzeugen auf Gebäude wurde auch der mit terroristischem Hintergrund absichtlich herbeigeführte Absturz eines Passagierflugzeuges diskutiert. In einer ersten Studie der GRS von 2002 zum "Schutz der deutschen Kernkraftwerke vor dem Hintergrund der terroristischen Anschläge in den USA vom 11. September 2001" wurden flugtechnische Parameter und Lastannahmen abgeleitet und generisch für alle deutschen Kernkraftwerke die Verwundbarkeit durch einen derartigen Anschlag bewertet.

Im Nachgang zu der genannten Studie wurde von den Betreibern ein Konzept für Gegenmaßnahmen für alle deutschen Kernkraftwerke entwickelt. Neben einer Erweiterung der Löschmöglichkeit von Kerosinbränden durch spezielle Schaumlöschfahrzeuge wurden Maßnahmen in den Anlagen vorgesehen, die nach einer Alarmierung die Herstellung günstigerer Voraussetzungen zur Beherrschung eines solchen Ereignisses zum Ziel hatten. Hierzu zählen insbesondere die Auslösung der Reaktorschnellabschaltung sowie die Besetzung der Notsteuerstelle. Diese Maßnahmen wurden realisiert und für die hier betrachteten Untersuchungen berücksichtigt.

Danach wurde vom Bundesinnenministerium und Bundesumweltministerium ein sogenannter RENEGADE-Rahmenplan KKW herausgegeben, der die Kommunikationsabläufe zwischen der Außenstelle des Bundespolizeipräsidiums „Sicherheit im Luftraum“ (ASt-SiLuRa) und den Kernkraftwerken im Falle einer drohenden Gefahr u. a. durch einen gezielten Flugzeugabsturz regelt. Bestandteil dieses Rahmenplans und der ergänzenden Erläuterungspapiere sind neben der Festlegung der Kommunikations- und Alarmierungswege auch die Einführung eines in Voralarm und Hauptalarm gestaffelten Alarmierungskonzeptes. Mit der verbindlichen Umsetzung dieses Konzeptes in den BHB/NHB (Betriebshandbuch/Notfallhandbuch) aller deutscher Kernkraftwerke bestehen in allen Anlagen vergleichbare Regelungen, die bei einem Voralarm die notwendigen internen Alarmierungen (z. B. Werkfeuerwehr und Bereitschaften), die Besetzung der Notsteuerstelle sowie die Räumung von Anlagen-bereichen und bei einem Hauptalarm ergänzend die Reaktorschnellabschaltung gewährleisten.

Für den Schutz gegen einen gezielten Absturz einer Passagiermaschine ist nicht nur auf die Widerstandsfähigkeit potentieller Ziele gegen solche Ereignisse geachtet worden, sondern es wurden auch konkrete Maßnahmen getroffen, um derartige Anschläge möglichst zu verhindern.

---

Es geht somit um eine Kombination von Vorkehrungen,

- die einerseits eine Entführung eines Flugzeugs sowie den gezielten Anflug auf ein KKW erschweren und
- die andererseits zu einer hohen Widerstandsfähigkeit der KKW gegenüber den Auswirkungen eines gezielten Absturzes führen.

Die Entführung eines Verkehrsflugzeugs wird erschwert durch technische und administrative Maßnahmen zur Abwehr des Zutritts von Terroristen in das Flugzeug und insbesondere in das Cockpit. Die internationalen und nationalen Anforderungen hierfür wurden seit 2001 mehrfach fortgeschrieben und die Sicherheitsmaßnahmen weltweit weiter verstärkt. Die für Deutschland einschlägigen Regelungen, Maßnahmen und Verfahren zum Schutz vor Angriffen auf die Sicherheit des Luftverkehrs, insbesondere vor Flugzeugentführungen, Sabotageakten und terroristischen Anschlägen, sind im nationalen Luftsicherheitsprogramm (NLSP) (B3-643 213/1 vom Juli 2010) zusammengefasst.

Die Auslegungsanforderungen für die noch in Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerke waren in den RSK-Leitlinien festgelegt und wurden 2012 im Hinblick auf den Lastfall Flugzeugabsturz unverändert in die „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ übernommen. Der Absturz eines Verkehrsflugzeuges ist weder Bestandteil dieser Auslegungsanforderungen noch in den Lastannahmen zum Schutz gegen Einwirkungen Dritter (SEWD-Lastannahmen) enthalten.

Der Länderausschuss für Atomkernenergie – Hauptausschuss – stellte in seiner Sitzung am 11.07.2016 fest: „Da im Hinblick auf das Szenario ‚Terroristischer Flugzeugabsturz‘ – anders als bei den in die SEWD-Lastannahmen aufgenommenen Szenarien – im SEWD Regelwerk keine spezifischen Festlegungen hinsichtlich des zu unterstellenden bzw. des nicht zu unterstellenden Tatmittels (hier also des Flugzeugtyps) getroffen wurden, obliegt es [...] den jeweils zuständigen Behörden, für Untersuchungen zur Identifizierung von Maßnahmen, die unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit die Strahlenexposition im Ereignisfall minimieren bzw. begrenzen, den Untersuchungsrahmen festzulegen. In die Betrachtung einzubeziehen sind dabei zwar grundsätzlich alle regelmäßig für den Passagierverkehr eingesetzten Flugzeugtypen. Nach gegenwärtigem Kenntnisstand geht der Länderausschuss für Atomkernenergie – Hauptausschuss – allerdings davon aus, dass in Anlehnung an die Vorgehensweise der RSK der Airbus A340-600 in der Regel als exemplarischer Flugzeugtyp angesehen werden kann.“

#### **4 Festlegung von Randbedingungen**

In Anbetracht fehlender national und international etablierter Vorgehensweisen für die Untersuchung gezielter terroristischer Angriffe unter Verwendung von Verkehrsflugzeugen waren eigene Ansätze zur Festlegung der Einwirkungen zu definieren, wie im Folgenden erläutert wird.

Dazu wurden die in der Studie der GRS zum "Schutz der deutschen Kernkraftwerke vor dem Hintergrund der terroristischen Anschläge in den USA vom 11. September 2001" verwendeten Daten durch die RSK Ad-hoc-AG FLUGZEUGABSTURZ überprüft sowie weitere Daten von Flugzeugherstellern und Fluggesellschaften herangezogen.

---

Die RSK Ad-hoc-AG hat im weiteren Verlauf

- für die Berechnungen zu einem gezielt herbeigeführten Flugzeugabsturz die Referenzgeschwindigkeit, die Masse der Referenzflugzeuge und die Kerosinmenge, die Trefferlage und den Auftreffwinkel sowie die Randbedingungen für systemtechnische Verfahrensabläufe und Treibstoffbrände festgelegt,
- das Konzept für die analytischen Untersuchungen zu den bau- und anlagentechnischen Aspekten zu einem solchen Flugzeugabsturz festgelegt.

Für Untersuchungen zur Robustheit von Kernkraftwerken gegenüber dem (gezielten) Absturz von Passagierflugzeugen müssen Annahmen zu Kennwerten getroffen werden, die bestimmend für die resultierenden Belastungen sind (z. B. Flugzeugtyp, zugehörig ableitbare Masse und Geschwindigkeit des Flugzeugs sowie Kerosinmenge). Da es hinsichtlich dieser Kennwerte ein großes Spektrum im Luftverkehr gibt, ist es sachgerecht, die Untersuchungen so zu strukturieren, dass die Flugzeuge in Größenklassen eingeteilt werden, denen jeweils ein repräsentatives Flugzeug zugeordnet wird.

Vor diesem Hintergrund konkretisiert die RSK die in ihrer Stellungnahme zur Bewertung der Robustheit nach dem Unfall in Fukushima definierten Schutzgrade mit folgenden Abstufungen:

### **Schutzgrad 1**

Lasten beim Absturz eines Militärflugzeugs vom Typ Starfighter (ein Flugzeug vom Typ Starfighter ist abdeckend für den Flugverkehr mit kleinen Flugzeugtypen, bei denen der Zutritt nicht überwacht wird, also staatliche Maßnahmen gegen eine Entführung nicht greifen können.)

### **Schutzgrad 2**

Lasten beim Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeugs vom Typ Phantom sowie eines mittelgroßen Verkehrsflugzeugs derart, dass das gewählte Referenzflugzeug aufgrund der Bewertung der Flugzeugtypen und einer Auswertung von Daten zu Flugbewegungen im Linien- und Charterflugverkehr im europäischen Luftraum ca. 90 % der möglichen Lasteinwirkungen abdeckt. Diese Klasse wird repräsentiert durch den Airbus A 320.

### **Schutzgrad 3**

Lasten beim Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs derart, dass das gewählte Referenzflugzeug aufgrund der Bewertung der Flugzeugtypen und einer Auswertung von Daten zu Flugbewegungen im Linien- und Charterflugverkehr im europäischen Luftraum ca. 99 % der möglichen Lasteinwirkungen abdeckt. Diese Klasse wird repräsentiert durch den Airbus A 340-600.

Beim Vergleich der möglichen Lasteinwirkungen wurden u. a. die maximalen Startgewichte und die Massenverteilung der Flugzeugtypen berücksichtigt.

Die Auswertung von Flugbewegungen im europäischen Luftraum wurde von der GRS für einen Zeitraum von 12 Monaten vor der Corona-Pandemie auf Basis von Daten aus einer Veröffentlichung von EUROCONTROL EXPERIMENTAL CENTER vorgenommen.

Im Rahmen der hier neu vorgenommenen Robustheitsbewertungen der RSK wird auf den Schutzgrad 1 sowie auf den Schutzgrad 2/Typ Phantom nicht mehr eingegangen, da für die noch in Betrieb befindlichen

---

Kernkraftwerke bereits die Auslegung bei der Errichtung die entsprechenden Szenarien abdeckt, siehe RSK-Sicherheitsüberprüfung 2011 (Stellungnahme aus der 437. RSK-Sitzung vom 11. bis 14. Mai 2011). Deshalb beschränkten sich die Untersuchungen auf die repräsentativen Verkehrsflugzeugtypen A 320 und A 340. Die Anschläge auf das World Trade Center und das Pentagon im Jahr 2001 wurden mit Verkehrsflugzeugen (B 767 und B 757) durchgeführt, die in Größe und Gewicht zwischen den Typen A 320 und A 340 liegen.

Andere Flugzeuge, wie z. B. der A 380, genauso wie militärische oder zivile Spezialflugzeuge (z. B. Antonow An-225) wurden als Lastfall nicht untersucht, da die Anzahl der damit verbundenen Flugbewegungen deutlich geringer (kleiner als 0,5 %) ist als die Zahl der Flugbewegungen, die durch die Referenzflugzeuge abgedeckt sind. Im Übrigen zeigt eine Betrachtung der lastbestimmenden Merkmale, dass größere Flugzeuge nicht zwangsläufig zu ungünstigeren Einwirkungen führen.

Beim A 380 wird aufgrund des höheren maximalen Startgewichts gelegentlich eine höhere Schädigungswirkung im Vergleich zum detailliert untersuchten A 340-600 vermutet. Diese Vermutung berücksichtigt jedoch nicht folgende gegenläufige Aspekte:

- Für die lokale Bauwerksintegrität ist insbesondere die auftretende Flächenlast relevant. Diese ist für die wesentlichen Strukturen beim A 380 nicht höher als beim A 340-600.
- Das größere maximale Startgewicht des A 380 ergibt sich vor allem aus einer deutlich höheren maximalen Treibstoffmenge in den Tragflächen. Aufgrund der größeren Spannweite im Vergleich zum Durchmesser eines Reaktorgebäudes kann der Impuls der Tragflächen mit dem Treibstoff jedoch nicht vollständig auf die Betonhülle übertragen werden.

Hinsichtlich der Auswahl der zu betrachtenden Flugzeugtypen ist die RSK der Auffassung, dass das im europäischen Luftraum geflogene Spektrum schnellfliegender, strahlgetriebener Verkehrsflugzeuge durch die Wahl entsprechender Referenzflugzeuge wie oben beschrieben hinreichend abgedeckt ist. Die verwendeten Referenzflugzeuge liefern mit einer Abdeckung von etwa 95 % der möglichen Lasteinwirkungen eine hinreichende Grundlage für eine Beurteilung der Robustheit der KKW.

Als Aufprallgeschwindigkeit wurde die Geschwindigkeit angenommen, die auch in der Studie der GRS zum "Schutz der deutschen Kernkraftwerke vor dem Hintergrund der terroristischen Anschläge in den USA vom 11. September" verwendet wurde und die im Rahmen dieser Robustheitsuntersuchung nach weiteren Recherchen der GRS von der RSK als repräsentativ für ein noch kontrollierbares Anfliegen in der niedrigen erforderlichen Höhe angesehen wird. Bei der Festlegung der Geschwindigkeit wurden sowohl flugtechnische Rahmenbedingungen als auch die Ergebnisse aus Simulatorversuchen und Befragungen von Piloten berücksichtigt.

Es wurde eine Beladesituation des Flugzeugs sowohl hinsichtlich des Gesamtgewichtes als auch der Treibstoffmenge zugrunde gelegt, die einen großen Teil (95 %) der realen Flugbewegungen des jeweiligen Referenzflugzeugtyps in Deutschland abdeckt. Hierfür wurden von der GRS die Flugbewegungen der repräsentativen Flugzeugtypen in Deutschland für einen Zeitraum von 12 Monaten vor der Corona-Pandemie ausgewertet.

---

Bei der Festlegung des Aufprallortes wurden mögliche Anflugszenarien betrachtet (nicht durch Hindernisse gestörter Anflug) und ein Bereich des Reaktorgebäudes ausgewählt, bei dem aufgrund der baulichen und geometrischen Gegebenheiten ungünstige Auswirkungen zu erwarten sind.

Hinsichtlich der Brandszenarien wurde der Ort gewählt, an dem die ungünstigsten Auswirkungen eintreten, unter Berücksichtigung, dass das Kerosin dort beim Absturz des Flugzeugs auch hingelangen kann. Es wurde eine konservativ hohe Abbrandrate berücksichtigt, die zum vollständigen Abbrennen der Kerosinlache vor Beginn möglicher Löschmaßnahmen führt. Zudem wurde betrachtet, ob Brandauswirkungen auf Kanäle oder andere Gebäude zu Ausfällen führen können, die cliff-edge-Effekte nach sich ziehen können.

Die Gesamtheit der verwendeten Randbedingungen stellt eine Festlegung dar, die eine daraus resultierende Belastung im oberen Bereich der Belastungen aus den möglichen Kombinationen von Parameterwerten definiert, aber nicht jedem einzelnen Parameter den jeweils ungünstigsten möglichen Wert zuweist.

## **5 Methodik der Untersuchungen und Bewertungen**

Unter Berücksichtigung der in den bisherigen Kapiteln genannten Randbedingungen wurden für die rechnerische Ermittlung von Auswirkungen eines gezielten Flugzeugabsturzes folgende Schritte gewählt:

- Festlegung der Bauwerke, die einem gezielten Flugzeugabsturz hinreichend standhalten müssen, um einen cliff-edge-Effekt in den radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung zu vermeiden,
- Modellierung dieser Bauwerke und des jeweils für Schutzgrad 2 bzw. 3 repräsentativen Flugzeugs, um mit gekoppelten FEM-Berechnungen die mechanischen Einwirkungen auf die Hülle und die inneren Strukturen der Bauwerke sowie die induzierten Erschütterungen zu quantifizieren,
- Untersuchung der Abtragbarkeit der infolge der induzierten Erschütterungen auftretenden Lasten auf diejenigen Komponenten einschließlich Halterungen und Bauanschlüssen, die für die Beherrschung des Ereignisses relevant sind.

### **5.1 Detailliert zu untersuchende Bauwerke**

Das Konzept der Anlagen zum Schutz vor einem (unfallbedingten) Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeugs vom Typ Phantom sieht vor, dass derartige Ereignisse mit den Einrichtungen beherrscht werden, die sich

- beim DWR im Reaktorgebäude, im Notspeisegebäude und in durch Überdeckungen sowie räumliche Trennung geschützten Kanälen sowie räumlich getrennten Einlaufbauwerken befinden,
- beim SWR im Reaktorgebäude, in räumlich getrennten Bauwerken mit einer jeweils ausreichenden Zahl von Notstromdieseln, in durch Überdeckungen sowie räumliche Trennung geschützten Kanälen und in räumlich getrennten Einlaufbauwerken befinden.

---

Die Untersuchungen der mechanischen und thermischen Einwirkungen des gezielten Absturzes eines Verkehrsflugzeugs können jedoch aus folgenden Gründen auf das Reaktorgebäude beschränkt werden:

- Das Reaktorgebäude umschließt die Brennelemente, deren radioaktives Inventar nicht freigesetzt werden soll.
- Beim DWR wäre ein Anflug auf das Notspeisegebäude wegen seiner geringen Bauhöhe über Grund schwierig. Der Aufprall könnte allenfalls unter einem flachen Winkel auf das Gebäudedach erfolgen, was zu keiner relevanten Schädigung des Notspeisegebäudes führen würde. Ein aufgrund der großen Kerosin-mengen großflächiger Brand könnte zwar zu einer Absperrung der räumlich getrennten Ansaugöffnungen für die Notspeisediesel durch Brandschutzklappen führen. Darüber hinaus ist aber bei einer solchen Einwirkung von außen aufgrund der Auslegung des Gebäudes nicht davon auszugehen, dass der gesicherte Teil des Reaktorschutzes, der sich ebenfalls im Notspeisegebäude befindet, in seiner Funktion beeinträchtigt wird. Unter diesen Randbedingungen würden das Schaltanlagegebäude mit der Warte, das Maschinenhaus und das Notstromdieselgebäude unbeeinträchtigt bleiben, da diese Gebäude hinreichend räumlich entfernt sind. Von dort könnten deshalb die Bespeisung der Dampferzeuger unter Nutzung z. B. des An- und Abfahrsystems im Maschinenhaus oder durch Notfallmaßnahmen sowie die Dampfabgabe zur Wärmeabfuhr abgesichert werden.
- Beim SWR 72 kann die Notstromversorgung, die für die Kühlung der Kondensationskammer sowie für die Rückspeisung aus der Kondensationskammer in den RDB benötigt wird, über Notstromdiesel sichergestellt werden, die in verschiedenen, räumlich so getrennten Gebäuden untergebracht sind, dass sie auch durch den Absturz eines Verkehrsflugzeugs nicht gleichzeitig ausfallen können. Die Notstromschienen sind untereinander sowie mit den Notstromversorgungen des anderen Blockes kuppelbar. Darüber hinaus stehen weitere Diesel des zusätzlichen Nachkühlsystems (ZUNA) zur Verfügung, die aufgrund der räumlichen Trennung bei einem Treffer der Notstromversorgung unbeeinträchtigt bleiben.
- Bei einem Auftreffen im Bereich der Einlaufbauwerke wären redundanzübergreifende Schäden aufgrund deren räumlich getrennter Anordnung nicht zu unterstellen. Zudem wären auch bei einem direkten Treffer auf einen Teil der Einlaufbauwerke wesentliche Teile der Anlage nicht betroffen.
- Ähnliches gilt für die im Erdreich angeordneten Kanäle, die außerdem durch Erdüberdeckung und teilweise auch durch Überdeckung mit Stahlbetonplatten gegen Trümmerwirkungen geschützt sind. Soweit dies nicht der Fall ist (bei einzelnen Anlagen keine Aufteilung des Rücklaufs des gesicherten Nebenkühlwassers auf redundante Leitungen/Trassen), kann erforderlichenfalls eine Wärmeabfuhr ausreichend schnell über vorhandene Notfallmaßnahmen (diversitäre Wärmesenke) hergestellt werden.

Insgesamt ist deshalb nur das Szenario mit einem Auftreffen auf das Reaktorgebäude relevant für die Betrachtungen.

## **5.2 Modellierung von Reaktorgebäude und Flugzeug**

Die Analysen zum Verhalten der Bau- und Anlagentechnik wurden weitgehend mit best-estimate Methoden durchgeführt. Dabei wurde der Einfluss der Streuungen einzelner wesentlicher Parameter berücksichtigt.

---

Die rechnerischen Analysen der Gutachter zum Bauwerksverhalten wurden mit dem Programm ABAQUS/Explicit durchgeführt, das es erlaubt, elastische und elasto-plastische Verformungen zu ermitteln und dabei komplexe nichtlineare Materialmodelle bei hochdynamischen Belastungen zu berücksichtigen. Mit dem Programm sind sowohl das Reaktorgebäude als auch das auftreffende Flugzeug durch detaillierte Finite-Element-Modelle (FE-Modell) abgebildet worden. Beide Modelle wurden für die Berechnung gekoppelt, um so die Bauwerksantwort beim Auftreffen des Flugzeugs in einem Gesamtmodell direkt zu ermitteln. Die Modelle wurden mit Daten der Hersteller für Reaktorgebäude bzw. Flugzeug abgeglichen.

Das Reaktorgebäudemodell basiert auf bautechnischen Unterlagen des Betreibers.

Die äußere Hülle des Reaktorgebäudes (Sekundärabschirmung) wurde detailliert mit Volumenelementen für den Beton und unter Berücksichtigung der Bewehrung abgebildet. Im Bereich des Auftreffpunktes wurde ein feineres Netz mit einer erhöhten Anzahl an Volumenelementen über die Wanddicke gewählt als abseits des Aufprallbereichs. Die Zug- und Schubbewehrung wurde im Auftreffbereich explizit mit Stabelementen abgebildet. Die Stabelemente der Bewehrung wurden im Modell starr mit den Knoten der Betonstruktur gekoppelt.

Im Gebäudemodell des DWR werden die wesentlichen baulichen Strukturen im Ringraum berücksichtigt. Dies sind alle Gebäudestrukturen einschließlich der obersten Massivdecke mit einer Stärke von 60 cm. Die Wirkung der Dehnungsfuge (sog. EVA-Fuge) zwischen der Reaktorgebäudefwand und der Stirnseite dieser Decke wurde nichtlinear modelliert. Nach dem Schließen der Fuge durch die lokale Verformung des Reaktorgebäudes wirkt die dahinterliegende Decke wie ein Widerlager, das einerseits die Reaktorgebäudefwand stützt, andererseits aber zum erhöhten Eintrag induzierter Erschütterungen in die Ringraumstrukturen führt. Der Primärkreis und weitere schwere maschinentechnische Komponenten wurden im Modell nicht explizit abgebildet. Vielmehr werden die Massen dieser Komponenten lokal auf die Bauwerksmasse aufgeschlagen.

Beim SWR wurden die wesentlichen baulichen Strukturen des Außenzylinders mit Bodenplatte und Dach sowie die inneren Strukturen bis ca. +40,5 m berücksichtigt. Die inneren Strukturen sind durch eine Fuge mit einer Breite von 15 cm vom Außenzylinder getrennt (für die Bühnen am biologischen Schild 10 cm). Die Stirnwand des BE-Beckens und die daran angrenzenden Bühnen wurden detailliert abgebildet. Der Wasser-Dampf-Kreislauf und weitere schwere maschinentechnische Komponenten wurden im Modell nicht explizit modelliert, sondern die Massen dieser Komponenten wurden lokal auf die Bauwerksmasse aufgeschlagen. Der Reaktordruckbehälter inkl. der Standzarge wurde als Balkenschwinger modelliert. Weiterhin sind die Federn und Dämpfer (GERB Schwingungstilger) zum Schutz der beiden Teilsteuerstellen (TEST) vor induzierten Erschütterungen explizit im Modell berücksichtigt.

Die massiven Bodenplatten der Reaktorgebäude (sowohl DWR als auch SWR) sind im FE-Modell als starre Platte abgebildet, die über Feder- und Dämpfungselemente an den Untergrund gekoppelt ist.

In den bautechnischen Berechnungen wurden Materialkennwerte für den Beton und die Bewehrung verwendet, die nach ingenieurtechnischer Erfahrung eine möglichst realitätsnahe Beschreibung des Bauwerksverhaltens ergeben.

Die Modellierungsansätze und die Materialmodelle für das Reaktorgebäude sind soweit möglich anhand von in der Fachliteratur dokumentierten Experimenten validiert worden.

---

Im Flugzeugmodell wurde die Wirkung des Kerosins derart abgebildet, dass die Masse des Kerosins auf die Massen der zugehörigen Strukturkomponenten des Flugzeugs aufgeschlagen worden ist. Dies ist hinsichtlich der zu erwartenden Belastungen des Reaktorgebäudes ein konservativer Ansatz.

Die Ergebnisse der gekoppelten best-estimate Rechnungen zur Last-Zeit-Funktion wurden durch Vergleich mit den Ergebnissen anerkannter vereinfachter Methoden (Riera-Verfahren) überprüft und bestätigt.

Mit dem beschriebenen gekoppelten Modell wurden außer der globalen Standfestigkeit und der Verschiebung des Reaktorgebäudes vor allem die lokalen Verformungen und Beschädigungen der Gebäudewand im Auftreffbereich (insbesondere die Durchbiegung der äußeren Gebäudehülle des Reaktorgebäudes) sowie die induzierten Erschütterungen (Etagenantwortspektren) an Positionen im Gebäude berechnet, an denen sich sicherheitsrelevante Komponenten und Gebäudestrukturen befinden, die für vitale Funktionen benötigt werden.

In den parallel und unabhängig im Auftrag der Betreiber von einem Ingenieurunternehmen durchgeführten gekoppelten Analysen wurde das Programm LS-Dyna verwendet. Dabei wurden zum Teil unterschiedliche Modellierungsansätze und Materialkennwerte verwendet. Der Vergleich mit den Ergebnissen dieser Berechnungen erlaubte eine zusätzliche Einschätzung der Auswirkungen von Modellunsicherheiten auf die Berechnungsergebnisse. Derart konnte beispielsweise der Einfluss unterschiedlicher Modellvernetzungen (Volumen- versus Schalenelemente), Strukturdämpfungen und dynamischer Festigkeitserhöhungen eingeschätzt werden.

### **5.3 Bewertung der Anlagentechnik hinsichtlich induzierter Erschütterungen**

Der Stoß beim Auftreffen des Flugzeugs auf die äußere Hülle des Reaktorgebäudes führt zu induzierten Erschütterungen innerhalb des Gebäudes. Zur Berechnung der Übertragung der Erschütterungen wurde das oben beschriebene Modell des Reaktorgebäudes verwendet. Mit diesem Modell wurden die Beschleunigungsspektren bzw. die Beschleunigungszeitverläufe und die Verschiebungen an den Befestigungspunkten derjenigen maschinentechnischen Komponenten berechnet („Etagenantwortspektren“), die für die Gewährleistung der vitalen verfahrenstechnischen Funktionen relevant sind.

Die Bewertung, ob diese Komponenten ihre Integrität und erforderlichenfalls auch ihre Funktionsfähigkeit trotz der auftretenden Belastungen behalten, erfolgte in einem Mehrstufenprozess:

- a) In einem ersten Schritt wurden die ermittelten Spektren mit den für die ursprüngliche Auslegung der jeweiligen Komponenten verwendeten Spektren oder Lastannahmen für Erdbeben und Flugzeugabsturz verglichen. Soweit die neuen Spektren geringere Belastungen ergaben als bei der Auslegung, konnte damit die Bewertung positiv abgeschlossen werden.
- b) Soweit die neuen Spektren höhere Belastungen ergaben, als bei der Auslegung angesetzt (z. B. für höhere Frequenzen im Spektrum im Vergleich zum ursprünglichen Lastfall Flugzeugabsturz), wurde die an der Komponente zu erwartende Verschiebung betrachtet. Bei Verschiebungen < 1 mm konnte die Bewertung ebenfalls positiv abgeschlossen werden, da derart kleine Verschiebungen aufgrund des Spiels in den Halterungen sowie der Elastizität in den Komponenten sicher nicht zu Schäden führen.

- 
- c) Falls a) und b) nicht bestätigt werden konnten, wurden die Ausführungs- und Errichtungsunterlagen der entsprechenden Komponenten für die Prüfung herangezogen. Eine positive Bewertung war in Einzelfällen dann möglich, wenn mit der Ausführung der Komponente höhere Belastungen abgedeckt waren, als sich aus den aktuell ermittelten Spektren ergab (z. B. größere Belastungen aus anderen Lastfällen wie etwa Kühlmittelverluststörfall, große Reserven in der für diesen Lastfall zulässigen Spannungsausnutzung, größere verifizierte Beschleunigungen auf einem Rütteltisch).
- d) Falls a) – c) keine positive Bewertung erlauben, besteht die Möglichkeit zur Neuberechnung des Lastabtrags in den Komponenten z. B. mit FE-Methoden. Für die Bewertung einzelner Strukturen und Komponenten wurde davon Gebrauch gemacht (z. B. Flutbecken bei den Konvoi-Anlagen und einer Vorkonvoi-Anlage).
- e) Falls bei Betrachtungen gemäß d) von Reserven in der Festigkeit von Komponenten Kredit genommen worden ist, wurde auch bewertet, ob für die betroffenen Bauanschlüsse Reserven für den entsprechend erhöhten Lasteintrag gegeben sind.

In der Ermittlung der infolge induzierter Erschütterung auftretenden Belastungen von Komponenten, Halterungen und Bauanschlüssen wurden die Bauanschlüsse als starr angesetzt und linear-elastische Berechnungsverfahren verwendet. Dies führt zu einer Überschätzung der tatsächlichen Belastungen. Eine Quantifizierung der damit gegebenen weiteren Reserven würde aufwändige Untersuchungen erfordern, deren es bei den vorliegenden Ergebnissen nicht bedurfte.

## **6 Ergebnisse zu Konvoi-Anlagen**

Bei den Konvoi-Anlagen kann das unterstellte Szenario (Aufprall des Flugzeugs kurz nach RESA/TUSA sowie Beginn Teilabfahren und Aufborieren) beherrscht werden durch den automatischen Primärkreisabschluss, durch jeweils eine verfahrenstechnische Redundante für die erforderliche Wärmeabfuhr (anfangs über die Sekundärseite, nach > 10 Stunden über eine Notnachkühlkette) sowie eine Redundante des Zusatzboriersystems mit Ansaugung aus Zusatzborierbehälter und Flutbecken für das langfristige Sicherstellen der Unterkritikalität. Die Ansteuerung und Überwachung der genannten Verfahrenstechnik sind durch die gesicherte Leittechnik sowie das Notsteuerstellen-Personal im Notspeisegebäude gewährleistet, die elektrische Energieversorgung durch die unterbrechungslose Stromversorgung und das D2-Netz mit den Notspeisedieseln.

### **6.1 Ergebnisse zu Schutzgrad 2**

- **Verhalten der äußeren Reaktorgebäudewand im Bereich der Auftreffstelle**

Es kommt weder zu einer Wanddurchdringung des Reaktorgebäudes (äußere Gebäudehülle) durch Flugzeugstrukturen noch zu Verschiebungen der Betonstrukturen, die die Fuge zwischen der äußeren Gebäudewand und den inneren Gebäudestrukturen überbrücken können. Ein Eindringen von Kerosin in das Reaktorgebäude ist daher ausgeschlossen.

---

- **Globale Standsicherheit des Gebäudes und Gebäudeverschiebungen**

Die globale Standsicherheit des Gebäudes ist nicht infrage gestellt. Die Beherrschbarkeit von resultierenden Gebäudeverschiebungen wurde abdeckend für Schutzgrad 3 betrachtet, s. u.

- **Induzierte Erschütterungen, Auswirkungen**

Bei den induzierten Erschütterungen werden im unteren Frequenzbereich (vergleichbar mit den beim Erdbeben angeregten Frequenzen) die Auslegungswerte für die Beschleunigung von Komponenten durchgehend unterschritten, im oberen Frequenzbereich gibt es einzelne geringe Überschreitungen der der Auslegung gegen Flugzeugabsturz zu Grunde liegenden Beschleunigungen, die aber bei den festgestellten geringen Schwingungsamplituden keine Gefährdung von Komponenten hervorrufen können.

- **Brandeinwirkungen**

Die Auswirkungen eines äußeren Brandes gefährden weder Gebäudestrukturen, noch die zur Beherrschung des Ereignisses notwendigen Systeme und elektrischen Einrichtungen. Dies wurde für die Flugzeugkategorie zu Schutzgrad 2 nicht explizit betrachtet, sondern ist durch die abdeckenden Betrachtungen zum Schutzgrad 3 abgeleitet worden.

## 6.2 Ergebnisse zu Schutzgrad 3

- **Verhalten der äußeren Reaktorgebäudewand im Bereich der Auftreffstelle**

Es kommt zu keiner Wanddurchdringung des Reaktorgebäudes (äußere Gebäudehülle) durch Flugzeugstrukturen. Das Eindringen von Kerosin in das Reaktorgebäude kann daher ausgeschlossen werden. Die maximale Verschiebung der Betonstrukturen führt dazu, dass die Fuge zwischen der äußeren Gebäudewand und den inneren Gebäudestrukturen lokal überbrückt wird, was einerseits zu einer teilweisen Stoßübertragung auf die inneren Strukturen (Decken und Wände im Ringraum), andererseits zu einer Stützwirkung für die äußere Gebäudewand führt. Dies führt zu lokalen Schäden an der Kontaktstelle, aber nicht zu einem Versagen der inneren Gebäudestrukturen. Eine Stoßübertragung auf den Reaktorsicherheitsbehälter wurde nicht festgestellt.

- **Globale Standsicherheit des Gebäudes und Gebäudeverschiebungen**

Die globale Standsicherheit des Gebäudes ist nicht infrage gestellt. Für große Teile des Gebäudes bleiben die Belastungen sogar bei Werten, die elastisch abgetragen werden. Weiterhin sind die maximalen Verschiebungen des Reaktorgebäudes so gering, dass die Integrität und Funktionsfähigkeit der durch die Außenwand führenden Rohrleitungen oder Kabeltrassen nicht gefährdet ist.

- **Induzierte Erschütterungen, Auswirkungen**

Bei den induzierten Erschütterungen in den von der Auftreffstelle entfernt liegenden Gebäudebereichen (Sicherheitsbehälter und die im Ringraum im unteren Bereich liegenden Komponenten) werden im unteren Frequenzbereich (vergleichbar mit den beim Erdbeben angeregten Frequenzen) die Auslegungswerte der Beschleunigungen für die sicherheitstechnisch wichtigen und deshalb gegen äußere Einwirkungen ausgelegten Einrichtungen durchgehend unterschritten. Im oberen Frequenzbereich gibt es Überschreitungen der der Auslegung gegen Flugzeugabsturz zu Grunde liegenden Beschleunigungen, die aber bei den festgestellten geringen Schwingungsamplituden keine Gefährdung von Komponenten hervorrufen können.

---

Soweit hier von Auslegungsreserven von Komponenten Kredit genommen worden ist, wurde auch überprüft, dass für betroffene Halterungen und Bauanschlüsse ebenfalls ausreichende Reserven angesetzt werden können.

Aufgrund der Überbrückung der Fuge zwischen äußeren und inneren Gebäudestrukturen beim Lastaufprall wurden im Ringraum auf Höhe des Auftreffpunktes für diesen Lastfall die induzierten Erschütterungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf sicherheitstechnisch wichtige Komponenten detaillierter betrachtet. Als Ergebnis zeigt sich, dass es auch hier nur im oberen Frequenzbereich zu Überschreitungen der der Auslegung gegen Flugzeugabsturz zu Grunde liegenden Beschleunigungen kommt. Hierbei konnte hinsichtlich der vitalen Funktionen nachgewiesen werden, dass die erforderliche Anzahl der benötigten Komponenten in den von der Auftreffstelle entfernt liegenden Redundanten funktionsfähig erhalten bleibt. Im Hinblick auf Komponenten mit Überflutungspotential im Falle eines Versagens wurde ein Integritätsnachweis auch im treffernahen Bereich geführt.

Für die nicht gegen äußere Einwirkungen ausgelegten Einrichtungen (z. B. Teile des Deionatsystems) wurde pauschal angenommen, dass es insbesondere bei wasserführenden Rohrleitungen und Behältern zum Integritätsverlust kommt und darüber hinaus die zur automatischen Absperrung vorgesehenen notstandssicheren Verriegelungen nicht wirksam werden. Die Analyse zeigt, dass es selbst bei der maximal anzusetzenden Wassermenge im Ringraum nicht zu einer Überflutung von für vitale Funktionen benötigten Komponenten kommt und diese damit ihre Funktionsfähigkeit behalten, sofern 2 Stunden nach dem Aufprall Maßnahmen gegen einen weiteren Füllstandsanstieg durchgeführt werden, wie sie in den Betriebsunterlagen beschrieben sind.

Ein Lösen des Gebäudekrans von der Kranlaufbahn infolge induzierter Erschütterungen mit resultierendem Absturz und Folgeschäden ist beim DWR nicht zu unterstellen. Die Kranlaufbahn ist oben auf dem Trümmerschutzzylinder innerhalb des Sicherheitsbehälters montiert. Durch die Anordnung des Trümmerschutzzylinders werden Schwingungen nur indirekt über die Fundamentplatte angeregt, sodass die Amplituden relativ gering bleiben. Darüber hinaus befindet sich der Gebäudekran grundsätzlich in einer definierten Parkstellung, wo ein horizontaler Versatz durch Puffer limitiert ist. Die Kranfahrwerke sind mit Blick auf Schwingungen bei EVA durch Klammern gegen Abspringen gesichert.

- **Brandeinwirkungen**

Die Auswirkungen eines äußeren Brandes gefährden weder Gebäudestrukturen noch zur Beherrschung dieses Ereignisses notwendige Systeme und elektrische Einrichtungen. Bei einem Abbrennen einer Kerosinlache unterhalb der Armaturenkammer sind die Komponenten durch die Gebäudestrukturen geschützt. Mögliche größere Durchdringungen wie die Druckentlastungsklappen öffnen bei den zu unterstellenden induzierten Belastungen nicht. Durch die Ausführung der Druckentlastungsklappen in Brandwiderstandsklasse F-90 wird sichergestellt, dass es nicht zu unzulässigen Temperaturen für Komponenten in der Armaturenkammer kommt, die für vitale Funktionen benötigt werden.

---

### 6.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse von der Referenzanlage auf andere Konvoi-Anlagen

Die Konvoi-Anlagen sind in ihren Auslegungsanforderungen und Ausführungen der Komponenten und Bauwerke sowie der räumlichen Anordnung der relevanten Bauwerke untereinander so ähnlich, dass die Untersuchungsergebnisse für die Referenzanlage auf die beiden anderen Anlagen ohne weitere detaillierte Betrachtungen übertragen werden können.

### 6.4 Ergebnisse Postulat Leckage in der DfU

Die zu betrachtenden Anlagen sind so ausgelegt worden, dass die Integrität der Druckführenden Umschließung auch bei Beschleunigungen gesichert ist, wie sie bei Bemessungserdbeben oder beim unterstellten Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeugs vom Typ Phantom (Last-Zeit-Funktion gemäß RSK-Leitlinie bzw. den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“) infolge induzierter Erschütterungen auftreten können. Ein Kühlmittelverlust infolge eines Lecks wird deshalb bei diesen Ereignissen auslegungsgemäß nicht unterstellt. Die RSK hatte es trotz der Auslegung der Rohrleitungen der druckführenden Umschließung gegen Lasten aus dem Flugzeugabsturz gemäß RSK-Leitlinie in ihr Arbeitsprogramm aufgenommen, den Abriss einer Kleinleitung in diesem Bereich für den auslegungsgemäß zu unterstellenden Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeugs vom Typ Phantom zu postulieren und die möglichen Auswirkungen zu untersuchen.

Aufgrund der oben festgestellten Reserven in der Auslegung der Anlagen ist auch bei einem Aufprall eines Verkehrsflugzeugs entsprechend Schutzgrad 2 oder 3 mit erhöhten Beschleunigungen in höheren Frequenzbereichen nicht zu erwarten, dass es in Folge induzierter Erschütterungen zu einem Leck mit Kühlmittelverlust kommt. Eine Überlagerung von zwei auslegungsüberschreitenden Postulaten (Absturz eines Verkehrsflugzeugs und Abriss einer Anschlussleitung an die DfU) wurde nicht vorgenommen.

Die RSK hat für die Untersuchung folgende Randbedingungen vorgegeben:

- Leckrate entsprechend einem DN 50-Leck bei Abriss einer Anschlussleitung an der ungünstigsten Stelle der DfU,
- Fachkundiges Personal so verfügbar, dass von Handansteuerungen nach 2 Stunden Kredit genommen werden kann,
- Kreditierung nur von Einrichtungen und Systemen, die durch bauliche Maßnahmen, räumliche Trennung oder Auslegung gegen die Einwirkungen beim Aufprall eines Flugzeugs auf das Reaktorgebäude geschützt sind,
- Untersuchung des Ereignisablaufs mit Abfahren der Anlage bis in einen Zustand, in dem bei unterkritischer Anlage mit den Notnachkühlpumpen im Sumpfbetrieb das Leck in der DfU überspeist werden kann.

Von den Betreibern wurde hierzu eine Untersuchung mit folgenden abdeckenden Annahmen vorgelegt: Unverfügbarkeit der Eigenbedarfsversorgung sowie des D1-Netzes und damit der betrieblichen Speisewasserversorgung, des Volumenregelsystems und der Pumpen des Not- und Nachkühlsystems, mit folgenden Ergebnissen:

- 
- Aufgrund des unterstellten kleinen Lecks kommt es zum automatischen Auslösen des schnellen sekundärseitigen Abfahrens (100 K/h). Der Füllstand in den Dampferzeugern wird von dem Notspeisesystem gehalten.
  - Mit dem anfänglich schnellen Druckabfall und dem durch das sekundärseitige Abfahren bedingten weiteren Absenken des Drucks im Primärkreis geht die Leckrate kontinuierlich zurück, so dass zuerst mit der Einspeisung über die heißseitigen Druckspeicher und dann längerfristig (nach knapp 2 Stunden) durch das Zusatzboriersystem der Füllstand im Primärkreis über der Kernoberkante gehalten werden kann. In dieser Konstellation wären die sekundärseitige Wärmeabfuhr sowie die Kernüberdeckung für mehr als 10 Stunden sichergestellt, selbst wenn in dieser Zeit keine Maßnahmen durch das Anlagenpersonal berücksichtigt würden. Wegen besetzter Notsteuerstelle könnten diese Maßnahmen auch bereits nach ca. 2 Stunden durchgeführt werden.
  - Es ist somit genügend Zeit für das Anlagenpersonal gegeben, um das Notnachkühlsystem zuzuschalten, damit den Primärkreislauf wieder aufzufüllen und auf primärseitige Wärmeabfuhr überzugehen.

Die RSK stellt fest, dass mit diesen Ergebnissen gezeigt wurde, dass ein Szenario Flugzeugabsturz mit der Last-Zeit-Funktion gemäß RSK-Leitlinie (Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeugs vom Typ Phantom) mit einem zusätzlich unterstellten kleinen Leck durch Abriss einer Anschlussleitung am Primärkreis keine cliff-edge-Effekte zur Folge hat und beherrscht wird.

## 7 Ergebnisse zu Vorkonvoi-Anlagen

Bei den Vorkonvoi-Anlagen kann das unterstellte Szenario (Aufprall des Flugzeugs kurz nach RESA/TUSA sowie Beginn Teilabfahren und Aufborieren) beherrscht werden durch den automatischen Primärkreisabschluss, durch jeweils eine verfahrenstechnische Redundante für die erforderliche Wärmeabfuhr (anfangs über die Sekundärseite, nach > 10 Stunden über eine Notnachkühlkette) sowie eine Redundante des Zusatzboriersystems mit Ansaugung aus Zusatzborierbehälter und einem Flutbehälterpaar für das langfristige Sicherstellen der Unterkritikalität. Die Ansteuerung und Überwachung der genannten Verfahrenstechnik sind durch die gesicherte Leittechnik sowie das Notsteuerstellen-Personal im Notspeisegebäude gewährleistet, die elektrische Energieversorgung durch die unterbrechungslose Stromversorgung und das D2-Netz mit den Notspeisedieseln.

### 7.1 Ergebnisse zu Schutzgrad 2

- **Verhalten der äußeren Reaktorgebäudewand im Bereich der Auftreffstelle**

Es kommt weder zu einer Wanddurchdringung des Reaktorgebäudes (äußere Gebäudehülle) durch Flugzeugstrukturen noch zu Verschiebungen der Betonstrukturen, die die Fuge zwischen der äußeren Gebäudewand und den inneren Gebäudestrukturen überbrücken können. Ein Eindringen von Kerosin in das Reaktorgebäude ist daher ausgeschlossen.

---

- **Globale Standsicherheit des Gebäudes und Gebäudeverschiebungen**

Die globale Standsicherheit des Gebäudes ist nicht infrage gestellt. Die Beherrschbarkeit von resultierenden Gebäudeverschiebungen wurde abdeckend für Schutzgrad 3 betrachtet, s. u.

- **Induzierte Erschütterungen, Auswirkungen**

Für die relevanten Komponenten konnte gezeigt werden, dass in der Regel die ermittelten Antwortspektren für die Aufstellungspunkte durch die Erdbeben-Auslegungsspektren oder durch die Auslegungsspektren für Flugzeugabsturz (gemäß RSK-Leitlinie) abgedeckt waren oder die Verschiebungen das 1 mm-Kriterium einhielten. An einigen höher gelegenen Punkten im Sicherheitsbehälter wurde zwar das 1 mm-Kriterium überschritten. Durch eine Einzelbewertung der Auslegungsreserven der betroffenen Komponenten konnte jedoch aufgezeigt werden, dass ein Versagen der Komponenten nicht zu unterstellen ist.

- **Brandeinwirkungen**

Die Auswirkungen eines äußeren Brandes gefährden weder Gebäudestrukturen, noch die zur Beherrschung des Ereignisses notwendigen Systeme und elektrischen Einrichtungen. Dies wurde für die Flugzeugkategorie zu Schutzgrad 2 nicht explizit betrachtet, sondern ist durch die abdeckenden Betrachtungen zum Schutzgrad 3 abgeleitet worden.

## 7.2 Ergebnisse zu Schutzgrad 3

- **Verhalten der äußeren Reaktorgebäudefwand im Bereich der Auftreffstelle**

Es kommt zu keiner Wanddurchdringung des Reaktorgebäudes (äußere Gebäudehülle) durch Flugzeugstrukturen. Das Eindringen von Kerosin in das Reaktorgebäude kann daher ausgeschlossen werden. Die maximale Verschiebung der Betonstrukturen führt dazu, dass die Fuge zwischen der äußeren Gebäudewand und den inneren Gebäudestrukturen lokal überbrückt wird, was einerseits zu einer teilweisen Stoßübertragung auf die inneren Strukturen (Decken und Wände im Ringraum), andererseits zu einer Stützwirkung für die äußere Gebäudewand führt. Dies führt zu lokalen Schäden an der Kontaktstelle, aber nicht zu einem Versagen der inneren Gebäudestrukturen. Eine Stoßübertragung auf den Reaktorsicherheitsbehälter wurde festgestellt, es kam dabei aber nur zu leichten lokalen plastischen Deformationen, die die Integrität nicht in Frage stellen.

- **Globale Standsicherheit des Gebäudes und Gebäudeverschiebungen**

Die globale Standsicherheit des Gebäudes ist nicht infrage gestellt. Für große Teile des Gebäudes bleiben die Belastungen sogar bei Werten, die elastisch abgetragen werden. Weiterhin sind die maximalen Verschiebungen des Reaktorgebäudes so gering, dass die Integrität und Funktionsfähigkeit der durch die Außenwand führenden Rohrleitungen oder Kabeltrassen nicht gefährdet ist.

- **Induzierte Erschütterungen, Auswirkungen**

Bei den induzierten Erschütterungen in den von der Auftreffstelle entfernt liegenden Gebäudebereichen (Sicherheitsbehälter und die im Ringraum im unteren Bereich liegenden Komponenten) werden für die sicherheitstechnisch wichtigen und deshalb gegen äußere Einwirkungen ausgelegten Einrichtungen die ermittelten Antwortspektren für die Aufstellungspunkte weitgehend durch die – sehr konservativ berechneten – Auslegungsspektren für Flugzeugabsturz (gemäß RSK-Leitlinie) abgedeckt. Soweit dies für höhere Frequenzen nicht der Fall ist, konnte gezeigt werden, dass in der Regel das 1 mm-Kriterium

---

eingehalten wird. Bei einzelnen Überschreitungen dieses Kriteriums konnte gezeigt werden, dass die entsprechenden Belastungen aufgrund vorhandener Auslegungsreserven in Komponenten, Halterungen und Bauanschlüssen so abgetragen werden, dass Integrität und erforderlichenfalls Funktion weiterhin gegeben sind.

Soweit hier von Auslegungsreserven von Komponenten Kredit genommen worden ist, wurde auch überprüft, dass für betroffene Halterungen und Bauanschlüsse ebenfalls ausreichende Reserven angesetzt werden können.

Aufgrund der Überbrückung der Fuge zwischen äußeren und inneren Gebäudestrukturen beim Lastaufprall wurden im Ringraum auf Höhe des Auftreffpunktes für diesen Lastfall die induzierten Erschütterungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf sicherheitstechnisch wichtige Komponenten detaillierter betrachtet. Als Ergebnis zeigt sich, dass es auch hier nur im oberen Frequenzbereich zu Überschreitungen der der Auslegung gegen Flugzeugabsturz zu Grunde liegenden Beschleunigungen kommt. Hierbei konnte hinsichtlich der vitalen Funktionen nachgewiesen werden, dass die erforderliche Anzahl der benötigten Komponenten in den von der Auftreffstelle entfernt liegenden Redundanten funktionsfähig erhalten bleibt. Im Hinblick auf Komponenten mit Überflutungspotential im Falle eines Versagens wurde ein Integritätsnachweis auch im treffernahen Bereich geführt.

Für die nicht gegen äußere Einwirkungen ausgelegten Einrichtungen (z. B. Teile des Deionatsystems) wurde pauschal angenommen, dass es insbesondere bei wasserführenden Rohrleitungen und Behältern zum Integritätsverlust kommt und darüber hinaus die zur automatischen Absperrung vorgesehenen notstandssicheren Verriegelungen nicht wirksam werden. Die Analyse zeigt, dass es selbst bei der maximal anzusetzenden Wassermenge im Ringraum nicht zu einer Überflutung von für vitale Funktionen benötigten Komponenten kommt und diese damit ihre Funktionsfähigkeit behalten, sofern 2 Stunden nach dem Aufprall Maßnahmen gegen einen weiteren Füllstandsanstieg durchgeführt werden, wie sie in den Betriebsunterlagen beschrieben sind.

Ein Lösen des Gebäudekrans von der Kranlaufbahn infolge induzierter Erschütterungen mit resultierendem Absturz und Folgeschäden ist beim DWR nicht zu unterstellen. Die Kranlaufbahn ist oben auf dem Trümmerschutzzylinder innerhalb des Sicherheitsbehälters montiert. Durch die Anordnung des Trümmerschutz-zylinders werden Schwingungen nur indirekt über die Fundamentplatte angeregt, sodass die Amplituden relativ gering bleiben. Darüber hinaus befindet sich der Gebäudekran grundsätzlich in einer definierten Parkstellung, wo ein horizontaler Versatz durch Puffer limitiert ist. Die Kranfahrwerke sind mit Blick auf Schwingungen bei EVA durch Klammern gegen Abspringen gesichert.

- **Brandeinwirkungen**

Die Auswirkungen eines äußeren Brandes gefährden weder Gebäudestrukturen noch zur Beherrschung dieses Ereignisses notwendige Systeme und elektrische Einrichtungen. Bei einem Abbrennen einer Kerosinlache unterhalb der Armaturenkammer sind die Komponenten durch die Gebäudestrukturen geschützt. Mögliche größere Durchdringungen wie die Druckentlastungsklappen öffnen bei den zu unterstellenden induzierten Belastungen nicht. Durch die Ausführung der Druckentlastungsklappen in Brandwiderstandsklasse F-90 wird sichergestellt, dass es nicht zu unzulässigen Temperaturen für Komponenten in der Armaturenkammer kommt, die für vitale Funktionen benötigt werden.

---

### 7.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse von der Referenzanlage auf andere Vorkonvoi-Anlagen

Im Wesentlichen beschränken sich die Unterschiede zwischen der Referenzanlage und den anderen Vorkonvoi-Anlagen, welche unter Umständen zu ungünstigeren Einwirkungen führen könnten, auf folgende Punkte bei einer anderen Anlage:

- Statt Flachgründung eine Pfahlgründung
- Statt Flutbehältern Flutbecken
- Die Armaturenkammer ist nicht durch andere Bauwerke gegen ein Anfliegen abgeschirmt.

Spezifische Betrachtungen des Betreibers zu diesen Punkten führten zu folgenden Ergebnissen:

- **Pfahlgründung**  
Analysen mit einem dynamischen Rechenmodell unter Berücksichtigung der Pfahl-Boden-Pfahl-Wechselwirkung für Schutzgrad 3 zeigten, dass die Gründungspfähle die Lasten innerhalb der Auslegung abtragen und außerdem die induzierten Erschütterungen im Reaktorgebäude durch ein etwas „weicherer Verhalten“ tendenziell geringer ausfallen.
- **Flutbecken**  
Mit einer nichtlinearen Berechnung wurde für die bei Lasten entsprechend Schutzgrad 3 zu erwartenden Verschiebungen im Reaktorgebäude gezeigt, dass die Auskleidung der Flutbecken intakt bleibt. Eine Leckage aus den ausgekleideten Becken ist deshalb nicht zu erwarten.
- **Armaturenkammer**  
Bautechnische Berechnungen und Betrachtungen der Auswirkungen eines Treffers auf die Armaturenkammer mit einem Flugzeug gemäß Schutzgrad 3 und einer als ungünstig eingeschätzten Trefferlage ergaben, dass mindestens ein Frischdampf-Sicherheitsventil sowie die Notspeisewasserversorgung funktionsfähig blieben und mindestens eine Frischdampfabschlussarmatur schließt. Thermohydraulische Störfallanalysen ergaben für den Schutzgrad 3, dass mit den verbleibenden Systemen die Anlage in einen sicheren Zustand überführt werden kann. Ansonsten sind die Ergebnisse der Referenzanlage übertragbar.

### 7.4 Ergebnisse Postulat Leckage in der DfU

Durch eine thermohydraulische Analyse wurde gezeigt, dass trotz gewisser systemtechnischer Unterschiede (z. B. kleineres Inventar der Borierbehälter im Vergleich zu Konvoi-Anlagen) die Anlage beim Szenario eines postulierten kleinen Lecks in ähnlicher Weise wie bei den Konvoi-Anlagen in einen kontrollierten Zustand (unterkritisch, kalt, drucklos) überführt werden kann.

---

## 8 Ergebnisse zum Siedewasserreaktor Baulinie 72

Beim SWR Baulinie 72 ist aufgrund der Auslegung des Nachkühlsystems mit 3 x 100% (plus 1 x 100% zusätzliches Nachkühlsystem (ZUNA)) eine funktionsfähige Redundanz oder das ZUNA-System zur Beherrschung des Ereignisses ausreichend. Eine der zwei Teilsteuerstellen (TEST) einschließlich der Einrichtungen der zugehörigen Redundanz muss zur Wahrnehmung der grundlegenden Sicherheitsfunktionen verfügbar bleiben. Weiterhin muss die Integrität von Systemen und Komponenten mit einem Potential für Überflutungen sichergestellt sein.

### 8.1 Ergebnisse zu Schutzgrad 2

- **Verhalten der äußeren Reaktorgebäudefwand im Bereich der Auftreffstelle**

Es kommt weder zu einer Wanddurchdringung des Reaktorgebäudes (äußere Gebäudehülle) durch Flugzeugstrukturen noch zu Verschiebungen der Betonstrukturen, die die Fuge zwischen der äußeren Gebäudewand und den inneren Gebäudestrukturen überbrücken können. Ein Eindringen von Kerosin in das Reaktorgebäude ist daher ausgeschlossen.

- **Globale Standsicherheit des Gebäudes und Gebäudeverschiebungen**

Die globale Standsicherheit des Gebäudes ist nicht infrage gestellt. Die Beherrschbarkeit von resultierenden Gebäudeverschiebungen wurde abdeckend für Schutzgrad 3 betrachtet, s. u.

- **Induzierte Erschütterungen, Auswirkungen**

Bei den induzierten Erschütterungen werden im unteren Frequenzbereich (vergleichbar mit den beim Erdbeben angeregten Frequenzen) die Auslegungswerte für die Beschleunigung von Komponenten für die Mehrzahl der sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten unterschritten. Im mittleren und oberen Frequenzbereich gibt es mehrere Überschreitungen der der Auslegung gegen Flugzeugabsturz (gemäß RSK-Leitlinie) zu Grunde liegenden Beschleunigungen. Wegen der festgestellten geringen Schwingungsamplituden bzw. unter Berücksichtigung der Auslegungsreserven ergibt sich hieraus keine Gefährdung von Komponenten. Soweit hier von Auslegungsreserven von Komponenten Kredit genommen worden ist, wurde auch überprüft, dass für betroffene Halterungen und Bauanschlüsse ebenfalls ausreichende Reserven angesetzt werden können. Aufgrund des Schutzes der im Reaktorgebäude angeordneten Teilsteuerstellen (TEST) vor induzierten Erschütterungen durch Federn und Dämpfer (GERB Schwingungstilger) treten auch dort keine Beschleunigungen auf, die nicht durch die Auslegung abgedeckt sind.

- **Brandeinwirkungen**

Die Auswirkungen eines äußeren Brandes gefährden weder Gebäudestrukturen, noch die zur Beherrschung des Ereignisses notwendigen Systeme und elektrischen Einrichtungen. Dies wurde für die Flugzeugkategorie zu Schutzgrad 2 nicht explizit betrachtet, sondern ist durch die abdeckenden Betrachtungen zum Schutzgrad 3 abgeleitet worden.

---

## 8.2 Ergebnisse zu Schutzgrad 3

- **Verhalten der äußeren Reaktorgebäudefwand im Bereich der Auftreffstelle**

Es kommt zu keiner Wanddurchdringung des Reaktorgebäudes (äußere Gebäudehülle) durch Flugzeugstrukturen. Das Eindringen von Kerosin in das Reaktorgebäude kann daher ausgeschlossen werden. Die maximale Verschiebung der Betonstrukturen führt dazu, dass die Fuge zwischen der äußeren Gebäudewand und den inneren Gebäudestrukturen lokal überbrückt wird. Dies führt zu lokalen Schäden an der Kontakt-stelle, aber nicht zu einem Versagen der inneren Gebäudestrukturen. Bei Kontaktschluss der Fuge tritt eine max. Verschiebung der Wand des BE-Beckens von weniger als 10 cm auf. Dabei treten keine Schädigungen auf, die zu Leckagen aus dem BE-Becken führen. Das BE-Becken bleibt intakt.

- **Globale Standsicherheit des Gebäudes und Gebäudeverschiebungen**

Die globale Standsicherheit des Gebäudes ist nicht infrage gestellt. Für große Teile des Gebäudes bleiben die Belastungen bei Werten, die elastisch abgetragen werden. Weiterhin sind die maximalen Verschiebungen des Reaktorgebäudes so gering, dass die Integrität und Funktionsfähigkeit der durch die Außenwand führen-den Rohrleitungen oder Kabeltrassen nicht gefährdet ist.

- **Induzierte Erschütterungen, Auswirkungen**

Für die Referenzanlage der SWR Baulinie 72 erfolgt der Eintrag induzierter Erschütterungen im Wesentlichen nach Schließen der Fuge direkt auf den Innenbereich.

Bei den induzierten Erschütterungen in den von der Auftreffstelle entfernt liegenden Gebäudebereichen werden im unteren Frequenzbereich (vergleichbar mit den beim Erdbeben angeregten Frequenzen) die Auslegungswerte der Beschleunigungen für die sicherheitstechnisch wichtigen und deshalb gegen äußere Einwirkungen ausgelegten Einrichtungen nur teilweise unterschritten. Für die restlichen Komponenten wurden daher Komponentennachweise zur Ermittlung der Auslegungsreserven herangezogen. Die im oberen Frequenzbereich festgestellten Überschreitungen der der Auslegung gegen Flugzeugabsturz zu Grunde liegenden Beschleunigungen rufen wegen der festgestellten geringen Schwingungsamplituden bzw. unter Berücksichtigung der Auslegungsreserven keine Gefährdung von Komponenten hervor. Soweit hier von Auslegungsreserven von Komponenten Kredit genommen worden ist, wurde auch überprüft, dass für betroffene Halterungen und Bauanschlüsse ebenfalls ausreichende Reserven angesetzt werden können.

Aufgrund des Schutzes der im Reaktorgebäude angeordneten Teilstuerstellen (TEST) vor induzierten Erschütterungen durch Federn und Dämpfer (GERB Schwingungstilger) treten dort keine Beschleunigungen auf, die nicht durch die Auslegung abgedeckt sind.

Hinsichtlich der vitalen Funktionen konnte nachgewiesen werden, dass die erforderliche Anzahl der benötigten Komponenten in den von der Auftreffstelle entfernt liegenden Redundanten funktionsfähig erhalten bleibt. Hinsichtlich der Integrität von Komponenten mit Überflutungspotential wurde der Nachweis auch im treffernahen Bereich geführt.

Die wasserführenden, nicht gegen äußere Einwirkungen ausgelegten Leitungen und zugehörige Komponenten, deren Versagen das Potential für Überflutungen hat, wurden entweder bei der Analyse der Auswirkungen der induzierten Erschütterungen explizit einbezogen oder ihr Versagen kann nicht zu

---

Leckagen führen, die kurzfristig Gegenmaßnahmen erfordern. Größere Behälter, deren Integritätsverlust zur Überflutung und in der Folge zum Ausfall vitaler Funktionen führen könnte, sind im SWR Baulinie 72 nicht vorhanden.

Der Gebäudekran ist durch Halterungen redundant gesichert, so dass ein Absturz ausgeschlossen werden kann.

- **Brandeinwirkungen**

Die Auswirkungen eines äußeren Brandes gefährden die Gebäudestrukturen nicht. Es sind keine Öffnungen im Reaktorgebäude vorhanden und die Verbindungskanäle zwischen Reaktorgebäude und den Notstromgebäuden bzw. der VE-Leitungen sind durch Erdüberdeckung geschützt.

## 9 Fazit

Die RSK schließt mit der vorliegenden Stellungnahme ihre Beratungen zum gezielten Flugzeugabsturz ab. Die RSK stellt fest:

Die Gesamtheit der verwendeten Randbedingungen stellt eine Festlegung dar, die eine daraus resultierende Belastung im oberen Bereich der Belastungen aus den möglichen Kombinationen von Parameterwerten definiert, aber nicht jedem einzelnen Parameter den jeweils ungünstigsten möglichen Wert zuweist.

Die Erfüllung der Anforderungen aus den Schutzgraden 2 und 3 (vgl. Kapitel 4) konnte gezeigt werden. Die vitalen Funktionen zur Beherrschung der Ereignisse bleiben im erforderlichen Umfang erhalten. Es wurden bei allen betrachteten Einwirkungen keine Hinweise auf cliff-edge-Effekte gefunden.

Damit ist gezeigt, dass selbst bei einem gezielten Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs auf die betrachteten Anlagen (Vorkonvoi mit Betriebsbeginn 1984 oder später, Konvoi und SWR Baulinie 72) die Kühlung der Brennelemente im Reaktor und BE-Lagerbecken erhalten bleibt, so dass Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus BE-Schäden nicht zu erwarten sind.

Zudem wurde gezeigt, dass ein Szenario Flugzeugabsturz mit der Last-Zeit-Funktion gemäß RSK-Leitlinie (Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeugs vom Typ Phantom) mit einem zusätzlich unterstellten kleinen Leck durch Abriss einer Anschlussleitung am Reaktorkühlkreislauf keine cliff-edge-Effekte zur Folge hat und beherrscht wird.