

Bonn, den 27.11.2002

Schutz der deutschen Kernkraftwerke vor dem Hintergrund der terroristischen Anschläge in den USA vom 11. September 2001

hier: Ergebnisse der GRS-Untersuchungen aus dem Vorhaben „Gutachterliche Untersuchungen zu terroristischen Flugzeugabsturzscenarien auf deutsche Kernkraftwerke“

Die Ergebnisse der GRS-Untersuchungen, auf die in den Anhängen

- Lastannahmen aus mechanischen Einwirkungen (VS-NID)
- Lastannahmen aus thermischen Einwirkungen (VS-NID)
- Ereignisabläufe und Verwundbarkeit der Anlagen mit den Anhängen A bis E (VS-Vertraulich)

im Einzelnen eingegangen wird, lassen sich entsprechend der Gliederung des Arbeitsprogramms des GRS-Vorhabens

- Mechanische Einwirkungen
- Thermische Einwirkungen
- Wirkung auf Gebäude und Einrichtungen
- Räumliche Absturzscenarien und betroffene Anlagenteile und Sicherheitseinrichtungen
- Anlagentechnische Ereignisabläufe (Verwundbarkeitsanalyse)
- Vorbeugende anlageninterne und anlagenexterne Schutzmaßnahmen

wie folgt zusammenfassen:

Die **mechanischen Einwirkungen**, die durch den gezielten Aufprall eines Verkehrsflugzeuges auftreten können, wurden durch ingenieurtechnische Darstellungen konkretisiert. Dabei wurden alle gängigen Verkehrsflugzeuge drei Gewichtsklassen zugeordnet, für die Referenzflugzeuge festgelegt wurden. Unter Berücksichtigung der maximalen Beladung, einschließlich Treibstoff wurden für die Referenzflugzeuge Last-Zeit-Funktionen für den zentralen Aufprall auf ebene und starre Hindernisse (lotrecht auf die getroffene Oberfläche) für unterschiedliche Aufprallgeschwindigkeiten (100 m/s und 175 m/s) generiert. Die ermittelten Last-Zeit-Funktionen beziehen sich einmal auf Flugzeugkörper ohne Triebwerksmasse und separat auf Referenztriebwerke. Dadurch wird dem zeitlichen Verlauf des Aufprallvorgangs und der Zuordnung der Aufprallflächen bei konkreten Gebäudeuntersuchungen besser Rechnung getragen. Für die Herleitung der Last-Zeit-Funktionen wurde das von Riera entwickelte Modell verwendet, welches anhand eines Anfang der 90er Jahre bei Sandia National Laboratories (SNL) durchgeführten Aufprallversuchs einer Phantommaschine mit 215 m/s auf eine starre Betonwand überprüft wurde. Dieses Modell ist nach Einschätzung der GRS in Anwendung auf Verkehrsflugzeuge infolge der dortigen Annahmen und der längeren Einwirkungsdauer als bei der deutlich kleineren Phantom-Maschine konservativ; dies wird im Rahmen eines laufenden BMWi-Vorhabens derzeit ausgelotet.

Bei der Ermittlung der flugtechnischen Parameter, vor allem zu Aufprallgeschwindigkeit und -winkel, wurde auch die Zielerreichbarkeit bewertet und dazu u.a. ein professioneller Flugsimulator herangezogen. Hierzu wurden am Simulator der TU Berlin mit 6 Probanden mit flugtechnischen Kenntnisse Anflüge auf ein Gebäude mit den Abmessungen eines Kohlekraftwerks (hierfür standen Daten zur Verfügung) unter verschiedenen Anflugbedingungen

mehrmals durchgeführt. Danach ist die Zielerreichbarkeit für Flugzeuge der schwersten Gewichtsklasse auch für die Aufprallgeschwindigkeit von 175 m/s noch gegeben, wen auch mit verminderter Treffwahrscheinlichkeit (etwa 50 % Trefferwahrscheinlichkeit; eine Berührung wurde auch als Treffer gewertet). Der Bericht ist VS-Vertraulich eingestuft. Das Datenmaterial ist unzureichend für eine statistisch abgesicherte Aussage zu einzelnen Fragestellungen, z.B. Winkelverteilung. Zur Frage der Streuung bei Vorgabe eines zielgenauen Treffers sollen im Auftrag des BMWi noch weitere Untersuchungen durchgeführt werden, um die Konservativität eines zentralen Aufpralles abschätzen zu können (ein DWR-Reaktorgebäude hat eine Höhe und einen Durchmesser von etwa 60 m; die Spannweite eines großen Verkehrsflugzeuges liegt ebenfalls bei 60 – 62 m). Es wird erwartet, dass die Streuung bei den Simulationsversuchen nicht unerheblich ist. Aufgrund der Krümmung des zylindrischen Reaktorgebäudes wirken sich Abweichungen von über 20 m schon erheblich bei der dann gegebenen verminderten Lasteintragung aus. Hier ergeben sich für DWR-Anlagen deutlich günstigere Verhältnisse als bei den kastenförmigen SWR-Reaktorgebäuden.

Für die leichten und mittelschweren Verkehrsflugzeuge wurde aufgrund der Erfahrungen beim World Trade Center eine Aufprallgeschwindigkeit bis zu 215 m/s für einen Anflug in Bodennähe in Betracht gezogen. Ein Vergleich dieser Last-Zeit-Funktionen zeigt, dass die Last-Zeit-Funktionen für die Flugzeuge der schweren Gewichtsklasse mit 175 m/s jene Last-Zeit-Funktionen für die mittelschweren Maschinen mit 215 m/s abdecken.

Weiterhin wurde insgesamt festgestellt, dass unabhängig von Flugzeugtyp und Geschwindigkeit für die Zielerreichbarkeit in Sinkflug mit einem Winkel zur Horizontalen von kleiner 10° anzusetzen ist.

Für Untersuchungen zur Abtragbarkeit mechanischer Einwirkungen bei konkreten Gebäudestrukturen bedarf es neben der Last-Zeit-Funktionen auch einer unmittelbar zugeordneten Aufprallfläche (Interaktionsfläche). Diese wurden vereinfachend bzgl. Größe und Form für die jeweiligen Referenzflugzeuge getrennt für Rumpf, Flugzeugflügel und Turbine ermittelt. Damit lassen sich mit existierenden Programmen Rechnungen durchführen hinsichtlich Tragfähigkeit und lokaler Perforation.

Eine besonderer kritischer Punkt der Diskussionen im Rahmen des Vorhabens war, ob die bei der Herleitung der mechanischen Last-Zeit-Funktionen zum Ansatz gekommene obere Geschwindigkeit von 175 m/s der größte anzunehmende Wert ist. Die GRS hat in ihrem Bericht aufgezeigt, dass wenn auch im Einzelfall eine größere Geschwindigkeit für die schweren Maschinen nicht ausgeschlossen werden kann, die Last-Zeit-Funktionen mit dem Riera-Modell doch so konservativ abgeleitet worden sind [zentraler Stoß (Nichtberücksichtigung von Neigungswinkel des Flugzeuges beim Anflug, zielgenaues Treffen ohne Streuung bei gekrümmten Oberflächen); kein Aufplatzen der Treibstoffbehälter vor deren Aufprall, d.h. volle Treibstoffmasse innerhalb der geometrischen Aufprallfläche], dass ggf. auch höhere Geschwindigkeiten abgetragen werden. Welche Reserven hier vorliegen, lässt sich derzeit nicht beantworten, wird aber noch weiter untersucht (BMW-Vorhaben). Gegen diese zugrunde gelegte obere Geschwindigkeit wurde auch von Seiten des RSK keine Einwände erhoben.

Zur Ermittlung der **thermischen Einwirkungen** wurden die vorhandenen Erkenntnisse zum Brandverhalten unterschiedlicher Brandgüter ausgewertet und deren Übertragbarkeit auf hier relevante Szenarien u.a. durch im Rahmen des BMU-Vorhabens durchgeführte Brandexperimente mit im Passagierflugverkehr verwendetem Flugzeugtreibstoff überprüft. Weiterhin wurden für die einzelnen Referenzflugzeuge die wesentlichen im Flugzeug befindlichen Brandlasten, die durch ein abstürzendes Flugzeug auf das Anlagengelände und ggf. in Gebäude eingebracht werden können, ermittelt.

Im Unterschied zu den mechanischen Einwirkungen lassen sich für die thermischen Einwirkungen keine allgemeingültigen Lastannahmen formulieren, da anlagenspezifische Gegebenheiten des Brandverhalten entscheidend beeinflussen können. Für ein methodisch einheitliches Vorgehen wurden deshalb vier Gruppen von Abläufen mit unterschiedlichem Schädigungsgrad der Gebäude (**4 Schädigungskategorien** mit kein Eintrag von Kerosin gegeben bis maximalem Eintrag) sowie die Öffnungsflächen in Gebäuden hinsichtlich Eintrag von Brandlasten und Ventilationsbedingungen definiert, die sich aufgrund unterschiedlicher baulicher Auslegung (insbesondere der Wanddicke) bei einem gezielten Flugzeugabsturz ergeben können. Die Ergebnisse der anlagenspezifischen Bauwerksbelastungen für die drei Referenzflugzeuge können diesen Schädigungskategorien dann zugeordnet werden. Für diese Fallunterscheidungen wurden jeweils **drei verschiedene Anteile des Flugzeugtreibstoffs** ermittelt. Einmal der Anteil, der außerhalb des Gebäudes beim Aufprall versprüht und teilweise verbrennt, weiterhin der Anteil, der in die Gebäude eingetragen wird (ggf. einschließlich fester Brandlasten) und zusätzlich der Anteil der zur Bildung einer Treibstofflache auf dem Anlagengelände führt. Diese Ergebnisse sind von der GRS in einer Tabelle zusammengestellt worden. Die Untersuchungen zeigten, dass Ventilationsbedingungen den Brandverlauf innerhalb eines Gebäudes maßgebend bestimmen. Es wurden drei **repräsentative Brandszenarien** ausgearbeitet, auf die sich die unterschiedlichen Möglichkeiten flugzeugabsturzinduzierter Brände in einem Kernkraftwerk für eine Bewertung der Auswirkungen eingrenzen bzw. zurückführen lassen. Dazu wurde die Methodik präzisiert mit denen die Brandwirkungen ermittelt werden können. Diese Methodik wurde exemplarisch an konkreten anlagentechnischen Bedingungen überprüft. Ihre grundsätzliche Anwendbarkeit bei anlagenspezifischen Untersuchungen wurde bestätigt. Die hierzu erforderlichen brandspezifischen Daten für anlagenspezifischen Analysen mit anerkannten Brandsimulationsrechnungen wurden zusammengestellt. Die exemplarischen Untersuchungen zeigten, dass bei einer Perforation des Reaktorgebäudes mit Eintrag von Brandlasten die Auswirkungen des induzierten Brandes beherrschbar sein können, wenn der eingetragene Flugzeugtreibstoff sich z.B. aufgrund der räumlichen Gegebenheiten, nur lokal ausbreiten kann. Bei Zerstörungen in Teilbereichen anderer Gebäude, z.B. dem Schaltanlagengebäude, reicht die üblicherweise vorhandene Feuerwiderstandsdauer bautechnischer Abtrennungen zwischen zerstörten und nicht zerstörten Gebäudebereichen nicht aus, um die Ausbreitung eines Brandes auf diese Gebäudebereiche ohne zusätzliche Brandbekämpfungsmaßnahmen zu verhindern. Die mit dieser Methodik durchzuführenden Brandsimulationsrechnungen geben Aufschluss darüber, welche Redundanzen und Sicherheitseinrichtungen bei den durchzuführenden Ereignisablaufanalysen als noch zur Verfügung stehend betrachtet werden können bzw. als ausgefallen zu unterstellen sind.

Hinsichtlich der **Abtragbarkeit** (Wirkung auf Gebäude und Einrichtungen) der auftretenden Lasten auf schutzbedürftige Gebäude mit den für die Referenzflugzeuge ermittelten mechanischen Lastannahmen konzentrierten sich die durchgeführten Arbeiten im Wesentlichen auf Analysen zum Tragverhalten eines Reaktorgebäudes der letzten Generation. Darauf aufbauend wurden Einschätzungen für andre Baustrukturen vorgenommen. Bezüglich der Einwirkungen harter Teile konnte anhand von Penetrationsformeln abgeleitet werden, dass das Potenzial für Folgeschäden bei Bauwerksausführungen mit Wanddicken > 1 m gering ist. Mögliche lokale Folgeschäden durch rückseitiges Abplatzen blieben bei Einwirkungen auf sicherheitstechnisch relevante Bauteile auf die lokal betroffene Redundanz begrenzt. Bezüglich eines Durchstanzens der getroffenen Gebäudestruktur durch den Flugzeugkörper zeigen die durchgeführten Rechnungen, dass bei Anlagen der letzten Generation ein erhebliches Widerstandspotenzial in Bezug auf ein örtliches Durchstanzens der getroffenen Wände gegeben und ein Durchstanzens nicht zu erwarten ist. Rechnerische Nachweise hierzu wären aber im Einzelnen anlagenspezifisch noch zu führen. Bezüglich der Standsicherheit des Reaktorgebäudes und möglichem Biegeversagen zeigt die Ergebnisse, dass für Kernkraftwerke der letzten Generation die Standsicherheit gegeben und ein Biegeversagen ebenfalls nicht zu erwarten sind und somit auch keine nennenswerten Mengen von Kerosin eindringen können.

Zusammenfassung der GRS-Studie durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Für die verschiedenen Reaktorgebäude älterer Kernkraftwerke kann bzgl. der Abtragbarkeit mechanischer Lasten davon ausgegangen werden, dass im Einzelfall begrenzte Auslegungsreserven vorhanden sein können. Dies haben in der Vergangenheit durchgeführte Nachuntersuchungen hinsichtlich der aufnehmbaren Stoßlast aus den RSK-Last-Zeit-Funktionen (Phantom-Maschine) gezeugt. Es lassen sich dazu aber keine allgemeinen Aussagen treffen. Diese reichen aber nicht zur Abtragbarkeit der Maximallasten (Aufprall der schwersten Maschine mit der oberen Geschwindigkeit) aus.

Bzgl. der Wirkungen induzierter Erschütterungen auf Systeme und Komponenten zeigen die Untersuchungen mit Rechnungen, dass bei Anwendung gängiger dynamischer Rechenverfahren für geringe Anregungszeiten deutlich höhere Beschleunigungswerte ermittelt werden, als sie der Auslegung der Anlagen der letzten Generation zugrunde liegen. Nach Aussagen der beteiligten Experten bedarf es dazu weitergehender Untersuchungen, um realistische Ergebnisse für darauf resultierende Folgeschäden zu erhalten. Auch hierzu werden im laufenden BMWi-Vorhaben entsprechende Untersuchungen mit Modell-Verbesserungen durchgeführt. Erste Analysen der GRS lassen erwarten, dass die Auswirkungen der Erschütterungen aufgrund der sehr kurzen Anregungszeiten in vertretbaren Grenzen bleiben.

Für die zu betrachtenden anlagenspezifischen Anflugrichtungen zur Ermittlung der **räumlichen Absturzscenarien** wurde eine Systematik erarbeitet mit drei Anflugbereichen (wahrscheinlicher, wenig wahrscheinlicher und auszuschließender Anflugbereich). Vorgelagerte Bauwerke und topografische Gegebenheiten wurden hinsichtlich des Treffens des Reaktorgebäudes oder sonstiger Gebäude mit sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen anhand vereinfachter geometrischer Betrachtungen untersucht und die betroffenen Anlageteile und Sicherheitsfunktionen für die nachfolgend genannten Referenzanlagen ermittelt. Dies erfolgte für 5 repräsentative Kernkraftwerke (3 Druckwasserreaktor- und 2 Siedewasserreaktoranlagen) mit unterschiedlichem Auslegungsstand gegen Flugzeugabsturz. Ausgewählt wurden Obrigheim und Brunsbüttel (keine Auslegung gegen Flugzeugabsturz), Biblis-B (Auslegung gegen Starfighter), Emsland und Krümmel (Auslegung gegen Phantom-Maschine).

Zur Einschätzung der **Verwundbarkeit** der Anlagen wurden o.g. **fünf Gruppen von Anlagekonfigurationen** (unterschiedliche Auslegung gegen Flugzeugabsturz und unterschiedlicher Anlagentyp) gebildet, für die die möglichen räumlichen Absturzscenarien anhand der Beispielanlagen differenziert bewertet wurden. Für die Durchführung von Ereignisablaufanalysen wurde ein Katalog mit **9 Schadensscenarien** definiert, die das Spektrum der möglichen Schäden abdecken (Treffer auf Reaktorgebäude: dieses bleibt intakt; führt zu keinem Kühlmittelverluststörfall; führt zu einem Kühlmittelverluststörfall. Treffer Reaktorgebäude und Flugzeugtrümmer treffen andere Gebäude und weitere). Durch ingenieurmäßige Betrachtungen wurde eingeschätzt, ob die aus einem unterstellten Schadensszenario resultierenden Ereignisabläufe mit den nicht betroffenen Sicherheitseinrichtungen ohne Kernschäden oder Integritätsverlust von Brennelementen in Lagerbecken beherrscht werden können, d.h. ohne größere radioaktive Freisetzung. Für die einzelnen Schadensscenarien wurde dann für jede einzelne Referenzanlage methodisch dargelegt, ob das Schadensszenario beherrscht wird oder nicht. Belastbare Aussagen sind aber nur aufgrund anlagenspezifischer Untersuchungen möglich. Die Untersuchungen lassen erkennen, dass die getroffenen Annahmen zu System- und Komponentenausfällen aufgrund induzierter Erschütterungen die Ergebnisse erheblich beeinflussen.

Aus den Ergebnissen für die fünf Anlagengruppen wurden erste Schlussfolgerungen zur Verwundbarkeit für alle deutschen Kernkraftwerke gewonnen. Danach gibt es – wie zu erwarten war – eine Rangfolge bezüglich Beherrschbarkeit der Schadensscenarien. Aufgrund der vereinfachten Ereignisablaufanalysen wird folgende Reihenfolge bezüglich Beherrschbarkeit erwartet: Emsland (Konvoi-Anlage), Krümmel (SWR), Biblis-B, Obrigheim, Brunsbüttel (SWR).

Erste Einschätzung über **vorbeugende anlageninterne und anlagenexterne Schutzmaßnahmen** sowie zu sicherheitstechnischen Reserven wurde vorgenommen. Durch Nutzen von baulichen und anlagentechnischen Veränderungen und zusätzlichen Schutzmaßnahmen, einschließlich organisatorischer Verbesserungen, kann der Schutzzustand erhöht werden. Dabei geht es um Maßnahmen, mit denen die Zielerreichbarkeit reduziert werden oder die Beherrschbarkeit von Ereignisabläufen in der Anlage verbessert werden kann. Dazu wurde auch bewertet, ob durch eine zeitlich begrenzte Außerbetriebnahme einer konkret bedrohten Anlage deren Verwundbarkeit reduziert werden kann. Die GRS kommt zu der Abschätzung, dass bei einer konkreten Bedrohung einer Anlage die Beherrschbarkeit der oben betrachteten Einwirkungen bei drucklosen Betriebszuständen größer ist. Dies hat bei Anlagen mit größerem Schutzzumfang (bauliche Auslegung des Reaktorgebäudes und der Notschadenssysteme sowie deren systemtechnische Ausführung) eine geringere Bedeutung als bei Anlagen mit geringerem Schutzzumfang. Nach einheitlicher Meinung der an den Untersuchungen beteiligten Organisationen ist der Nutzen von zusätzlichen baulichen Maßnahmen zur Verbesserung der Abtragbarkeit von mechanischen Lasten in Anbetracht damit verbundener Probleme z. Zt. nicht absehbar.

In Bezug auf Maßnahmen zur Reduzierung der Zielerreichbarkeit (Sichtbehinderung, Veränderung der Flugzeugparameter vor dem Aufprall) ergab die Diskussion, dass hier differenziertere Betrachtungen notwendig sind. Die Errichtung von Objekten außerhalb der Anlage könnte eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung der Zielerreichbarkeit bzw. der Höhe der einwirkenden Kräfte sein. Für eine weitergehende Bewertung sind jedoch vertiefte Untersuchungen zum Pilotenverhalten durch entsprechende Experten unter Einbeziehung von Kosten/Nutzenanalysen erforderlich. Bezüglich denkbarer anlagentechnischer Verbesserungen gibt es Hinweise aus den Ereignisablaufbetrachtungen mit denen die Randbedingungen zur Beherrschbarkeit von Ereignisabläufen deutlich verbessert werden können. Diese könnten durch anlagenspezifisch vertiefte Betrachtungen weiter konkretisiert werden.

Insgesamt entsprechen nach Ansicht der GRS die im Rahmen des Vorhabens verwendeten Methoden und Vorgehensweisen dem heutigen Kenntnisstand. Diese stellen aber oft Näherungen mit Grenzbetrachtungen dar. Die zu betrachtenden Phänomene und Effekte (z. B. Feuerball, Brandszenarien, Riera-Modell bei der Ableitung der Last-Zeit-Funktionen) sind daher im wissenschaftlichen Sinne nicht abgesichert. Die Methoden und Vorgehensweisen sind aber trotzdem eine geeignete Basis für durchzuführende anlagenspezifische Untersuchungen. Dies ergaben die Diskussionen aller am Vorhaben Beteiligten. Einschränkungen betreffen insbesondere die Ermittlungen induzierter Erschütterungen. Bevor hierzu aufwendige anlagenspezifische Analysen erfolgen, sollten zunächst die Einflüsse aus der kurzen Dauer der Anregungen sowie die nichtlinearen Effekte generisch analysiert werden, um darauf aufbauende mit verbesserten Ansätzen anlagenspezifische Untersuchungen durchzuführen.

Aus dem im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Untersuchungen resultieren auch Empfehlungen für weitergehende Untersuchungen, die einmal der Absicherung von getroffenen Annahmen und gewonnenen Ergebnissen dienen, aber auch für die Ermittlung realistischerer Ergebnisse notwendig sind. Letztere betreffen insbesondere die Ermittlung der Last-Zeit-Funktionen aus mechanischen Einwirkungen und Ermittlung von Anregungen von Systemen und Komponenten aus induzierten Erschütterungen und erfolgen zum Teil schon in einem vom BMWi geförderten Vorhaben.

Schadensszenarien und erwartete Ergebnisse für einzelne Anlagen in Deutschland

Hinweise:

Im Rahmen der gutachterlichen Untersuchungen der GRS wurden nur fünf Referenzanlagen (Emsland, Krümmel, Biblis B, Obrigheim und Brunsbüttel) näher betrachtet (dabei handelt es sich um keine anlagenspezifische Analyse). Insoweit gelten die Angaben für die anderen Kraftwerke nur eingeschränkt. Die anderen Anlagen wurden diesen fünf Referenzanlagen nach einem groben Raster zugeordnet (Zuordnungskriterium: Auslegung gegen zufälligen Flugzeugabsturz); die Topographie der einzelnen Anlage blieb bei den zugeordneten Anlagen außer Betracht.

Bei den Untersuchungen kann es darüber hinaus im Einzelfall erhebliche Unsicherheiten geben, z.B. inwieweit induzierte Schwingungen bei den einzelnen Komponenten bzw. Systemen zu Versagen führen sowie im Hinblick auf das thermohydraulische Verhalten der einzelnen Anlagen unter den Lastfällen.

Die Unsicherheiten können nur durch eine anlagenspezifische Analyse ausgeräumt werden.

Randbedingungen für die Lastfälle

v1 = 175 m/s; v2 = 100 m/s

A = großes Flugzeug (z.B. A 340, Boing 747)

B = mittleres Flugzeug (z.B. A 300)

C = kleines Flugzeug (z.B. A 320)

I Druckwasserreaktoren

Referenzanlage Emsland (Auslegung gegen Phantom)

auch Neckarwestheim 2, Isar 2, Brockdorf, Philippsburg 2, Grohnde und Grafenrheinfeld

| Lastfälle | Schadensszenario | Erwartetes Ergebnis |
|------------------------------------|--|--|
| Alle Typen, alle Geschwindigkeiten | Keine Durchdringung des Reaktorgebäudes, keine Primärleckagen | Beherrschbarer Ereignisablauf |
| A v1 | Keine Durchdringung, Primärleckagen durch Erschütterungen | Beherrschbarer Ereignisablauf |
| A v1 | Keine Durchdringung, Primärleckagen, Zerstörung der Warte durch Trümmer, Brand | Beherrschung fraglich, Freisetzung bei Beschädigung des Sicherheitsbehälters, bei frühzeitiger Eingriffsmöglichkeit durch das Anlagenpersonal beherrschbar |
| A v1 | Zerstörung der Armaturenkommer, nicht absperrbares Frischdampfleitungsleck | Beherrschbarer Ereignisablauf |
| Alle Typen, alle Geschwindigkeiten | Zerstörung anderer sicherheitsrelevanter Gebäude | Beherrschbarer Ereignisablauf |

**Zusammenfassung der GRS-Studie durch das Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)**

Referenzanlage Biblis B (Auslegung gegen Starfighter)
auch Unterweser und Neckarwestheim 1

| Lastfälle | Schadensszenario | Erwartetes Ergebnis |
|------------------------------------|---|---|
| A v1,2 | Großflächige Zerstörung des Reaktorgebäudes, frühe Aktivitätsfreisetzung | Beherrschung fraglich |
| B v1,2, C v1,2 | Keine oder lokal begrenzte Durchdringung, keine Primärleckage | Beherrschbarer Ereignisablauf |
| B v1,2 C v1,2 | Keine Durchdringung, Primärleckage durch Erschütterung | Beherrschbarer Ereignisablauf, Freisetzung von Primärkühlmittel bei Beschädigung des Sicherheitsbehälters |
| B v1,2, C v1,2 | Keine oder lokal begrenzte Durchdringung, Primärleckage durch Erschütterung, Zerstörung der Warte durch Trümmer und Brand | Beherrschung fraglich, Freisetzung von Primärkühlmittel bei Beschädigung des Sicherheitsbehälters |
| B v1,2, C v1,2 | Absturz auf die Armaturenkammer mit Versagen des Sekundärabschlusses | Beherrschbarer Ereignisablauf |
| Alle Typen, alle Geschwindigkeiten | Zerstörung anderer sicherheitsrelevanter Gebäude | Beherrschbarer Ereignisablauf bei zeitgerechten Personalmaßnahmen (Not-Nachkühlkette) |
| A v1,2 | Triebwerk durchdringt Reaktorgebäudewand, lokaler Brand im Ringraum | Beherrschbarer Ereignisablauf |

Referenzanlage Obrigheim (keine explizite Auslegung gegen unfallbedingten Flugzeugabsturz)
auch Biblis A und Stade

| Lastfälle | Schadensszenario | Erwartetes Ergebnis |
|----------------------|--|---|
| A v1,2, B v1,2, C v1 | Großflächige Zerstörung des Reaktorgebäudes, frühe Aktivitätsfreisetzung | Beherrschung fraglich |
| C v2 | Keine Durchdringung des Reaktorgebäudes, keine Primärleckagen | Beherrschbarer Ereignisablauf |
| C v2 | Keine Durchdringung des Reaktorgebäudes, Primärleckage durch Erschütterung | Beherrschbarer Ereignisablauf, Freisetzung von Primärkühlmittel bei Beschädigung des Sicherheitsbehälters |

**Zusammenfassung der GRS-Studie durch das Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)**

| | | |
|------------------------------------|--|--|
| C v2 | Keine Durchdringung, Primärleckage durch Erschütterung, Zerstörung der Warte durch Trümmer und Brand | Beherrschbarer Ereignisablauf bei frühzeitiger Besetzung der Notsteuerstelle, Freisetzung von Primärkühlmittel bei Beschädigung des Sicherheitsbehälters |
| Alle Typen, alle Geschwindigkeiten | Zerstörung anderer sicherheitsrelevanter Gebäude | Beherrschbarer Ereignisablauf, Freisetzung aus externem Brennelementlagerbecken ist klärungsbedürftig |
| A v1,2, B v1,2 | Triebwerk durchdringt Reaktorgebäudewand, lokaler Brand im Ringraum | Beherrschbarer Ereignisablauf |

II Siedewasserreaktoren

Referenzanlage Krümmel (Auslegung gegen Phantom)
auch Gundremmingen B und C

| Lastfälle | Schadensszenario | Erwartetes Ergebnis |
|------------------------------------|---|---|
| A v1 | Durchdringung der Außenwand und große Schäden im Reaktorgebäude, große Primärleckage | Beherrschung fraglich, Freisetzung von Primärkühlmittel bei beschädigten Sicherheitsbehälter |
| A v1 | Keine Durchdringung des Reaktorgebäudes, Primärleckage durch Flugzeugteile oder Erschütterungen | Beherrschbarer Ereignisablauf |
| A v1 | Lokal begrenzte Durchdringung des Reaktorgebäudes, Primärleckage | Beherrschbarer Ereignisablauf, Freisetzung von Primärkühlmittel bei Beschädigung des Sicherheitsbehälters |
| A v1 | Keine oder lokal begrenzte Durchdringung des Reaktorgebäudes, Primärleckage, Zerstörung der Warte durch Trümmer und Brand | Beherrschung fraglich, Freisetzung von Primärkühlmittel bei beschädigtem Sicherheitsbehälter |
| A v2, B v1,2, C v1,2 | Keine oder lokal begrenzte Durchdringung des Reaktorgebäudes, keine Primärleckage | Beherrschbarer Ereignisablauf |
| Alle Typen, alle Geschwindigkeiten | Zerstörung anderer sicherheitsrelevanter Gebäude | Beherrschbarer Ereignisablauf |

**Zusammenfassung der GRS-Studie durch das Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)**

Referenzanlage Brunsbüttel (keine explizite Auslegung gegen Flugzeugabsturz)
auch Isar 1 und Philippsburg 1

| Lastfälle | Schadensszenario | Erwartetes Ergebnis |
|------------------------------------|---|--|
| Alle Typen, alle Geschwindigkeiten | Großflächige Zerstörung des Reaktorgebäudes, frühe Aktivitätsfreisetzung | Beherrschung fraglich |
| Alle Typen, alle Geschwindigkeiten | Zerstörung anderer sicherheitsrelevanter Gebäude | Beherrschbarer Ereignisablauf |
| Alle Typen, alle Geschwindigkeiten | Triebwerk durchdringt Reaktorgebäudewand mit übergreifendem Brand innerhalb des Gebäudes | Beherrschung fraglich |
| Alle Typen, alle Geschwindigkeiten | Treffer des Daches des Reaktorgebäudes durch Wrackteile mit Absturz eines Dachträgers in das Brennelementbecken mit Erhalt der Wasserüberdeckung | Begrenzte Freisetzung aus dem Brennelementlagerbecken |
| Alle Typen, alle Geschwindigkeiten | Treffer des Daches des Reaktorgebäudes durch Wrackteile mit Absturz eines Dachträgers in das Brennelementbecken mit Verlust der Wasserüberdeckung, zusätzlich Treibstoffbrand | Erhebliche Freisetzung aus dem Brennelementlagerbecken |