

Analyse des Bedrohungspotenzials "gezielter Flugzeugabsturz" am Beispiel der Anlage Biblis-A

Darmstadt, 20.11.2007

Im Auftrag der

EUROSOLAR Europäische Vereinigung für Erneuerbare Energien e.V.

Dr. Hermann Scheer, MdB

Öko-Institut e.V. Büro Darmstadt

Rheinstraße 95 D-64295 Darmstadt

Telefon +49 (0) 6151 - 8191 - 0 **Fax** +49 (0) 6151 - 8191 - 33

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 50 02 40 D-79028 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173 D-79100 Freiburg

Telefon +49 (0) 7 61 - 4 52 95-0 **Fax** +49 (0) 7 61 - 452 95-88

Büro Berlin

Novalisstraße 10 D-10115 Berlin

Telefon +49 (0) 30 - 28 04 86-80 **Fax** +49 (0) 30 - 28 04 86-88

Analyse des Bedrohungspotenzials "gezielter Flugzeugabsturz" am Beispiel der Anlage Biblis-A

Autoren:

Dr. rer. nat. Christoph Pistner

Dipl.-Phys. Christian Küppers

Inhaltsverzeichnis

1	Einlei	tung	1
2	Siche	rheit und Auslegung von Kernreaktoren	3
2.1		ngssituation	
2.2		llung grundsätzlicher Aspekte hinsichtlich der chnischen Sicherheit	4
2.3	Besteh	ende Auslegungsanforderungen	7
	2.3.1	Berücksichtigung des Ereignisses Flugzeugabsturz im	7
	2.3.2	deutschen kerntechnischen Regelwerk	/
	2.0.2	einem unfallbedingten Flugzeugabsturz	9
3	Unter	suchungen zu den Folgen eines	
•		eugabsturzes	11
3.1	_	uchungen im Rahmen der Deutschen Risikostudie	
		aftwerke	12
3.2	Unters	uchungen zum gezielten Flugzeugabsturz nach dem 11.	
		nber 2001	
		In Deutschland durchgeführte Untersuchungen Ausländische Untersuchungen	
		·	
4		ellung möglicher Auswirkungen	
4.1		erme und Freisetzungsrandbedingungen	
4.2		rophenschutz außerhalb der Anlage	
4.3	Berech	nnungen von Auswirkungen in der Umgebung der Anlage	27
5	Zusar	nmenfassung	37
Litera	turverze	eichnis	39

I

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4.1:	Katastrophenschutzzonen um das KKW Biblis	26
Abbildung 4.2: Höhe übe	Ausbreitungsrichtungen bei einer Freisetzung in 200 m r Grund, jeweils zu Monatsanfang 01.05.2007 bis 01.10.2007	28
Abbildung 4.3: Luftturbule	Zu evakuierendes Gebiet bei neutraler bis leicht stabiler enz und Wind aus Südwest (große Freisetzung)	30
Abbildung 4.4: stabiler Lu	Langfristig umzusiedelndes Gebiet bei neutraler bis leicht iftturbulenz und Wind aus Südwest (große Freisetzung)	31
Abbildung 4.5: Wind aus	Zu evakuierendes Gebiet bei labiler Luftturbulenz und Südost (große Freisetzung)	32
Abbildung 4.6: und Wind	Langfristig umzusiedelndes Gebiet bei labiler Luftturbulenz aus Südost (große Freisetzung)	: 33
Abbildung 4.7: Luftturbule Freisetzur	enz, Regen von 1 mm/h und Wind aus Norden (geringere	
	Langfristig umzusiedelndes Gebiet bei leicht labiler bis Luftturbulenz, Regen von 1 mm/h und Wind aus Norden Freisetzung)	35
Tabellenve	erzeichnis	
	Flugzeugtypen und deren Kenngrößen nach < Dräger 2002> Gleichgewichtsinventar wichtiger Radionuklide eines DWR (th) am Zyklusende in GBq, 6 Stunden nach Beendigung der ktion nach < SSK 2004>	
Tabelle 4.2	Freisetzungsanteile wichtiger Radionuklide bei großflächigem sbehälterversagen nach <ssk 2004=""></ssk>	
	Exemplarischer Quellterm für den Fall einer frühzeitigen ng bei großflächigem Versagen des Reaktorgebäudes der blis-A.	23
Tabelle 4.4	Eingreifrichtwerte für Maßnahmen nach <bund 1999b=""></bund>	_
Tabelle 4.5	Abgeleitete Eingreifrichtwerte nach <bmu 1999=""></bmu>	
Tabelle 4.6	Landkreise im 25 km Umkreis der Anlage Biblis-A und deren Einwohnerzahl.	
900011110 E		· · · · · · · <i>– 1</i>

1 Einleitung

Kernkraftwerke beinhalten aufgrund des in ihnen enthaltenen großen radioaktiven Inventars ein hohes Gefahrenpotenzial für Mensch und Umwelt. Sehr große Mengen Energie bzw. Leistung sind auf kleinem Raum konzentriert. Nach Abschaltung eines Kernkraftwerks wird kein elektrischer Strom mehr generiert, im Reaktorkern werden aber weiter erhebliche Wärmemengen durch zerfallende radioaktive Stoffe erzeugt. Die Kühlung des Brennstoffs muss jederzeit, auch lange nach einer Abschaltung der Anlage, sichergestellt werden. Ohne ausreichende Kühlung droht die Gefahr einer Kernschmelze, die eine massive Freisetzung radioaktiver Stoffe und katastrophale Auswirkungen zur Folge haben kann. Kernkraftwerke sind dadurch in besonderer Weise verwundbar. Sie sind deshalb mit umfangreichen Sicherheitssystemen ausgestattet und darüber hinaus mit einem Schutz gegen äußere Einwirkungen, z.B. Flugzeugabsturz, versehen, um die für die Sicherheit der Anlage erforderlichen Funktionen sicherzustellen. Dabei ist jedoch auch zu beachten, dass die in Deutschland vorhandenen Kernkraftwerke je nach Errichtungsbeginn bzw. Anlagenkonzept in unterschiedlicher Weise gegen Unfälle und insbesondere auch gegen Einwirkungen von Außen ausgelegt wurden.

1

Bei solchen Einwirkungen besteht einerseits die Gefahr, dass die äußere Hülle der Reaktoranlage, die als Barriere die Freisetzung radioaktiver Stoffe verhindert, zerstört wird. Andererseits besteht die Gefahr, dass Sicherheitssysteme - direkt (durch den Aufprall) oder indirekt (durch Folgewirkungen, z.B. Brand oder Trümmerwirkungen) – in einem nicht mehr beherrschbaren Umfang geschädigt werden.

Durch die Anschläge des 11. September 2001 sowie weitere terroristische Ereignisse in der Folgezeit (London, Madrid etc.), hat sich in jüngerer Zeit die Einsicht durchgesetzt, dass sich die spezifische Bedrohungslage – auch in der Bundesrepublik Deutschland – verändert hat. Bislang als eher unwahrscheinlich betrachtete terroristische Szenarien müssen vor diesem Hintergrund neu diskutiert werden. Auch wenn die Vorsorge gegen terroristische Ereignisse zunächst eine Aufgabe des Staates ist und die Betreiber kerntechnischer Anlagen nur eingeschränkt Gegenmaßnahmen ergreifen können, dient die Diskussion der möglichen Folgen solcher Ereignisse einer angemessenen Risikoabwägung. Gerade vor dem Hintergrund der Diskussion um die Strommengenübertragung von neueren auf ältere Anlagen spielen solche Aspekte eine wichtige Rolle in Hinblick auf eine Gesamtbewertung des damit verbundenen Nutzens und Risikos für die Bevölkerung.

Es wurden in der Vergangenheit bereits umfangreiche Untersuchungen zu den Konsequenzen schwerer Unfälle in Kernkraftwerken (KKW) durchgeführt. Hierfür liegen sowohl allgemeine Unfallablaufuntersuchungen als auch spezifische Betrachtungen für bestimmte Anlagen vor. Ein grundlegendes Verständnis der möglichen Unfallabläufe selbst sowie der nach einem schweren Unfall zu erwartenden Radioaktivitätsfreisetzung und –ausbreitung ist damit vorhanden.

Daneben wurden in der Folge des 11. September 2001 auch Szenarien und Folgen von gezielten Flugzeugabstürzen auf deutsche Kernkraftwerke untersucht. Einzelergebnisse der Untersuchungen und anlagenspezifische Details unterliegen der Geheimhaltung. Allgemeingültige Erkenntnisse wurden jedoch auch öffentlich diskutiert. Hieraus ergibt sich ein mögliches Spektrum von plausiblen Szenarien und Unfallfolgen, von dem bei einer weitergehenden Auseinandersetzung mit dieser Thematik auszugehen ist.

Das Kernkraftwerk Biblis, Block A, ist gegenwärtig das älteste in Deutschland betriebene Kernkraftwerk und eignet sich daher in besonderer Weise, sicherheitstechnische Probleme älterer Anlagen zu diskutieren. Aufgrund des Altersunterschiedes und der zwischenzeitlich erfolgten konzeptionellen Weiterentwicklung der Anlagen besitzt die Anlage Biblis-A einen gegenüber moderneren Anlagen deutlich eingeschränkten Schutz gegen Flugzeugabstürze. Im Falle eines Flugzeugabsturzes auf Biblis-A besteht daher die Gefahr besonders schwerwiegender Konsequenzen.

Im Folgenden wird am Beispiel eines möglichen gezielten Flugzeugabsturzes auf das Kernkraftwerk Biblis, Block A, untersucht, welche Szenarien nach derzeitiger Diskussionslage betrachtet werden müssen und welche Konsequenzen in der Umgebung sich ergeben würden. Außerdem erfolgt eine Quantifizierung möglicher Folgen in der Standortregion anhand von Modellrechnungen.

2 Sicherheit und Auslegung von Kernreaktoren

2.1 Ausgangssituation

Unmittelbar nach den Ereignissen des 11. September 2001, bei denen entführte zivile Großflugzeuge als Waffen gegen verschiedene Gebäude (World Trade Center, Pentagon) eingesetzt wurden, wurde weltweit diskutiert, inwieweit auch kerntechnische Anlagen durch solche Angriffen verletzbar wären.

3

Reale Fälle der Bedrohung von Kernkraftwerken durch Kriminelle oder Terroristen finden sich in der Literatur, so gibt es nach <Kelle et al. 2001> Berichte aus Argentinien, Russland, Litauen, Südafrika, Südkorea, den USA und Frankreich. Dabei handelte es sich um eine breite Palette von Ereignissen, die von Sabotageversuchen durch unzufriedene Mitarbeiter über die Androhung von Bombenanschlägen bis hin zu Selbstmorddrohungen von Flugzeugentführern reichen, wie dies z. B. im November 1972 der Fall war, als drei Entführer damit drohten, ein Flugzeug in Oak Ridge, USA, in eine Nuklearforschungsanlage zu stürzen.

Am 17. September 2001 wurde die deutsche Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) damit beauftragt, die Sicherheit von deutschen Kernkraftwerken in Hinblick auf einen gezielten Absturz von Großflugzeugen zu untersuchen <RSK 2001>. In ihrer Stellungnahme vom 11. Oktober 2001 stellte die RSK fest, dass der Schutzgrad der deutschen Kernkraftwerke von ihrem Errichtungszeitpunkt und den dabei jeweils gültigen Auslegungsanforderungen abhänge (vgl. auch Kapitel 2.3). Insbesondere bei den neuesten Anlagen sei durch die bauliche Auslegung ein grundlegender Schutz gegen den Absturz von Großflugzeugen gegeben. Dennoch konnte die RSK zum damaligen Zeitpunkt nicht abschließend bewerten, ob auch die maximal denkbaren Belastungen beim Absturz von Großflugzeugen durch die Anlagen beherrschbar seien. Insbesondere auch hinsichtlich der durch die hohe Treibstofflast solcher Flugzeuge möglicherweise ausgelösten Brände und deren Folgewirkungen bestünden offene Fragen hinsichtlich der Beherrschbarkeit eines derartigen Ereignisses.

Auch andere großtechnische Einrichtungen (wie z.B. Chemieanlagen, Staudämme o.ä.) können grundsätzlich durch terroristische Anschläge, insbesondere auch gezielte Flugzeugabstürze, gefährdet sein. Auch hier drohen ggf. erhebliche Schäden für Mensch und Umwelt. Aufgrund der großen Anzahl solcher Anlagen wird verschiedentlich argumentiert, dass ein Schutz der Anlagen selbst in modernen Industriestaaten praktisch nicht erreichbar sei (vgl. beispielsweise die VDI-Stellungnahme zur sicherheitstechnischen Auslegung von kerntechnischen Anlagen vom 21. November 2001 <VDI 2001>). Daher könne lediglich versucht werden, die Wahrscheinlichkeit für derartige Anschläge durch Maßnahmen zur Verhinderung von Flugzeugentführungen zu reduzieren. Verbleibende Risiken würden damit praktisch zum Bereich des von der Gesellschaft zu tragenden Restrisikos zählen. Die Betrachtung

4

der Eintritts- und Erfolgswahrscheinlichkeit eines terroristischen Anschlags auf eine kerntechnische Anlage (oder auch eine andere Industrieanlage mit hohem Schadenspotenzial) deckt nur einen Teil des Risikobegriffs ab. Denn es ist auch das mögliche Schadensausmaß solcher Ereignisse zu berücksichtigen. Das hohe Gefahrenpotenzial von Kernkraftwerken erfordert eine sorgfältige Analyse möglicher Folgen von Flugzeugabstürzen. Nur auf dieser Basis sind dann gesellschaftlich tragfähige Risikoabwägungen durchführbar. Weiterhin ist auch von einer besonders hohen symbolischen Bedeutung eines Anschlags auf ein Kernkraftwerk auszugehen, was die "Attraktivität" solcher Anlagen für terroristische Angriffe sicherlich erhöht. Auch aus diesem Grund unterscheiden sich Kernkraftwerke von anderen Industrieanlagen und erfordern eine besondere Behandlung.

Vor den terroristischen Anschlägen des 11.09.2001 wurden in Hinblick auf die Sicherheit von Kernkraftwerken weltweit im Wesentlichen so genannte unfallbedingte Flugzeugabstürze diskutiert. Für unfallbedingte Abstürze gilt, dass sie zufälliger Natur sind. Ihre Wahrscheinlichkeit kann durch institutionelle Maßnahmen beeinflusst werden. Zu solchen Maßnahmen zählt, dass bereits bei der Auswahl des Standorts einer Anlage Gebiete mit erhöhter Flugdichte vermieden werden oder auch das direkte Überfliegen der Anlage verboten werden könnte. Insgesamt kann dann bestimmt werden, welche Eintrittswahrscheinlichkeit derartige Ereignisse aufweisen.

Davon zu unterscheiden ist ein so genannter gezielter Flugzeugabsturz oder terroristischer Flugzeugabsturz. Zwar kann auch hinsichtlich solcher Ereignisse versucht werden, deren Eintrittswahrscheinlichkeit durch Maßnahmen im Bereich der Flugsicherheit zu reduzieren. Dies wurde auch von der RSK als wirksamste Maßnahme zur Verringerung des Risikos eines gezielten Flugzeugabsturzes angesehen. Letztlich ist es jedoch nicht möglich, die Wahrscheinlichkeit und die räumliche oder zeitliche Verteilung solcher Ereignisse zuverlässig zu bestimmen. Insbesondere ist die Bedrohung durch einen gezielten Flugzeugabsturz stark von der jeweils aktuellen weltpolitischen Sicherheitslage abhängig und kann sich daher jederzeit verändern. Eine rein auf Wahrscheinlichkeiten basierende Bewertung ist daher in diesem Fall nicht angemessen.

2.2 Darstellung grundsätzlicher Aspekte hinsichtlich der kerntechnischen Sicherheit

Die Regierungen und Behörden der OECD-Länder haben sich darauf geeinigt, detaillierte Daten, Methoden und Resultate der Untersuchungen zu den Auswirkungen eines gezielten Flugzeugabsturzes auf kerntechnische Anlagen im Interesse der internationalen Maßnahmen zur Terrorismusprävention nicht zu veröffentlichen (siehe z.B. <HSK 2003>). Dies ist sicher auch sinnvoll, um möglichst keine Hinweise für die Planung von Terrorangriffen zu geben.

Im Rahmen der im Folgenden vorgenommenen Untersuchung werden grundlegende Sicherheitsaspekte in allgemeiner Form diskutiert. Über bereits öffentlich verfügbare Angaben hinaus werden dabei keine anlagenspezifischen Kenntnisse oder Daten verwendet. Ziel der hier durchgeführten Untersuchungen ist es nicht, detaillierte Ereignisabläufe zu beschreiben und zu untersuchen. Vielmehr soll auf Basis der öffentlich verfügbaren Informationen eine Abschätzung der möglichen Folgen eines derartigen Ereignisses vorgenommen werden, um sachlich fundierte Grundlagen für eine gesellschaftliche Risikoabwägung zu liefern.

Kernkraftwerke verfügen in der Regel über einen begrenzten Schutz gegen bestimmte unfallbedingte Flugzeugabsturzszenarien, sie sind aber nicht explizit gegen die mögliche Bandbreite absichtlicher Flugzeugabstürze ausgelegt. Dennoch kann auf der Basis der grundlegenden Sicherheitskonzepte der Anlagen ein unterschiedlich großes Potenzial zur Beherrschung eines solchen Ereignisses vorhanden sein (für die deutschen Auslegungsanforderungen hinsichtlich unfallbedingter Flugzeugabstürze vgl. Kapitel 2.3). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Kernkraftwerke für ein definiertes Spektrum von Ereignissen ausgelegt sind und die hierfür vorgesehenen Sicherheitsvorkehrungen auch beim gezielten Absturz eines Flugzeuges möglicherweise soweit wirksam sind, dass das Ereignis beherrscht oder zumindest die zu erwartenden Folgen reduziert werden können. Grundlegende Auslegungsprinzipien, wie der bauliche Schutz der Anlagen, die redundante (und ggf. diversitäre) Auslegung von Systemen sowie die räumliche Trennung von Anlagen- bzw. Systemteilen, stellen ein gewisses aber individuell unterschiedliches Schutzniveau sicher.

Grundsätzlich soll eine Freisetzung von Radioaktivität aus einem Reaktor durch eine Anzahl von unterschiedlichen Barrieren verhindert werden. Bei den in Deutschland eingesetzten Druckwasserreaktoren, zu denen auch die Anlage Biblis-A zählt, liegt der größte Teil der im Reaktor vorhanden Radioaktivität in der Form von bestrahltem Brennstoff vor. Dieser ist in Brennstäbe eingebunden, welche aus einem gasdichten Metallrohr bestehen. Während des Reaktorbetriebs bilden die in Benutzung befindlichen Brennstäbe zu Brennelementen zusammengefasst den Reaktorkern. Dieser befindet sich im Reaktordruckbehälter, einem Stahlbehälter, durch den heißes und unter hohem Druck stehendes Kühlmittel zur Abfuhr der erzeugten Wärmeleistung gepumpt wird. Der Reaktordruckbehälter ist von einer Betonstruktur umgeben, die zur Abschirmung der radioaktiven Strahlung dient. Der Reaktordruckbehälter und die umgebenden Strukturen und Komponenten sind weiterhin von einer Stahlhülle, dem so genannten Sicherheitsbehälter, eingeschlossen. Dieser soll bei Störfällen einen Verlust von Kühlmittel und eine unmittelbare Freisetzung radioaktiver Stoffe an die Umgebung verhindern. Dazu ist dieser Behälter dafür ausgelegt, einen im Inneren des Sicherheitsbehälters entstehenden Druck von einigen Bar auszuhalten, wie er bspw. beim Bruch einer Kühlmittelleitung entstehen kann. Der Sicherheitsbehälter ist wiederum von außen durch das Reaktorgebäude geschützt. Das Reaktorgebäude enthält außerhalb des Sicherheitsbehälters noch weitere Einrichtungen, die zum sicheren Betrieb des Reaktors benötigt werden. Weiterhin befindet sich im Reaktorgebäude ein Lagerbecken für abgebrannte Brennelemente. In diesem werden Brennelemente nach ihrem Einsatz zur Energieerzeugung in einem Wasserbecken zwischengelagert. Auch dieses muss dauerhaft gekühlt werden, um die Abfuhr der dort anfallenden Nachzerfallsleistung zu gewährleisten. Neben dem eigentlichen Reaktorgebäude gibt es weitere Gebäude, die z. T. sicherheitswichtige Einrichtungen enthalten. Dazu können zählen: das Schaltanlagengebäude, in dem sich die Warte befindet, von der aus der Reaktor gesteuert wird, das Notstromgebäude, das die Energieversorgung des Reaktors bei Störfällen sicherstellen soll, das Notspeisegebäude, das Einrichtungen zur Wärmeabfuhr enthält sowie weitere Hilfsund Nebengebäude.

Kommt es zu einem unvorhergesehenen Ereignis, ist es zunächst von Bedeutung, dass der Reaktor sicher abgeschaltet und in einem unterkritischen Zustand gehalten wird.

Es ist weiterhin erforderlich, die im Reaktorkern entstehende Wärme auch langfristig zuverlässig abzuführen. Auch nach der Abschaltung des Reaktors wird durch den radioaktiven Zerfall der entstandenen Spaltprodukte die so genannte Nachzerfallsleistung erzeugt, welche anfänglich etwa sieben Prozent der ursprünglichen thermischen Leistung des Reaktors beträgt und die erst im Laufe der folgenden Stunden und Tage weiter abklingt. Dies bedeutet für die Anlage Biblis-A mit einer thermischen Reaktorleistung von etwa 3500 MW_{th}, dass unmittelbar nach Abschaltung noch eine Leistung von ca. 245 MW_{th}, auch ca. 3 Stunden nach der Abschaltung noch ca. 35 MW_{th} abgeführt werden müssen. Daher muss auch nach Abschaltung über längere Zeit eine Kühlung des Reaktorkerns sichergestellt werden. Kann die Kühlung des Brennstoffs über längere Zeit nicht gewährleistet werden, kann sich dieser soweit aufheizen, dass es zu einer Kernschmelze kommt. Die Sicherstellung der Kernkühlung kann bei einem Flugzeugabsturz bspw. dadurch gefährdet werden, dass ausgelöst durch die induzierten Erschütterungen Lecks in den Kühlmittelleitungen des Primärkühlkreislaufs entstehen.

Für die Beherrschung eines Kühlmittelverluststörfalls existieren so genannte Notund Nachkühlsysteme, die Kühlmittelreserven in den Primärkreislauf einspeisen, die das aus den Lecks austretende Kühlmittel wieder in den Primärkreislauf zurückführen und die die im Reaktorkern entstehende Wärme abführen. Aufgrund der hohen sicherheitstechnischen Bedeutung wird diese Funktion von mehreren gleichartigen, aber getrennt aufgebauten, Systemteilen (Redundanzen) gewährleistet. Durch diesen redundanten Aufbau soll in deutschen Anlagen sichergestellt werden, dass auch beim Ausfall eines einzelnen Systemteils durch einen zufälligen Einzelfehler die Kühlung des Reaktorkerns sichergestellt ist, auch wenn sich eine weitere Redundanz gleichzeitig in Reparatur befinden sollte.

Bestimmte Einwirkungen können nicht nur lokal sondern auch großflächig wirksam werden. Damit in solchen Fällen (z.B. Bränden oder Überschwemmungen) nicht mehrere solcher Redundanzen zugleich beeinträchtigt werden und damit die Sicherstellung der Kernkühlung gefährdet wird, sind die zu jeweils einer Redundanz

gehörenden Systemteile (wie Pumpen, Armaturen, aber auch die Stromversorgung etc.) möglichst räumlich getrennt aufgebaut. Schließlich soll durch eine geeignete bauliche Unterteilung der Anlage eine Ausbreitung von Bränden oder eine gleichzeitige Überschwemmung mehrerer Redundanzen verhindert werden.

Im Rahmen der baulichen Auslegung (Wände, Verankerung) muss sichergestellt werden, dass alle bei den zu berücksichtigenden Ereignissen mögliche Lasten abgetragen werden können. Dabei sollen bspw. bei Erdbeben unterschiedlicher Stärke solche Gebäude, in denen sicherheitstechnisch wichtige Anlagenteile enthalten sind, nicht zerstört werden (Standsicherheit). Weiterhin muss die Aufstellung und Befestigung von Anlagenteilen innerhalb der Gebäude gewährleisten, dass auch durch auftretende Erschütterungen die Funktionsfähigkeit der zur Ereignisbeherrschung erforderlichen Systeme nicht gefährdet wird (bspw. Verhinderung des Bruchs von Leitungen oder der Unterbrechung von Kabelverbindungen). Schließlich sollen auch die Integrität der Gebäude und deren Barrierenfunktion erhalten bleiben, damit die Rückhaltung radioaktiver Stoffe gewährleistet werden kann.

Im Falle eines Flugzeugabsturzes ist es dabei von besonderer Bedeutung, ob das Reaktorgebäude und der darin enthaltene Sicherheitsbehälter dem Aufprall eines Flugzeugs standhalten und somit keine direkten Einwirkungen auf den im Inneren befindlichen Reaktorkern und die Sicherheitssysteme zu erwarten sind. Darüber hinaus käme es bei Zerstörungen am Reaktorgebäude und dem Sicherheitsbehälter zu einem Verlust von zwei Barrieren, die eine direkte Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung verhindern sollen. Schließlich wäre in diesem Fall ein Eindringen größerer Mengen von Treibstoff in das Innere des Reaktorgebäudes mit daraus resultierenden Bränden und entsprechenden Folgeschäden zu befürchten.

2.3 Bestehende Auslegungsanforderungen

2.3.1 Berücksichtigung des Ereignisses Flugzeugabsturz im deutschen kerntechnischen Regelwerk

Bei der Auslegung der ältesten heute noch in Deutschland betriebenen Kernkraftwerke wurde noch kein besonderer Schutz gegen Flugzeugabsturz gefordert. Hierfür waren vor allem Wahrscheinlichkeitsüberlegungen ausschlaggebend. So findet sich beispielsweise in der ersten Teilgenehmigung des Kraftwerks Biblis-A noch die Aussage: "Da sich der Standort des Kernkraftwerkes Biblis nicht innerhalb einer Flugstraße befindet, ist die Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes nur äußerst gering. Selbst bei einem Flugzeugabsturz wird der Reaktor nicht so beschädigt, dass ein unbeherrschbarer Unfall denkbar ist." Für den zivilen Luftverkehr gilt, dass ein großer Teil der Unfälle in der Start- und Landephase stattfindet, so dass sich bei einem ausreichenden Abstand von einem Flughafen geringe Wahrscheinlichkeiten für einen Absturz auf ein Kernkraftwerk ergeben. Erst später wurde, nicht zu letzt bedingt durch eine größere Anzahl von Abstürzen tief fliegender Militärmaschinen vom Typ Starfighter, ein unfallbedingter Absturz auf ein Kraftwerk im Rahmen der

Auslegung berücksichtigt. Dazu wurden bestimmte Lastannahmen wie Masse und Geschwindigkeit sowie Aufprallfläche eines abstürzenden Flugzeugs festgelegt, wobei zunächst der Starfighter zur Ableitung der relevanten Kenngrößen herangezogen wurde. Im Jahr 1974 wurden dann in den RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren Anforderungen hinsichtlich einer Auslegung gegen einen unfallbedingten Flugzeugabsturz auf der Basis einer neueren Militärmaschine, einer Phantom vom Typ RF-4 E, formuliert <RSK 1981>.

8

Schließlich wurden grundlegende Anforderungen an die Sicherheit von Kernkraftwerken durch das Bundesministerium des Inneren in den "Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke" formuliert. Darin wird die Sicherheit von Kernkraftwerken auch bei Einwirkungen von außen gefordert. Hinsichtlich des Teilaspekts "Flugzeugabsturz" der Einwirkungen von außen sind die daraus abgeleiteten Anforderungen im Jahr 1976 festgelegt worden und finden sich in der aktuellsten Fassung in <BfS 2004>.

Bei allen Störfällen, aber auch beim Flugzeugabsturz, muss gewährleistet sein, dass der Reaktor sicher abgeschaltet und im abgeschalteten Zustand gehalten werden kann. Weiterhin muss die auch nach der Abschaltung weiterhin anfallende Nachzerfallswärme sicher abgeführt werden. Insgesamt soll eine Freisetzung radioaktiver Stoffe verhindert werden.

Im Rahmen der Auslegung soll bei den Analysen zur Sicherheit des Kernkraftwerks für das Flugzeug eine Masse von 20 t und als Absturzgeschwindigkeit ein Wert von 215 m/s (entsprechend 774 km/h) zugrunde gelegt werden. Der Aufprall des Flugzeugs wird als senkrecht zur Aufprallfläche angenommen, sofern dies nicht aufgrund von geometrischen Bedingungen (z.B. Behinderung durch andere Gebäude) unmöglich ist, ansonsten ist der ungünstigste mögliche Aufprallwinkel anzunehmen. Da die entstehende Belastung für das Kernkraftwerk auch stark von der jeweiligen Aufprallfläche abhängt, ist auch hierfür ein anzunehmender Wert, in diesem Fall eine kreisförmige Fläche von 7 m², vorgegeben.

Aus diesen Annahmen wird ein so genanntes Belastungsdiagramm abgeleitet, das die beim Flugzeugabsturz zeitabhängig auf ein Kernkraftwerk einwirkenden Kräfte definiert. Mit den oben genannten Annahmen ergibt sich dabei ein zeitlicher Verlauf über 70 ms, bei dem im Maximum eine Kraft von 110 MN auf die getroffene Wand einwirkt.

Hinsichtlich der Auswirkungen auf die Anlage ist im Rahmen der Auslegung dann zunächst zu analysieren, ob die unmittelbaren Einwirkungen auf die Anlage abgetragen werden können, d.h. ob das getroffene Gebäude dem Aufprall widerstehen kann, oder ob das Flugzeug die getroffene Wand durchschlägt. Darüber hinaus sind auch die Folgewirkungen zu betrachten. Diese bestehen einerseits in den induzierten Erschütterungen, die innerhalb des getroffenen Gebäudes zu Schäden an sicherheitstechnisch relevanten Teilen führen könnten. Andererseits können Trümmer oder Teile des Flugzeugwracks über größere Entfernungen hinweg geschleudert

gesonderten Berücksichtigung.

werden und zu Folgeschäden führen. Schließlich können aufgrund des im Flugzeug enthaltenen Treibstoffs Brände entstehen. Diese Folgewirkungen sind nicht durch das oben beschriebene Belastungsdiagramm abgedeckt und bedürfen daher einer

9

Ein Schutz der Anlage gegen die Auswirkungen des Flugzeugabsturzes kann gegeben sein, wenn die auftretenden Kräfte nicht zu Schäden an den sicherheitstechnischen Systemen der Anlage führen. Dabei kann hinsichtlich der unmittelbaren Einwirkungen auf die Anlagengebäude unterschieden werden, ob durch eine ausreichende Dicke von Gebäudewänden ein so genannter Penetrationsschutz besteht, bei dem sichergestellt ist, das ein auftreffendes Flugzeug die Wand nicht durchschlägt, oder ob darüber hinaus sogar ein Vollschutz erreicht ist, bei dem es auch nicht zu Abplatzungen an der Innenseite der betroffenen Wand kommt, wodurch Folgeschäden durch Bruchstücke im Inneren verhindert würden.

Je nach dem beim Bau der Anlage verwendeten Betontyp ergibt sich für die Auslegungsrandbedingungen des Absturzes einer Phantom nach <BfS 2004> eine erforderliche Penetrationsdicke (Dicke, bei der eine Wand nicht mehr durchschlagen wird) im Bereich von 85-117 mm, eine Vollschutzdicke (bei der es nicht mehr zur Abplatzungen auf der Wandinnenseite kommt, so dass direkte Folgeschäden ausgeschlossen werden) im Bereich von 107-147 mm.

Daneben kann durch die mehrfache Ausführung von Sicherheitssystemen (Redundanz) gewährleistet sein, dass auch bei einem Ausfall einzelner Systemteile die erforderliche Funktion (z.B. die Abfuhr der Nachzerfallswärme) noch sicher gewährleistet ist. So könnte durch eine räumliche Trennung (z.B. die Aufstellung von wichtigen Kühlmittelpumpen an weit voneinander getrennten Positionen im Reaktorgebäude) sichergestellt werden, dass auch bei lokalen Schäden an der Anlage nicht alle vorhandenen Komponenten gleichzeitig betroffen werden.

Weitere Auslegungsanforderungen an die Anlagen, die auch zu einem relevanten Schutz gegen Flugzeugabsturz beitragen können, ergeben sich ggf. aus der erforderlichen Beherrschung von (standortspezifischen) Erdbeben. Auch sind weitere Einwirkungen von Außen zu berücksichtigen, wie bspw. Explosionsdruckwellen.

2.3.2 Tatsächliche Auslegung der deutschen Anlagen gegenüber einem unfallbedingten Flugzeugabsturz

Die noch in Betrieb befindlichen deutschen Anlagen lassen sich anhand ihrer grundsätzlichen Auslegung gegen einen unfallbedingten Flugzeugabsturz in fünf Kategorien unterteilen <BMU 2002>. Die jüngsten Anlagen sind gegen den Absturz eines Militärflugzeugs vom Typ Phantom (mit den im letzten Abschnitt dargestellten Auslegungsanforderungen) ausgelegt:

 die DWR-Anlagen Emsland, Neckarwestheim 2, Isar 2, Brockdorf, Philippsburg 2, Grohnde und Grafenrheinfeld sowie die SWR-Anlagen Krümmel, Gundremmingen B und C.

Gegen einen Absturz eines Starfighters (mit reduzierten Auslegungsanforderungen gegenüber dem Absturz einer Phantom, 13 t Startgewicht und 102 m/s Aufprallgeschwindigkeit <GRS 1990>) sind ausgelegt:

• die DWR-Anlagen Biblis-B, Unterweser und Neckarwestheim 1.

Über keine explizite Auslegung gegen Flugzeugabsturz verfügen:

- · die DWR-Anlage Biblis-A sowie
- die SWR-Anlagen Brunsbüttel, Isar 1 und Philippsburg 1.

Dabei ist diese Einteilung der Kraftwerke aufgrund ihrer Auslegung nur eine grobe Unterteilung, bei einer detaillierteren Betrachtung würden sich noch weitere Unterschiede in Hinblick auf die konkreten Auslegungsrandbedingungen bei den einzelnen Anlagen ergeben.

3 Untersuchungen zu den Folgen eines Flugzeugabsturzes

Im Unterschied zur Auslegung gegen den Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeugs stellt der Absturz eines zivilen Großflugzeugs ggf. andere Anforderungen an die betroffene Anlage. So unterscheiden sich zivile Großflugzeuge sowohl in ihrem Gesamtgewicht als auch hinsichtlich des im Flugzeug mitgeführten Treibstoffvorrats erheblich von schnellfliegenden Militärflugzeugen (vgl. Tabelle 3.1). Die maximalen Geschwindigkeiten großer Zivilflugzeuge können um bis zu 166 km/h (entsprechend etwa 20%) größer sein als die bei der Auslegung neuer Anlagen zugrunde gelegte Aufprallgeschwindigkeit einer Phantom, die Treibstoffvorräte können sich auf ein Vielfaches derjenigen einer Militärmaschine belaufen. Gleichzeitig sind jedoch auch die Abmessungen eines zivilen Großflugzeugs erheblich größer, wodurch die resultierenden Kräfte beim Aufprall auf eine Wand beeinflusst werden. So ist sowohl die Aufprallfläche erheblich größer als auch der Zeitraum des Zusammenstoßes. Aufgrund ihrer Bauweise sind zivile Großflugzeuge im Gegensatz zu Militärflugzeugen auch eher als "weiche" Objekte (hinsichtlich der Aufprallwirkungen) einzustufen, was ebenfalls die entstehenden Kräfte beeinflusst.

Tabelle 3.1	Fluazeuatypen un	d deren Kennarößen	nach < Dräger 2002>.

Тур	Max. Gesch. [km/h] (m/s)	Start- gewicht [t]	Trieb- werks- gewicht [t]	Treib- stoff ¹ [t]	Länge [m]	Spann- weite [m]
Airbus A340-600	914 (254)	275	4x4,7	97 (195)	63,65	60,3
Airbus A380-800F	> 910 (253)	583	4x6,0	(270)	70,8	79
Antonov AN-225	850 (236)	600	6x4,1		84	88,4
Boeing B747/400	940 (261)	396	4x4,1- 4,4	139 (216)	70,66	64,4
Boeing B767/300	910 (253)	159	2x3,9- 4,4	35 (91)	54,94	47,57
Boeing B777	923 (256)	247	2x5,9- 8,3	77 (170)	63,73	60,93
Phantom RF-4E	774 ² (215)	27	2x1,75	Ca. 5	17,76	11,78

Die Angaben zum Treibstoff basieren auf Abschätzungen von Dräger, in Klammern sind Werte nach www.flughafenforum.de/data/data_menue.htm, Stand November 2007, angegeben.

Neben den auf die Fläche des Flugzeugs verteilten Kräften, die beim Aufprall auf das Reaktorgebäude abzutragen sind, sind die Triebwerke als besonders kompakte und massive Teilelemente des Flugzeugs sowie nach <VDI 2001> besonders die Triebwerkswellen aus geschmiedetem Stahl hinsichtlich der Durchdringung des

² Im Rahmen der Auslegung angenommene Aufprallgeschwindigkeit

Reaktorgebäudes von Bedeutung. Die schwerste innere Welle der heute verwendeten Triebwerke wiegt ca. 500 kg.

Im Folgenden werden verschiedene nationale wie internationale Untersuchungen hinsichtlich der Auswirkungen von Flugzeugabstürzen auf Kernkraftwerke zusammengefasst und daraus eine Aussage hinsichtlich der relevanten Szenarien, die zu einer Freisetzungen von Radioaktivität in die Umgebung der Anlage führen können, abgeleitet.

3.1 Untersuchungen im Rahmen der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke

Die Abschätzungen zum Risikobeitrag eines unfallbedingten Flugzeugabsturzes in der Bundesrepublik Deutschland erfolgten in der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke (DRS) Phase A am Beispiel der Anlage Biblis-B. Dabei wurde auf Grundlage eines Mittelwerts für das Gebiet der Bundesrepublik eine Absturzwahrscheinlichkeit einer schnellen Militärmaschine auf ein Kraftwerksgelände in der Größenordnung von 10-6 pro Jahr zugrunde gelegt. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen wurden bereits unfallbedingte Abstürze einer Phantom mit betrachtet. Es wurde festgestellt, dass verschiedene Ereignisabläufe zu einer frühzeitigen Freisetzung großer Mengen von Radioaktivität in die Umgebung führen könnten. Bei der vorhandenen Auslegung der betrachteten Anlage Biblis-B gegen den Absturz einer Starfighter-Maschine ergibt sich jedoch aufgrund der sehr geringen Absturz-Wahrscheinlichkeit dennoch kein relevanter Risikobeitrag im Vergleich zu möglichen anlageninternen Störfällen. Es wurde jedoch abgeschätzt, dass sich bei einer geringeren Auslegung ohne einen Schutz des Reaktorgebäudes gegen Zerstörungen durch das auftreffende Flugzeug ein merkbarer Beitrag zum Gesamtrisiko ergeben kann <GRS 1980>.

In der DRS Phase B <GRS 1990> wurden vergleichbare Wahrscheinlichkeiten für den Absturz kleinerer ziviler Flugzeuge zugrunde gelegt, für den Absturz ziviler Großflugzeuge auf den Standort Biblis wurde eine Absturzhäufigkeit von 10-8 pro Jahr abgeschätzt. Hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit eines Absturzes einer Militärmaschine wurden aktualisierte, ortsspezifische Daten verwendet, um im Rahmen eines speziellen probabilistischen Modells die Trefferhäufigkeiten und die Schadenswahrscheinlichkeiten für die Anlage Biblis-B zu bestimmen. Dabei wurden auch unterschiedliche Randbedingungen hinsichtlich Flugzeugmassen oder Absturzgeschwindigkeiten zugrunde gelegt. Im Ergebnis wurde eine Häufigkeit für einen Flugzeugabsturz, bei dem die Reaktorwand durchdrungen werden könnte, von ca. 10⁻⁷ pro Jahr ermittelt. Hinsichtlich von mechanischen Einwirkungen nach einer Durchdringung der Reaktorgebäudewand wurde festgestellt, dass diese im Wesentlichen lokaler Natur seien. Aufgrund der räumlichen Trennung der sicherheitstechnischen Einrichtungen im Inneren des Reaktorgebäudes wurde daher festgestellt, dass die Beherrschung des Ereignisses wesentlich durch im Reaktorgebäude ausgelöste Brände bestimmt werden würde, da durch diese ein Versagen mehrerer Redundanzen und damit ein nicht mehr beherrschbarer Ereignisablauf möglich würde. Aufgrund der schlechten Quantifizierbarkeit insbesondere des Erfolgs der Brandbekämpfungsmaßnahmen wurde dabei im Rahmen dieser Studie konservativ in jedem Fall mit einem nicht mehr beherrschbaren Anlagenzustand gerechnet, sofern das Reaktorgebäude durchschlagen wird.

13

Die Zerstörung anderer Gebäude, insbesondere auch des Schaltanlagengebäudes mit der dort befindlichen Warte, würde zunächst durch automatische Maßnahmen des Notstandssystems der Anlage beherrscht. Im weiteren Ereignisverlauf wären jedoch Handmaßnahmen zur Stützung des Blocks B durch den Block A erforderlich. Auch hier wären nicht beherrschbare Ereignisabläufe denkbar, für die jedoch im Rahmen der DRS Phase-B deutlich geringere Wahrscheinlichkeiten abgeschätzt wurden, als für einen direkten Treffer auf das Reaktorgebäude.

3.2 Untersuchungen zum gezielten Flugzeugabsturz nach dem 11. September 2001

3.2.1 In Deutschland durchgeführte Untersuchungen

In Deutschland wurden unmittelbar nach den Ereignissen des 11.09.2001 einige Einschätzungen zum Risiko eines gezielten Flugzeugabsturzes auf deutsche Anlagen veröffentlicht (vgl. <VDI 2001>, <Hirsch 2001>, <Dräger 2002>).

Die folgenden Betrachtungen basieren wesentlich auf einer im Internet veröffentlichten Darstellung aus dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit <BMU 2002>, in der Ergebnisse von Untersuchungen der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH zusammengefasst werden. Die zugrunde liegenden Studien der GRS sind öffentlich nicht zugänglich.

Im Rahmen der GRS-Untersuchungen wurden fünf Referenzanlagen betrachtet, die auf der Basis ihrer Auslegung gegen einen unfallbedingten Flugzeugabsturz und hinsichtlich ihrer Zuordnung zu den beiden in Deutschland eingesetzten Reaktortypen (Druckwasserreaktoren DWR bzw. Siedewasserreaktoren SWR) ausgewählt wurden. Es handelte sich dabei um die DWR-Anlagen Emsland (Phantom-Auslegung), Biblis-B (Starfighter-Auslegung) und Obrigheim (mittlerweile stillgelegt, keine explizite Auslegung gegen unfallbedingten Flugzeugabsturz), sowie die SWR-Anlagen Krümmel (Phantom-Auslegung) und Brunsbüttel (keine explizite Auslegung gegen unfallbedingten Flugzeugabsturz).

Dabei wurden jeweils verschiedene Lastannahmen unterstellt, die für die insgesamt denkbaren Ereignisabläufe abdeckend sein sollen. Es wurde bei der Herleitung der anschließend verwendeten Lastannahmen unterschieden hinsichtlich der Größe des Flugzeugs sowie der Auftreffgeschwindigkeit. Als Flugzeugklassen wurden verwendet:

- großes Flugzeug (z.B. Airbus A 340, Boing B-747),
- mittleres Flugzeug (z.B. Airbus A 300),

kleines Flugzeug (z.B. Airbus A 320).

Der Aufprall des Flugzeuges auf die getroffene Wand wurde als zentraler Aufprall auf ein starres Hindernis senkrecht zur getroffenen Wandfläche modelliert. Auf der Basis dieser Randbedingungen wurden für die Referenzflugzeuge bei verschiedenen Geschwindigkeiten Last-Zeit-Funktionen abgeleitet, wobei hinsichtlich eines Lastanteils zwischen Flugzeugkörper und Triebwerken unterschieden wurde. Dabei wurde ein in den USA entwickeltes Modell von Riera zugrunde gelegt, welches Ende der 1960er Jahre entwickelt wurde. Dieses Modell war im Jahr 1988 durch einen Großversuch überprüft worden, bei dem ein Phantom-Flugzeug mit einer Masse von 19 t mittels eines raketengetriebenen Schlittens mit einer Geschwindigkeit von 774 km/h senkrecht auf eine Stahlbetonmauer einer Dicke von 3,66 m geschossen wurde. Nach <HSK 2003> kam es dabei aufgrund der quasi verschieblichen Lagerung der Betonmauer nur zu geringen Beschädigungen mit einer Eindringtiefe der Triebwerke von 60 mm und des Flugzeugrumpfes von 20 mm. Nach <VDI 2001> kam es bei diesem Versuch zu Abplatzungen mit einer Eindringtiefe von etwa 18 cm. Insgesamt wurde mit diesem Versuch bestätigt, dass das Rechenmodell nach Riera den Last-Zeit-Verlauf beim Aufschlag einer Militärmaschine gut annähert. Hinsichtlich einer Übertragbarkeit auf den Aufschlag von zivilen Großflugzeugen wurde bei den GRS-Untersuchungen angenommen, dass die Annahmen des Riera-Modells auch bezüglich solcher Flugzeugtypen konservativ sind. Zu dieser Frage wurden mittlerweile weitere experimentelle Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse jedoch nicht veröffentlicht sind.

Für die Geschwindigkeiten beim Aufprall des Flugzeugs wurde einmal ein Wert von 175 m/s entsprechend 630 km/h und einmal ein Wert von 100 m/s entsprechend 360 km/h angesetzt. Dies entspricht etwa 70% der maximalen Geschwindigkeiten ziviler Großflugzeuge, vgl. auch Tabelle 3.1. Diese Größe spielt eine wichtige Rolle in der Bestimmung der auftretenden mechanischen Belastungen und ist daher von besonderer Wichtigkeit.

Auch nach <VDI 2001> beläuft sich die Geschwindigkeit von zivilen Großflugzeugen in Bodennähe typischerweise nur auf ca. 50% ihrer maximalen Geschwindigkeiten, so trafen die beim Anschlag auf das World Trade Center verwendeten Flugzeuge (Typ Boeing B-747, entsprechend der großen Flugzeugklasse) bspw. mit einer Geschwindigkeit von ca. 350 km/h auf die Gebäude auf. Insgesamt können jedoch auch hohe Geschwindigkeiten nicht ausgeschlossen werden, so traf das gegen das Pentagon eingesetzte Flugzeug (Typ Boeing B-757, entsprechend der mittleren Flugzeugklasse) etwa mit einer Geschwindigkeit von 856 km/h auf <ASCE 2002>.

Im Rahmen der GRS-Untersuchungen wurden Versuche zur Zielerreichbarkeit bei verschiedenen Geschwindigkeiten u.a. mit Hilfe eines Flugsimulators durchgeführt. Diese zeigten, dass auch für Flugzeuge der großen Flugzeugklasse bei der hier angenommenen oberen Geschwindigkeit von 175 m/s eine Zielerreichbarkeit noch gegeben, allerdings in ihrer Wahrscheinlichkeit bereits reduziert ist. Dabei ist auch

zu berücksichtigen, dass bereits relativ geringe Abweichungen vom optimalen Aufprallort bei Druckwasserreaktoren aufgrund der Krümmung des Reaktorgebäudes zu erheblich verminderten Lasten führen können. Bei Flugzeugen der kleinen und mittleren Flugzeugklassen sind auch höhere Geschwindigkeiten möglich (es wurden bei den GRS-Untersuchungen Werte bis 215 m/s in Betracht gezogen), die hierbei resultierenden Belastungen sind jedoch durch diejenigen beim Aufprall großer Flugzeuge mit der oberen Geschwindigkeit von 175 m/s abgedeckt.

Insgesamt wurde in den GRS-Untersuchungen festgestellt, dass, auch wenn im Einzelfall auch bei schweren Flugzeugen noch höhere Auftreffgeschwindigkeiten möglich sind, aufgrund der konservativen Vorgehensweise bei den resultierenden Kräften (Bestimmung der Last-Zeit-Funktion mit dem Riera-Modell) die angenommenen Werte als abdeckend betrachtet werden können.

Hinsichtlich der Auswirkungen auf die Anlage wurden auf Grundlage dieser Randbedingungen zunächst die unmittelbaren mechanischen Auswirkungen (Zerstörungen der getroffenen Wand) analysiert. Weiterhin wurden mittelbare Folgen betrachtet. Dazu zählen zum einen Schäden im Inneren der Anlage, die durch induzierte Schwingungen aufgrund des Aufpralls des Flugzeuges ausgelöst werden, und die bspw. zu Brüchen von Kühlmittelleitungen führen können. Des Weiteren werden in der Folge des Absturzes durch den freigesetzten Flugzeugtreibstoff Brände induziert, die zu Schäden an der Anlage führen können. Auf der Basis der insgesamt an der Anlage zu erwartenden Schäden wurde dann beurteilt, ob das Ereignis von der Anlage insgesamt beherrscht wird, d.h. ob es nicht zu einer unzulässigen Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung der Anlage kommt. Es wurden jedoch keine detaillierten anlagenspezifischen Untersuchungen, bspw. hinsichtlich der konkreten Auswirkungen induzierter Schwingungen auf einzelne Komponenten und Systeme in den betrachteten Anlagen, durchgeführt.

Auf der Basis der abgeleiteten mechanischen Belastungen wurde betrachtet, welches Widerstandspotenzial Anlagen der neuesten Bauart gegen einen gezielten Flugzeugabsturz aufweisen. Für Bauwerke mit einer Wanddicke größer einem Meter ist ein Durchstanzen nicht zu erwarten. Bei ggf. im Inneren auftretenden Abplatzungen von Teilen der Wand infolge des Aufpralls würde es nur zu lokalen Folgeschäden kommen, wodurch bei einer räumlichen Trennung sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen immer nur eine Redundanz betroffen sein könnte. Auch hinsichtlich der Standsicherheit und bzgl. eines Biegeversagens der Wand besteht bei neuen Anlagen eine hohe Sicherheit, so dass ein Versagen der Wand mit einem damit verbundenen Eindringen von größeren Mengen von Flugzeugtreibstoff ins Innere des Reaktorgebäudes nicht zu erwarten ist. Bzgl. der Situation bei älteren Anlagen, die keine Auslegung gegen den Absturz einer Phantom-Maschine aufweisen, wird im Einzelfall davon ausgegangen, dass Auslegungsreserven vorhanden sind, die eine Abtragung der direkten mechanischen Lasten erlauben könnten, ohne dass jedoch hierzu allgemeine Aussagen möglich sind. Es wird jedoch festgestellt, dass

diese Auslegungsreserven nicht zur Abtragung der möglichen Maximallasten, d.h. eines Aufpralls der schwersten Maschine mit der obersten Geschwindigkeit, ausreichen.

Neben den möglichen Schäden aus dem unmittelbaren Aufprall des Flugzeuges können die beim Aufprall induzierten Erschütterungen in der Anlage zu Schäden an sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteilen führen. Hier wurde in den Analysen der GRS festgestellt, dass es auch für neue Anlagen für kurze Zeiten zu Beschleunigungswerten kommen kann, die größer sind als die in der Auslegung zugrunde gelegten Werte. Unsicherheiten bestehen jedoch hinsichtlich der daraus resultierenden Folgen. Aufgrund der kurzen Anregungszeiten könnten diese begrenzt bleiben, hierzu wären jedoch weitergehende Untersuchungen erforderlich. Vertiefende Ergebnisse zu dieser Problematik sind bislang nicht veröffentlicht.

Neben den möglichen mechanischen Belastungen wurden weiterhin mögliche Brandlasten auf der Basis der im Passagierflugverkehr verwendeten Treibstoffe und der mitgeführten Treibstoffmengen ermittelt. Bezüglich der resultierenden Brandwirkungen ließen sich dabei keine allgemeingültigen Lastannahmen formulieren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Brandauswirkungen sehr stark von den resultierenden mechanischen Einwirkungen (d.h. der Zerstörung von Wänden bzw. Gebäudeteilen) abhängig sind. Wird das Reaktorgebäude getroffen, so hängt es wesentlich davon ab, ob die Reaktorgebäudewand perforiert wird und damit Treibstoff ins Innere des Gebäudes eindringen kann. Die Auswirkungen der induzierten Brände können dann noch beherrschbar sein wenn sich bspw. aufgrund der räumlichen Gegebenheiten im Inneren des Reaktorgebäudes der Treibstoff nur lokal ausbreiten kann. Es besteht bei einer Perforation des Reaktorgebäudes und einem Eindringen größerer Mengen von Flugzeugtreibstoff jedoch auch die Möglichkeit, dass mehrere sicherheitstechnisch relevante Redundanzen betroffen würden, so dass es unter Umständen zu nicht mehr beherrschbaren Ereignisabläufen kommt. Für andere Gebäude, wie bspw. das Schaltanlagengebäude, ist die Auslegung in Brandabschnitte zur Verhinderung einer Ausbreitung resultierender Brände nicht ausreichend, um Brände bei den hier möglichen Treibstoffmengen lokal zu begrenzen, es wären aktive Maßnahmen zur Brandbekämpfung erforderlich, um eine Ausbreitung in andere Gebäudeteile zu verhindern. Bei den in anderen Gebäuden als dem Reaktorgebäude untergebrachten sicherheitstechnischen Einrichtungen stehen daher, je nach betrachtetem Ereignisablauf und dem Erfolg von aktiven Maßnahmen zur Beherrschung des Ereignisses, nur noch eine vom Brandverlauf abhängige unterschiedliche Anzahl von Redundanzen zur Verfügung.

Auf dieser Basis ist eine Abschätzung der Gesamtbeherrschbarkeit des Ereignisses für die Anlagen verschiedener Auslegung möglich. Hinsichtlich der Verwundbarkeit der Anlagen durch einen gezielten Flugzeugabsturz ergibt sich damit bzgl. der fünf betrachteten Anlagen die Reihenfolge:

- Emsland (DWR der Konvoi-Baureihe mit Auslegung gegen Absturz einer Phantom)
- Krümmel (SWR mit Auslegung gegen Absturz einer Phantom)
- Biblis-B (DWR, Auslegung gegen Starfighter)
- Obrigheim (DWR, keine explizite Auslegung gegen Flugzeugabsturz)
- Brunsbüttel (SWR, keine explizite Auslegung gegen Flugzeugabsturz).

Dabei gilt für die neuesten Anlagen der Konvoi-Baureihe, dass beim Auftreffen eines Flugzeugs der großen Flugzeugklasse mit der oberen betrachteten Geschwindigkeit Unsicherheiten bzgl. der Ereignisbeherrschung bestehen können. Sofern es durch den Aufprall aufgrund von induzierten Erschütterungen zu Lecks am Primärkreislauf kommt und die dann zur Ereignisbeherrschung benötigten Einrichtungen durch Trümmer und Brände beeinträchtigt bzw. zerstört werden, bestehen hier Unsicherheiten hinsichtlich der Beherrschbarkeit solcher Ereignisabläufe.

Demgegenüber ist bei den ältesten DWR-Anlagen ohne explizite Auslegung gegen Flugzeugabsturz, zu denen die Anlage Biblis-A zählt, bereits bei den kleinen Flugzeugtypen und hoher Geschwindigkeit oder mittleren Flugzeugtypen und niedriger Geschwindigkeit eine großflächige Zerstörung des Reaktorgebäudes nicht sicher auszuschließen. In diesen Fällen wird die Beherrschung des Ereignisses als fraglich eingestuft. Bei anderen Ereignisabläufen (kleine Flugzeuge mit niedriger Geschwindigkeit oder Aufprall des Flugzeugs auf andere Gebäude) kann das Ereignis beherrscht werden.

Damit ist auf der Basis der vorliegenden Kenntnisse über die Beherrschbarkeit eines gezielten Flugzeugabsturzes auf die Anlage Biblis-A davon auszugehen, dass eine großflächige Zerstörung des Reaktorgebäudes und in der Folge auch eine frühzeitige Freisetzung von großen Mengen von Radioaktivität nicht sicher ausgeschlossen werden kann.

3.2.2 Ausländische Untersuchungen

Eine Studie des Nuclear Energy Institute vom Dezember 2002 kam zur Schlussfolgerung, dass auch die Auswirkungen eines Einschlags eines zivilen Großflugzeugs beherrscht werden würden <NEI 2002>. Allerdings wurden aus Sicherheitsgründen keine Details zu den durchgeführten Untersuchungen veröffentlicht.

Den vorgelegten Angaben ist jedoch zu entnehmen, dass bei den Untersuchungen als Referenzflugzeug eine Boeing 767-400 mit einem Startgewicht von ca. 205 t und 90.000 l Treibstoff zugrunde gelegt wurde. Als Geschwindigkeit beim Aufprall wurde weiterhin ein Wert von etwa 560 km/h angenommen, was nach <NEI 2002> der Aufprallgeschwindigkeit des Flugzeugs entsprach, dass gegen das Pentagon eingesetzt wurde (nach <ASCE 2002> betrug diese Geschwindigkeit jedoch etwa 860 km/h). Dieser Wert ist etwas geringer als derjenige, der in den oben diskutierten GRS-Untersuchungen als obere Geschwindigkeit angenommen wurde. Für die

Wanddicken der Reaktorgebäude wurden weiterhin typische Werte von 107-137 cm angenommen. Diese Werte entsprechen in etwa denjenigen Werten, die nach <BfS 2004> als Vollschutz gegen den Absturz einer Phantom-Maschine ausreichen würden. Auf der Basis dieser Randbedingungen entsprechen die Abschätzungen in <NEI 2002> also in etwa einer Untersuchung der in Deutschland gegen den Absturz einer Phantom-Maschine ausgelegten Anlagen. Eine Übertragbarkeit der in dieser Studie getroffenen Aussage, dass der Einschlag eines zivilen Großflugzeugs auf ein Kernkraftwerk beherrscht würde, auf Anlagen mit einer geringeren Auslegung ist daher fraglich.

Auch die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen der Schweiz legte eine Untersuchung zur Sicherheit der schweizerischen Kernkraftwerke bei einem vorsätzlichen Flugzeugabsturz vor <HSK 2003>. In der Schweiz werden zur Zeit vier Kernkraftwerke betrieben, von denen die beiden ältesten (Beznau und Mühleberg, etwa zeitgleich zu Biblis-A in Betrieb genommen) ohne eine explizite Auslegung gegen einen Flugzeugabsturz errichtet wurden, bei den beiden neueren Kraftwerken (Gösgen und Leibstadt) wurde hingegen die Auslegung gegen einen unfallbedingten Absturz einer Boeing B707-320 in der Landephase bei einer Geschwindigkeit von 370 km/h gefordert. Die in der HSK-Richtlinie HSK-R-102 vom Dezember 1986 niedergelegten Auslegungsanforderungen, die in wichtigen Teilen mit den deutschen Auslegungsanforderungen auf der Basis eines unfallbedingten Absturzes einer schnellfliegenden Militärmaschine übereinstimmen, wären erst für die Auslegung späterer geplanter Kraftwerke verbindlich gewesen. Alle schweizerischen Kernkraftwerke verfügen jedoch über gebunkerte und autarke Notstandssysteme, die eine unabhängige Redundanz zu den Abschalt- und Notkühlsystemen im Reaktorgebäude darstellen (in den beiden älteren Anlagen wurden diese in den 1980er Jahren nachgerüstet).

Bei den Untersuchungen der HSK wurden fünf Flugzeugklassen definiert, für die jeweils ein repräsentatives Flugzeug ausgewählt wurde. Die verschiedenen Klassen deckten dabei von leichten Turboprop-Flugzeugen bis hin zu Grossraumflugzeugen wie der Boeing B747-440 den gesamten Bereich der zivilen Verkehrsflugzeuge ab. Weiterhin wurden bei der Untersuchung der mechanischen Belastungen sechs verschiedene Triebwerksklassen unter Berücksichtigung wichtiger Kenngrößen wie der Größe und der Masse der Triebwerke definiert. Schließlich wurden drei Geschwindigkeitsbereiche, "mittlere", "erhöhte" und "hohe" Geschwindigkeit, betrachtet, wobei die diesen Bereichen zugeordneten Geschwindigkeiten nicht veröffentlicht wurden.

Betrachtet wurden in den Untersuchungen zunächst die Auswirkungen bei einem Aufprall auf das Reaktorgebäude hinsichtlich eines globalen oder lokalen Versagens der Außenwand, der Schädigung von Einbauten aufgrund induzierter Erschütterungen, Schädigungen durch Trümmer im Inneren und außerhalb des Reaktorgebäudes sowie der Folgen von Treibstoffbränden. Für weitere sicherheitstechnisch wich-

tige Gebäude wurde der Schutz gegen den Aufprall von Triebwerken, Flugzeugteilen und Trümmerlasten bewertet.

Für die neueren Anlagen Gösgen und Leibstadt konnte bei den Untersuchungen der HSK mittels empirischer Verfahren ein Penetrationsschutz des Reaktorgebäudes für die Triebwerke nachgewiesen werden, d.h. ein Durchschlagen der äußeren Wand wird für die untersuchten Geschwindigkeitsbereiche nicht erwartet. Auch hinsichtlich der maximalen Grenzlasten wurde für diese Kraftwerke lokales Gebäudeversagen selbst für hohe Geschwindigkeiten ausgeschlossen. Für das Kraftwerk Beznau wurde ein Penetrationsschutz beim Auftreffen eines Triebwerks auf das Reaktorgebäude bis zu erhöhten Geschwindigkeiten nachgewiesen, bei hohen Geschwindigkeiten ist eine Penetration des Reaktorgebäudes jedoch möglich. Für dessen Notstandsgebäude wird ein ausreichender Penetrationsschutz festgestellt.

Für das Kraftwerk Mühleberg wurde der Flugzeugaufprall insgesamt mittels eines Finite-Elemente-Modells auch unter Berücksichtigung der inneren Strukturen des Reaktorgebäudes untersucht. Mit diesem Modell konnte nachgewiesen werden, dass der Aufprall eines großen Verkehrsflugzeugs mit mittleren Geschwindigkeiten noch nicht zu schweren Schäden an der Reaktorgebäudewand führt. Bei hohen Geschwindigkeiten käme es zwar zu Gebäudeschäden, aufgrund der vollständigen Zerstörung des Flugzeugs beim Aufprall wird jedoch nicht von einem Eindringen des Flugzeugs in das Gebäudeinnere ausgegangen. Aufgrund der inneren Betonstrukturen, die den Primärkreislauf des Kraftwerks umgeben, wurde weiterhin festgestellt, dass ein nicht absperrbares Leck im Reaktorkühlkreislauf durch eindringende Flugzeugteile unwahrscheinlich ist. Eine Übertragung dieser Modellergebnisse auf das Kraftwerk Beznau zeigte, dass auch dessen Reaktorgebäude dem Aufprall eines Verkehrsflugzeugs mit mittleren Geschwindigkeiten ohne größere Schäden widersteht.

Für beide älteren Kraftwerke wurde aus den Untersuchungen mittels des Finite-Elemente-Modells geschlossen, dass auch bei hohen Geschwindigkeiten des Flugzeugs und damit verbundenen größeren Schäden an der Reaktorgebäudewand ein Eindringen größerer Mengen an Treibstoff in das Reaktorgebäude nicht zu erwarten ist, da das auftreffende Flugzeug bereits vor dem Versagen der Reaktorgebäudewand weitgehend zerstört wäre.

Hinsichtlich der im Inneren des Reaktorgebäudes induzierten Erschütterungen wurden Untersuchungen für den Aufprall einer Boeing 747-400 mit rund 400 t Gesamtmasse bei erhöhter Aufprallgeschwindigkeit durchgeführt. Diese Berechnungen führten zu dem Ergebnis, das für die schweizerischen Kraftwerke die auftretenden Belastungen geringer sind, als diejenigen Belastungen, die im Rahmen der Auslegung der Anlagen gegenüber einem möglichen Erdbeben angenommen wurden. Ein Versagen von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen im Inneren des Reaktorgebäudes aufgrund der induzierten Erschütterungen wird daher als sehr unwahrscheinlich eingestuft.

Schließlich wurden die Folgen von Treibstoffbränden nach dem Aufprall des Flugzeuges analysiert. Hinsichtlich von Bränden außerhalb der Gebäude wurde bzgl. der Gefährdung durch einen möglicherweise entstehenden Feuerball festgestellt, dass die dabei auftretenden Druckspitzen keine Gefahren für die Integrität der Kraftwerksgebäude darstellen. Auch ein nachfolgender, lange andauernder Brand an den Außenmauern der sicherheitsrelevanten Gebäude würde nicht zu einer Gefährdung der Gebäudeintegrität führen. Indirekte Folgeschäden an wichtigen Sicherheitssystemen könnten jedoch möglich sein, sofern Brand- und Rauchgase durch Ansaugöffnungen ins Innere der Anlage gelangen. Bei den älteren Anlagen kann es nach einer Zerstörung der Reaktorgebäudeaußenwand auch zu Bränden im Inneren des Reaktorgebäudes kommen. Dabei ist für das Kraftwerk Mühleberg mit den größten Öffnungen am Reaktorgebäude zu rechnen. Für dieses Kraftwerk wurde daher auch das Eindringen von Treibstoff in das Innere des Reaktorgebäudes untersucht. Die Auswirkungen eines solchen Brandes würden auf die oberen Teile des Reaktorgebäudes begrenzt bleiben und damit nicht die im unteren Teil untergebrachten Sicherheitssysteme gefährden, wenn alle relevanten Öffnungen des obersten Etagenbodens verschlossen wären. In diesem Fall würden die Schädigungen auf den oberen Etagenboden begrenzt bleiben.

Insgesamt kam die HSK damit zu dem Schluss, dass schwere Schäden am Reaktorgebäude für die neueren Anlagen nicht zu erwarten sind. Bei den älteren Anlagen sind größere Zerstörungen am Reaktorgebäude bei erhöhten bis hohen Geschwindigkeiten des auftreffenden Flugzeugs möglich, unter Berücksichtigung der schwierigen Anflugverhältnisse insbesondere bei der Anlage Mühleberg wird jedoch ein zielgenauer Anflug bei solchen Geschwindigkeiten als schwierig angesehen. Die Wahrscheinlichkeit für die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung der Anlagen wird, auch aufgrund der vorhandenen autarken gebunkerten Notstandsysteme, als niedrig eingestuft. Es wurden jedoch Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich der Begrenzung von Brandauswirkungen verlangt.

4 Darstellung möglicher Auswirkungen

Die folgenden Untersuchungen basieren auf generischen Abschätzungen der potenziellen Folgen eines gezielten Flugzeugabsturzes auf das Kernkraftwerk Biblis-A. Dabei werden keine detaillierten Ereignisablaufanalysen durchgeführt. Vielmehr wird auf der Basis des im letzten Kapitel festgestellten möglichen Ereignisablaufs (großflächige Zerstörung des Reaktorgebäudes mit anschließender frühzeitiger Freisetzung von Radioaktivität) ein realistischer Quellterm abgeschätzt und mit generischen Ausbreitungsrechnungen untersucht, welche Maßnahmen, insbesondere Evakuierungen oder langfristige Umsiedlungen, auf der Basis von Eingreifrichtwerten des Katastrophenschutzes in der Umgebung der Anlage notwendig werden würden.

4.1 Quellterme und Freisetzungsrandbedingungen

Für eine Abschätzung der möglichen Auswirkungen der hier betrachteten Ereignisse auf die Umgebung eines Kernkraftwerkes sind zunächst Angaben zum Umfang der Freisetzungen erforderlich. Im Reaktorkern eines typischen Leistungsreaktors befinden sich ca. 100 t Brennstoff. Dieser enthält den größten Teil der Radioaktivität. In Tabelle 4.1 sind typische Werte des Kerninventars eines Druckwasserreaktors mit einer thermischen Leistung von 3733 MW_{th} zusammengefasst. Dabei sind diejenigen Nuklide berücksichtigt, deren radiologische Folgewirkungen nach <SSK 2004> mit etwa 90% zu den gesamten radiologischen Folgewirkungen beitragen.

Tabelle 4.1 Gleichgewichtsinventar wichtiger Radionuklide eines DWR (3733 MW_{th}) am Zyklusende in GBq, 6 Stunden nach Beendigung der Kettenreaktion nach <SSK 2004>.

Nuklid	Aktivität in GBq	Nuklid	Aktivität in GBq	
	Edelg	gase		
Kr-87	7,5×10 ⁷	Kr-88	6,4×10 ⁸	
Xe-133	7,6×10 ⁹	Xe-135	2,9×10 ⁹	
	lo	d		
I-131	3,6×10 ⁹	I-132	5,1×10 ⁹	
I-133	6,4×10 ⁹	I-134	2,2×10 ⁸	
I-135	3,8×10 ⁹			
	Schwel	ostoffe		
Sr-90	2,2×10 ⁸	Ru-103	5,6×10 ⁹	
Sb-127	3,1×10 ⁸	Te-131m	3,9×10 ⁷	
Te-132	5,0×10 ⁹	Cs-134	3,5×10 ⁸	
Cs-136	1,3×10 ⁸	Cs-137	3,0×10 ⁸	
Ba-140	6,6×10 ⁹	Pu-238	4,5×10 ⁶	
Pu-239	1,2×10 ⁶	Pu-241	3,2×10 ⁸	
Cm-242	7,8×10 ⁷	Cm-244	3,1×10 ⁶	
	Summen			
Gesamt (alle Nuklide)	2,5×10 ¹¹			

In Abhängigkeit vom Ereignisablauf und den dabei im Detail angenommenen Randbedingungen (Zeitpunkt seit Inbetriebnahme des Reaktors nach der letzten Revision, Beginn der Freisetzung nach Beendigung der Kettenreaktion) variieren sowohl das Kerninventar (durch den Aufbau und radioaktiven Zerfall der enthaltenen Nuklide) wie der Freisetzungsanteil (aufgrund thermischer und mechanischer Vorgänge). Die in der Tabelle zusammengefassten Werte stellen daher repräsentative Werte für einen möglichen, konservativen Zykluszeitpunkt und einen realistischen Beginn der Freisetzung dar. Diese Werte sind mit der thermischen Leistung des betrachteten Kraftwerks (Biblis-A: 1225 MW_e entsprechend bei einer Effizienz von 35% ca. 3500 MW_{th}) zu skalieren, um das typische Inventar dieser Anlage zu erhalten.

Des Weiteren sind Annahmen zum Anteil der freigesetzten Nuklide erforderlich. In <SSK 2004> sind auf Basis der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke (DRS) Phase A und Phase B sowie neuerer Untersuchungen der Gesellschaft für Reaktorsicherheit zum Konvoi-Kernkraftwerk GKN-2 unterschiedliche Freisetzungskategorien definiert, bei denen jeweils ein bestimmter Anteil der im Kern enthaltenen Nuklide freigesetzt wird. Repräsentativ für das hier betrachtete Ereignis ist ein großflächiges Sicherheitsbehälterversagen oberhalb der Fundamentplatte, wie dies in der DRS Phase B definiert wurde (Freisetzungskategorie SBV) und das auch bei Ereignisabläufen im Rahmen eines unfallbedingten Flugzeugabsturzes zugrunde gelegt wird. Um auch einen Fall mit großflächigem Sicherheitsbehälterversagen aber geringerer Freisetzung radioaktiver Stoffe aus dem Kern zu berücksichtigen, wird ein zweiter Satz von Freisetzungsanteilen definiert, die 10% der Freisetzungskategorie SBV betragen. Die mit diesen Annahmen jeweils zu erwartenden Freisetzungsanteile sind in Tabelle 4.2 zusammengefasst.

Tabelle 4.2 Freisetzungsanteile wichtiger Radionuklide bei großflächigem Sicherheitsbehälterversagen nach < SSK 2004>.

Nuklidgruppe	Freigesetzter Anteil des Kerninventars		
	Freisetzungskategorie SBV nach DRS Phase B	10% der Werte nach SBV/DRS Phase B	
Kr, Xe	1	0,1	
I	0,5-0,9 ²⁾	0,05	
Cs	$0,5-0,9^{2)}$	0,05	
Te ¹⁾	$0,5-0,9^{2)}$	0,05	
Sr	0,4	0,04	
Ru	0,00001	0,00001	
La	0,02	0,002	
Ce (auch Pu, Cm)	0,04	0,004	
Ba	0,3	0,03	

¹⁾ Zum Freisetzungsanteil von Sb liegen in <SSK 2004> keine Angaben vor. Aufgrund seiner chemischen Eigenschaften sowie des Schmelzpunktes seiner oxidischen Verbindungen wird im Folgenden für Sb der gleiche Freisetzungsanteil angesetzt wie für Te.

²⁾ Im Folgenden wird für diese Nuklide die untere Grenze von 50% Freisetzung angenommen. Für lod wird von der Freisetzung in elementarer Form ausgegangen.

Unter Berücksichtigung der thermischen Leistung des KKW Biblis-A und der Freisetzungsanteile nach Tabelle 4.2 ergibt sich der in Tabelle 4.3 zusammengefasste exemplarische Quellterm. Insgesamt bestehen hinsichtlich des zu erwartenden Freisetzungsanteils große Unsicherheiten, die hier gemachten Angaben sind aber als repräsentative Werte anzusehen.

23

Tabelle 4.3 Exemplarischer Quellterm für den Fall einer frühzeitigen Freisetzung bei großflächigem Versagen des Reaktorgebäudes der Anlage Biblis-A.

Aktivität in GBa	Nuklid	Aktivität in GBq		
		ANLIVILAL III GDQ		
(Fraignetzungskotogoria SDV nach DDS Dhana B. a. Tahalla 4.2)				
		audii c 4 .2)		
		6,00×10 ⁸		
		2,72×10 ⁹		
,		2,72×10		
		2,39×10 ⁹		
		1,03×10 ⁸		
	1-134	1,03×10		
	h a taffa			
		E 0540 ⁴		
,		5,25×10 ⁴		
		1,83×10 ⁷		
		1,64×10 ⁸		
		1,41×10 ⁸		
		1,69×10 ⁵		
		1,20×10 ⁷		
		1,16×10 ⁵		
(10% der Freisetzungskategorie SBV nach DRS Phase B, s. Tabelle 4.2)				
Edel				
7,03×10 ⁶	Kr-88	6,00×10 ⁹		
7,13×10 ⁸	Xe-135	2,72×10 ⁸		
lod				
	I-132	2,39×10 ⁸		
	I-134	1,03×10 ⁷		
1,78×10 ⁸				
	bstoffe			
8,25×10 ⁶	Ru-103	5,25×10 ³		
1,45×10 ⁷	Te-131m	1,83×10 ⁶		
	Cs-134	1,64×10 ⁷		
6,09×10 ⁶	Cs-137	1,41×10 ⁷		
1,86×10 ⁸		1,69×10 ⁴		
	Pu-241	1,20×10 ⁶		
	Cm-244	1,16×10 ⁴		
	Edely 7,03×10 ⁷ 7,13×10 ⁹ Io 1,69×10 ⁹ 3,00×10 ⁹ 1,78×10 ⁹ Schwe 8,25×10 ⁷ 1,45×10 ⁸ 2,34×10 ⁹ 6,09×10 ⁷ 1,86×10 ⁹ 4,05×10 ⁴ 2,93×10 ⁶ Geringere Fetzungskategorie SBV Edely 7,03×10 ⁶ 7,13×10 ⁸ Io 1,69×10 ⁸ 3,00×10 ⁸ 1,78×10 ⁸ Schwe 8,25×10 ⁶	Große Freisetzung ngskategorie SBV nach DRS Phase B, s. T Edelgase 7,03×10 ⁷ Kr-88 7,13×10 ⁹ Xe-135 Iod 1,69×10 ⁹ I-132 3,00×10 ⁹ I-134 1,78×10 ⁹ Schwebstoffe 8,25×10 ⁷ Ru-103 1,45×10 ⁸ Te-131m 2,34×10 ⁹ Cs-134 6,09×10 ⁷ Cs-137 1,86×10 ⁹ Pu-238 4,05×10 ⁴ Pu-241 2,93×10 ⁶ Cm-244 Geringere Freisetzung etzungskategorie SBV nach DRS Phase B, Edelgase 7,03×10 ⁶ Kr-88 7,13×10 ⁸ Xe-135 Iod 1,69×10 ⁸ I-132 3,00×10 ⁸ I-134 1,78×10 ⁸ Schwebstoffe 8,25×10 ⁶ Ru-103 1,45×10 ⁷ Te-131m 2,34×10 ⁸ Cs-134 6,09×10 ⁶ Cs-137 1,86×10 ⁸ Pu-238 4,05×10 ⁸ Pu-238		

4.2 Katastrophenschutz außerhalb der Anlage

In der Umgebung eines Kernkraftwerks sind im Rahmen des Katastrophenschutzes Maßnahmen vorbereitet bzw. geplant, die im Falle eines Unfalls durchgeführt werden müssen. Die jeweils zu ergreifenden Maßnahmen richten sich dabei nach der zu erwartenden Freisetzung aus dem Kernkraftwerk und den daraus resultierenden möglichen Strahlenexpositionen der Bevölkerung in der Umgebung der Anlage. Dabei können verschiedene Pfade zu einer radiologischen Belastung der Bevölkerung beitragen. So können Radionuklide eingeatmet oder über die Nahrung in den Körper aufgenommen werden, oder sie können von außen durch Gamma-Strahlung aus der "radioaktiven Wolke" oder von am Boden abgelagerten Radionukliden auf den Körper einwirken.

In den "Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen" <Bund 1999a> sind Grundlagen für die Organisation des Katastrophenschutzes in der Umgebung der Anlagen geregelt. Die Eingreifrichtwerte, bei deren Überschreiten die jeweiligen Maßnahmen ausgelöst werden, finden sich in <Bund 1999b>. Da sich diese Eingreifrichtwerte auf mögliche Strahlenexpositionen beziehen, ist ebenfalls das Verfahren festgelegt, wie diese Strahlenexpositionen ermittelt werden. Die Eingreifrichtwerte für Maßnahmen sind in Tabelle 4.4 zusammengestellt, ebenfalls die zugrunde zu legenden Randbedingungen bei der Dosisermittlung (Integrationszeiten und Expositionspfade). Aus den Dosiswerten abgeleitete aktivitätsbezogene Werte sind in Tabelle 4.5 angegeben.

Tabelle 4.4 Eingreifrichtwerte für Maßnahmen nach <Bund 1999b>.

Maßnahme	Eir	ngreifrichtw	erte
	Organdosis (Schild- drüse)	effektive Dosis	Integrationszeiten und Expositionspfade
Aufenthalt in Gebäuden		10 mSv	äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch in die- sem Zeitraum inhalierte Radionuklide
Einnahme von lodtabletten	50 mSv Kinder bis zu 12 Jah- ren sowie Schwangere, 250 mSv Personen von 13 bis 45 Jahren		im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Ra- dioiod einschließlich der Folgeäquivalentdosis
Evakuierung		100 mSv	äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch in die- sem Zeitraum inhalierte Radionuklide
temporäre Umsied- lung		30 mSv	äußere Exposition in 1 Monat durch abgela- gerte Radionuklide
langfristige Umsied- lung		100 mSv	äußere Exposition in 1 Jahr

Tabelle 4.5 Abgeleitete Eingreifrichtwerte nach <BMU 1999>.

Maßnahme	Richtgröße	Für das Nuklid Cs-137 resultieren- de Werte
Aufenthalt in Gebäuden	freigesetzte Aktivität	2,6×10 ¹⁴ Bq
(entspricht 10 mSv in	(für 1 km Entfernung zur Quelle)	
7 Tagen)	Bodenkontamination	3,0×10 ⁷ Bq/m ²
	zeitintegrierte Luftkonzentration (trocken)	7,9×10 ⁵ Bq·h/m ³
Evakuierung	freigesetzte Aktivität	2,6×10 ¹⁵ Bq
(entspricht 100 mSv in	(für 1 km Entfernung zur Quelle)	
7 Tagen)	Bodenkontamination	3,0×10 ⁸ Bq/m ²
	zeitintegrierte Luftkonzentration	7,9×10 ⁶ Bq·h/m ³
	(trocken)	
Temporäre Umsiedlung	Bodenkontamination	$2,1\times10^7 \text{ Bq/m}^2$
Langfristige Umsiedlung	Bodenkontamination	1,2×10 ⁷ Bq/m ²

Die Eingreifrichtwerte sollen sicherstellen, dass akute Strahlenschäden ausgeschlossen sind. Außerdem sollen sie das Risiko von Langzeitschäden, vor allem von Krebsfällen, begrenzen. Die abgeleiteten Eingreifrichtwerte für Cs-137 decken nicht alle anderen freigesetzten Radionuklide ab. Daher können beispielsweise bereits bei einer deutlich geringeren Bodenkontamination alleine durch das Cs-137 die angegebenen Dosis-Richtwerte aufgrund anderer freigesetzter Nuklide überschritten werden.

Die Umgebung der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland ist in verschiedene Katastrophenschutzzonen eingeteilt. Für die Anlage Biblis-A sind diese Zonen in Abbildung 4.1 dargestellt. Die "Zentralzone" weist einen Radius von 1,5 km, die "Mittelzone" einen Radius von 10 km und die "Außenzone" einen Radius von 25 km um die Anlage auf <RWE 2003>.

Daun

| Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | Daun | D

Abbildung 4.1: Katastrophenschutzzonen um das KKW Biblis

Graphik: Öko-Institut nach < RWE 2003>

Die von der 25 km-Zone um den Kraftwerksstandort Biblis-A betroffenen Landkreise bzw. kreisfreien Städte sind in Tabelle 4.6 zusammengefasst, zusätzlich ist deren gesamte Einwohnerzahl nach Angaben der statistischen Landesämter Hessen (www.statistik-hessen.de), Rheinland-Pfalz (www.statistik.rlp.de) und Baden-Würtemberg (www.statistik.baden-wuerttemberg.de) angegeben.

Tabelle 4.6 Landkreise im 25 km Umkreis der Anlage Biblis-A und deren gesamte Einwohnerzahl.

27

Landkreis	Einwohnerzahl
Landkreis Groß-Gerau	252.421
Stadt Darmstadt	141.471
Landkreis Darmstadt-Dieburg	289.087
Landkreis Bergstraße	264.622
Landkreis Rhein-Neckar	534.220
Stadt Mannheim	307.914
Stadt Ludwigshafen	163.560
Stadt Frankenthal	46.938
Landkreis Rhein-Pfalz	149.187
Stadt Worms	82.212
Landkreis Bad Dürkheim	134.628
Landkreis Alzey-Worms	126.058
Donnersbergkreis	78.320
Landkreis Mainz-Bingen	200.938

4.3 Berechnungen von Auswirkungen in der Umgebung der Anlage

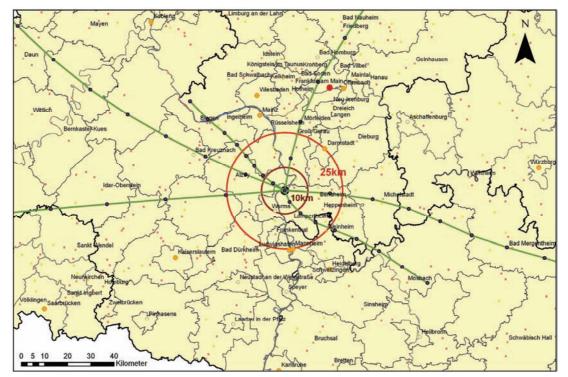
Eine Prognose der bei einem Unfall im Umkreis der Anlage zu erwartenden radiologischen Belastungen wird im konkreten Ereignisfall unter Berücksichtigung realer Wetterbedingungen (Windrichtung, Windstärke, Niederschlagsmengen etc.) von den Katastrophenschutzbehörden erstellt. Aufgrund der Abhängigkeit der Ausbreitung und Ablagerung der freigesetzten Radionuklide in der Umgebung der Anlage von den konkreten meteorologischen Randbedingungen können hier nur generische Untersuchungen durchgeführt werden, bei denen für den Standort des Kernkraftwerks typische Wetterbedingungen unterstellt werden.

Im Internet steht das HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model HYSPLIT <Draxler 2003> zur Verfügung, das auf tabellierte Wetterdaten zugreift und mit dem auf dieser Basis für einen in der Vergangenheit liegenden Zeitpunkt und für einen bestimmten Freisetzungsort resultierende Ausbreitungstrajektorien bestimmt werden können. Um einen Überblick zu den für den Standort des KKW Biblis typischen Ausbreitungsrandbedingungen zu geben, wurden mit HYSPLIT verschiedene Trajektorien berechnet, die eine Ausbreitung bei einer Freisetzung in 200 m Höhe (über Geländeniveau) über einen Zeitraum von 8 Stunden beschreiben. Die Freisetzungshöhe von 200 m wird hier gewählt, da die freigesetzte "radioaktive Wolke" durch die zeitgleich freigesetzte Wärme und durch die Wärmeproduktion der enthaltenen Radionuklide einen deutlichen Auftrieb erfährt.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 4.2, jeweils für eine Freisetzung um 8.00 Uhr am ersten Tag eines Monats für den Zeitraum Mai bis Oktober 2007 zusammengefasst. Die jeweils nach einer Stunde erreichte Ausbreitung ist durch Punkte auf den Tra-

jektorien markiert. Für die betrachteten sechs Zeitpunkte ergeben sich stark unterschiedliche Ausbreitungsrichtungen von Südwest über Nord bis Ost. Außerdem zeigt sich, dass die Ausbreitung aufgrund sich ändernder Windrichtung nicht geradlinig erfolgt. Daraus ergeben sich auch Konsequenzen für den Katastrophenschutz, da die von Maßnahmen real betroffenen Gebiete von diesen konkreten Ausbreitungsbedingungen abhängig sind.

Abbildung 4.2: Ausbreitungsrichtungen bei einer Freisetzung in 200 m Höhe über Grund, jeweils zu Monatsanfang 01.05.2007 bis 01.10.2007



Trajektorien: HYSPLIT. Graphik: Öko-Institut

Die im Folgenden durchgeführten Berechnungen von Konsequenzen des Ereignisses zeigen auf, in welchem Umfang nach den Eingreifrichtwerten der "Radiologischen Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden" eine Evakuierung und/oder eine langfristige Umsiedlung erforderlich wird. Die Berechnungen wurden anhand der Modelle des Leitfadens der Strahlenschutzkommission <SSK 2004> vorgenommen. Die Ausbreitung wird dabei durch ein Gauss-Fahnen-Modell beschrieben, wobei eine konstante Ausbreitungsrichtung verwendet wird. Es liegen insbesondere folgende Randbedingungen zugrunde:

 Die relativ häufigste Windrichtung am Standort Biblis ist Wind aus südwestlicher Richtung. Zur Einschätzung der Bandbreite möglicher Auswirkungen werden neben dieser Hauptwindrichtung im Folgenden auch Winde aus anderen Windrichtungen berücksichtigt.

- Um Auswirkungen unterschiedlicher meteorologischer Ausbreitungsverhältnisse aufzuzeigen, werden verschiedene turbulenzbedingte Durchmischungen der Luft modelliert. Die am Standort Biblis am häufigsten vorliegende Diffusionskategorie repräsentiert eine neutrale bis leicht stabile Luftturbulenz (Diffusionskategorie D). Den Berechnungen ebenfalls zugrunde gelegt werden die Diffusionskategorien C (leicht labil bis neutral) und B (labil).
- Die für die Frage der Evakuierung einschlägige Dosis wird als Summe der Dosis durch Inhalation und Exposition durch am Boden abgelagerte gammastrahlende Radionuklide über 7 Tage bei Aufenthalt im Freien ermittelt. Dies entspricht den Vorgaben aus <Bund 1999b>.
- Zur Beurteilung der Notwendigkeit einer langfristigen Umsiedlung wird das Kriterium der Dosis von 100 mSv durch äußere Exposition innerhalb eines Jahres aus <Bund 1999b> herangezogen. Dabei wird unterstellt, dass Personen erst nach 30 Tagen in das kontaminierte Gebiet zurückkehren würden. Würden sie dann durch die bis dahin noch nicht abgeklungenen Radionuklide innerhalb eines Jahres einer Dosis von 100 mSv beim Aufenthalt im Freien ausgesetzt, so wäre die Bevölkerung in diesem Gebiet langfristig umzusiedeln.
- Zwei der berechneten Szenarien liegt die Annahme zugrunde, dass es während der Freisetzung und Ausbreitung der Radionuklide zu keinen Niederschlägen kommt. Diese würden grundsätzlich zu einer deutlich höheren Ablagerung radioaktiver Stoffe bei gleicher in der Luft vorliegender Aktivitätskonzentration führen. Erst in großen Entfernungen kann die Ablagerung geringer werden als unter trockenen Bedingungen, da das Inventar an Radionukliden in der Wolke durch das Ausregnen zurückgeht. Im dritten Szenario wird ein flächendeckender Regen der Intensität 1 mm/h angenommen, wie er länger andauernd an Regentagen zu beobachten ist.

Withelmah College Branch

Brandenburg

Niedersachsen

Niedersachse

Abbildung 4.3: Zu evakuierendes Gebiet bei neutraler bis leicht stabiler Luftturbulenz und Wind aus Südwest (große Freisetzung)

Abbildung 4.3 zeigt das Gebiet, in dem bei der in Tabelle 4.3 definierten großen Freisetzung sowie neutraler bis leicht stabiler Luftturbulenz bei Wind aus der Hauptwindrichtung Südwest eine Evakuierung erforderlich würde. Dieses Gebiet reicht bis in eine Entfernung von etwa 600 km; es wäre sogar noch polnisches Staatsgebiet betroffen. Die maximale Breite des Gebiets würde senkrecht zur Ausbreitungsrichtung etwa 50 km betragen. Bei der angenommenen Windrichtung wären von der Evakuierung unter anderem die Städte Erfurt, Dessau und Berlin betroffen. Bei anderer Windrichtung könnten dies z.B. die Städte auf einer Verbindungslinie von Biblis über Würzburg nach Prag oder von Biblis über Regensburg nach Wien sein. Auch in den Städten München, Hamburg und Paris könnte bei entsprechender Windrichtung noch der Eingreifrichtwert für die Evakuierung überschritten sein.

Für eine Evakuierung bis in diese großen Entfernungen von einem Kernkraftwerk bestehen keine konkreten Planungen. In der Notfall-Informationsbroschüre <RWE 2003> für das KKW Biblis wird ausgeführt: "Die Katastrophenschutzbehörde hat Pläne für eine solche angeordnete Evakuierung vorbereitet, die bis zu einer Entfernung von circa 10 km vom Standort des Kernkraftwerkes gelten."

Niedersachsen

Bieleiteld

Gütersich

Beleiteld

Gütersich

Beenburg

Niedersachsen

Niedersachsen

Sachsen-Anhalt

Recklinghausen

Hamm

Lippstadt

Paderborn

Recklinghausen

Hamm

Lippstadt

Paderborn

Recklinghausen

Niedersachsen

Sachsen-Anhalt

Leijozig

Wignersicheld

Leverlusen

Bergisch Gladbach

Siegen

Marburg

Sachsen

Thüringen

Zwickau

Sachsen

Chemnitz

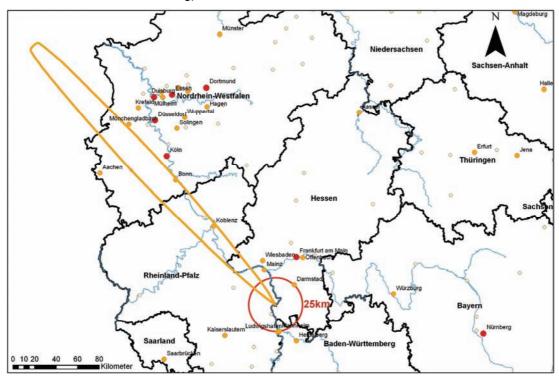
Freiberg

Chem

Abbildung 4.4: Langfristig umzusiedelndes Gebiet bei neutraler bis leicht stabiler Luftturbulenz und Wind aus Südwest (große Freisetzung)

Von einer langfristigen Umsiedlung wäre bei neutraler bis leicht stabiler Luftturbulenz ein Gebiet bis in etwa 350 km Entfernung bei einer maximalen Breite senkrecht zur Ausbreitungsrichtung von etwa 60 km betroffen (siehe Abbildung 4.4). Bei der angenommenen Windrichtung wären von der langfristigen Umsiedlung unter anderem die Städte Darmstadt, Fulda, Erfurt und Halle betroffen. Bei anderer Windrichtung könnten dies auch die Städte Leipzig, Hannover, Osnabrück, München oder Brüssel sein, ebenfalls weite Teile des Ruhrgebietes etc.

Abbildung 4.5: Zu evakuierendes Gebiet bei labiler Luftturbulenz und Wind aus Südost (große Freisetzung)



In Abbildung 4.5 ist das Gebiet eingezeichnet, in dem bei großer Freisetzung sowie labiler Luftturbulenz eine Evakuierung bei Wind aus südöstlicher Richtung erforderlich würde. Es reicht bis in eine Entfernung von etwa 330 km bei einer maximalen Breite senkrecht zur Ausbreitungsrichtung von etwa 25 km. Es wird deutlich, dass bei unterschiedlichen Wetterbedingungen stark unterschiedliche Gesamtflächen von den erforderlichen Katastrophenschutzmaßnahmen betroffen sein können. Bei der angenommenen Windrichtung könnten von der Evakuierung Regionen vor allem in Rheinland-Pfalz, Hessen und Nordrhein-Westfalen, aber auch noch in den Niederlanden betroffen sein.

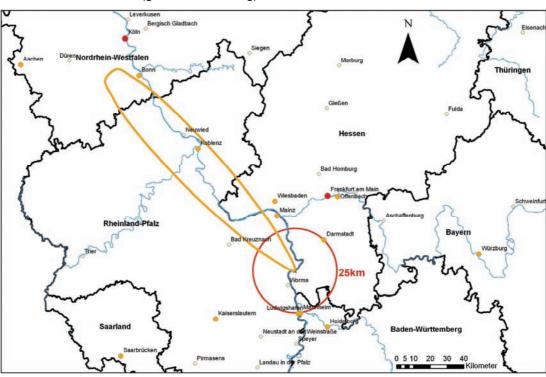
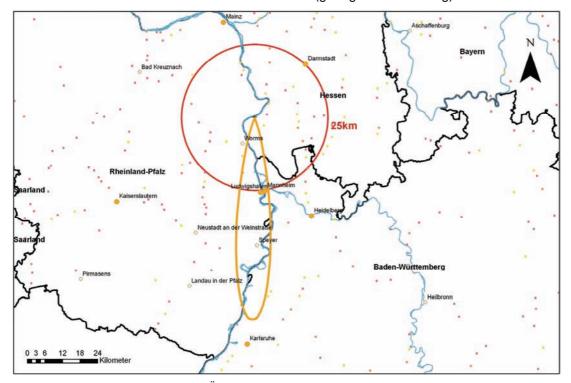


Abbildung 4.6: Langfristig umzusiedelndes Gebiet bei labiler Luftturbulenz und Wind aus Südost (große Freisetzung)

Bei labiler Luftturbulenz erstreckt sich das Gebiet, in dem eine langfristige Umsiedlung erfolgen müsste, bis in eine Entfernung von etwa 160 km bei einer maximalen Breite senkrecht zur Ausbreitungsrichtung von etwa 25 km (siehe Abbildung 4.6). Bei der angenommenen Windrichtung wären von der langfristigen Umsiedlung noch die Städte Koblenz und Neuwied, aber auch noch die Region westlich von Bonn betroffen. Die Maßnahme würde sich daher im Wesentlichen auf Rheinland-Pfalz begrenzen.

Abbildung 4.7: Zu evakuierendes Gebiet bei leicht labiler bis neutraler Luftturbulenz, Regen von 1 mm/h und Wind aus Norden (geringere Freisetzung)



Bei der in Tabelle 4.3 definierten geringeren Freisetzung sowie den Wetterbedingungen leicht labiler bis neutraler Luftturbulenz und flächendeckendem Regen der Intensität 1 mm/h erstreckt sich das Gebiet, in dem eine Evakuierung vorzunehmen wäre, bis in eine Entfernung von etwa 70 km bei einer maximalen Breite senkrecht zur Ausbreitungsrichtung von etwa 12 km (siehe Abbildung 4.7). Bei der Windrichtung aus Nord wären beispielsweise die Städte Ludwigshafen, Mannheim und Speyer zu evakuieren.

Rheinland-Pfalz

Raiserslautern

Neustadt an der Veinstrift
Spöryt

Pirmasens

Landau in der Pfalz

Pforzheim

Aschaffenburg

Bayern

Neustadt an der Weinstrift
Spöryt

Permasens

Landau in der Pfalz

Reibronn

Reibronn

Abbildung 4.8: Langfristig umzusiedelndes Gebiet bei leicht labiler bis neutraler Luftturbulenz, Regen von 1 mm/h und Wind aus Norden (geringere Freisetzung)

Bei der geringeren Freisetzung sowie leicht labiler bis neutraler Luftturbulenz und flächendeckendem Regen der Intensität 1 mm/h wäre ein Gebiet bis in eine Entfernung von etwa 85 km bei einer maximalen Breite senkrecht zur Ausbreitungsrichtung von etwa 17 km (siehe Abbildung 4.8) langfristig umzusiedeln. Bei der angenommenen Windrichtung wären von der langfristigen Umsiedlung unter anderem die Städte Mannheim, Ludwigshafen, Speyer und Karlsruhe betroffen. Bei anderen Windrichtungen könnten entsprechend auch Städte wie Darmstadt, Frankfurt, Wiesbaden oder Mainz betroffen sein.

Die für das hier betrachtete Ereignis eines gezielten Flugzeugabsturzes ermittelten Folgen zeigen, dass in weit größeren Gebieten einschneidende Maßnahmen nach einer Freisetzung radioaktiver Stoffe aus dem KKW Biblis-A notwendig werden können, als dies nach den Katastrophenschutzplänen vorgesehen ist. Die Ergebnisse zeigen auch, dass bei einem tatsächlichen Ereignis mit großer und früher Freisetzung radioaktiver Stoffe kaum alle zum Schutz vor den radiologischen Folgen notwendigen Maßnahmen getroffen werden können, zum Einen weil die Zeit dazu nicht zur Verfügung steht, zum Anderen, weil mit der vorhandenen Infrastruktur ein solches Ereignis nicht bewältigt werden kann.

Unmittelbare Todesfälle durch akute Strahlenschäden wären nur in wenigen Kilometer Abstand von Biblis-A möglich, falls dort die Katastrophenschutzmaßnahmen nicht greifen würden. Die gesundheitlichen Folgen würden in Spätschäden, vor allem in Krebserkrankungen, bestehen. Von den Maßnahmen Evakuierung und Umsiedlung können Flächen in der Größenordnung von 10.000 km² betroffen sein. Ein solches Ereignis wäre daher auch mit massiven ökonomischen Schäden verbunden.

Im konkreten Ereignisfall kommen weitere Erschwernisse hinzu, die aus den hier gezeigten Ergebnissen der generischen Untersuchung nicht unmittelbar deutlich werden, auf die aber hingewiesen werden soll. Zum Einen ist die Windrichtung real nicht stabil, sondern kann sich mit der Zeit und mit der Entfernung vom Standort ändern (siehe dazu auch Abbildung 4.2). Bei Evakuierungsmaßnahmen müssen daher unter Umständen auch größere Gebiete vorsorglich in Betracht gezogen werden, als dies hier ausgewiesen ist. Zum Anderen können bei Niederschlägen lokal deutlich erhöhte Bodenkontaminationen auftreten. In einer Situation, in der Regen möglich ist, wären daher gegebenenfalls deutlich umfangreichere Vorsorgemaßnahmen zu treffen. Bei lokalen Niederschlägen kann es erforderlich werden, isoliert gelegene Gebiete umzusiedeln; das "zigarrenförmige" umzusiedelnde Gebiet der hier gezeigten Abbildungen kann daher nach einem konkreten Ereignis auch ein weit ausgedehnter "Flickenteppich" sein.

Die Größe der betroffenen Gebiete hängt sehr stark vom Quellterm, insbesondere der Freisetzung von Iod und Cäsium abhängt. In jedem Fall befinden sich aber Großstädte wie Frankfurt oder Mannheim und Ludwigshafen in einem solchen Abstand von der Anlage, dass bei dem hier betrachteten Szenario einer frühzeitigen Freisetzung radioaktiver Stoffe bei entsprechender Windrichtung einschneidende Katastrophenschutzmaßnahmen erforderlich werden. Insgesamt ist festzustellen, dass die hier getroffenen Annahmen einen realistisch möglichen Fall eines sehr schwerwiegenden Ereignisses beschreiben.

5 Zusammenfassung

Durch die Anschläge des 11. September 2001 hat sich in jüngerer Zeit die Einsicht durchgesetzt, dass sich die spezifische Bedrohungslage auch in der Bundesrepublik Deutschland verändert hat. Aus diesem Grund müssen auch bislang eher als unwahrscheinlich betrachtete terroristische Szenarien neu diskutiert werden, so speziell auch ein gezielter Absturz eines zivilen Großflugzeugs auf ein Kernkraftwerk.

Bereits am 11. Oktober 2001 wurde von der Reaktor-Sicherheitskommission festgestellt, dass der Schutzgrad der in Deutschland vorhandenen Kernkraftwerke gegenüber einem gezielten Flugzeugabsturz je nach Errichtungsbeginn bzw. Anlagenkonzept unterschiedlich ist. So wurden die ältesten heute noch in Deutschland betriebenen Kernkraftwerke ohne eine explizite Auslegung gegen einen Flugzeugabsturz errichtet. Erst bei den später errichteten Anlagen wurden Anforderungen an die Auslegung zur Beherrschung eines unfallbedingten Flugzeugabsturzes gestellt. Dabei wurde der Absturz einer schnellfliegenden Militärmaschine, zunächst eines Starfighter, später einer Phantom als Referenzflugzeuge zugrunde gelegt.

Der Absturz eines zivilen Großflugzeugs unterscheidet sich in den resultierenden Anforderungen zur Beherrschung eines solchen Ereignisses vom demjenigen einer schnellfliegenden Militärmaschine. Daher wurden in der Folge des 11. September 2001 verschiedene Untersuchungen durchgeführt, um den Schutzgrad von Kernkraftwerken bezüglich eines solchen Ereignisses zu bestimmen. Um die Bandbreite der denkbaren Ereignisse und deren Auswirkungen angemessen zu berücksichtigen müssen verschiedene Flugzeugklassen, von kleinen Verkehrsflugzeugen bis hin zu Großflugzeugen berücksichtigt werden. Weiterhin beeinflusst die angenommene Absturzgeschwindigkeit sehr stark die zu erwartenden Auswirkungen in der Anlage. Auch hier sind verschiedene realistisch mögliche Werte zu berücksichtigen.

Bei neueren deutschen Anlagen besteht aufgrund der vorhandenen Auslegung gegen den Absturz einer schnellfliegenden Militärmaschine ein hoher Schutz auch gegenüber dem Aufprall eines zivilen Großflugzeugs. Dabei kann jedoch auch bei diesen Anlagen nicht für alle Flugzeugklassen und Aufprallgeschwindigkeiten eine Beherrschung des Ereignisses nachgewiesen werden. Insbesondere bzgl. der möglichen Folgeschäden aufgrund von induzierten Erschütterungen im Inneren der Anlage bestehen hier Ungewissheiten, die eine sichere Aussage zur Beherrschbarkeit eines solchen Ereignisses verhindern.

Bei den ältesten, nicht explizit gegen Flugzeugabsturz ausgelegten Kernkraftwerken, zu denen die Anlage Biblis-A zählt, ist bei realistisch möglichen Absturzszenarien eine großflächige Zerstörung des Reaktorgebäudes nicht sicher ausgeschlossen. Durch Trümmer und Wrackteile sowie Treibstoffbränden kommt es zu weiteren Folgeschäden an der Anlage. Diese können dazu führen, dass sich ein durch die verbleibenden Sicherheitssysteme nicht mehr beherrschbarer Unfallablauf ergibt. In der Folge kann es zu einer Kernschmelze kommen. Aufgrund der Zerstörung des

Projekt

"gezielter Flugzeugabsturz"

Reaktorgebäudes und des Sicherheitsbehälters bereits durch den Flugzeugeinschlag kommt es dann zu einer frühzeitigen Freisetzung großer Mengen Radioaktivität in die Umgebung der Anlage.

Die bei einem derartigen Ereignis resultierenden Folgen in der Umgebung der Anlage lassen sich durch die notwendig werdenden Katastrophenschutzmaßnahmen abschätzen. Hierzu wurde für einen solchen Ereignisablauf die freigesetzte Menge an Radioaktivität unter der Annahme einer frühzeitigen Freisetzung bei zerstörtem Reaktorgebäude bestimmt. Grundsätzlich hängen die konkreten Auswirkungen von den Wetterbedingungen (Windstärke, Windrichtung, Niederschlagsmenge etc.) in der Umgebung ab. Für repräsentative Annahmen wurden diejenigen Flächen bestimmt, bei denen aufgrund der heute gültigen Eingreifrichtwerte in der Umgebung der Anlage eine Evakuierung sowie eine langfristige Umsiedlung der Bewohner notwendig werden würde.

Die Ergebnisse zeigen, dass es erforderlich werden kann, auch von Biblis-A sehr weit entfernt gelegene Gebiete noch zu evakuieren oder langfristig umzusiedeln. Die Größe betroffener Gebiete hängt von dem Anteil der radioaktiven Stoffe, die in die Umgebung gelangen, ab. Die meteorologischen Verhältnisse beim Ereignis, insbesondere die Windrichtung, sind für die Lage der betroffenen Gebiete entscheidend. Die gesundheitlichen Folgen würden vor allem in Spätschäden wie Krebserkrankungen bestehen. Von den Maßnahmen Evakuierung und Umsiedlung können Flächen in der Größenordnung von 10.000 km² betroffen sein. Ein solches Ereignis wäre daher auch mit massiven ökonomischen Schäden verbunden.

Literaturverzeichnis

<asce 2002=""></asce>	American Society of Civil Engineers: The Pentagon Building Performance Report. Januar 2003.
	http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build03/PDF/b03017.pdf, Stand 22.10.2007
<bfs 2004=""></bfs>	Bundesamt für Strahlenschutz: Beschreibung der gegenwärtigen Praxis zu den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke: Sicherheitskriterium 2.6: Einwirkungen von außen, Teilaspekt: Flugzeugabsturz (1976). Anhang A.10.3 zum Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, Januar 1976. Stand 12.2004.
	http://www.bfs.de/de/bfs/recht/rsh/a10_3.pdf, Stand 22.10.2007.
<bmu 1999=""></bmu>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Übersicht über Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenexposition nach Ereignissen mit nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen. (Maßnahmenkatalog). Band 1 und 2, Oktober 1999.
<bmu 2002=""></bmu>	Schutz der deutschen Kernkraftwerke vor dem Hintergrund der terroristischen Anschläge in den USA vom 11. September 2001. Zusammenfassung de GRS-Studie durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Bonn, den 27.11.2002.
	http://www.bund.net/lab/reddot2/pdf/grs_gutachten.pdf, Stand 22.10.2007
<bund 1999a=""></bund>	Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. GMBI. 1999, S. $538-569$.
<bund 1999b=""></bund>	Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden. GMBI. 1999, S. 570 – 587.
<bund 2004=""></bund>	Klaus Traube: GRS-Gutachten über die Sicherheit deutscher Atomkraftwerke: Erläuterungen des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Berlin, Februar 2004.
<dräger 2002=""></dräger>	P. Dräger: Zur Widerstandsfähigkeit von Sicherheitsbehältern für Kernkraftwerke gegen Terrorattacken mit großen Verkehrsflugzeugen. München, 21.01.2002.
	http://www.energie-fakten.de/pdf/aircrash.pdf, Stand 22.10.2007
<draxler 2003></draxler 	R.R. Draxler; G.D. Rolph: HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD. 2003. See also
	http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit_agreement.html, Stand 22.10.2007.
<grs 1980=""></grs>	Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS): Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke. Fachband 4. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1980.
<grs 1990=""></grs>	Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS): Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke. Phase B. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1990.

<Hirsch 2001> Helmut Hirsch: Gefährdung deutscher Atomkraftwerke durch den Absturz von Verkehrsflugzeugen. Hannover, November 2001.

http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/atomkraft/greenpeace_studie_gefaehrdung_akw_durch_verkehrsflugzeuge.pdf, Stand 22.10.2007.

<HSK 2003> Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen: Stellungnahme der HSK zur Sicherheit der schweizerischen Kernkraftwerke bei einem vorsätzlichen Flugzeugabsturz. HSK-AN-4626, Würenlingen, März 2003.

http://www.hsk.ch/deutsch/files/pdf/FLA-Bericht_maerz03.pdf, 22.10.2007

<Kelle et al. Alexander Kelle, Annette Schaper: Bio- und Nuklearterrorismus, Eine kriti-2001> sche Analyse der Risiken nach dem 11. September 2001. HSFK-Report 10/2001.

<NEI 2002> Nuclear Energy Institute: Deterring Terrorism: Aircraft Crash Impact Analyses Demonstrate Nuclear Power Plant's Structural Strength. Dezember 2002.

http://www.world-nuclear.org/reference/pdf/epri.pdf, Stand 22.10.2007

<RSK 1981> Reaktor-Sicherheitskommission: RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren.
3. Ausgabe vom 14. Oktober 1981.

http://www.bfs.de/de/bfs/recht/rsh/volltext/RSK_SSK_KTA/RSK_LL_gesamt_pdf, Stand 22.10.2007

<RSK 2001> Reaktor-Sicherheitskommission: Sicherheit deutscher Atomkraftwerke gegen gezielten Absturz von Großflugzeugen mit vollem Tankinhalt. Stellungnahme vom 11.10.2001. Bundesamt für Strahlenschutz, RSK-Geschäftsstelle, 01.11.2001

http://www.rskonline.de/downloads/snabsturzgroflugzeugen111001.pdf, Stand 22.10.2007

<RWE 2003> RWE Power AG: Notfallschutz für die Umgebung des Kernkraftwerks Biblis. Kraftwerk Biblis, Stand Mai 2003.

http://www.kernenergie.de/r2/documentpool/de/Gut_zu_wissen/KE_und_Sicherheit/rwe notfallschutz biblis.pdf, Stand 22.10.2007

<SSK 2004> Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen. Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heft 37, 2004.

<VDI 2001> Verein Deutscher Ingenieure: Die Sicherheitstechnische Auslegung von Kerntechnischen Anlagen in Deutschland gegen Terrorismus. VDI-Stellungnahme. 21. November 2001.

http://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/get_dateien/Sicherheitstechnische-Auslegung-KTA.pdf, Stand 22.10.2007