

**Grenzüberschreitende UVP  
gemäß Art. 7 UVP-RL  
zum  
Standortzwischenlager  
Grafenrheinfeld**

Bericht an das  
Österreichische Bundesministerium für Land- und  
Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft  
sowie an die  
Landesregierungen von Oberösterreich und Vorarlberg



Federal Environment Agency – Austria

Wien, Februar 2002

## **Projektkoordination Umweltbundesamt**

Franz Meister

## **Projektleiter**

Franz Meister

## **Autorinnen und Autoren**

Christian Baumgartner (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft)

Oda Becker (Wissenschaftliche Konsultantin, Hannover)

Andreas Frank (Institut f. Meteorologie u. Physik der Universität f. Bodenkultur, Wien)

Helmut Hirsch (Wissenschaftlicher Konsulent, Hannover)

Jürgen Kreuzsch (Gruppe Ökologie e.V., Hannover;)

Wolfgang Neumann (Wissensch. Konsulent, Gruppe Ökologie e.V., Hannover,  
Mitarbeit an Kapitel 3 u. 4)

Barbara Rappl (Österreichisches Ökologie Institut, Wien)

Michael Rost (FIROSEC GmbH, Magdeburg)

Petra Seibert (Institut f. Meteorologie u. Physik der Universität f. Bodenkultur, Wien)

Antonia Wenisch (Österreichisches Ökologie Institut, Wien)

Mit Beiträgen von:

Roman Lahodynsky (Institut für Risikoforschung der Universität Wien)

Mitarbeit bei Recherchen:

Stefan Hild (Hannover)

Der vorliegende Bericht wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Bundesländer Oberösterreich und Vorarlberg finanziert.

## **Impressum**

Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH (Federal Environment Agency Ltd.)

Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien, Austria

Eigenvervielfältigung

© Umweltbundesamt GmbH (Federal Environment Agency Ltd.), Wien, Februar 2002

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-85457-633-1

## INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis .....	3
Zusammenfassung .....	7
1 Einleitung .....	12
Rechtliche Grundlagen .....	12
2 Vollständigkeit der Unterlagen .....	14
2.1 Einleitung .....	14
2.2 Standortfragen (Kapitel 1 des SB) .....	14
2.3 Das Brennelementbehälterlager BELLA (Kapitel 2 des SB) .....	15
2.4 Organisation und Betrieb (Kapitel 3 des SB) .....	18
2.5 Sicherheitsanalyse f. d. bestimmungsgemäßen Betrieb (Kapitel 4 des SB) .....	19
2.6 Störfallanalyse und Restrisikobetrachtung (Kapitel 5 des SB) .....	20
2.7 Stilllegung (Kapitel 6 des SB) .....	23
2.8 Mängel und Unvollständigkeiten in der Umweltverträglichkeitsuntersuchung .....	23
Quellenangaben zu Kapitel 2: .....	24
3 Verfahrensbewertung .....	25
3.1 Verfügbare Zwischenlager-Konzepte .....	25
3.1.1 Vergleichende Bewertung .....	26
3.2 Erfahrungen mit der Brennelementzwischenlagerung in Behältern .....	27
3.2.1 Abschirmung der Neutronenstrahlung .....	28
3.2.2 Dichter Einschluss des radioaktiven Inventars .....	29
3.2.3 Überwachung des dichten Einschlusses .....	29
3.3 Langzeitdichtheit von Transport- und Lagerbehältern .....	30
3.3.1 Mögliche Dichtheitsprobleme .....	30
3.3.1.1 Mechanische Belastungen .....	30
3.3.1.2 Thermische Belastungen .....	31
3.3.1.3 Versprödung .....	32
3.3.1.4 Korrosion .....	32
3.3.2 Herstellung des spezifikationsgerechten Zustands des Dichtungssystems .....	33
3.3.3 Restfeuchtekriterium .....	34
3.3.4 Dichtungsmaterial .....	36
3.4 Freisetzungsüberwachung .....	36
3.5 Zwischenlagerhallen-Konzept .....	39
Quellenangaben zu Kapitel 3: .....	41

4	Sicherheit verfügbarer Lagerbehälter.....	43
4.1	Elemente des Sicherheitsnachweises für Transport- und Lagerbehälter .....	43
4.2	Verkehrsrechtlicher Sicherheitsnachweis .....	45
4.2.1	Grundsätzliche Probleme .....	45
4.2.2	Sicherheitsnachweise für CASTOR V/19 .....	46
4.2.2.1	Integrität der Gesamtkonstruktion.....	46
4.2.2.2	Bezug auf Extremtests.....	50
4.2.2.3	Sprödbrechtsicherheit.....	51
4.3	Sicherheitsnachweis für Zwischenlagerung .....	52
4.4	Flugzeugabsturz .....	52
4.5	Einwirkungen Dritter .....	55
	Quellenangaben zu Kapitel 4:.....	56
5	Abhängigkeiten KKW – Zwischenlager .....	59
5.1	Einleitung:.....	59
5.2	Infrastrukturelle und betriebliche Verknüpfung: .....	59
5.3	Verknüpfungen mit möglichen Auswirkungen auf die Sicherheit:.....	60
5.4	Bedeutung schwerer Kernkraftwerksunfälle für das Zwischenlager:.....	60
6	Externe Gefahren.....	62
6.1	Darstellung externer Gefahren im Sicherheitsbericht:.....	62
6.2	Erdbeben:.....	63
6.3	Flugzeugabsturz: .....	63
6.3.1	Darstellung im Sicherheitsbericht:.....	63
6.3.2	Grundsätzliches zum Schutz gegen Flugzeugabsturz: .....	65
6.3.3	Gefahren durch Absturz von Kampfflugzeugen: .....	65
6.3.4	Absturz von Verkehrsflugzeugen: .....	66
6.3.5	Besondere Bedeutung für den Standort Grafenrheinfeld: .....	68
6.4	Einwirkungen Dritter (terroristische Angriffe):.....	68
6.4.1	Darstellung im Sicherheitsbericht:.....	68
6.4.2	Mögliche Einwirkungen Dritter:.....	69
6.4.3	Herbeigeführter Flugzeugabsturz auf das Zwischenlager:.....	69
6.4.4	Einsatz panzerbrechender Mittel von innen: .....	70
6.4.5	Beschuss des Lagers und seiner Umgebung von außen:.....	70
6.5	Risikoerhöhende Faktoren: .....	71
6.5.1	Radioaktives Inventar:.....	71
6.5.2	Ungeklärte Endlagerung:.....	72
6.5.3	MOX-Brennelemente:.....	72

---

6.5.4 Alterungsvorgänge: .....	72
6.6 Mögliche Belastungspfade für Österreich:.....	73
Quellenangaben zu Kapitel 6:.....	73
7 Szenario: Absturz eines Verkehrsflugzeuges .....	76
7.1 Einleitung.....	76
7.2 Brandszenario .....	76
7.2.1 Branddauer.....	76
7.2.2. Flammentemperatur .....	79
7.3 Dichtungsversagen der Behälter .....	80
7.4 Ermittlung der Freisetzung .....	82
7.4.1 Cs-137 Freisetzung beim 1000 °C/3 h Feuer.....	83
7.4.2 Cs-137 Freisetzung beim 1000 °C/5 h Feuer.....	84
7.4.3 Zusammenfassung der freigesetzten Mengen:.....	84
Quellenangaben zu Kapitel 7:.....	85
8 Auswirkungen auf Österreich .....	87
8.1 Einleitung.....	87
8.2 Abschätzung der Deposition radioaktiver Stoffe nach einem Flugzeugabsturz auf das Zwischenlager.....	87
Literaturverzeichnis.....	91
Anhang .....	93
Anhang zu Kapitel 7: .....	109
1 Allgemein: .....	109
2 Grundsätzliches zu Absturz und Explosion:.....	109
3 Grundsätzliches zu Branddauer und Brandbekämpfung: .....	110
4 Treibstoffmenge: .....	111
5 Abbrandgeschwindigkeit: .....	112
6 Flammentemperatur:.....	113
7 Anzahl der betroffenen Behälter: .....	114
8 Brandfläche: .....	115
9 Thermisches Verhalten: .....	115



## ZUSAMMENFASSUNG

Das Brennelementebehälterlager Grafenrheinfeld soll am östlichen Rand des Kernkraftwerksgeländes Grafenrheinfeld errichtet werden. Der Standort liegt am linken Mainufer. Das Gelände gehört zur Gemeinde Grafenrheinfeld im Landkreis Schweinfurt, Regierungsbezirk Unterfranken. Das Stadtzentrum von Schweinfurt befindet sich in NNO-Richtung in ca. 7,5 km entfernt und die Stadt Würzburg liegt in SW-Richtung in ca. 25 km Entfernung.

Der internationale Großflughafen Frankfurt/Main befindet sich in ca. 120 km Entfernung vom Standort des geplanten Zwischenlagers. Im 10 km-Umkreis um das Zwischenlager befinden sich außerdem noch ein ziviler Flugplatz (für Flugzeuge und Helikopter mit relativ geringem Startgewicht), sowie ein Militärflugplatz. Flugverbotszonen im Umkreis von AKW-Standorten, wie es sie in vielen mittel- und osteuropäischen Ländern gibt, sind in der Bundesrepublik Deutschland nicht vorgesehen.

Für den Standort Grafenrheinfeld, sind gegenwärtig vor allem die Behältertypen CASTOR V/19 für Druckwasserreaktor-Brennelemente relevant.

Insgesamt ist für das Zwischenlager eine Kapazität von 1.050 Mg Schwermetall beantragt. Eine Reduzierung auf 800 Mg wurde angekündigt. Es lässt sich nachweisen, dass auch die reduzierte Kapazität noch um 25% größer ist, als für die vereinbarte Restlaufzeit des Reaktors nötig wäre.

Die Unterlagen, auf die sich die gegenständlichen Arbeiten zum Standort-Zwischenlager Grafenrheinfeld stützen können, sind die Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU) und der Sicherheitsbericht (SB). Detaillierte technische Angaben sind im Sicherheitsbericht zusammengestellt. Dieser ist daher als Ausgangspunkt für die Prüfung der zu bearbeitenden Fragen relevant. Im Rahmen des Verfahrens liegen keine Unterlagen vor, die über den Sicherheitsbericht hinaus gehende technische Informationen beinhalten. In Hinblick auf die Auswirkung potentieller Unfälle liefert die Umweltverträglichkeitsuntersuchung keine essentiellen Informationen.

### Lagerkonzepte

Für die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente gibt es international gegenwärtig drei Konzepte: Nasslager, Behälterlager und Blocklager. In Deutschland wird zur Zeit die Zwischenlagerung von Brennelementen an allen KKW-Standorten in Nasslagern im Reaktorgebäude durchgeführt. Für die längerfristige Zwischenlagerung von bestrahlten Brennelementen über Tage hat sich die trockene Behälterlagerung durchgesetzt.

Bei den trockenen Lagerkonzepten erfolgt die Kühlung durch einen sich natürlich einstellenden Luftzug (Konvektion). Es handelt sich also um ein passives System. Dieses gilt als weniger störfallanfällig.

Bei der trockenen Behälterlagerung werden die Brennelemente nach einer gewissen Abklingzeit im Lagerbecken des Reaktors in einen sogenannten Transport- und Lagerbehälter (derzeit unterschiedliche CASTOR-Typen) geladen und in eine Lagerhalle transportiert. Der Behälter soll dabei die Funktion übernehmen, das radioaktive Inventar über den gesamten Zwischenlagerzeitraum – vorgesehen sind bis zu 40 Jahren – einzuschließen. Hauptproblem dabei ist die Prognose des Verhaltens der Materialien, welche die Dichtheit bzw. deren Überwachung (Dichtungen, Druckschalter, Schweißnähte usw.) über die beantragte Lagerzeit gewährleisten sollen.

Das radioaktive Inventar an mittel- und langlebigen Radionukliden ist in einem Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente höher als in einem Reaktor der 1.300 MW-Klasse. Auch wenn die Lagerung von Brennelementen kein vergleichbar aktives System wie der Betrieb eines Reaktors darstellt, ist hier die Einhaltung der in der Kerntechnik üblichen Sicherheitsstandards erforderlich. Das bedeutet neben einem Mehrbarrierensystem auch eine diversitäre Überwachung von Freisetzungen radioaktiver Stoffe. In Deutschland ist gegenwärtig nur eine einfache Überwachung vorgesehen.

### **Auslegung der Lagerhalle**

In Deutschland werden für die Errichtung von Zwischenlagern das sogenannte STEAG-Konzept sowie das sogenannte WTI-Konzept verfolgt. In Grafenrheinfeld soll das WTI-Konzept umgesetzt werden.

Bei dieser Hallenausführung (geringe Decken- und Wanddicke) ist im Gegensatz zum STEAG-Konzept keine Barrierewirkung von Dach oder Wänden gegen äußere Einwirkungen bei Flugzeugabsturz, Druckwellen oder Einwirkungen Dritter vorgesehen. Das heißt, der sichere Einschluss des radioaktiven Inventars für den Fall äußerer Einwirkungen muss allein durch die Behälter gewährleistet werden.

Eine Überwachung des Austritts radioaktiver Stoffe in die Hallenatmosphäre und damit in die Umgebungsluft ist nicht vorgesehen. Eine kontinuierliche Messung der Raumluft im Lagergebäude bzw. der Abluft wäre neben der Drucküberwachung der Behälter ein diversitäres und potenziell redundantes Element in der Überwachung des Zwischenlagers. Es käme zudem dem berechtigten Interesse der Bevölkerung entgegen, möglichst umfassend und transparent über die Umweltauswirkungen des Zwischenlagers in Grafenrheinfeld informiert zu werden.

International ist eine Überwachung der Raumluft in Zwischenlagern für bestrahlte Brennelemente mit vergleichbarem Lagerkonzept durchaus üblich (Schweiz, Tschechische Republik) und somit Stand der Technik.

### **Auslegung der Lagerbehälter**

Die Langzeitdichtheit der im Standort-Zwischenlager Grafenrheinfeld gelagerten CASTOR-Behälter ist für die Republik Österreich ein wichtiges Thema, da der Zustand des Dichtsystems Auswirkungen auf Möglichkeit und Höhe von Freisetzungen bei Stör- und Unfällen haben kann.

Der Sicherheitsnachweis für die Barriereigenschaften der beantragten CASTOR-Behälter sowie für Behälter mit volumetrisch verschweißtem Deckel ist unzureichend. Bei der Bewertung von Erfahrungen können im positiven Sinn nur solche Erfahrungen berücksichtigt werden, die mit der konkret beantragten Konstellation gemacht wurden. Das heißt, Behälterbauart (CASTOR), Verschluss technik der Behälter, Brennelementtyp (DWR/SWR), Größenordnung von Wärmeentwicklung und Aktivitätsinventar sowie Beladevorgang der Behälter müssen vergleichbar sein. Diesen Erfahrungen beschränkt sich auf wenige Jahre tatsächlicher Lagerzeit.

Die integrale Zwischenlagerzeit für die bisher in Gorleben und Ahaus zwischengelagerten Behälter betrug bis Dezember 2001 ca. 50 Jahre und damit weniger als ein Promille der in der Bundesrepublik Deutschland genehmigungstechnisch vorgesehenen Lagerdauer für be-

strahlte Brennelemente von ca. 80.000 Behälterbetriebsjahren. Dies ist eine relativ geringe Erfahrung, gemessen an in der Technik allgemein üblichen Erfahrungswerten vor großtechnischer Einführung einer Technologie.

Das Deckeldichtungssystem ist technisch nicht ausgereift und musste in den letzten Jahren mehrfach verändert werden. Eine grundlegende technische Verbesserung dieses Systems ist erforderlich, ebenso wie eine verlässliche Überwachung eingelagerter Behälter.

Zum Zeitpunkt der Einlagerung von Behältern mit verschraubtem Doppeldeckelsystem muss die Leckagerate für beide Deckel praktisch Null sein ( $10^{-8} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Die Überwachung dieses dichten Einschlusses radioaktiver Stoffe in CASTOR-Behältern wird mittels einer Kontrolle des Überdruckes im Sperrraum zwischen Primär- und Sekundärdeckel des Behälters realisiert. Auch für die langjährige Funktionstüchtigkeit des Drucküberwachungssystem liegen keine Erfahrungen aus der Kerntechnik vor.

### **Wechselwirkungen von KKW und Brennelementelager**

Ein Reaktorunfall mit Kernschmelze und schwerwiegenden radioaktiven Freisetzungen – hervorgerufen etwa durch einen Flugzeugabsturz, andere Einwirkungen von Außen, oder interne Störungen – führt zwangsläufig zu schwerer radioaktiver Kontamination des gesamten Geländes und zieht damit auch das Zwischenlager in Mitleidenschaft. Die Zugänglichkeit des Lagers durch das Personal kann erschwert oder verunmöglicht werden. Die weitere Überwachung, Kontrolle und Wartung des Lagers ist damit massiv in Frage gestellt.

Ein schwerer Unfall ist in jedem Kernkraftwerk möglich, auch in einer Anlage wie Grafenrheinfeld, das zur dritten (Vor-Konvoi-) Generation der deutschen Druckwasserreaktoren, und somit zu den neueren Kernkraftwerken gehört.

Falls längerfristig ein ausreichender Zugang zu dem Zwischenlager nicht möglich ist, sind z.B. Gegenmaßnahmen bei Undichtigkeiten an Behältern nicht realisierbar und es kann zu Freisetzungen aus dem Zwischenlager kommen, die die Auswirkungen des Reaktorunfalls weiter verschlimmern.

### **Erdbeben**

Die seismischen Verhältnisse werden im Sicherheitsbericht sehr knapp dargestellt. Die dem Bemessungserdbeben zugrunde gelegte Intensität und die zugrunde gelegten Bodenbeschleunigungen werden dargestellt, ohne dass eine ansatzweise Begründung oder zumindest eine Quellenangabe geliefert wird.

Ob bzw. inwieweit für das Zwischenlager eigenständige Überlegungen zu den seismischen Verhältnissen angestellt worden sind, oder ob die (wahrscheinlich) älteren Lastannahmen für das Kernkraftwerk übernommen worden sind, ist unklar. Hier fehlt die Nachvollziehbarkeit der wesentlichen Aussagen.

Zuzustimmen ist der generellen Feststellung, dass der Standort in einer durch Erdbeben nur sehr gering gefährdeten Region liegt

## Flugzeugabsturz

Bei der Analyse externer Ereignisse wird lediglich der Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeuges betrachtet. Diese Beschränkung erscheint nicht gerechtfertigt, liegt doch der Standort Grafenrheinfeld in ca. 120 km Entfernung vom Großflughafen Frankfurt/Main.

Im Hinblick auf Trümmerlasten sowie die Einwirkung von Treibstoffbränden sind Kampfflugzeuge gegenüber Verkehrsflugzeugen in jedem Fall nicht abdeckend. Sowohl die Gesamtmasse als auch die mitgeführte Treibstoffmenge kann bei einem Verkehrsflugzeug um einen Faktor zehn und mehr höher liegen.

Der Absturz eines Verkehrsflugzeuges und daraus möglicherweise resultierenden Brände bei hoher Temperatur und langer Dauer werden bei der Sicherheitsanalyse von Brennelement-Zwischenlagern bisher ausgeschlossen. Aufgrund der nicht erfolgten Gebäudeauslegung gegen Flugzeugabsturz ist gleichwohl in Teilen des Lagerbereiches ein Kerosinbrand möglich, der deutlich höhere Lasteinträge verursachen kann als die für „Standard“-Brände bei Transportunfällen unterstellten 800 °C über 30 Minuten bzw. der im Sicherheitsbericht angenommenen 600 °C über eine Stunde. Diese Daten sind für das zu untersuchende Brandereignis beim Absturz eines Verkehrsflugzeugs nicht ausreichend konservativ gewählt. Bei Treibstoffmengen wie sie in großen Flugzeugen mitgeführt werden sind mehrstündige Brände zu erwarten, bei denen auch höhere Temperaturen erreicht werden.

Auch bei den unterstellten Belastungen ist ein vollständiger Integritätsverlust des CASTOR V/19 ist nicht zu erwarten. Die Freisetzung aus dem Behälter erfolgt ausschließlich über den Dichtungsbereich.

Für die Ermittlung der Freisetzung von Cs-137 für ein Feuer mit einer Dauer von 5 Stunden bei 1000 °C Flammentemperatur ist davon auszugehen, dass alle Dichtungen der betroffenen Anzahl der Behälter versagen. Insgesamt ergeben sich für verschiedene Unfallszenarien folgende Freisetzungen an Cäsium-137:

*Tabelle 1: Quellterme für die Untersuchung potentieller Auswirkungen in Österreich infolge eines Flugzeugabsturz auf das Zwischenlager Grafenrheinfeld*

	Szenario I	Szenario II	Szenario IIa
Freisetzung innerhalb der ersten 10 h	90 TBq	600 TBq	1200 TBq
Freisetzung innerhalb der ersten 24 h	120 TBq	750 TBq	1500 TBq

Szenario I: Feuer mit 1000 °C für 3 Stunden, 36 Behälter im Feuer (50 % werden undicht)

Szenario II: Feuer mit 1000 °C für 5 Stunden, 20 Behälter im Feuer (100 % werden undicht)

Szenario IIa: Wie II, höhere Temperaturen im Behälterinneren angenommen

Zur Abschätzung der potentiellen Auswirkungen auf Österreich wurden anhand realistischer Wettersituationen eigene Untersuchungen angestellt, wobei für den Quellterm die Ergebnisse von Szenario IIa verwendet wurden.

Obwohl die Entfernung vom Standort Grafenrheinfeld zum nächstgelegenen Punkt der österreichischen Grenze 270 km beträgt, könnten Gebiete in Österreich in einem Viertel der Fälle

mit radioaktiven Stoffen aus dem Zwischenlager kontaminiert werden. Die dabei maximal auftretende Deposition von Cäsium-137 wurde mit  $65 \text{ kBq/m}^2$  errechnet, was etwa dem Dreifachen der mittleren Kontamination in Österreich nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl gleichkommt ( $21 \text{ kBq/m}^2$ ).

Bei dieser Belastung (maximale Dosisleistung  $0,44 \text{ } \mu\text{Sv/h}$ ) wäre entsprechend den österreichischen Rahmenempfehlungen für den Strahlenschutz Warnpegel 2 erreicht: ( $>0,3 \text{ } \mu\text{Sv/h}$ , Gefährdungsstufe 1). Auch in diesem Fall besteht keine Gesundheitsgefahr für die Gesamtbevölkerung, aber Maßnahmen zum Schutz besonderer Risikogruppen (vor allem Kleinkinder) sind angezeigt:

- Festlegung von Interventionsgrenzwerten (für Kindernahrung),
- Aufforderung zum Konsumverzicht für bestimmte Nahrungsmittel (Pilze, saisonbedingt Gemüse und Obst)
- eventuell Weideverbot .

## 1 EINLEITUNG

### Rechtliche Grundlagen

Gemäß § 6 i.V.m. § 23 des deutschen Atomgesetzes i.d.F. vom 15. Juli 1985 (dBGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 27. Juli 2001 (dBGBl. I S. 1950), ist für die Aufbewahrung von Kernbrennstoffen außerhalb der staatlichen Verwahrung eine Genehmigung des Bundesamtes für Strahlenschutz erforderlich. Solche Genehmigungsverfahren laufen derzeit für die Standortzwischenlager in Biblis, Grafenrheinfeld, Neckarwestheim und Philippsburg.

Gemäß § 3 i.V.m. Anlage 1 des deutschen Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes vom 12. Februar 1990 (dBGBl. I S. 205, UVPG), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 27. Juli 2001 (dBGBl. I S. 1950), ist für diese Vorhaben eine UVP durchzuführen.

Für die Errichtung und den Betrieb der Zwischenlagers ist außerdem eine baurechtliche Genehmigung durch andere Behörden erforderlich, federführende Behörde für die Durchführung des UVP-Verfahrens ist jedoch gemäß § 14 Abs. 1 UVPG das Bundesamt für Strahlenschutz.

Gemäß Art. 7 UVP-Richtlinie 85/3378/EWG i.d.g.F. (die das Übereinkommen über die Umweltverträglichkeitsprüfung im grenzüberschreitenden Rahmen = Espoo-Konvention, öBGBl. III Nr. 201/1997, für den EU-Bereich umsetzt) hat ein Staat ein Vorhaben zu notifizieren, wenn ein Mitgliedstaat, der möglicherweise erheblich davon betroffen ist, dies verlangt. Österreich hat ein solches Verlangen gestellt, nachdem es von den laufenden Genehmigungsverfahren erfahren hat. Mit Notifizierung der Vorhaben wurden Verfahren nach Art. 7 der UVP-Richtlinie eingeleitet.

Der Öffentlichkeit des betroffenen Staates ist in diesem Fall dieselbe Möglichkeit zur Stellungnahme zu geben wie der Öffentlichkeit des Staates, in dem das Vorhaben verwirklicht werden soll. Für die Beteiligung der österreichischen Öffentlichkeit sind daher die entsprechenden deutschen Verfahrensvorschriften relevant. Die §§ 4 bis 7a der Atomrechtlichen Verfahrensverordnung (AtVfV) i.d.F. der Bekanntmachung vom 3. Februar 1995 (dBGBl. I S. 180), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 27. Juli 2001 (dBGBl. I S. 1950), enthalten nähere Regelungen zum atomrechtlichen Genehmigungsverfahren. Demnach sind der Genehmigungsantrag, eine Kurzbeschreibung des Vorhabens, der Sicherheitsbericht und die Umweltverträglichkeitsuntersuchung während einer Frist von zwei Monaten öffentlich aufzulegen. In dieser Zeit kann jedermann Einwendungen dazu erheben. Frühestens einen Monat nach Ende der Auflage ist ein Erörterungstermin abzuhalten.

Gemäß § 10 Abs. 6 des österreichischen Bundesgesetzes über die Prüfung der Umweltverträglichkeit – UVP-G 2000, BGBl. Nr. 697/1993 i.d.F. BGBl. I Nr. 108/2001, ist für die Öffentlichkeitsbeteiligung in Österreich die betroffene Landesregierung zuständig. Einzelheiten der Auflage und Kundmachung regelt § 9 UVP-G 2000.

Die Unterlagen wurden entsprechend möglicher spezifischer Betroffenheit in den Bundesländern Oberösterreich, Salzburg und Vorarlberg aufgelegt. Jedermann konnte innerhalb von zwei Monaten zu den Unterlagen Stellung nehmen und beim Bundesamt für Strahlenschutz Einwendungen erheben.

Die vorliegende Stellungnahme wurde für das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft sowie die Bundesländer Oberösterreich und Vorarlberg ausgearbeitet und wird dem BfS übergeben.

Der weitere Ablauf der Verfahren obliegt der Vereinbarung zwischen den zuständigen Behörden Deutschlands und Österreichs. Auf die Durchführung eines Erörterungstermins für

die österreichischen EinwenderInnen werden Konsultationen über die Vorhaben zwischen Deutschland und Österreich folgen.

Das Ergebnis der Verfahren einschließlich der Konsultationen sind bei der Entscheidung der deutschen Behörden über die Genehmigungsanträge zu berücksichtigen.

## 2 VOLLSTÄNDIGKEIT DER UNTERLAGEN

### 2.1 Einleitung

Die Unterlagen, auf die sich die gegenständlichen Arbeiten zum Standort-Zwischenlager Grafenrheinfeld stützen können, sind die Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU) und der Sicherheitsbericht (SB).

Detaillierte technische Angaben sind im Sicherheitsbericht zusammengestellt. Dieser ist daher als Ausgangspunkt für die Prüfung der zu bearbeitenden Fragen relevant. Im Rahmen des Verfahrens liegen keine Unterlagen vor, die über den Sicherheitsbericht hinaus gehende technische Informationen beinhalten.

Die Umweltverträglichkeitsuntersuchung kann dagegen kaum essentielle Informationen liefern. Die technische Darstellung, insb. auch die Diskussion von Störfällen bleibt hinter der Darstellung im Sicherheitsbericht zurück; auf diesen wird explizit als Hintergrundinformation verwiesen.

Weiterhin ist anzumerken, dass der Untersuchungsraum der Umweltauswirkungen in der UVU in keinem Fall über deutsches Staatsgebiet hinaus. Den Schlüssel für diese Festlegung stellen die technischen Ausführungen im SB dar.

In diesem Abschnitt wird daher der Frage nachgegangen, inwieweit der Sicherheitsbericht und die Umweltverträglichkeitsuntersuchung als angemessene Grundlagen für das Verfahren angesehen werden können und inwieweit diese Unterlagen das Vorhaben in seinen technischen Aspekten und im Hinblick auf seine Umweltauswirkungen insgesamt angemessen und ausreichend genau beschreiben.

### 2.2 Standortfragen (Kapitel 1 des SB)

In Kapitel 1 des Sicherheitsberichtes wird der Standort relativ ausführlich beschrieben. Die dort gemachten Angaben zu geografischer Lage, Besiedlung, Boden- und Wassernutzung u.a. können im Rahmen der gegenständlichen Arbeiten nicht im Einzelnen geprüft und diskutiert werden.

Im Hinblick auf die in anderen Abschnitten des SB erfolgende Bewertung von Einwirkungen von Außen weist das Kapitel 2 ungeachtet der Ausführlichkeit in vielen Punkten gravierende Lücken auf:

- Die Angaben zum Flugverkehr in Abschnitt 1.5 Flugverkehrs sind äußerst mangelhaft. Es wird lediglich der 10 km-Umkreis betrachtet. Es wird nicht erwähnt, dass sich in ca. 120 km Entfernung vom Standort der internationale Großflughafen Frankfurt/Main befindet.
- Die Darstellung der geologischen und tektonischen Verhältnisse am Standort in Kapitel 1.7 des Sicherheitsberichtes ist unzureichend. Sie beschränkt sich auf die Beschreibung dreier sogenannter „Bodenschichten“ und den Hinweis auf das Fehlen tektonischer Schwächelinien und Verwerfungen am Standort. Die erwähnten Bohrungen sind nicht dokumentiert.

Es fehlen grundlegende Angaben, die ein Sachverhaltsverständnis überhaupt erst ermöglichen, so z. B. zur stratigraphischen Einordnung der Schichten, zu den Lagerungsverhältnissen oder zu den genauen Mächtigkeiten. Zudem werden keinerlei Quellenhinweise gegeben, und erläuternde Abbildungen fehlen. Wegen der unzureichenden Sachverhaltsdarstellung können Aussagen wie jene zum Fehlen tektonischer Schwächelinien

und Verwerfungen oder auch größerer Auslaugungshohlräume lediglich als bloße Behauptungen angesehen werden.

- Die Darstellung der Grundwasserverhältnisse in Kapitel 1.8.2 des Sicherheitsberichtes ist nur bedingt nachvollziehbar. Schon von der Mächtigkeit des Grundwasserleiters her erscheint das Grundwasser am Standort als bedeutendes Schutzgut und würde eine ausführlichere Behandlung erfordern. Zur mangelnden Klarheit der Darstellung trägt das Fehlen erläuternder Abbildungen oder weiterführender Quellenangaben bei. Insbesondere der Zusammenhang zwischen dem Wasserspiegel des Mains und der Lage des Grundwasserspiegels (sowie die dadurch ggf. veränderbaren Grundwasserfließrichtungen) wird nicht erkennbar. Gleiches gilt für die tatsächliche Ausdehnung des Grundwasserkörpers und einen eventuellen hydrogeologischen Stockwerksbau. Völlig unklar bleiben Vorkommen und Bedeutung des artesisch aufsteigenden Tiefengrundwassers (steigt dies in dem oberflächennahen Porenaquifer auf, existiert ein tiefer liegender Kluftaquifer?).
- Die seismischen Verhältnisse werden nur sehr knapp behandelt. Es wird nicht dargelegt, aus welchen historischen Ereignissen und anhand welcher konkreter Überlegungen das Bemessungserdbeben (Intensität und maximal auftretende Beschleunigungen) abgeleitet wurde (SB Abschnitt 1.9).

## 2.3 Das Brennelementbehälterlager BELLA (Kapitel 2 des SB)

### Abschnitte 2.1 bis 2.3:

Die Abschnitte 2.1, 2.2 und 2.3 befassen sich mit Zusammenfassung, Auslegungsanforderungen und Qualitätssicherungsgrundsätzen. Sie haben allgemeinen Charakter und brauchen hier nicht weiter diskutiert zu werden.

Anzumerken ist allerdings, dass lt. 2.2.4 die Behandlung möglicher Einwirkungen Dritter auf das Zwischenlager vollständig einem gesonderten Bericht vorbehalten bleibt, der nicht zur Verfügung steht. Daher war eine Überprüfung dieses Punktes nicht im angemessenen Detail möglich. Insbesondere konnte nicht erhoben werden, inwieweit die Anforderungen der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA, 1999) erfüllt werden bzw. deren Erfüllung nachgewiesen wird.

Angesichts der großen Bedeutung derartiger Einwirkungen entspricht es einerseits auch einer angemessenen und verantwortungsvollen Vorgehensweise, ihre detaillierte Diskussion, insb. auch die Diskussion der Gegenmaßnahmen, im Rahmen eines vertraulichen Berichtes abzuhandeln.

Andererseits bleibt die Behandlung möglicher Auswirkungen des Zwischenlagers jedoch unvollständig, wenn nicht in allgemeiner Form auf die Auswirkungen von Einwirkungen Dritter eingegangen wird. (Beispiele: gezielter Absturz eines Flugzeuges auf das Zwischenlager, Beschuss desselben, Detonationseinwirkungen oder Eindringen in das Lager mit dem Ziel, Behälter zu beschädigen bzw. Konfigurationen zu verändern) Speziell als auslösende Ereignisse von Störfällen im Zwischenlager, die radiologische Auswirkungen auf Regionen in größerer Entfernung haben können, sind derartige Vorgänge von größter Bedeutung.

Dabei wäre darauf zu achten, dass keine Informationen gegeben werden, die Anleitungscharakter haben könnten und nicht ohnehin öffentlich zugänglich sind – eine erforderliche Vorichtsmaßnahme, die eine Darstellung im Sicherheitsbericht aber nicht verhindert hätte.

Dies wird belegt durch die Dokumentation der Umweltauswirkungen des Zwischenlagers Dukovany (Tschechische Republik), die in Kapitel A.10 einen eigenen Abschnitt zu den Sicherungsmaßnahmen enthält, in dem Punkte wie elektronische Sicherungssysteme und Zugangskontrollen angesprochen werden (CEZ, 1998). Allerdings sind diese Angaben lediglich für den Fall relevant, dass Täter versuchen, in das Zwischenlager einzudringen.

#### Abschnitt 2.4 – Beschreibung des Brennelementlagers:

Im Unterabschnitt 2.4.4 fehlen genaue Angaben, welche Maßnahmen nach Stilllegung des Kernkraftwerks am Standort ergriffen werden sollen. Die Frage der Stilllegung wird zwar angesprochen; dies erfolgt jedoch in sehr allgemeiner Form. Die einzelnen Funktionen, die gewährleistet sein müssen, werden kurz aufgelistet und summarisch behandelt. Es wäre zu klären, inwieweit die Erörterung dieser Sachverhalte im Zusammenhang mit der Stilllegung des Kernkraftwerks erfolgen kann, und inwieweit sie bereits zum jetzigen Zeitpunkt erforderlich ist.

#### Abschnitt 2.5 – Lagergebäude:

- Die angegebenen Flächen der Lagerbereiche sind aus den Angaben zu den Abmessungen des Gebäudes nicht nachvollziehbar.
- Die Gestaltung des Ausganges des Kontrollbereiches wird nicht genauer beschrieben. Es bleibt offen, wie im Einzelnen verhindert wird, dass radioaktives Material aus dem Lager gebracht wird.
- Es fehlen genauere Angaben zu Boden und Fundamenten, insb. zu Toleranzen, kleinen Unebenheiten und möglichem geringfügigem Gefälle des Bodens der Lagerhallen.

#### Abschnitt 2.6 – Technische Anlagen:

- Hier – oder an anderer geeigneter Stelle – wären auch die Anlagen und Geräte zu beschreiben, die bei der Auslagerung der Behälter aus dem Kernkraftwerk und beim internen Transport eingesetzt werden.
- Die Begrenzung der Hubhöhe in der Kransteuerung wird nicht beschrieben – sie findet lediglich Erwähnung. Bei den Angaben zur Hubhöhe bleibt daher insgesamt offen, ob es sich dabei um das technisch maximal Mögliche (ohne Hubhöhenbegrenzung) oder um das unter Berücksichtigung der Hubhöhenbegrenzung maximal Mögliche handelt.
- Der Normal- und Notstromversorgung wird eine besondere sicherheitstechnische Bedeutung abgesprochen, obgleich diese für Behälterüberwachung, Brandmeldeeinrichtungen und die Systeme zur Anlagensicherung erforderlich ist.
- Die Beschreibung der Drucküberwachung bleibt vage. Das System wird nicht genau beschrieben, der Referenzdruck wird nicht angegeben. Es wird angegeben, in Zukunft würden statt Druckschaltern auch Druckaufnehmer eingesetzt werden. Es bleibt offen, wann dies erfolgen soll und nach welchen Kriterien über den Einsatz von Druckaufnehmern entschieden wird.
- Meldungen der Behälterüberwachung werden in die Warte im Schaltanlagegebäude des Kernkraftwerkes geführt. Die Rolle des speziellen Raumes für die Behälterüberwachung im Obergeschoss des Zwischenlagers (lt. Abb. 2.5-2 SB) bleibt unklar. Soll dieser Raum erst nach der Stilllegung des Kernkraftwerks genutzt werden?

- Brandlasten werden nicht angegeben. Brandmeldeeinrichtungen und Löschsysteme werden lediglich erwähnt, nicht im Detail beschrieben.

#### Abschnitt 2.7 – Transport- und Lagerbehälter:

- Es wird nicht dargelegt, wie vorgegangen wird, falls ein Behälter während der Lagerzeit (z.B. aufgrund neuer Erkenntnisse) seine Typ B(U)-Zulassung verliert.
- Die einzulagernden Behältertypen werden nicht verbindlich festgelegt. Es werden lediglich Behältertypgruppen angegeben, zu denen jeweils beispielhaft ein bestimmter Behältertyp beschrieben wird.
- Die beispielhaft behandelten Behältertypen werden nicht genau beschrieben. Es werden im Wesentlichen lediglich die Abmessungen (Länge und Durchmesser) angegeben, und diese teilweise lediglich als ungefähre Richtwerte. Der Aufbau der Behälter wird skizzenhaft dargestellt. Am genauesten sind noch die Behälter der CASTOR-Familie beschrieben. Präzise Angaben z.B. zum Moderator-Material (für das lediglich an einer Stelle Beispiele angeführt werden) und der Größe der Bohrungen für dieses fehlen aber in allen Fällen.
- Es wird nicht ausgesagt, welche Behältertypen in welchem Ausmaß zum Einsatz kommen sollen, und in welcher zeitlichen Abfolge. Aufgrund des bisherigen Einsatzes und der Verfügbarkeit von Behältern ist davon auszugehen, dass zunächst die Behälter CASTOR V/19 zum Einsatz gelangen. Dieser Punkt hätte jedoch im Sicherheitsbericht angesprochen werden müssen.

Hinsichtlich der Auslegung von Transport- und Lagerbehältern sind für die Sicherheitsbeurteilung folgende Punkte besonders wichtig:

- Genaue Angaben zum Dichtungssystem (Material der Dichtungen, eingestellter Druck im Deckelzwischenraum) fehlen.
- Genaue Angaben zu den Deckeln (Größe der Durchführungen, Schweißverfahren beim Fügedeckel) fehlen weitgehend, ebenso zu Schutzplatte (Abmessungen, Material der Elastomerdichtungen, Größe der Durchführungen).
- Genaue Angaben zum Tragkorb (welcher Werkstoff, wo werden die Al- und Cu-Elemente eingesetzt) fehlen.
- Genaue Angaben zu den Tragzapfen (Maße, wie sind sie angeschraubt) fehlen.

#### Abschnitt 2.8 – Behälterinventare:

- Das nuklidspezifische Gesamtinventar wird nicht als sicherheitstechnisch relevante Eigenschaft angegeben (wäre aber bei Unfällen relevant).
- Es fehlen genaue Inventarangaben für Uran-, WAU- und MOX-Brennelemente für verschiedene Anfangszusammensetzungen und Abbrände. Lediglich pauschale Größen bzw. Angaben zu einigen wenigen flüchtigen Nukliden werden gemacht.
- Die durchgeführten Abbrand- und Kritikalitätsrechnungen werden nicht genau beschrieben (Angabe der benutzten Codes).
- Die Typen von Nicht-Standard-Brennelementen werden zwar aufgelistet, aber nicht genauer beschrieben. Es wird nicht angegeben, in welcher Zahl derartige Brennelemente zu erwarten sind.

### Abschnitt 2.9 – Lagerbelegung:

- Es wird angegeben, dass die zulässigen Temperaturen für Behälter und Beton eingehalten werden, ohne dies jedoch belastbar zu begründen (dieser Punkt wird auch in Abschnitt 4.3 des SB behandelt, allerdings auch dort mangelhaft, s. unten).

## **2.4 Organisation und Betrieb (Kapitel 3 des SB)**

### Kapitel 3 – Allgemein:

Ein wesentlicher Teil dieses Kapitels wäre der Punkt ‚Inbetriebnahme‘. Eine ausführliche Beschreibung der Inbetriebnahme mit ihren verschiedenen Phasen fehlt jedoch im SB.

### Abschnitt 3.1 – Organisation:

- Fragen des Personaleinsatzes werden nur in sehr allgemeiner Form behandelt, insb. wird das Ineinandergreifen des Einsatzes in den Kernkraftwerken bzw. im Zwischenlager nicht dargestellt. (Wann werden welche Kräfte aus welchen Fachbereichen wo eingesetzt; wo könnten Engpässe entstehen, wie sollen diese vermieden werden?) Zumindest wäre darzustellen gewesen, wie viele Personen in welchen Zeiträumen im Zwischenlager eingesetzt sind, wie in Abschnitt C.V der Dokumentation zu Dukovany (CEZ, 1998).
- Es wird aufgelistet, welche Werte für jeden Behälter nachzuweisen sind. Die zulässigen (meist Maximal-) Werte werden dabei aber z.T. weder hier noch an anderer Stelle im Sicherheitsbericht angegeben. Dies betrifft wichtige Daten wie Restfeuchte und Kontamination.

### Abschnitt 3.2 – Behälterlagerung:

- Die Vorgänge bei der Auslagerung aus dem Kernkraftwerk und dem internen Transport auf dem Kraftwerksgelände werden nicht beschrieben, obgleich sie untrennbar mit dem Betrieb des Zwischenlagers zusammenhängen. Die Trennung des Transportvorganges vom Einlagerungsvorgang ist insbesondere wegen der auszuführenden Übergabefunktionen unangebracht.
- Die bei Ein- und Auslagerung durchgeführten Prüfungen werden nicht genauer beschrieben. So bleibt z.B. die Frage offen, an wie vielen Stellen Kontaminationsmessungen durchgeführt werden. Nach welchen Kriterien die Transportfreigaben und die Einlagerungsfreigaben erteilt werden, ist nicht ersichtlich.

### Abschnitt 3.3 – Instandsetzungsarbeiten an Behältern:

- Die im Falle einer Störmeldung des Behälterüberwachungssystems durchzuführende Dichtheitsprüfung am Sekundärdeckel wird nicht genauer beschrieben. Entsprechende Reparaturanweisungen sind zur Sicherheitsbeurteilung notwendig.
- Bei einer Undichtheit des Primärdeckels soll entweder in der Behälterwartungsstation ein Fügedeckel aufgebracht werden, oder der Behälter wird zur Reparatur des Primärdeckels in das Reaktorgebäude geschafft. Auch der Abtransport in eine andere kerntechnische Anlage ist möglich. Es wird nicht dargelegt, nach welchen Kriterien im konkreten Fall eine

dieser Varianten ausgewählt wird und um welche andere kerntechnische Anlage es sich ggf. handeln könnte.

## 2.5 Sicherheitsanalyse f. d. bestimmungsgemäßen Betrieb (Kapitel 4 des SB)

### Abschnitt 4.1 – Behälterauslegung:

- Bei den Abschirmrechnungen wird nicht angegeben, mit welchen Programmen gearbeitet wurde.
- Genaue (quantitative) Kriterien für den Einsatz von heterogenen Beladestrategien werden nicht angegeben.
- Es wird festgestellt, in über 25 Jahre laufenden Langzeitversuchen hätten sich keine Hinweise auf ein systematisches Versagen der Dichtheit des verschraubten Doppeldeckel-Dichtsystems der Behälter ergeben. Die Belastbarkeit dieser Aussage hängt wesentlich davon ab, um wie viele Dichtungen es sich bei diesen Versuchen handelte und unter welchen Bedingungen sie durchgeführt wurden. Diese Angaben fehlen. Welche Arten von Einzelversagen stattgefunden haben und welche Reparaturmaßnahmen in diesen Fällen durchgeführt wurden, sollte zur Beurteilung ebenfalls berichtet werden.
- Weiterhin wird festgestellt, dass seit Mitte der 80er Jahre mehrere Hundert beladener Behälter im In- und Ausland eingelagert worden seien. Systematisches Dichtungsversagen sei dabei nicht eingetreten. Es fehlt die Angabe, um welche Dichtungssysteme es sich dabei handelte und inwieweit Erfahrungen mit diesen Dichtungssystemen auf die im Zwischenlager Grafenrheinfeld vorgesehenen Behälter übertragen werden können. Ebenso fehlt die Angabe, für wie viele Jahre die einzelnen Behälter jeweils gelagert wurden.
- Die Bedeutung der Materialauswahl für die Metaldichtungen sowie das Restfeuchteproblem werden angesprochen. Der bei den Dichtungen tatsächlich eingesetzte Werkstoff wird jedoch nicht erwähnt, ebenso wenig quantitative Kriterien für die Restfeuchte.
- Es wird nicht angegeben, in welchen Mengen wasserbindende Mittel und Katalysatoren eingesetzt werden und an welchen Stellen im Behälter diese sich befinden. Weiterhin wird nicht ausgeführt, welche Erfahrungen mit dem Einsatz dieser Mittel bzw. Katalysatoren bei der Trockenlagerung von Brennelementen in Behältern bisher gemacht wurden.
- Es gibt keine belastbaren Angaben dazu, welche Mengen welcher Spaltprodukte in den Behälterinnenraum freigesetzt werden. (An anderer Stelle, in Abschnitt 2.8, werden in einer Tabelle lediglich die Gesamtinventare verschiedener flüchtiger Radionuklide angegeben. Freisetzunganteile für die flüchtigen Nuklide werden im Abschnitt 4.1 gegeben, jedoch ohne stichhaltige Begründung, s. unten)
- Die Freisetzunganteile flüchtiger Radionuklide aus dem Kernbrennstoff werden zwar angegeben, aber nicht begründet. Eine belastbare Begründung wäre an dieser Stelle unverzichtbar, da die angegebenen Anteile z.T. drastisch niedriger liegen als Anteile, die in vergleichbaren Verfahren in Deutschland angenommen wurden. Konkret werden im SB für H-3, Kr-85 und J-129 folgende Anteile aufgelistet: 1 % / 10 % / 0,01 %. Im Sicherheitsbericht zum Standort-Zwischenlager Unterweser dagegen sind die entsprechenden Anteile 50 % / 10 % / 1 % (KKU, 2000), in den Gutachten zum Zwischenlager Gorleben 30 % / 20 % / 10 % (TÜV, 1995).

- Die Kritikalitätsberechnungen, mit denen die Sicherstellung der Unterkritikalität nachgewiesen werden soll, werden nicht beschrieben. Es wird nicht angegeben, welche Programme dabei zum Einsatz kamen. Die angenommenen Deformationen des Tragkorbes werden nicht dargestellt. Es wird ausgeführt, dass den Berechnungen entweder unbestrahlte Brennelemente oder Brennelemente mit einem Mindestabbrand zugrunde gelegt wurden. Es wird jedoch nicht dargelegt, in welchen Fällen welche dieser Alternativen gewählt wurde.
- Die Berechnungen zur Kriechdehnung der Hüllrohre werden nicht beschrieben. Die Annahmen und die verwendeten Rechenmethoden bleiben im Unklaren.

#### Abschnitt 4.2 – radioaktive Stoffe und Strahlenschutzmaßnahmen:

- Die Ermittlung der Strahlenbelastung des Personals im Zwischenlager wird nicht dokumentiert.
- Die Berechnung der Strahlenbelastung in der Umgebung des Zwischenlagers wird nicht genau dargestellt, die dafür eingesetzten Rechenprogramme werden nicht genannt.
- Die Berechnung der Strahlenbelastung aufgrund Freisetzungen radioaktiver Stoffe wird nicht im Einzelnen dargestellt (Annahmen, Methodik).
- Es wird ausgeführt, radioaktive Betriebsabfälle würden nur in Ausnahmefällen in geringen Mengen anfallen. Es wird kurz und qualitativ beschrieben, welcher Art die anfallenden Abfälle sein können. Quantitative Angaben fehlen. Das Gleiche gilt für radioaktive Abwässer. Dass Abschätzungen einer Obergrenze für die Abfallmenge durchaus möglich sind, zeigt Abschnitt B.II.3 der Dokumentation zu Dukovany (CEZ, 1998).
- Die Strahlungsüberwachung von Personen und Sachgütern wird sehr summarisch beschrieben. Es bleibt z.B. offen, in welchen Fällen bei Sachgütern Wischtests, in welchen tragbare Kontaminationsmessgeräte eingesetzt werden.
- Die Umgebungsüberwachung wird ebenfalls nur summarisch beschrieben. Es fehlen die Angaben, welche Messbereiche und welche Genauigkeit die eingesetzten Messgeräte aufweisen. Auf die Messstellen und die Probenahmen im Rahmen der Umgebungsüberwachung des Kernkraftwerks Grafenrheinfeld wird lediglich kurz verwiesen.

#### Abschnitt 4.3 – Abfuhr der Wärme aus den Lagerbereichen:

- Die Berechnungen zu Wärmeabfuhr, Luft- und Betontemperaturen werden nicht genauer dargestellt. Die eingesetzten Rechenmethoden werden nicht offengelegt.
- Im Hinblick auf die Lufttemperaturen wird nicht belegt, dass die Ergebnisse von Versuchen mit einem Modell im Maßstab 1:5, die im SB erwähnt werden, auf die realen Verhältnisse übertragbar sind.

## **2.6 Störfallanalyse und Restrisikobetrachtung (Kapitel 5 des SB)**

### Abschnitt 5.1 – Vorgehensweise:

Dieser Abschnitt ist kurz und allgemein und hat einleitenden Charakter. Die betrachteten Ereignisse werden aufgelistet.

### Abschnitt 5.2 – Behälterprüfungen:

Auch dieser Abschnitt hat einleitenden Charakter und stellt die Behälterprüfungen dar, von denen bei der Behandlung von Störfällen und Restrisikoereignissen Kredit genommen wird.

### Abschnitt 5.3 – Störfallanalyse:

- Mögliche Störfälle bei der Verladung der Behälter aus dem Kernkraftwerk, bei der Fallhöhen von bis zu ca. 19 m möglich sind, werden nicht behandelt.
- Mögliche Störfälle beim internen Transport auf dem Gelände von Kraftwerken und Zwischenlager werden nicht behandelt.
- Als maximale Fallhöhe beim Einlagern in das Zwischenlager werden 3 m angegeben. Dies wird nicht näher ausgeführt. Insbesondere bleibt offen, ob es sich dabei um das technisch maximal Mögliche (ohne die eingebaute Hubhöhenbegrenzung) oder um das unter Berücksichtigung der Hubhöhenbegrenzung maximal Mögliche handelt.
- Der Störfall ‚Anprall eines Behälter‘ wird nicht näher beschrieben, insbesondere wird die angenommene maximale Belastung nicht angegeben.
- Der Fall eines Absturzes ohne Bodenstoßdämpfer wird nicht diskutiert; es wird nicht angegeben, welche Lasten in diesem Falle auftreten (vgl. Abschnitt 4.3).
- Im Zusammenhang mit den thermischen Einwirkungen bei Bränden im Lager werden die vorhandenen Brandlasten nicht angegeben.
- Im Zusammenhang mit Handhabungsfehlern wird darauf verwiesen, dass Fehlbedienungen durch die automatische Steuerung vermieden werden. Es fehlt die Diskussion der Möglichkeiten, dass diese Steuerung ausfällt oder überbrückt wird. Ebenso wird nicht diskutiert, welche Zeitverzögerung für Eingriffe und Schalthandlungen noch zulässig ist.
- Im Zusammenhang mit dem Ausfall der Stromversorgung wird nicht im Einzelnen diskutiert und dargelegt, für wie lange ein solcher Ausfall zu keinen Beeinträchtigungen der Sicherheit führt.
- Auch beim Ausfall der Leittechnik wird der Frage nicht nachgegangen, für wie lange ein solcher Ausfall zu keinen Beeinträchtigungen der Sicherheit führt.
- Die Methodik, mit der die Festlegung des Bemessungserdbebens mit erfolgte, ist nicht dokumentiert; damit bleibt offen, ob diese dem neuesten Stand entspricht. Darüber hinaus fehlen bei der Abhandlung der Erdbeben noch weitere Angaben, beispielsweise die möglichen Brandlasten bei einem Folgebrand.
- Bei der Diskussion des Störfalles ‚Hochwasser‘ werden bereits vorhersehbare Änderungen nicht berücksichtigt. Insbesondere wird die Frage nicht behandelt, inwieweit die globalen Klimaveränderungen sowie sonstige zu erwartende Veränderungen in den nächsten Jahrzehnten (weitere Versiegelung von Flächen, Entwaldung ...) im Laufe der vierzigjährigen Lagerzeit zu einer Veränderung der Häufigkeit und Höhe von Hochwassern führen könnte und inwieweit sich dies auf Maßnahmen des Hochwasserschutzes im Allgemeinen und den Hochwasserschutz des Zwischenlagers im Besonderen auswirken könnte.
- Im Zusammenhang mit dem Störfall ‚Hochwasser‘ wird nicht auf die Möglichkeit der Beschädigung von stromaufwärts gelegenen Staustufen (beispielsweise durch natürliche Einwirkungen oder terroristische Handlungen) eingegangen.

- Es wird nicht erörtert, was die Folgen eines Flutens des Zwischenlagers bei Hochwasser wären.
- Die Behandlung der Brände außerhalb des Brennelementlagers erfolgt äußerst summarisch. Es wird nicht angegeben, welche Brandlasten sich in welcher Entfernung befinden. Erforderlich wäre mindestens eine Auflistung der Objekte mit brennbarem bzw. explosivem Inventar, deren Entfernung vom Zwischenlager, die Menge der dort befindlichen Stoffe sowie etwaige Hindernisse für eine Druckwelle auf dem Weg vom Objekt zum Zwischenlager (vgl. Abschnitt C.V der Dukovany-Dokumentation (CEZ, 1998)). Weiterhin fehlen Angaben, wie schnell die Feuerwehr ggf. eingreifen kann und ob die Zugänglichkeit für diese stets gewährleistet werden kann.

#### Abschnitt 5.4 – Ereignisse im Restrisikobereich:

- Die Ableitung der Absturzhäufigkeit für ein Militärflugzeug am Standort wird nicht angegeben.
- Es wird festgestellt, der Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeuges sei für alle Flugzeugabstürze abdeckend. Die Begründung dieser Aussage fehlt. Insbesondere wird nicht nachgewiesen, dass der Absturz eines Militärflugzeuges im Hinblick auf Stoßlast, Trümmerwirkung und Treibstoffbrände gegenüber dem Absturz eines großen Verkehrsflugzeuges abdeckend ist.
- Auf mögliche Folgen des Absturzes eines Verkehrsflugzeuges wird im SB über die obige Aussage hinaus, der Absturz eines Militärflugzeuges sei dafür abdeckend, überhaupt nicht eingegangen.
- Im SB wird auf Beschussversuche verwiesen, bei denen CASTOR-Behälter mit einem Projektil mit einer Masse von 1 Mg und einer Geschwindigkeit von 300 m/sec beschossen worden seien. Die Integrität der Behälter sei dabei erhalten geblieben. Es wird nicht genau angegeben, um welchen Typ CASTOR-Behälter es sich bei diesen Versuchen handelte. Weiterhin wird nicht diskutiert, für welche Kampfflugzeuge (Phantom, F-15, Tornado ...?) diese Beschussversuche vom Antragsteller als repräsentativ betrachtet werden. Eine erhöhte Leckrate des Primärdeckels nach Beschuss wird erwähnt, genauere Angaben zum Deckelverhalten fehlen jedoch. Das aus den Ergebnissen dieser Beschussversuche zusammengestellte Freisetzungsszenario wird nicht im Einzelnen beschrieben.
- Nach einem Flugzeugabsturz soll ein Treibstoffbrand von 1 Stunde Dauer und einer Temperatur von 600 °C abdeckend für mögliche Folgebrände sein. Es wird nicht dargestellt, wie dies ermittelt wurde.
- Es wird im SB angegeben, dass es bei einem Brand zu einem Verlust des Moderatormaterials kommen kann. Dies wird im Hinblick auf die dadurch reduzierte Abschirmwirkung diskutiert. Es wird nicht erwähnt, dass das Moderatormaterial auch die Brandlast bei einem Treibstoffbrand erhöhen kann; die Auswirkung dieser Tatsache auf mögliche Brandszenarien wird nicht diskutiert.
- Im SB werden Versuche zur Verschüttung von CASTOR-Behältern erwähnt, aus denen Maximaltemperaturen für die Behälter abgeleitet werden. Genauere Angaben zu diesen Versuchen fehlen.
- Im Zusammenhang mit der Gefährdung durch Druckwellen werden mögliche Auswirkungen der Gasleitung in der Nähe des Standortes nicht erörtert.

- Mögliche Einwirkungen aus dem KKG-Betrieb werden kurz erörtert. Es wird jedoch nicht auf die Folgen eines Kernschmelzunfalles im Reaktor eingegangen. Diese Auslassung wird im SB nicht begründet. Sie kann auch methodisch kaum begründet werden, da die Wahrscheinlichkeit für ein solches Ereignis größer ist als die im SB angegebene Wahrscheinlichkeit für den Absturz eines Militärflugzeugs, der, wenn auch summarisch, im SB behandelt wird.

## **2.7 Stilllegung (Kapitel 6 des SB)**

- Das Langzeitverhalten von Behältern und Brennstoff, das für das Vorgehen bei der Stilllegung des Lagers von großer Bedeutung ist, wird nicht diskutiert.
- Es bleibt offen, wohin die Abtransporte der Behälter erfolgen werden.

## **2.8 Mängel und Unvollständigkeiten in der Umweltverträglichkeitsuntersuchung**

Im folgenden werden die Kapitel angeführt in denen Unvollständigkeiten in der Umweltverträglichkeitsuntersuchung Brennelementbehälterlager Grafenrheinfeld aufgefunden wurden.

### Kapitel 2.1 Kurzbeschreibung des Brennelementbehälterlagers

Es wird angegeben, dass die Technologie der trockenen Zwischenlagerung in der Praxis bewährt und mehrfach auch gerichtlich bestätigt ist. Diese Aussage wird nicht durch Beispiele oder Literaturzitate belegt.

### Kapitel 3.2 Festlegung des Untersuchungsrahmens

Es wird angegeben, dass die radiologische Wirkung beim Transport der Lagerbehälter zum Brennelementbehälterlager, sowie bei der Lagerung und den zu unterstellenden Störfällen so gering ist, dass außerhalb des Kernkraftwerksgeländes keine Auswirkungen zu erwarten sind. Diese Aussage ist unter der Annahme des Absturzes eines Verkehrsflugzeuges. (Siehe Kapitel 6, 7 und 8 der vorliegenden Stellungnahme)

### Kapitel 3.4 Daten- und Kenntnislücken bzw. Probleme bei der Bearbeitung

Es werden keine Schwierigkeiten aufgelistet, sondern auf den Text der UVU verwiesen. Im Text konnten ebenfalls keine Hinweise auf Schwierigkeiten bzw. Probleme bei der Bearbeitung gefunden werden.

## Kapitel 6 Beschreibung der Vorhabensalternativen/technischen Verfahrensalternativen

Es werden die Alternativen Wiederaufarbeitung, zentrale Zwischenlagerung und Lagerung im Lagerbecken des KKG in Betracht gezogen. Weiters wird angegeben, daß andere Standorte für das Brennelementbehälterlager geprüft wurden. Nicht geprüft wurden andere Lagerhallenkonzepte wie z. B. das STEAG-Konzept bzw. ein anderes Belüftungskonzept als die Naturzugslüftung.

### Kapitel 7.4.2.3 Strahlenexpositionen bei Störfällen

Es werden die möglichen Störfälle durch Einwirkungen von innen (EVI) und von außen (EVA) aufgelistet. Bezüglich der Ergebnisse der Störfallbetrachtung wird lediglich auf den Sicherheitsbericht zum Brennelementbehälterlager [SCHALLER, 2000] verwiesen.

### **Quellenangaben zu Kapitel 2:**

CEZ (1998): Das Zwischenlager für abgebrannten Nuklearbrennstoff im Areal des Kernkraftwerkes Dukovany – Dokumentation über Bewertung der Einflüsse des Baus auf die Umwelt; Brno 1998

IAEA (1999): Internationale Atomenergie-Organisation: The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities; INFCIRC/255/Rev. 4 (Corrected), Vienna, May 1999

KKU (2000) E.ON Kernkraft GmbH: Sicherheitsbericht für das Zwischenlager Kernkraftwerk Unterweser (ZL-KKU) am Kernkraftwerk Unterweser; Stand 09/2000

SCHALLER (2000): Umweltverträglichkeitsuntersuchung Brennelementbehälterlager Grafenrheinfeld KKG BELLA, Planungsbüro Prof. Dr. Jörg Schaller, Krenzberg, Dezember 2000

TÜV (1995): Technischer Überwachungs-Verein Hannover/Sachsen-Anhalt: Lagerung von Uran- und MOX-Brennelementen in Behältern vom Typ CASTOR V/19; erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, März 1995

### 3 VERFAHRENSBEWERTUNG

#### 3.1 Verfügbare Zwischenlager-Konzepte

Für die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente gibt es international gegenwärtig drei grundsätzliche Konzepte, die eingesetzt werden:

- *Das Nasslager:* Mit Wasser gefülltes Lagerbecken, in dem die Brennelemente in Gestellen hängen. Zur Abfuhr der in den Brennelementen erzeugten Nachzerfallswärme muss eine Zwangskühlung durch Umwälzung des Wassers mittels Pumpen in einem Kühlkreislauf erfolgen. Diese Technik wird in den Reaktor-Lagerbecken der Kraftwerke (weltweit), bei separaten Lagerbecken am Standort von Reaktoren (u. a. in der BRD in Obrigheim und an den meisten Standorten in den USA) und in den Eingangslagern der Wiederaufarbeitungsanlagen (La Hague und Sellafield) eingesetzt. Die Kraftwerkslager besitzen in der Bundesrepublik Kapazitäten zwischen 67 MgSM<sup>1</sup> und 560 MgSM, die Standortlagerbecken in den USA haben Kapazitäten um 1.000 MgSM und die Lagerbecken der Wiederaufarbeitungsanlagen bis zu 5.000 MgSM. Einen Sonderfall stellt das Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente „CLAB“ in Schweden dar. Es handelt sich um ein Nasslager mit einer gegenwärtigen Kapazität von 5.000 MgSM in einem unterirdischen Bergwerk.
- *Das Behälterlager:* Die Brennelemente befinden sich in aufrecht stehenden und mit einer Heliumatmosphäre gefüllten Transport- und Lagerbehältern in einer Lagerhalle (z. B. in BRD, Tschechische Republik, Schweiz) oder im Freien auf einer Betonplatte (teilweise in den USA). Das heißt, die Lagerung der Brennelemente erfolgt in trockener Umgebung (Behälteratmosphäre). Die Lagerhalle besitzt Zu- und Abluftöffnungen, die durch die von den Behältern abgegebene Wärme einen sich selbständig aufrecht erhaltenden Luftzug erlauben. Hierdurch wird die Wärmeabfuhr erreicht. Die Zwischenlagerkapazitäten sind variabel und reichen gegenwärtig bis zu 4.000 MgSM. Einen Sonderfall stellt das für das Gemeinschaftskraftwerk Neckar beantragte Zwischenlager dar. Die Lagerung der Behälter soll in einem Felsstollen einige Meter unter der Erdoberfläche erfolgen. In der Tschechischen Republik wurde Ende der 90er Jahre ein ähnliches Projekt in Skala als zentrales Zwischenlager verfolgt.
- *Das Blocklager:* Die Brennelemente werden in verschweißten Büchsen oder Kanister horizontal bzw. vertikal in mit Schächten versehenen großen Betonblöcken gelagert. Auch hier erfolgt die Lagerung der Brennelemente in einer trockenen Gasatmosphäre. Ähnlich wie im Behälterlager, soll die Kühlung über natürlichen Luftzug erfolgen. Konzepte zur Blocklagerung wurden zum Beispiel in den USA (NUHOMS), Frankreich (CASCADE) und Deutschland (FUEL STOR) entwickelt. Die Entwicklung erfolgt sowohl für zentrale Zwischenlager mit Kapazitäten von ca. 5.000 MgSM, als auch für Zwischenlager an den KKW-Standorten für Kapazitäten ab 500 MgSM.

In der Bundesrepublik Deutschland wird zur Zeit die Zwischenlagerung von Brennelementen an allen KKW-Standorten in Nasslagern im Reaktorgebäude durchgeführt. Für die längerfristige Zwischenlagerung von bestrahlten Brennelementen über Tage hat sich die trockene Behälterlagerung durchgesetzt. Ein wesentlicher Grund für letztere sind die im Vergleich zu anderen Lagertechniken niedrigeren Kosten. Allerdings ist auch auf die im Rahmen des Gorleben-Hearings 1979 zum sogenannten Integrierten Entsorgungszentrum geführte Sicherheitsdiskussion über Nasslager außerhalb von Reaktorblöcken und mit größeren Lager-

---

<sup>1</sup> MgSM = Megagramm Schwermetall (früher tSM), Gesamtmasse der Kernbrennstoffe Uran und Plutonium.

kapazitäten hinzuweisen. Die Nasslagerung großer Mengen bestrahlter Brennelemente wurde als zu großes Risiko eingeschätzt. Für das Eingangslager der ehemals beantragten Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf war daher ein Behälterlager vorgesehen.

### 3.1.1 Vergleichende Bewertung

Die Brennstabhüllrohre der Brennelemente unterliegen bei allen drei Lagerkonzepten hohen Beanspruchungen. Gegenüber dem Betriebszustand im Reaktor tritt eine Umkehr des Druckgradienten auf, der bei der trockenen Zwischenlagerung am größten ist. Auf Grund der Versprödung des Hüllrohrmaterials ist hier ein früheres Versagen möglich. Dies ist bei der Ableitung von Freisetzungsszenarien bei der Festsetzung der Schadensrate der Hüllrohre zu berücksichtigen.

Die Abfuhr der Nachzerfallswärme und damit die Kühlung der Brennelemente erfolgt im Nasslager durch Umwälzen des Beckenwassers in einem Kühlkreislauf und Wärmeabfuhr über einen Wärmetauscher. Das heißt, es sind aktive Systeme und daher deren Überwachung erforderlich. Bei den trockenen Lagerkonzepten erfolgt die Kühlung durch einen sich natürlich einstellenden Luftzug (Konvektion). Es handelt sich also um ein passives System. Die trockenen Lagerkonzepte mit dem passiven System bieten weniger Störfallmöglichkeiten.

Das Barrierensystem gegen Freisetzungen radioaktiver Stoffe im Normalbetrieb sowie gegen Einwirkungen nach Stör- oder Unfällen ist für die drei Lagerkonzepte sehr unterschiedlich.

Die wesentlichen Rückhaltebarrieren gegen Freisetzungen im Normalbetrieb bei den Nasslagern (ober- und unterirdisch) bilden das Beckenwasser und die Filter, über die die Abluft – aus der Halle, in der sich das Lagerbecken befindet – abgeleitet wird. Daraus folgt, dass keine vollständige Rückhaltung von Radionukliden vorgesehen ist. Die Freisetzung wird diversitär überwacht. Zum Ersten erfolgt eine Kontrolle des Beckenwassers auf Aktivitätskonzentration und zum Zweiten wird die Abluft auf Radioaktivität kontrolliert.

Bei der trockenen Zwischenlagerung stellen entweder verschraubte oder verschweißte Behälter die Freisetzungsbarriere dar. Bei beiden Konzepten wird – abgesehen von Diffusion/Permeation – von einer Nullfreisetzung im Normalbetrieb ausgegangen. Bei der Blocklagerung ist teilweise eine Freisetzungsüberwachung vorgesehen (CASCADE). Bei der Behälterlagerung wird die Überwachung der Freisetzung in bundesdeutschen und US-amerikanischen Zwischenlagern nur indirekt über den Druck zwischen Primär- und Sekundärdeckel des Behälters bewerkstelligt. In anderen Staaten werden darüber hinaus Messungen der Abluftaktivität vorgenommen (siehe Kapitel 3.4).

Die Robustheit gegen Störfälle durch den Anlagenbetrieb ist für die Behälterlagerung am größten. Abgesehen vom passiven Kühlsystem (s. o.) sind die Brennelemente bei notwendigen Handhabungen zur Ein- und Auslagerung bzw. während der Zwischenlagerung durch den dickwandigen Behälterkörper am besten geschützt. Das Behälterkonzept ist auch fehlerfreundlicher gegenüber Handlungen des Personals. Bei Störfällen ist für Nass- und Betonblocklagern gegenwärtiger Auslegung daher mit erhöhten Freisetzungen in größerem Umfang bereits eher zu rechnen als bei der Behälterlagerung.

Für schwere Unfälle (z. B. Flugzeugabsturz, Explosionsdruckwelle, terroristischer Anschlag) besitzt keines der drei Lagerkonzepte ein wirksames Mehrbarriersystem gegen mechanische und thermische Einwirkungen. Bei den Nasslagern besteht der Schutz im weitesten gehenden Fall (Reaktorlagerbecken in der Bundesrepublik) durch eine Auslegung des Lagerbeckengebäudes gegen die Durchdringung mit Flugzeugteilen bzw. die Standsicherheit des Gebäudes in Bezug auf durch Flugzeugabsturz oder Druckwellen ausgelöste Erschütterungen. Das Lagergebäude für die Nasslager in La Hague ist nicht gegen Flugzeugabsturz

ausgelegt. Bei der Blocklagerung werden an die Büchse bzw. den Behälter keine besonderen Anforderungen bzgl. Widerstandsfähigkeit gegen mechanische und thermische Belastungen gestellt. Den Schutz stellt einzig der Betonblock bzw. das über ihm stehende Gebäude (FUEL STOR) dar. Bei der Behälterlagerung ist die einzige Barriere der dickwandige Behälter (zum Sicherheitsnachweis siehe Kapitel 4).

Es ist davon auszugehen, dass in Nasslagern auf jeden Fall und in Blocklagern mit hoher Wahrscheinlichkeit bei schweren Unfällen eine größere Anzahl von Brennelementen betroffen ist und dadurch auch das Potenzial für Freisetzungen höher als in Behälterlagern ist.

Das Proliferationsrisiko ist bei der Behälterlagerung am höchsten einzuschätzen, da die Brennelemente in dem Behälter direkt abtransportiert werden können. Bei den beiden anderen Lagerkonzepten sind hierfür deutlich mehr Handhabungen und eine stärkere Berücksichtigung der Strahlung erforderlich. In Bezug auf die Spaltstoffüberwachung ist die Nasslagerung am einfachsten, da keine neuen Items geschaffen werden müssen und die Brennelemente direkt sichtbar und abzählbar bleiben.

Eine über die obigen allgemeinen Aussagen hinausgehende sicherheitstechnische Bewertung der Lagertechniken kann im Rahmen dieser Studie nicht vorgenommen werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand erscheint für eine langfristige Zwischenlagerung hinsichtlich möglicher Freisetzungen radioaktiver Stoffe im Normalbetrieb und bei Unfällen sowie der Störfallanfälligkeit die Behälterlagerung als diejenige mit dem größten Potenzial für eine Risikobegrenzung. Wie im folgenden dargestellt, wird dieses Potenzial bei den bisherigen Konzepten (einschließlich der Zwischenlagerung in CASTOR) lediglich sehr eingeschränkt genutzt

### 3.2 Erfahrungen mit der Brennelementzwischenlagerung in Behältern

Für die längerfristige Zwischenlagerung von bestrahlten Brennelementen wurde in der Bundesrepublik Deutschland das Konzept der trockenen Behälterlagerung gewählt. Dazu werden die Brennelemente nach einer gewissen Abklingzeit im Lagerbecken des Reaktors in einen sogenannten Transport- und Lagerbehälter (derzeit unterschiedliche CASTOR-Typen) geladen und in eine Lagerhalle transportiert. Der Behälter soll dabei die Funktion übernehmen, das radioaktive Inventar über den gesamten Zwischenlagerzeitraum – vorgesehen sind bis zu 40 Jahren – einzuschließen. Dies bedeutet die Notwendigkeit zur Vermeidung bzw. Minimierung von Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus dem Behälterinnenraum nach außen.

Bei der Bewertung von Erfahrungen können im positiven Sinn nur solche Erfahrungen berücksichtigt werden, die mit der konkret beantragten Konstellation gemacht wurden. Das heißt, Behälterbauart (CASTOR), Verschlusstechnik der Behälter, Brennelementtyp (DWR/SWR), Größenordnung von Wärmeentwicklung und Aktivitätsinventar sowie Beladevorgang der Behälter müssen vergleichbar sein. Erfahrungen mit anderen Brennelementtypen oder Behälterkonzepten können Hinweise für bestimmte Komponenten bzw. mögliche Schwachstellen der Lagertechnik liefern, aber nicht als belastbare Nachweise für das Konzept der trockenen Zwischenlagerung von Leichtwasserreaktor-Brennelementen (Abbrände > 40 GWd/Mg) in CASTOR herangezogen werden, wie sie im Standort-Zwischenlager Grafenrheinfeld vorgesehen ist.

Bestrahlte Leichtwasserreaktor-Brennelemente in Transport- und Lagerbehältern werden bisher in den USA (Einlagerung des ersten Behälters 1985), in der Bundesrepublik Deutschland (1995) und in Tschechien (1997) über mehr als zwei Jahre zwischengelagert. Die Behälter sind durch Verpressung von Dichtungen mittels Schraubbolzen verschlossen. In der Bundesrepublik wurden Probeladungen Mitte der 80er Jahre durchgeführt, der erste zur längerfristigen Zwischenlagerung vorgesehene Behälter (ein CASTOR IIa) wurde im Jahr

1994 beladen und 1995 in das Zwischenlager in Gorleben transportiert. Inzwischen sind in Gorleben fünf CASTOR und in Ahaus sechs CASTOR mit Brennelementen eingelagert. Die integrale Zwischenlagerzeit für die bisher dort zwischengelagerten Behälter betrug bis Dezember 2001 ca. 50 Jahre und damit weniger als ein Promille der bisher in der Bundesrepublik Deutschland genehmigungstechnisch vorgesehenen Lagerdauer für bestrahlte Brennelemente von ca. 80.000 Behälterbetriebsjahren. Dies ist eine relativ geringe Erfahrung, gemessen an in der Technik allgemein üblichen Erfahrungswerten vor großtechnischer Einführung einer Technologie. Allerdings können in beschränktem Umfang die Erfahrungen der Lagerung von WWER-Brennelementen in Greifswald (bis Mitte 2001 zehn Behälter) und Dukovany (38 Behälter bis Februar 2001) sowie von LWR-Brennelementen in den USA (20 Behälter) herangezogen werden. Diese hier genannten Behälter stellen einen Teil der im Sicherheitsbericht genannten, seit Mitte der 80er Jahre beladenen Behälter dar. Von den dort genannten mehreren hundert Behältern besitzt der weit überwiegende Teil keinen Bezug zum Genehmigungsverfahren für das KKG-Zwischenlager, da völlig andere Randbedingungen (z. B. für die Beladetechnik und die Brennelementarten) zutreffen.

In Bezug auf die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente in CASTOR-Behältern sind nach gegenwärtigem Kenntnisstand – abgesehen von Stör-/Unfallbetrachtungen – vor allem drei Bereiche zu nennen, für die auf Grund der geringen Erfahrung Probleme zu diskutieren sind:

- Die Abschirmung der Neutronenstrahlung.
- Der dichte Einschluss des radioaktiven Inventars.
- Die Überwachung des dichten Einschlusses.

### 3.2.1 Abschirmung der Neutronenstrahlung

Durch in der Behälterwand in Bohrungen befindliche Neutronenmoderatorstäbe sowie entsprechende Platten im Deckelsystem und am Boden des Behälters erfolgt außerhalb des Behälters eine Reduzierung der von den Brennelementen ausgehenden Neutronenstrahlung. Das Moderatormaterial besteht aus Kunststoff (Polymer) und ist daher in seinem Verhalten temperaturabhängig.

Im Verlauf des Einsatzes von CASTOR-Behältern hat sich herausgestellt, dass die Auslegungsberechnungen für das Neutronenabschirmsystem in den CASTOR-Mantelwänden fehlerhaft und eine Unterdimensionierung der geometrischen Verhältnisse von Bohrungsvolumen und Moderatorstabvolumen gegeben waren. Dadurch kann es auf Grund der temperaturerhöhungsbedingten Ausdehnung des Moderatormaterials nach der Behälterbeladung zu unzulässigen Materialspannungen in der Behälterwand kommen. Als Folge mussten für bereits gefertigte CASTOR-Behälter Reduzierungen der zulässigen Wärmeleistung bzw. Aufstellung an bevorzugt gekühlten Orten im Zwischenlager festgelegt sowie für neu zu fertigende Behälter eine neue Dimensionierung der geometrischen Verhältnisse vorgenommen werden (BfS, 2000a).

Im April 2001 trat während des Absetzens eines CASTOR HAW 20/28 CG auf den Boden im Transportbehälterlager Gorleben lautstark Luft aus dem Behälterboden aus. Als Ursache wurde vom Betreiber ein Überdruck der Luft im Hohlraum zwischen Bodenplatte und Körper des Behälters identifiziert, der eine sichtbare Verformung (Ausbeulung) der Bodenplatte von mehr als 5 mm zur Folge hatte. Beim Absetzen auf den Boden wurde die Verformung durch das hohe Eigengewicht des Behälters rückgängig gemacht und Luft ausgetrieben (GNS, 2001). Die Gutachter der Aufsichtsbehörde stimmten dieser Erklärung zu (NLR, 2001). Der von Betreiber und Behördengutachter angegebene Luftdruck kann jedoch

nach Abschätzungen (MESSERSCHMIDT, 2001) schwerlich zu einer Ausbeulung von mehr als 5 mm geführt haben. Hier existiert weiterer Untersuchungsbedarf.

Für den Bereich des Neutronenmoderator-konzeptes ist daher festzustellen, dass es über die bisher veröffentlichten Untersuchungen hinaus Untersuchungs- und Erfahrungsbedarf gibt.

### 3.2.2 Dichter Einschluss des radioaktiven Inventars

Für die Prognose der Dichtheit der Behälter über den vorgesehenen Zwischenlagerzeitraum von 40 Jahren ist der erfolgreiche Abschluss einer bestimmten Behälterbeladeprozedur und die Kenntnis des Werkstoffverhaltens im Dichtungsbereich erforderlich. Hierauf wird in Kapitel 3.3 detaillierter eingegangen.

Bei den bisher in der Bundesrepublik zwischen gelagerten CASTOR-Behältern hat es noch kein Dichtungsversagen gegeben. Bei Versuchen mit einer ähnlichen Aluminiumdichtung zum Anflanschen von Strahlrohren beim Forschungsreaktor FRM II wurde punktförmige Korrosion festgestellt. Als Ursache werden Verunreinigungen genannt (StMLU, 2001).

Über die konkreten Erfahrungen außerhalb der Bundesrepublik liegen keine detaillierten Informationen vor. Bekannt ist lediglich, dass in den USA bisher an einem Behälter vom Typ CASTOR X/33 wegen nachlassender Dichtheit die Sekundärdeckeldichtung ausgewechselt werden musste. Ursache hierfür war Korrosion im Dichtungsbereich (SOWA, 2001).

Erfahrungen mit der Zwischenlagerung von Brennelementen in verschweißten Behältern (sind für die Zukunft in Grafenrheinfeld vorgesehen), die unter bundesdeutschen Randbedingungen beladen wurden, liegen bisher nicht vor.

### 3.2.3 Überwachung des dichten Einschlusses

Zum Zeitpunkt der Einlagerung von Behältern mit verschraubtem Doppeldeckelsystem darf die Leckagerate für die Deckel nicht mehr als jeweils  $10^{-8} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$  betragen. Die Überwachung dieses dichten Einschlusses radioaktiver Stoffe in CASTOR-Behältern wird mittels einer Kontrolle des Überdruckes im Sperrraum zwischen Primär- und Sekundärdeckel des Behälters realisiert. Die Druckprüfung erfolgt mit einem Druckschalter (Membrane), der bei einer Absenkung des Druckes im Sperrraum anspricht und dabei einen Stromkreiskontakt öffnet. Dies erzeugt eine Meldung des Überwachungssystems. Die Funktionsfähigkeit des Druckschalters über den vorgesehenen Zwischenlagerzeitraum von 40 Jahren wird ebenfalls durch eine Prognose des Werkstoffverhaltens postuliert. Erfahrungen über lange Zeiten liegen in der Kerntechnik nicht vor.

Bei Drucküberwachungssystemen der beschriebenen Art hat es in der Vergangenheit mehrfach Meldungen gegeben, die im Nachhinein als Fehlalarme deklariert wurden. Durch Presseveröffentlichungen wurden Fehlalarme Anfang 1993 an CASTOR-Behältern vom Typ THTR/AVR im Transportbehälterlager Ahaus (Ursache undichte Kabeldurchführung), Ende 1993 am gleichen Behältertyp (Ursache Feuchtigkeit in Bodenstecker) und Anfang 1994 wiederum am gleichen Behältertyp (Ursache fehlerhafte Lötstelle) (ATW, 1994) bekannt. Für einen vom BfS (2000c) berichteten weiteren Fehlalarm in Ahaus am 03.10.1999 ist weder die Ursache öffentlich bekannt, noch an welchem CASTOR-Typ er auftrat. Ebenfalls in BfS (2000c) wird eine Störung am Behälterüberwachungssystem und in BfS (1999) fehlende Überwachung eines CASTOR THTR/AVR im Zwischenlager in Jülich genannt.

Zu den Erfahrungen mit dem Drucküberwachungssystem in den USA liegen keine Informationen vor. In der Tschechischen Republik (Dukovany) wird die Überwachung nicht mit einem Druckschalter, sondern mit einer analogen Druckmessung durchgeführt, die Vor- und

Nachteile besitzt, aber jedenfalls genauere Informationen über den Zustand des Dichtungssystems liefert. Auch hierzu liegen bzgl. Problemen keine Informationen vor.

### **3.3 Langzeitdichtheit von Transport- und Lagerbehältern**

In Kapitel 3.3 wird die Langzeitdichtheit der im Standort-Zwischenlager Grafenrheinfeld gelagerten CASTOR-Behälter bewertet. Dieses Thema ist auch für die Republik Österreich relevant, da der Zustand des Dichtsystems Auswirkungen auf Möglichkeit und Höhe von Freisetzung bei Stör- bzw. Unfällen haben kann. Dies gilt insbesondere, wenn auf Grund einer Undichtheit des Primärdeckels ein Fügedeckel (zur Herstellung der Doppeldeckelbarriere bei CASTOR-Behältern) aufgeschweißt ist. Der Fügedeckel ist nicht Störfallsicher und bietet daher gegen größere mechanische Einwirkungen weniger Schutz.

Die Dichtheit des Einschlusses der bestrahlten Brennelemente soll laut Sicherheitsbericht für das Standort-Zwischenlager in Grafenrheinfeld im Normalfall entweder durch das Aufschrauben von zwei Deckeln unter Verpressung von Dichtringen oder durch Verschweißen von Behälterkörper und einem Deckel erreicht werden. Im Kapitel 3.3 wird nur auf das Verschließen mit Dichtungen eingegangen, da sich die Nutzung von verschweißten dickwandigen Behältern erst in der Entwicklung befindet und demzufolge keine ausreichenden Informationen vorliegen.

Das Deckel- und Dichtungssystem des CASTOR V/19 wird im Sicherheitsbericht beschrieben, daher wird hier darauf verzichtet. Für die Langzeitdichtheit der Behälter sind mögliche Belastungen bzw. Beeinträchtigungen der Dichtungen sowie das Verfahren von der Beladung des Behälters mit Brennelementen bis zur letzten Abnahmeprüfung des verschlossenen Doppeldeckelsystems von Bedeutung.

#### **3.3.1 Mögliche Dichtheitsprobleme**

Probleme für die Langzeitdichtheit von Behältern mit verpressten Dichtungen können gegeben sein durch:

- Mechanische Belastungen der Dichtungen.
- Thermische Belastungen der Dichtungen.
- Versprödung der Dichtungen durch Strahlenbelastung.
- Korrosion am Dichtsystem.

##### **3.3.1.1 Mechanische Belastungen**

Die Dichtungen sind durch das Anpressen beim Verschließen des Behälters einem ständigen mechanischen Druck ausgesetzt. Ein Dichtheitsverlust ist durch Ermüdung der Elastizität des Federwerkstoffes, Ablagerungen auf der Dichtfläche und durch zusätzliche mechanische Belastungen beim Verschließen des Deckels sowie Erschütterungen beim Transport grundsätzlich möglich.

In den bisherigen Genehmigungsverfahren zur Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente in der BRD wurde von Antragstellern und Genehmigungsbehörde die Auffassung vertreten, dass ein Versagen auf Grund von Ermüdung oder Erschütterung ausgeschlossen werden kann. Sie beziehen sich dabei auf Berechnungen und auf Versuche in Frankreich mit gleichem bzw. ähnlichem Dichtungsmaterial. Diese Versuche finden allerdings nicht unter den Bedingungen eines verschlossenen, mit Brennelementen beladenen Behälters statt. Inwie-

weit die in den Verfahren behauptete Übertragbarkeit dieser Untersuchungsergebnisse gegeben ist und die Prognose einer 40 jährigen Dichtheit daraus abgeleitet werden kann, muss in Frage gestellt werden. Eine diesbezügliche Prüfung von Einwanderseite steht noch aus und sollte im Genehmigungsverfahren zum Zwischenlager in Grafenrheinfeld durchgeführt werden. Sie sprengt allerdings den Rahmen dieser Bewertung des Sicherheitsberichtes.

Bei unsachgemäßem Verschließen des Behälters mit den mehrere Mg schweren Deckeln sind Verrutschen/Verdrillen der Dichtung sowie Beschädigungen der Dichtfläche möglich. Ebenso sind durch bestimmte Verfahrensweisen beim Verschließen des Behälters Ablagerungen auf den Dichtflächen möglich. Dies kann zwar dennoch zu einer spezifikationsgerechten Dichtheit unmittelbar nach dem Verschließen führen. Die auftretenden Quetschungen oder vorhandenen Ablagerungen können aber bei Transporten oder Handhabungen punktuell die mechanische Belastung der Dichtungen erhöhen und zu Beschädigungen führen. Diese können ihrerseits die Langzeitstabilität beeinflussen. Entsprechende Schäden sind nur durch sorgfältiges Vorgehen beim Verschließen der Behälter zu vermeiden und daher nicht grundsätzlich auszuschließen.

Bei den bisherigen Beladungen verschiedener CASTOR-Typen sind bereits fast alle der beschriebenen Probleme aufgetreten. Mehrfach wurden Beschädigungen von Dichtungen (bisher nur für Elastomer) und/oder Dichtflächen festgestellt. Da vor der Beladung eines Behälters die Kontrolle des Zustandes von Dichtungen und Dichtflächen vorgeschrieben ist, ist von einer Entstehung der Schädigungen während des Verschließvorganges auszugehen. Die Schädigungen konnten festgestellt werden, da die Deckel aus Gründen, für die meist nicht diese Schädigungen ursächlich waren, wieder abgenommen wurden. Das heißt, bei einem Teil der Fälle wären die Schädigungen unentdeckt geblieben. Damit ist nicht auszuschließen, dass auch Behälter, die nach der Beladung alle Zwischenlagerkriterien erfüllen, Schädigungen aufweisen.

Ablagerungen auf den Dichtflächen, die bei der Entwässerung der Behälter verursacht wurden, führten in den Jahren 2000 und 2001 dazu, dass bei mehr als einem Drittel der Beladungsversuche das Dichtheitskriterium nicht erreicht wurde und die Behälter wieder geöffnet werden mussten.

Insgesamt ist festzustellen, dass durch Schädigungen oder Ablagerungen im Dichtungssystem für die Langzeitdichtheit Probleme auftreten können. Wie wahrscheinlich ein Nachlassen der Dichtungen auf Grund dieser Probleme ist, kann derzeit nicht quantifiziert werden.

### **3.3.1.2 Thermische Belastungen**

Die Dichtungen sind durch die von den Brennelementen abgegebenen Wärme ständig einer thermischen Belastung ausgesetzt. Die Möglichkeit zu hoher Temperaturen und damit unzulässiger Beeinträchtigungen der Dichtungen wurde in den bisherigen Genehmigungsverfahren vor allem mit Verweis auf Integritätsversuche zur Behälterdichtheit nach Unfällen und vorgenommene Temperaturwechsel bei den Versuchen mit Dichtungen in Frankreich ausgeschlossen (BFS, 1993).

Die Verweise beziehen sich jeweils auf kurzzeitige Temperaturbelastungen bzw. -wechsel. Bei der Zwischenlagerung tritt dagegen, nach Erreichen eines Gleichgewichtszustandes, eine langfristige jedoch niedrigere Temperaturbelastung auf. Damit ist hier nicht das Problem eines kurzfristigen Versagens der Dichtung sondern eher ein langfristiges Versagen, zum Beispiel durch Unterstützung von Werkstoffermüdungserscheinungen, zu befürchten. In dieser Beziehung wurde die Standfestigkeit der Dichtung in den bisherigen Genehmigungsverfahren rechnerisch geprüft und als ausreichend bewertet. Die Berechnungen spiegeln den Stand von Wissenschaft und Technik wieder. Die in diese theoretischen Betrachtungen eingegangenen Modellvorstellungen können jedoch nicht alle realen Bedingungen vollständig

abbilden. Es ist daher festzuhalten, dass es sich nur um ein prognostiziertes Werkstoffverhalten handelt.

### **3.3.1.3 Versprödung**

Die Dichtungen sind während der Zwischenlagerung der beladenen Behälter Gamma- und Neutronenstrahlung aus den Brennelementen ausgesetzt. Dies führt zu einer Veränderung der Werkstoffeigenschaften der Dichtungen (Versprödung) und kann eine nachlassende Dichtwirkung zur Folge haben. Nach den Aussagen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) wird über die vorgesehene maximale Lagerzeit im Deckelbereich keine Energiedosis erreicht, die metallische Werkstoffe soweit beeinträchtigen kann, dass ein Dichtheitsverlust feststellbar wäre (BAM, 1982). Auf Grund der langjährigen Erfahrungen mit der radioaktiven Bestrahlung von Metallen ist diese Feststellung nachvollziehbar und erscheint plausibel.

### **3.3.1.4 Korrosion**

Auf Grund der metallischen Eigenschaften des Dichtungssystems ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für den Erhalt der Dichtheit die Vermeidung von Korrosion. Die Gefahr der Korrosion wird durch die Verwendung verschiedener Metalle für die Komponenten des Dichtungssystems gefördert. Der Sicherheitsbericht enthält keine Aussagen darüber, welches Material, Aluminium oder Silber, für den äußeren Mantel der Metaldichtung eingesetzt werden soll.

Im Falle eines Aluminiummantels bilden bei der Verpressung Chrom-Nickel-Stahl und Aluminium an der Dichtungskontaktfläche zum Deckel, Edelstahl und Aluminium innerhalb der Dichtung und Aluminium und Nickel an der Dichtungskontaktfläche zum Behälterkörper jeweils ein Metallpaar. Die Metalle Eisen / Aluminium und Aluminium / Nickel stehen in der elektrochemischen Reihe relativ weit auseinander. Das bedeutet, dass vor allem Aluminium als unedelstes dieser Metalle bei Vorliegen bestimmter Umgebungsbedingungen anfällig für Korrosion ist.

Bei Verwendung von Silber statt Aluminium ist jeweils der andere Metallpartner stärker korrosionsgefährdet.

Die Phänomene der Korrosion sowie die speziellen Probleme damit bei CASTOR-Behältern sind in (SCHLICH, 2000) ausführlich behandelt. An dieser Stelle wird daher auf die grundsätzlichen werkstoffbezogenen Probleme nicht weiter eingegangen. Dort wird der Schluss gezogen, dass Korrosion für die langfristige Lagerzeit der mit bestrahlten Brennelementen beladenen Behälter nicht ausgeschlossen bzw. durch bestimmte Umstände sogar begünstigt werden kann. Zu begünstigenden Umständen zählt zum Beispiel auch die Anwesenheit von Borsäure. Danach kann die Korrosion nur durch eine strikte Begrenzung von Feuchtigkeit (Restfeuchte) im Dichtungsbereich vermieden werden. Das heißt, der Zutritt bzw. das Vorhandensein von Feuchtigkeit bzw. sonstiger korrosionsfördernder Stoffe muss für den Dichtungsbereich praktisch ausgeschlossen werden.

Zum Zwecke des Korrosionsschutzes und damit zum Erhalt der spezifizierten Dichtheit über den gesamten genehmigten Lagerzeitraum ist in den Annahmebestimmungen von Zwischenlagern das Unterschreiten einer bestimmten Restfeuchte im Behälterinnenraum, im Dichtungszwischenraum und im Sperrraum – also auf jeden Fall im gesamten Dichtungsbereich – als Voraussetzung für die Einlagerung eines mit bestrahlten Brennelementen beladenen Transport- und Lagerbehälters vorgeschrieben. Diese Restfeuchte liegt in der Größenordnung von 1-10 g/m<sup>3</sup>.

Um die Feuchtigkeit im Deckelbereich langfristig zu begrenzen sind bestimmte Abläufe und Maßnahmen beim Verschließen der Transport- und Lagerbehälter vorgesehen. Es müssen Entwässerungs- und Trocknungstechniken eingesetzt werden, um die zulässige Restfeuchte zu unterschreiten. Aufgrund der komplizierten Geometrie und des Volumens der Hohlräume in Behälterinnenraum (z. B. Struktur der Brennelemente) und in den Dichtungszwischenräumen (Aufbau der Dichtung) ist die Belastbarkeit der Angaben zum tatsächlichen Feuchtegehalt in Frage zu stellen (siehe auch Kapitel 3.3.3).

In Bezug auf die mit Korrosion zusammenhängende Gewährleistung der Langzeitdichtheit gehören folgende Aspekte zu den relevantesten:

- Änderungen bei den Handhabungs- und Verfahrensabläufen.
- Restfeuchtekriterium.
- Dichtungsmaterial.

### 3.3.2 Herstellung des spezifikationsgerechten Zustands des Dichtungssystems

Das grundsätzliche Vorgehen bei Beladung und Abfertigung des Transport- und Lagerbehälters ist wie folgt:

Die Beladung der Behälter mit den Leichtwasserreaktor-Brennelementen erfolgt in den Reaktorlagerbecken unter Wasser. Nach dem Einladen der Brennelemente wird der Primärdeckel aufgesetzt und der Behälter an die Wasseroberfläche gehoben. Das oberhalb des Primärdeckels verbliebene Wasser wird abgesaugt und ebenso wie das Wasser aus dem Behälterinneren in das Lagerbecken zurück geleitet. Anschließend werden der Dichtungszwischenraum im Primärdeckel, der Behälterinnenraum und die Oberfläche des Primärdeckels mittels Vakuumanlage getrocknet. Danach wird der Sekundärdeckel aufgesetzt. Auch hier wird der Dichtungszwischenraum getrocknet. Das Ergebnis der Trocknung wird jeweils durch eine Messung überprüft. Darüber hinaus wird die Einhaltung der zulässigen Leckagerate der Dichtungen durch eine Helium-Leck-Prüfung im Dichtungszwischenraum geprüft.

Die Abläufe und Verfahren bei der Beladung und dem Verschließungsvorgang der CASTOR-Behälter wurden jeweils von den Betreibern bzw. Antragstellern für Zwischenlager entwickelt und - so ist zu unterstellen - mit aussagekräftigen Untersuchungen erprobt. In den bisherigen Genehmigungsverfahren für Brennelement-Zwischenlager wurden diese Verfahren von der Genehmigungsbehörde und ihren Gutachtern geprüft. Das Ergebnis war bisher in jedem Genehmigungsverfahren die gemeinsame Überzeugung von Antragsteller und Behörde, dass aufgrund der gewählten Abläufe und Verfahren das Auftreten relevanter Restfeuchte ausgeschlossen werden kann (BAM, 1982) (DROSTE, 1996). Die Gefahr eines Dichtheitsverlustes über die lange Lagerzeit wurde, wenn überhaupt, nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit für einen Einzelfall gesehen. Diese Einschätzung wurde nach jeder, durch negative Erfahrungen verursachten Änderung von Ablauf und/oder Verfahren, aufs Neue wiederholt (VÖLZKE, 1999).

Jedes nach dem Einladen der Brennelemente angewendete Behälterabfertigungsverfahren musste bisher nach praktischem Einsatz geändert werden. Das 1983 bei der Probelagerung in Jülich angewendete Verfahren wurde wegen späteren Ansteigens der Restfeuchte im Behälter für die erste Beladung zur Langzeitlagerung 1994 in Philippsburg verändert. Auf Grund der dortigen Erfahrungen beim Verschließen des Behälters und mit dem Erreichen des Restfeuchtekriteriums (siehe (TÜV, 1994)) erfolgten erneute Verfahrensänderungen. Mit diesem geänderten Verfahren wurden insgesamt neun Behälter in Gundremmingen (KRB) und Neckarwestheim (GKN) abgefertigt und zur Zwischenlagerung nach Gorleben bzw. Ahaus gebracht. Nach Aussagen der Behörden gab es hier keine Beanstandungen.

Genauere Untersuchungen nach einer entsprechend vorgenommenen Abfertigung 1998 in Greifswald zeigten jedoch, dass dabei Wasser in der Dichtung zurückbleiben kann (MECK-VORP, 1999). Um die oben genannten bereits zwischen gelagerten Behälter nicht wieder entladen zu müssen, wurden theoretische Überlegungen angestellt, die durch Abbau von Konservativitäten (z. B. hinsichtlich Restfeuchte) das Ergebnis brachten, dass ein Durchrosten der Dichtung nicht zu erwarten ist. Für das Greifswalder Zwischenlagerverfahren und die kommenden Beladungen für andere Zwischenlager musste das Abfertigungsverfahren jedoch erneut geändert werden. Mit diesem neuen Verfahren konnte in Greifswald mit einer Ausnahme bei weiteren Beladungen den Messwerten zu Folge ein spezifikationsgerechter Behälterzustand erreicht werden.

Im Jahr 2000 führte die Anwendung dieses Verfahrens in Philippsburg, Neckarwestheim und Biblis erneut zu negativen Ergebnissen. Mit diesem von der Genehmigungsbehörde als dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend bezeichneten Verfahren (COLLIN, 1999) wurde bis Anfang 2001 in mehr als der Hälfte der Beladungsversuche die erforderliche Leckagerate für die Primärdeckeldichtung nicht erreicht. Nunmehr wird von Antragstellerseite vorgeschlagen zu dem Verfahren zurück zu kehren, das vor dem Feuchtigkeitsfund in Greifswald angewendet wurde. Dabei soll zunächst ein anderer Werkstoff für den äußeren Dichtungsmantel (Silber statt Aluminium) verwendet werden. Im Sicherheitsbericht ist weder angegeben, ob für die Behälter in Grafenrheinfeld Aluminium- oder Silberdichtungen eingesetzt werden sollen, noch welches Behälterverschlussverfahren zum Einsatz kommen soll.

Diese Vorgänge zeigen die Komplexität der Probleme für das Dichtungssystem und die Gewährleistung der Langzeitdichtheit. Es ist eine mangelnde Zuverlässigkeit der Aussagen festzustellen. Daher sind grundlegende technische Verbesserungen des Dichtsystems sowie Vorsorge durch eine sichere Überwachung von gelagerten Behältern erforderlich.

### 3.3.3 Restfeuchtekriterium

Der Aluminiummantel der Dichtung hat unverpresst eine Schichtdicke von 0,5 mm. Die Breite der wirksamen Auflagefläche zwischen Dichtung und Dichtfläche des Behälterkörpers beträgt bei den CASTOR-Behältern etwa 2-4 mm.

Zum Erhalt der Dichtheit über die zulässige Zwischenlagerzeit von 40 Jahren vertrat die BAM zu Beginn des ersten Genehmigungsverfahrens für die trockene Behälter-Zwischenlagerung die gutachterliche Meinung (BAM, 1981): *„Wegen der geringen Auflagefläche zwischen Metalldichtung und Dichtfläche müssen an dieser Stelle mit absoluter Sicherheit Korrosionsvorgänge jeglicher Art vermieden werden“*.

Später wurde allgemeiner ausgedrückt, dass die verbleibende Restfeuchte keine unzulässige korrosive Einwirkung auf Bauteile des Dichtsystems ausüben darf (BAM, 1986). Im Genehmigungsverfahren zum Zwischenlager Nord in Greifswald wird Korrosion von 20 % der Aluminiumdicke, also 0,1 mm für zulässig gehalten (MECK-VORP, 1999).

In diesen Aussagen spiegelt sich eine Abschwächung der Bestimmtheit wieder. Aus der Vermeidung jeglicher Korrosion wurde eine zulässige Korrosion in bestimmtem Umfang.

Zur Einhaltung dieser Anforderungen muss zur Korrosion führende Feuchtigkeit im Dichtungsbereich drastisch begrenzt werden. Dazu wurde ein Restfeuchtekriterium eingeführt, dass bei der Trocknung von Behälterinnenraum, Dichtungszwischenräumen und Sperrraum (zwischen Primär- und Sekundärdeckel) unterschritten werden muss. Als maximal zulässige Restfeuchte wird z.B. für den Dichtungszwischenraum des Primärdeckels eine Wasserkonzentration von bis zu 3,4 g/m<sup>3</sup> (=3,4 mg/l) für den CASTOR V/19 (BFS, 2000b) genannt. Wie bereits erwähnt, wird die Erfüllung des Kriteriums messtechnisch nachgewiesen.

Soweit aus den vorliegenden Gutachten und Protokollen der Erörterungstermine im Rahmen der Genehmigungsverfahren für die Zwischenlager in Ahaus und Gorleben hervorgeht (der Sicherheitsbericht zum Standort-Zwischenlager Grafenrheinfeld enthält hierzu keine Aussagen), wurde bei der Festlegung der Werte Wasser mit normalen Eigenschaften und nur die Anwesenheit konstruktiv bedingter Stoffe unterstellt. Es wird dort vor allem auf die Relevanz der Feuchtigkeitsmenge hingewiesen. Abgesehen vom konkreten Wert für die Restfeuchte, ist die Unterstellung reinen Wassers und die Annahme grundsätzlicher Abwesenheit korrosionsfördernder Stoffe keineswegs konservativ.

Die Inhaltsstoffe von eingeschlossenem Wasser haben Einfluss auf den Korrosionsfortschritt (z.B. durch pH-Wert). Säure-haltiges Wasser wirkt zum Beispiel korrosiver als eher alkalisches Wasser. Von daher ist dem Vorschlag in BAM (1998) zuzustimmen, mögliche Einflüsse auf die Wasserqualität im Lagerbecken grundsätzlich zu untersuchen. Dadurch könnte überprüft werden, ob die festgelegten Werte für die Restfeuchte ausreichend niedrig sind. Es sei jedoch darauf verwiesen, dass die Einflussmöglichkeiten in den Lagerbecken verschiedener Anlagen durchaus sehr unterschiedlich sein können. In Lagerbeckenwasser werden mehrere hundert Brennelemente gelagert. Es ist völlig unzweifelhaft, dass die auf der Oberfläche dieser Brennelemente haftenden Stoffe zum Teil in das Beckenwasser übergehen. Gleiches gilt, wenn Handhabungswerkzeuge in das Beckenwasser eingetaucht werden (z.B. zum Bewegen von Brennelementen oder des Behälters). Darüber hinaus ist das Wasser boriert und es werden sich Reinigungsmittelrückstände in ihm befinden. Im Einzelnen kann aber nicht konkret vorhergesagt werden, wie die Eigenschaften des eingeschlossenen Wassers sein werden und welche korrosionsfördernden Stoffe auf den Dichtflächen vorhanden sind.

Laut Sicherheitsbericht ist die Einlagerung von ungekapselten Brennelementen mit defekten Brennstäben zulässig, diese können Wasser enthalten. Die Funktionsfähigkeit des für diesen Fall in den Behälter eingebrachten Rekombinationskatalysators ist für die vorliegenden Bedingungen nicht langzeiterprobt. Es ist davon auszugehen, dass dieses Wasser auch Verunreinigungen enthält.

Insgesamt ist festzustellen, dass eine Kreditnahme von korrosionsmindernden Wassereigenschaften, sicherheitstechnisch zu einer Abschwächung des Restfeuchte Kriteriums führen würden.

Nach den bisher bekannten Stellungnahmen wollen die Behördengutachter am bisherigen Vorgehen bei der Festlegung des Restfeuchte Kriteriums festhalten (VÖLZKE, 1999). Es gibt allerdings ein Indiz für ein Abrücken vom bisherigen Vorgehen bei der Bewertung der Langzeitdichtheit. Nach der in Greifswald festgestellten Restfeuchte im Dichtungsbereich wurde – bezogen auf die bereits seit einiger Zeit in Ahaus und Gorleben lagernden und daher nach dem alten Entwässerungs- und Trocknungsverfahren abgefertigten CASTOR – argumentiert, dass *„die Anwesenheit von reinem Beckenwasser allein die Korrosionsbeständigkeit einer derartigen Federkern-Metalldichtung mit äußerer Aluminiumummantelung nicht gefährdet“* (BAM, 1998). Dadurch könnte eine Tendenz entstehen, die zulässige Feuchtigkeitsmenge von deren chemischer Zusammensetzung abhängig zu machen. Dies würde den Abbau einer Konservativität bedeuten und ist als problematisch anzusehen (GÖK, 1999). Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens zum Standort-Zwischenlager Grafenrheinfeld sollten die festgelegten Randbedingungen für das Restfeuchte Kriterium daher eingehend geprüft werden.

Abgesehen von Verunreinigungen in der Restfeuchte können neben den konstruktiv vorgesehenen Metallen weitere Stoffe im Dichtungsbereich vorhanden sein. Die Oberflächen der Dichtungsaluminiumummantelung und der vernickelten Dichtflächen des Behälters können vom Herstellungsprozess oder nach Reinigungsprozessen verunreinigt sein. Auch Rückstände dieser Art können korrosionsfördernd sein. Den zugänglichen Gutachten sind hierzu keine Betrachtungen zu entnehmen.

Es ist zu prüfen, ob bei der Festlegung des Wertes für das Restfeuchte Kriterium durch den Trocknungsvorgang nicht erfassbare Feuchtigkeit – ggf. auch aus defekten Brennstäben – unterstellt und berücksichtigt werden muss. Es kann sich dabei um Feuchtigkeit handeln, die durch das Trocknungs- und Messverfahren nicht zugänglich ist oder um Feuchtigkeit, die durch Reaktionen während der Lagerzeit entsteht bzw. relevant werden kann. Dabei sind zum Beispiel auch mögliche Ausgasungen aus den Elastomerdichtungen sowie Ablagerungen auf Brennelement- und Tragkorbstrukturen zu berücksichtigen. Ablagerungen auf Tragkorbstrukturen haben 1997 zu Wasserstoffbildung in einem CASTOR WWR 84/440 geführt (GÖK, 1997).

### 3.3.4 Dichtungsmaterial

Im Sicherheitsbericht ist nicht angegeben, ob für die Behälter in Grafenrheinfeld Aluminium- oder Silberdichtungen eingesetzt werden sollen. Wie in Kapitel 3.3.2 erwähnt, wurde von den Betreibern der Zwischenlager Ahaus und Gorleben der Einsatz von Silber für die äußere Dichtungsummantelung beantragt. Dadurch soll der Verbleib von Feuchtigkeit in den Dichtungen akzeptabel gemacht werden. Silber ist ein sehr viel edleres Metall als Aluminium und damit ein möglicher Korrosionsfortschritt deutlich reduziert. Durch den Silbereinsatz geht man davon aus, dass zu den Beladungsabläufen vor der Feststellung der Wassertropfen in der Dichtung in Greifswald zurück gekehrt werden und so die durch den Entwässerungsvorgang verursachte Ablagerung auf den Dichtflächen vermieden werden kann. Es wäre ggf. allerdings zu prüfen, welche Rolle in diesem Fall mögliche Korrosionsvorgänge an den nunmehr unedleren Metallpartnern im Dichtungsbereich spielen.

Bei der Genehmigung des Einsatzes von Silberdichtungen ist jedoch nicht nur das Korrosionsverhalten relevant. Probleme, die auftreten können bzw. den Sicherheitsnachweis problematisch machen, sind zum Beispiel:

- Das sehr weiche Metall mit hoher Dichte könnte anfälliger für Beschädigungen bei Einbringung in die Behälterdeckelnut und beim Verschleißvorgang sein.
- Das Verhalten bei starken Erschütterungen bei Transport, Handhabung oder Unfällen ist in der Bundesrepublik für Großbehälter dieser Art nicht praktisch erprobt.
- Über die mechanische Zeitstandfestigkeit liegen wahrscheinlich selbst für Normalbedingungen in anderen Industriezweigen weniger Erfahrungen als für Aluminium vor.
- Silber ist kein in der Kerntechnik etabliertes Material. Die Langzeiteinflüsse von Gamma- und Neutronenstrahlung sind kaum praktisch erprobt.

Es ist gegenwärtig nicht bekannt, welche Untersuchungen von der Genehmigungsbehörde bzw. deren Gutachter durchgeführt bzw. von den Antragstellern angefordert werden. Im Sinne der Vorsorge sollte vergleichend untersucht werden, welche Metallkombinationen im Dichtungsbereich in Bezug auf die oben angeführten Probleme die höchste Gewähr für Unfallsicherheit und Langzeitdichtheit bieten.

## 3.4 Freisetzungsüberwachung

Hauptproblem bezüglich der Lagerfähigkeit sowie des Verhaltens der Materialien, welche die Dichtheit bzw. deren Überwachung (Dichtungen, Druckschalter, Schweißnähte usw.) über die beantragte Lagerzeit von 40 Jahren gewährleisten sollen, ist die Tatsache, dass alle Nachweise auf ingenieurtechnischen Prognosen beruhen. Die realen Erfahrungen für unter

bundesdeutschen Randbedingungen beladene Behälter liegen bei ca. sieben Jahren (ein CASTOR IIa, beladen 1994 im KKP). Für verschweißte Behälter liegen bei den gegebenen Randbedingungen überhaupt keine Erfahrungen vor. Auf Grund dieser mangelnden Langzeiterfahrungen und der in Kapitel 3.3 beschriebenen Probleme kommt der Überwachung in Bezug auf nicht erwartete Freisetzungen radioaktiver Stoffe eine zusätzliche Bedeutung zu.

Das radioaktive Inventar eines Zwischenlagers für bestrahlte Brennelemente ist mit mehr als  $10^{20}$  Bq an mittel- und langlebigen Radionukliden höher als in einem Reaktor der 1.300 MW-Klasse. Auch wenn die Lagerung von Brennelementen kein vergleichbar aktives System wie der Betrieb eines Reaktors darstellt, ist hier die Einhaltung der in der Kerntechnik üblichen Sicherheitsstandards erforderlich. Das bedeutet neben einem Mehrbarriersystem auch eine diversitäre Überwachung von Freisetzungen radioaktiver Stoffe. In der Bundesrepublik ist in den gegenwärtig betriebenen und auch für das beantragte Zwischenlager am Standort Grafenrheinfeld nur eine einfache Überwachung etabliert bzw. vorgesehen.

Die Dichtheit von Behältern mit Doppeldeckelsystem (CASTOR) soll während der Lagerung im Normalbetrieb durch eine ständige Überwachung des Druckes zwischen Primär- und Sekundärdeckel erfolgen. Das Verhalten des zur Drucküberwachung eingesetzten Druckschalters ist für die beantragten Zwischenlagerzeiten von 40 Jahren nicht erprobt. Das Verhalten bei Alterungseffekten ist nicht sicher vorhersagbar.

Die für das Standort-Zwischenlager in Grafenrheinfeld vorgesehene Überwachung ist zusätzlich aus folgenden Gründen unzureichend:

Eine Überwachung zum Schutz vor Freisetzungen bzw. zum Nachweis nicht erfolgter Freisetzungen in einer kerntechnischen Anlage mit hohem Nuklidinventar muss durchgängig erfolgen. Für Behälter mit Doppeldeckelsystem existiert beim gegenwärtigen Konzept keine Freisetzungsüberwachung wenn

- die Behälter im Lagerbereich hantiert werden,
- eine Fehlfunktion des Druckschalters auftritt,
- der Behälter im Wartungs-/Reparaturbereich steht und die Arbeiten noch nicht begonnen wurden bzw. abgeschlossen sind,
- die Stromversorgung des Behälterüberwachungssystems (eines oder mehrerer Behälter) in der Lagerhalle unterbrochen ist,
- das Drucküberwachungssystem wegen Defekt oder Störfall außer Betrieb ist.

Der Ausschluss von Freisetzungspfaden im Deckelbereich, die nicht mit der Funktionsfähigkeit der Dichtungen zusammen hängen, erfolgt nach Plausibilität. Es gibt bisher keinen theoretischen oder praktischen Nachweis.

Für Behälter mit einer volumetrischen Verschweißung ist im Sicherheitsbericht überhaupt keine Überwachung der Dichtheit erwähnt. Eine dem verschraubten Deckelsystem vergleichbare direkte Überwachung ist aus Systemgründen auch nicht möglich.

### **Überwachung durch Aktivitätsmessung**

Bei Berücksichtigung der genannten Probleme für die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente nach dem vorgesehenen Konzept ist aus unserer Sicht für das Zwischenlager in Grafenrheinfeld die Notwendigkeit einer zusätzlichen, von der Drucküberwachung der einzelnen Behälter unabhängigen und kontinuierlichen Überwachung gegeben. Eine Möglichkeit hierfür ist zum Beispiel eine kontinuierliche Kontrolle der Aktivität der Hallenatmosphäre bzw.

der Abluft. Eine direkte Überwachung auf Einhaltung der bei Einlagerung geforderten Leckagerate der Dichtungen ( $10^{-8} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) ist auf Grund der Randbedingungen in der Lagerhalle (großes Raumluftvolumen, kein definiertes Abluftvolumen) schwierig. Eine direkte Kontrolle des Leckagekriteriums wird allerdings auch durch die Drucküberwachung nicht geleistet, die erst nach Dichtheitsverlust um mehr als eine Größenordnung anspricht.

Bei der trockenen Lagerung von Brennelementen ist auf Grund von Hüllrohrschäden mit dem Übergang eines Teiles des Tritium-Inventars der Brennstäbe in die Behälteratmosphäre auszugehen. Konservativ wird im Sicherheitsbericht (S. 133) von einer Hüllrohrschadensrate von 100 % in einem Behälter ausgegangen. Bereits beim Übergang von 1 % des  $^3\text{H}$  (Tritium)-Inventars aus den beschädigten Brennelementen in die Behälteratmosphäre würde dies unter Berücksichtigung der zulässigen Leckageraten ( $10^{-8} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) für die Primär- und Sekundärdeckeldichtung zu einer Freisetzung von 300 Bq pro Monat aus einem Behälter führen (GKN, 2000). Der Nachweis einer solchen Menge ist bei einer kontinuierlichen Beprobung der Hallenluft direkt oberhalb der Behälter durch gängige Bilanzierungsmessverfahren (Silica Gel, Molekularsieb) und einer Auswertung bzgl.  $^3\text{H}$  (Tritium) in elementarer Form theoretisch erreichbar (FRANKE, 2001). Damit könnte also wahrscheinlich sogar die Leckagerate für einzelne Behälter überwacht werden. Dies wäre eine redundante und diversitäre Überwachung der Dichtheit der Behälter. Hierzu besteht allerdings noch Untersuchungsbedarf.

Für  $^{85}\text{Kr}$  und Aerosole liegen die erreichbaren Nachweisgrenzen deutlich über den Konzentrationen, die bei Übergang eines Teils des Brennstab-Inventars in die Behälteratmosphäre und der Leckagerate von  $10^{-8} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$  errechnet werden. Eine Raumlufüberwachung spricht hier erst bei größeren Freisetzungen an. Daraus folgt, dass auf Grund der großen Abluftmenge und der Nachweisgrenzen der Messverfahren der Nachweis der Einhaltung der zulässigen Leckagerate für einen einzelnen Behälter über diese Radionuklide derzeit nicht geleistet werden kann. Die kontinuierliche Überwachung der Raumluf auf Edelgase und radioaktive Aerosole würde somit in erster Linie dem Nachweis dienen, dass keine Aktivitätsfreisetzungen oberhalb einer von der Nachweismöglichkeit abhängigen Grenze im Lagergebäude erfolgt ist. Damit kann der Nachweis für eine deutliche Unterschreitung des nach § 47 StrlSchV in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gültigen Grenzwertes für Ableitungen mit der Luft erbracht werden. Aus dem Vergleich der Messwerte aus der Lagerhalle, der Freisetzungsüberwachung aus dem benachbarten Reaktor und ggf. anderen Anlagen sowie der Umgebungsüberwachung kann der Beleg erbracht werden, dass keine signifikanten Freisetzungen in der Lagerhalle erfolgt sind. Es ist selbstverständlich, dass dabei die Hintergrundaktivität entsprechend zu berücksichtigen ist. Unter den gegebenen Umständen ist eine möglichst repräsentative Beprobung anzustreben. Dabei bietet sich die Installation von Edelgasmonitoren an der Decke der Lagerhalle und von kontinuierlichen Sammlern für  $^3\text{H}$  (möglichst über den Behältern) und Aerosole an den Lüftungsöffnungen an.

Gegen die Raumlufüberwachung könnte eingewendet werden, auf Grund der Variabilität der Hintergrundbelastung und des Beitrags einer benachbarten kerntechnischen Anlage sei der potenzielle Beitrag durch Freisetzungen aus den Behältern nicht zuverlässig ermittelbar. Diese prinzipielle methodische Schwierigkeit darf allerdings kein Grund dafür sein, von der messtechnischen Ermittlung der Raumlufkonzentrationen Abstand zu nehmen. Bei einer großen Zahl von Emissions- und Immissionsmessungen bestehen gleichgeartete Probleme. So wird in der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen der Beitrag der lokalen Quelle in der Regel durch die Variabilität der Hintergrundbelastung maskiert.

Eine kontinuierliche Messung der Raumluf im Lagergebäude bzw. der Abluft würde somit ein diversitäres und potenziell redundantes Element in der Überwachung des Zwischenlagers darstellen. Es käme zudem dem berechtigten Interesse der Bevölkerung entgegen, möglichst umfassend und transparent über die Umweltauswirkungen des Zwischenlagers in Grafenrheinfeld informiert zu werden.

International ist eine Überwachung der Raumluft in Zwischenlagern für bestrahlte Brennelemente mit vergleichbarem Lagerkonzept durchaus üblich. In der Schweiz ist im dortigen Lager (seit Herbst 2001 in Betrieb) eine Überwachung der Hallenatmosphäre mittels Monitor auf Aerosole stichprobenweise durchzuführen (HSK, 1992). Nähere Festlegungen sind hierzu gegenwärtig nicht bekannt. In der Tschechischen Republik werden unter dem Dach der Lagerhalle kontinuierlich die Volumenaktivität von Edelgasen kontrolliert und an sechs Stellen in der Nähe der Abluftöffnungen die Aerosolaktivität (u.a.  $^{137}\text{Cs}$ ) registriert und wöchentlich im Labor analysiert (FAJMAN & SEDLACEK 2001).

Das heißt, eine Freisetzungsüberwachung mittels Messung von Raumluftaktivitäten ist in mit dem geplanten Zwischenlager am Standort Grafenrheinfeld vergleichbaren Fällen durchaus Stand der Technik und wegen der gebotenen Vorsorge und Nachweispflicht auch hier durchzuführen.

### 3.5 Zwischenlagerhallen-Konzept

In der Bundesrepublik Deutschland werden für die Errichtung von Zwischenlagern das sogenannte STEAG-Konzept sowie das sogenannte WTI-Konzept verfolgt. In Grafenrheinfeld soll das WTI-Konzept umgesetzt werden, das weitgehend dem Konzept der in Ahaus und Gorleben betriebenen Zwischenlagern entspricht.

Die Rückhaltefähigkeit für das radioaktive Inventar soll für den Fall äußerer Einwirkungen allein durch die Behälter gewährleistet werden. Das heißt, es ist im Gegensatz zum STEAG-Konzept, keine Barrierewirkung von Dach oder Wänden gegen äußere Einwirkungen bei Flugzeugabsturz, Druckwellen oder Einwirkungen Dritter vorgesehen (GEISER et al., 2001). Die Wände der in Grafenrheinfeld geplanten Lagerhalle sind 85 cm und die Dachplatten 55 cm dick. Beim STEAG-Konzept sind die Wände dagegen 130 cm sowie das Dach 120 cm dick und besitzen jeweils eine Stahlbewehrung, die gegen Penetration bei Flugzeugabsturz ausgelegt ist. Damit wird hier das Eindringen größerer Flugzeugteile, wie z.B. das Triebwerk, in den Lagerbereich und damit ein direkter Lasteintrag in Behälter verhindert. Als größte mechanische Belastung von Behältern wird beim STEAG-Konzept nach erfolgter Einwirkung von Außen der Absturz von Betonabplatzungen mit einer maximalen Masse von 2 Mg unterstellt (VEW, 1999).

Gegen das Eindringen von Kerosin bei einem Flugzeugabsturz ist die Lagerhalle weder beim STEAG- noch beim WTI-Konzept ausgelegt.

Die Auslegung der in Grafenrheinfeld geplanten Lagerhalle nach WTI-Konzept ist damit völlig unzureichend. Die Gründe hierfür sind:

1. Die einzige wirksame Barriere gegen Einwirkungen von Außen stellt die Behälterwand bzw. das Deckelsystem dar. Das heißt, es existiert kein wirksames Mehrbarrierensystem für den Schutz des hohen Aktivitätsinventars.
2. Der Sicherheitsnachweis für die Barriereeigenschaften der beantragten CASTOR-Behälter sowie für Behälter mit volumetrisch verschweißtem Deckel ist unzureichend (siehe hierzu Kapitel 4) bzw. bisher nicht erbracht.
3. Bei nicht erfolgter Gebäudeauslegung gegen Flugzeugabsturz ist in Teilen des Lagerbereiches ein Kerosinbrand möglich, der deutlich höhere Wärmeeinträge verursachen kann als die für „normale“ Brände unterstellten 800 °C über 30 Minuten bzw. 600 °C über eine Stunde.

4. Ein umfangreicheres Verschütten von Behältern durch Gebäudeteile/-schutt muss nachweisbar verhindert werden, um die Wärmeabfuhr zu sichern. Dies gilt insbesondere für das Standort-Zwischenlager Grafenrheinfeld, da
  - bei schweren Unfällen das Hauptaugenmerk zunächst auf den benachbarten Reaktor gerichtet sein muss,
  - die unmittelbare Zugänglichkeit zu den Behältern durch die Lagerplatzanordnung für die Behälter erheblich eingeschränkt ist.
5. Auf Grund des hohen Aktivitätsinventars ist die Anwendung des Risikobegriffs in Zusammenhang mit unterstellten Wahrscheinlichkeiten für einen wirksamen Strahlenschutz nicht zielführend. Anstatt der Bewertungsschwelle des sogenannten Restrisikos sollte hier die Entscheidungsgrundlage in Bezug auf die Notwendigkeit zur Auslegung der Anlage die Eintrittsmöglichkeit des Ereignisses sein. Insbesondere die Einwirkung Dritter lässt sich durch Wahrscheinlichkeiten nicht erfassen.

Die obersten Gerichte der Bundesrepublik Deutschland fordern in ihrer Rechtsprechung die bestmögliche Schadensvorsorge. Nach Stand von Wissenschaft und Technik ist in der Bundesrepublik Deutschland in der Kerntechnik ein Mehrbarrierensystem, einerseits gegen die Freisetzung radioaktiver Stoffe und andererseits gegen die äußere Einwirkung auf den radioaktiven Stoff, üblich. Dieser Stand ist vor allem dann einzuhalten, wenn Freisetzungen radioaktiver Stoffe in größerem Umfang entweder durch die physikalischen/chemischen Systembedingungen zu befürchten sind (z.B. in einem betriebenen Reaktor) oder das potenziell freisetzbare Aktivitätsinventar sehr groß ist. Letzteres ist bei einem Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente mit mehr als  $10^{20}$  Bq zweifellos der Fall. Diesen Anforderungen wird das in Grafenrheinfeld vorgesehene Zwischenlager nicht gerecht.

Aus den genannten Gründen ist eine Auslegung von Behälter und Lagergebäude gegen die Einwirkungen von Außen zu fordern. Für das Lagergebäude sollte die Auslegung einen Vollschutz bieten. Dass heißt, Abplatzungen von größeren Betonteilen und das Eindringen von Kerosin in das Gebäude sind sicher zu vermeiden oder es ist durch funktionell gleichwertige Lösungen eine entsprechende Begrenzung von Folgen großer Lasteinträge sicher zu stellen. Die für das genehmigte aber bisher nicht gebaute Zwischenlager II in Ahaus geplante Auslegung gegen Flugzeugabsturz und die laut Antrag zum Standort-Zwischenlager Lingen vorgesehene Teilauslegung des Lagergebäudes gegen Flugzeugabsturz (Penetrationssicherheit) zeigt, dass die Auslegung zumindest von einem Teil der Betreiber als sinnvoll angesehen wird und dem kein unverhältnismäßiger bautechnischer Aufwand sowie keine gravierenden ökonomischen Probleme entgegenstehen.

Die Behälterlager in den USA besitzen zwar ebenfalls keine zweite Barriere gegen äußere Einwirkungen (sie stehen ungeschützt auf einer Betonplatte), die Sachlage ist jedoch nicht mit derjenigen in der Bundesrepublik Deutschland zu vergleichen. Die Behälter haben einen größeren Abstand zueinander und vor allem sind die Entfernungen zwischen Lager und der Bevölkerung zugänglichen Orten bzw. bewohnten Gebieten sehr viel größer.

Für das Zwischenlager in Dukovany (Tschechische Republik) existiert zumindest gegen seitliche Einwirkungen ein zusätzlicher Schutz gegen Einwirkungen von Außen. Der Lagerbereich des Gebäudes wird von einer zusätzlichen, in etwa 1 m Abstand vom Gebäude verlaufenden 5 m hohen und Eisen-armierten Betonwand umgeben (FAJMAN & SEDLACEK 2001).

Das Zwischenlager in der Schweiz ist gegen den Absturz einer schnell fliegenden Militärmaschine ausgelegt. Die Genehmigungsbehörde hält den Absturz eines Großraumflugzeuges für mit abgedeckt (KNECHT, 2001).

Es ist zusammenfassend festzustellen, dass die Auslegung eines Gebäudes, wie es für das Standort-Zwischenlager in Grafenrheinfeld vorgesehen ist, gegen Flugzeugabsturz durchaus möglich und zumindest für schnell fliegende Militärmaschinen bereits als Stand der Technik zu bezeichnen ist.

### Quellenangaben zu Kapitel 3:

ATW (1994): BZA: Meldepflichtiges Ereignis; atw 39.Jg.(1994) Heft 3-März

BAM (1981): Bundesanstalt für Materialprüfung: Stellungnahme zu Korrosionsfragen beim Zwischenlagerbehälter CASTOR; Labor 1.31, Berlin, Mai 1981

BAM (1982): Bundesanstalt für Materialprüfung: Beurteilung behälterspezifischer Fragen der trockenen Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in einem Brennelement-Zwischenlager bei Gorleben; Aktenzeichen 1.02/3022, Berlin, November 1982

BAM (1986): Bundesanstalt für Materialprüfung: Beurteilung behälterspezifischer Fragen der trockenen Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in einem Brennelement-Zwischenlager in Gorleben; Nachtrag zum Gutachten vom November 1982, Aktenzeichen 1.5/3562-N, Berlin, Oktober 1986

BAM (1998): Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung: Trocknung des Dichtungszwischenraumes am Primärdeckel bei Transport- und Lagerbehältern; Brief an das BFS vom 23.11.1998

BFS (1993): Bundesamt für Strahlenschutz: Wortprotokoll über den Erörterungstermin für das Transportbehälterlager Gorleben; 6. bis 9. September 1993

BFS (1999): Bundesamt für Strahlenschutz: Jahresbericht 1999, Meldepflichtige Ereignisse in Anlagen zur Kernbrennstoffver- und -entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland

BFS (2000a): Bundesamt für Strahlenschutz: Konsequenzen aus der Fehlberechnung des Ausdehnungsverhaltens der Moderatorstäbe; Informationsblatt ohne Kennung und Datum

BFS (2000b): Bundesamt für Strahlenschutz: 1. Änderungsgenehmigung zur Aufbewahrungsgenehmigung vom 02.06.1995 für das Transportbehälterlager Gorleben; ET 3.3-15704, Salzgitter, 01.12.2000

BFS (2000c): Bundesamt für Strahlenschutz: Jahresbericht 2000, Meldepflichtige Ereignisse in Anlagen zur Kernbrennstoffver- und -entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland

COLLIN (1999): Aussage von F.-W. Collin (BfS) auf dem Erörterungstermin für das Standort-Zwischenlager Lingen, 15. - 20.12.1999, Wortprotokoll S. 2-55

DROSTE (1996): Droste, B. (BAM); Wortprotokoll zum Erörterungstermin Transportbehälterlager Ahaus, 12.09.1996, S. 2-57

FAJMAN & SEDLACEK (2001): Fajman, V. & Sedlacek, J.: Spent Fuel Storage In The Czech Republik; Tagungsbericht Zwischenlager-Workshop, Jülich, 23.-24. Januar 2001

FRANKE (2001): Franke, B. (ifeu-Institut): persönliche Mitteilung an Gruppe Ökologie e.V. am 09.03.2001  
GEISER et al., 2001: Geiser, H. et al.: Standortzwischenlager mit KONVOI-Konzept; atw 46.Jg.(2001) Heft 4-April

GKN (2000): Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar GmbH: Interimslager für 24 Transport- und Lagerbehälter der Bauart CASTOR V/19 am Standort des Gemeinschaftskernkraftwerks Neckar - Sicherheitsbericht; Neckarwestheim, 08.05.2000

GNS (2001): Gesellschaft für Nuklear-Service mbH: Presseinformation unter [www.gns.de](http://www.gns.de), April 2001

GÖK (1997): Gruppe Ökologie e.V.: Kurzrecherche zu Wasserstoffbildung durch Tragkorb; Stellungnahme im Auftrag von Greenpeace e.V., Hannover, 18.02.1997

GÖK (1999): Gruppe Ökologie e.V.: Bedeutung von festgestellter Feuchtigkeit im Dichtungsbereich von CASTOR-Behältern für das Transportbehälterlager Gorleben (TBL); Stellungnahme im Auftrag der Rechtshilfegruppe Gorleben e.V., Hannover, April 1999

HSK (1992): Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK): Gutachten zum Gesuch der ZWILAG Zwischenlager Würenlingen AG um eine Rahmenbewilligung für ein zentrales Zwischenlager für radioaktive Abfälle in Würenlingen; März 1992

KNECHT (2001): Knecht, B. (HSK): Zwischenlagerung von hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung und von abgebrannten Brennelementen – Situation in der Schweiz; Tagungsbericht Zwischenlager-Workshop, Jülich, 23.-24. Januar 2001

MESSERSCHMIDT (2001): Messerschmidt, H., persönliche Mitteilung an die Gruppe Ökologie im September 2001

NLR (2001): Niedersächsische Landesregierung: Der CASTOR – das unbekannte Wesen?; Antwort auf eine Kleine Anfrage der Abg. Frau Harms (Grüne), Drucksache 14/2621, 7. August 2001

MECK-VORP (1999): Landesregierung Mecklenburg-Vorpommern: Zweifel an der Haltbarkeit von Dichtungen an CASTOR-Behältern 440/84; Unterrichtung des Landtages, Drucksache 3/281, 06.04.1999

SCHLICH (2000): Schlich, E.: Dichtungskorrosion in Castor-Behältern; Gutachten im Auftrag der Bürgerinitiative "Kein Atommüll in Ahaus" e.V., Gießen, 20. November 2000

SOWA (2001): Sowa, W. (GNS): Internationaler Stand der Zwischenlagerung; Tagungsbericht Zwischenlager-Workshop, Jülich, 23.-24. Januar 2001

StMLU (2001): Antwort des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen auf eine schriftliche Anfrage der Abgeordneten Ruth Paulig und Susanna Tausendfreund (Die Grünen) wegen Undichtigkeiten am Garchingener Reaktor FRM-II; München, 25.04.2001

TÜV (1994): Technischer Überwachungsverein Südwestdeutschland e.V.: Beladung eines CASTOR Ila-Behälters zur Zwischenlagerung im Transportbehälterlager Gorleben – Erfahrungen bei der Handhabung und Prüfung; Mannheim, 03.05.1994

VEW (1999): Stratmann (Vereinigte Elektrizitäts Werke AG); Ausführungen auf dem Erörterungstermin zum beantragten Standort-Zwischenlager am 17.12.1999, Wortprotokoll S. 3-47

VÖLZKE (1999): Aussage von Völzke (BAM) auf dem Erörterungstermin für das Standort-Zwischenlager Lingen, 15. - 20.12.1999, Wortprotokoll S. 2-54

## 4 SICHERHEIT VERFÜGBARER LAGERBEHÄLTER

### 4.1 Elemente des Sicherheitsnachweises für Transport- und Lagerbehälter

Die Behälter, die in der Bundesrepublik Deutschland zur Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente eingesetzt werden bzw. werden sollen, sind Transport- und Lagerbehälter. Daraus ergibt sich nach deutschem Recht, dass die Vorsorge gegen Auswirkungen von Stör- oder Unfällen zum Teil in verkehrsrechtlichen Verfahren und zum anderen Teil im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren für das Zwischenlager behandelt wird. Für das Genehmigungsverfahren zum Standort-Zwischenlager in Grafenrheinfeld ist gegenwärtig vor allem der Behältertyp CASTOR V/19 für Druckwasserreaktor-Brennelemente relevant, da nur er eine verkehrsrechtliche Zulassung in der Bundesrepublik besitzt. Für die anderen, laut Sicherheitsbericht zur Zwischenlagerung in Grafenrheinfeld vorgesehenen Behältertypen enthält der Sicherheitsbericht zum Teil keine nachvollziehbare Zuordnung von wichtigen Eigenschaften (z.B. Werkstoffe für Behälterkörper sowie Innenauskleidungen) und keine Angaben zu Versuchen und/oder Berechnungen zur Prüfung der Behälter. Dies ist insbesondere deshalb von großer Bedeutung, weil die anderen Behälter sehr unterschiedliche Konstruktionsmerkmale aufweisen. Aus den Gründen

- keine verkehrsrechtliche Zulassung zum Zeitpunkt der Beteiligung Österreichs nach UVP-RI,
- unzureichende Beschreibung der Behältertypen im Sicherheitsbericht und
- keine Hinweise, wie die Sicherheitsnachweise für diese Behältertypen erbracht worden sind bzw. werden sollen

ist vor der Genehmigung der Einlagerung dieser Behälter in das Standort-Zwischenlager Grafenrheinfeld eine erneute Beteiligung am Verfahren zu fordern.

Der Sicherheitsnachweis zur Widerstandsfähigkeit des Behälters bei Eintrag großer Lasten, die bei Transportunfällen auftreten können, sowie für die Kritikalitätssicherheit und die Strahlungsabschirmung wird im Rahmen der verkehrsrechtlichen Zulassung des Behälters (Voraussetzung für die Erteilung einer Transportgenehmigung) geführt. Für Behälter zum Transport bestrahlter Brennelemente wurden von der IAEA Anforderungen bezüglich der mechanischen und thermischen Belastbarkeit aufgestellt, die in das bundesdeutsche Verkehrsrecht für Gefahrguttransporte übernommen wurden. Daher sind sie bindend für in der Bundesrepublik Deutschland transportierte Behälter. Danach müssen B(U)-Behälter wie der CASTOR V/19

- einem Aufprall auf eine unnachgiebige Fläche aus 9 m Höhe,
- einem Aufprall auf einen Dorn aus 1 m Höhe,
- einem Feuer mit der Temperatur von 800 °C über 30 Minuten,
- dem Druck bei 15 m Wassertiefe 8 Stunden und
- dem Druck von 200 m Wassertiefe 1 Stunde

widerstehen können. Die ersten drei Prüfungen müssen hintereinander an einem Behälter durchgeführt werden. Der Nachweis, dass ein Behältertyp diese Anforderungen erfüllt, kann nach bisher üblicher Meinung mit praktischen Tests (an Prototypen, Originalbehältern oder skalierten Modellen), mit Bezugnahme auf Ergebnisse aus früheren praktischen Versuchen mit ähnlichen Behältern oder mit Berechnungen durchgeführt werden (IAEA, 1990 und

1996). Dieser Sicherheitsnachweis wird unter Einbeziehung von Stoßdämpfern an Kopf und Boden des Behälters geführt. In der Bundesrepublik hat die Intensität der öffentlichen Diskussion über den Sicherheitsnachweis von CASTOR-Behältern seit der Beantragung von Standort-Zwischenlagern wieder zugenommen. In diesem Zusammenhang wird auch in Frage gestellt, ob die verkehrsrechtliche Zulassung eines Behältertyps hauptsächlich auf Grundlage eines rechnerischen Sicherheitsnachweises zulässig ist (TIMPERT, 2002). IAEA (1990 und 1996) kann in der Tat so interpretiert werden, dass praktische Tests mit einem Behälter, einem Prototyp oder einem verkleinerten Modell durchgeführt werden müssen, die dem Originaltyp entsprechen oder mindestens eine hinreichende Ähnlichkeit besitzen.

Darüber hinaus muss im Rahmen der verkehrsrechtlichen Zulassung für den Behälter ein Nachweis zur Sprödbruchsicherheit geführt werden. Während bei den o. g. Anforderungen die Prüfung der Konstruktion im Vordergrund steht, soll mit dem Sprödbruchsicherheitsnachweis die Eignung des Werkstoffs geprüft werden. Dies geschieht in der Regel mit ingenieurtechnischen Berechnungen auf Grundlage von Kennwerten, die mit praktischen Standardprüfungen der Werkstofftechnik gewonnen werden. Damit wird nachgewiesen, dass der Werkstoff bei mechanischem Lasteintrag einen ausreichenden Widerstand gegen ein vollständiges Durchreißen der Behälterwand bietet.

Im Zwischenlagerverfahren wird zwar auf Ergebnisse der verkehrsrechtlichen Nachweise Bezug genommen, der diesbezügliche Sicherheitsnachweis aber als gegeben vorausgesetzt. Er ist damit nach Ansicht der Genehmigungsbehörde nicht mehr zu behandelnder Teil des Genehmigungsverfahrens für die Zwischenlagerung. Laut Sicherheitsbericht ist die verkehrsrechtliche Zulassung des Behälters vor und während der gesamten Lagerzeit aufrecht zu erhalten.

In atomrechtlichen Verfahren für die Zwischenlagerung werden Lasteinträge geprüft, die durch den verkehrsrechtlichen Sicherheitsnachweis nicht abgedeckt sind. Das sind laut Sicherheitsbericht:

- Ein Behälterabsturz ohne Stoßdämpfer bei senkrechtem Aufprall des Behälterbodens aus einer von den Gegebenheiten im Zwischenlager abhängigen Höhe.
- Belastungen durch einen Flugzeugabsturz, der im Rahmen der zusätzlichen Vorsorge gegen das Restrisiko betrachtet wird. Hier wird der Aufprall einer Turbine von einer schnell fliegenden Militärmaschine (mechanische Einwirkung auf das Deckelsystem von 1 Mg mit 300 m/s) sowie ein Treibstoffbrand (thermische Einwirkung auf Behälter 600 °C über 1 Stunde) unterstellt.

Beide Nachweise wurden in den bisherigen Genehmigungsverfahren in der Bundesrepublik Deutschland sowie laut Sicherheitsbericht auch vom Antragsteller in Grafenrheinfeld – unter Einbeziehung von Versuchsergebnissen mit Testbehältern bzw. Modellen anderer Behältertypen – rechnerisch geführt.

In Genehmigungsverfahren für Zwischenlager werden auch Einwirkungen Dritter betrachtet. Sie sind jedoch nicht Gegenstand des öffentlichen Genehmigungsverfahrens. Daher liegen hierzu relativ wenig Informationen vor. Bekannt ist lediglich, dass Auswirkungen des Beschusses eines Behälters mit einem Hohlladungskörper (Panzerfaust) betrachtet worden sind.

Die vorgehend aufgeführten Sicherheitsnachweise werden in den folgenden Unterkapiteln diskutiert. Dabei wird auch auf durchgeführte Versuche mit anderen CASTOR-Behältertypen als dem CASTOR V/19 eingegangen, die im Sicherheitsbericht zum Zwischenlager Grafenrheinfeld genannt werden bzw. auf die von Betreiber- und Behördenseite häufig Bezug genommen wird. Es handelt sich dabei um:

- 9 m-Fall ohne Stoßdämpfer auf unnachgiebiges Fundament.
- Fall bei -40 °C mit und ohne Stoßdämpfer auf unnachgiebiges Fundament.
- 19,5 m-Fall auf reales Fundament.
- Fall ohne Stoßdämpfer mit künstlichen Fehlern in der Wandung auf unnachgiebiges Fundament.
- Fallversuche mit POLLUX-Behältern.
- Simulierte Eisenbahn-/LKW-Unfälle.
- Großbrandversuch

## 4.2 Verkehrsrechtlicher Sicherheitsnachweis

### 4.2.1 Grundsätzliche Probleme

Die von der IAEA festgelegten Anforderungen werden vielfach als unzureichend kritisiert. Hauptkritikpunkte sind die nicht ausreichende Abdeckung möglicher Unfalleinwirkungen, die gegenüber den US-amerikanischen Vorschriften abgeschwächten Anforderungen an den Sprödbruchsicherheitsnachweis und die Möglichkeit der Nachweisführung ohne praktische Tests mit Originalbehältern (FINK & NEUMANN, 1993).

Die IAEA-Anforderungen orientieren sich an den bei schweren Unfällen auftretenden Belastungen, erfüllen aber nicht den Anspruch, jede mögliche Unfallbelastung abzudecken. Dass dies nicht der Fall ist, wurde in verschiedenen Studien belegt. Nach LYMAN (1994) werden laut einem Report der US-amerikanischen Atombehörde diese IAEA-Bedingungen bei 0,6 % der Straßen- und 1,3 % der Bahnunfälle übertroffen. Nach einer Studie von "ECO-Engineering" in den USA werden häufig Flammentemperaturen von bis zu 1.100 °C erreicht (zitiert in (LYMAN, 1994)) und auch Branddauern von mehr als 30 Minuten sind bei schweren Unfällen unter ungünstigen Randbedingungen durchaus möglich. Dies hat sich auch bei mehreren schweren Unfällen in der Bundesrepublik bestätigt.\* International gibt es daher auch Forderungen nach restriktiveren Anforderungen an die Unfallsicherheit der Behälter. In den USA wurden z. B. höhere Feueranforderungen diskutiert, allerdings dann nicht in die Vorschriften aufgenommen. Bezüglich der hier relevanten Behälter für bestrahlte Brennelemente (Typ B) hat sich durch die letzte Revision der IAEA-Anforderungen (IAEA, 1996) nichts Wesentliches geändert. Daher wird für detailliertere Informationen auf die genannten Quellen verwiesen.

In Bezug auf die IAEA-Anforderungen sei darauf verwiesen, dass nicht die völlige Beibehaltung der Intaktheit des Behälters verlangt wird, sondern nur bestimmte Schäden begrenzt sein müssen. So darf sich die abschirmende Wirkung des Behälters um den Faktor 100, auf 10 mSv/h (Millisievert pro Stunde) in 1 m Entfernung, verringern und es ist eine Freisetzungsrate aus dem Behälter von  $10^{-6}$  A<sub>2</sub>/h (z. B. 500.000 Bq/h <sup>137</sup>Cs) zulässig. Dabei ist A<sub>2</sub> die auf eine Nuklidart bezogene maximale zulässige Aktivität in einem Behälter. Diese Werte sorgen nach Meinung der IAEA für eine Strahlenbelastung, die der Bevölkerung zu-

---

\* Nach eigenen Recherchen z. B.: Bahnunfälle mit lang anhaltendem Feuer und hohen Temperaturen in Frankfurt/M-Südbahnhof (Februar 1997), Elsterwerder (November 1997) und Hannover-Misburg (Dezember 1997). LKW-Unfälle mit lang anhaltendem Feuer in Beelitz (November 1996) bzw. Aufprall mit 123 km/h in Bad Brückenau (Februar 1998).

gemutet werden kann. Hierzu ist festzustellen, dass zum Beispiel ein großflächiger Abschirmverlust um den o. g. Faktor bereits nach zehn Minuten Aufenthalt in unmittelbarer Nähe des Behälters für einen Menschen (Bahnpersonal), die Überschreitung der nach § 46 der bundesdeutschen Strahlenschutzverordnung zulässigen ganzjährigen Strahlenbelastung (1 mSv/a) für Individuen aus der Bevölkerung bedeutet.

Die Anforderungen der IAEA für die Führung des Sprödbruchsicherheitsnachweises sind geringer als in den USA. Die Kontrollbehörde der USA, Nuclear Regulatory Commission, stellt dazu fest: „Die Anwendung der IAEA Sprödbruchkriterien würde die Möglichkeit von katastrophalem Behälterversagen bei einem Transportunfall einführen“ (HAUGHNEY et al., 1995), soll heißen, ein solches Versagen kann – anders als nach amerikanischen Bestimmungen – dann nicht ausgeschlossen werden.

Die alleinige Abstützung von Sicherheitsnachweisen auf Berechnungen ist problematisch. Die rechnerischen Nachweise werden analytisch, hauptsächlich aber mit der Finiten-Elemente-Methode (FEM) geführt. Für beide Methoden gilt, dass mit Modellierungen für die Beschreibung des Werkstoffverhaltens und Näherungen für die Rechenverfahren gearbeitet werden muss. Die Modellierungen werden mit Hilfe theoretischer Materialgesetze entwickelt und als Parameter werden aus standardisierten Versuchen an Werkstoffproben ermittelte Werkstoffkennwerte benutzt. Neben der Modellhaftigkeit des grundsätzlichen Werkstoffverhaltens, muss dieses Verhalten zusätzlich auf einen großen Temperaturbereich (-40 °C bis über 800 °C) – ebenfalls wieder mit Modellüberlegungen – übertragen werden. Dieses Vorgehen wird darüber hinaus problematisch durch die Tatsache, dass hier nicht nur die Integrität eines starren, monolithischen Körpers betrachtet wird, sondern mittels Materialgesetzen auch die Übertragung der Kräfte beispielsweise auf die Dichtungen modelliert werden muss.

Berechnungen dieser Art sind zwar ingenieurtechnisch zweifellos verbreitet, die Ergebnisse müssen aber – insbesondere bei sicherheitstechnisch relevanten Komponenten – durch praktische Tests bestätigt werden. In anderen Industriezweigen (z.B. Automobilindustrie) ist eine solche experimentelle Absicherung durchaus üblich. In der hier diskutierten Branche der Atomenergieindustrie wird aus Kostengründen darauf verzichtet.

## **4.2.2 Sicherheitsnachweise für CASTOR V/19**

### **4.2.2.1 Integrität der Gesamtkonstruktion**

Die Sicherheitsnachweise für den im Zwischenlager Grafenrheinfeld zur Lagerung vorgesehenen CASTOR V/19 wurden mittels Berechnungen auf Grundlage modellhafter Vorstellungen für verschiedene Behälterorientierungen beim Aufprall geführt. Die Berechnungen erfolgten mit der Finite-Elemente-Methode (FEM), die in Computerprogramme übersetzt wurde. Diese Computerprogramme werden durch Bezugnahme auf frühere Versuche an Behältern mit gleichartigen oder ähnlichen Konstruktionselementen, bei denen beispielsweise Aufprallverzögerungswerte am Behälterkörper gemessen wurden, überprüft. Für dieses „Benchmarking“ genannte Vorgehen wurden von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) Tests mit CASTOR-Behältern in den Jahren 1978 - 1983 sowie Versuche in Japan mit einem CASTOR-ähnlichen Behälter herangezogen (DROSTE, 2001). Die Validierung des Programmes beruht also nicht auf Versuchen mit einem Originalbehälter vom Typ CASTOR V/19.

Bei Sicherheitsnachweisen durch Versuche wird die Widerstandsfähigkeit der Konstruktion insgesamt sowie, bei den genannten CASTOR-Typen, der Werkstoffzustand in den Behälteroberflächenbereichen festgestellt. Diese Prüfergebnisse sind der wichtigste Teil des Nachweises für die Erfüllung der IAEA-Anforderungen. Grundsätzlich ist eine Computersimulation mit FEM als Komponente des Sicherheitsnachweises geeignet. Sie besitzt den

Vorteil, dass der Werkstoffzustand während und nach einer Belastung nicht nur an den Behälteroberflächen, sondern an jeder Stelle des Behälters darstellbar ist. Hiermit können Probleme, die dadurch entstehen, dass die Versuchsergebnisse nicht statistisch abgesichert werden können – die Durchführung einer zur statistischen Absicherung notwendigen Zahl von Versuchen ist für Großbehälter dieser Art unrealistisch – erheblich reduziert werden.

Voraussetzung für die Nutzung von Computersimulationen mit FEM als wesentlicher Bestandteil des Sicherheitsnachweises ist jedoch, dass

- die Abbildung des Behälters und seiner Konstruktionsmerkmale mit ausreichender Genauigkeit in FEM möglich ist und auch vorgenommen wird,
- die Werkstoffgesetze sowie deren Kopplung für unterschiedliche Materialien hinreichend genau beschrieben werden können,
- die dynamischen Abläufe mit sehr kurzen Einwirkungszeiten für komplizierte Strukturen (z. B. Dichtungen, Deckelschrauben) hinreichend genau abzubilden und zu berechnen sind und
- die Programme ausreichend durch praktische Versuche überprüft sind.

Hinsichtlich der ersten drei Punkte sollte die Leistungsfähigkeit der eingesetzten FEM-Programme ABACUS, ADINA und ANSYS überprüft werden. Dies kann in dem hier gegebenen Rahmen nicht geleistet werden.

Die ausreichende Validierung der Computerprogramme muss nach gegenwärtigem Kenntnisstand bezweifelt werden. Mit dem Computerprogramm müssen für den Behälter und seine Dichtungen Belastungssituationen berechnet werden, die sehr komplex sind. Gerade für solche Berechnungen werden FEM-Programme eingesetzt, da diese Aufgaben mit analytischen Lösungen nicht mehr bewältigt werden können. Damit entfällt zwangsläufig die Möglichkeit, diese FEM-Programme durch Vergleich mit analytischen Rechnungen zu überprüfen. Eine solche Überprüfung ist also nur durch Vergleich mit Ergebnissen, die bei Versuchen gewonnen wurden, möglich. Dabei ist es unabdingbar, dass die Überprüfung mit Versuchen durchgeführt wird, die der Problemstellung, hier CASTOR V/19, hinreichend genau entsprechen.

Bei den von der BAM genannten Versuchsreihen, die zur Bewertung herangezogen wurden, ist zu unterscheiden, ob sie für die Nachweisführung zur Bruchmechanik oder für den Nachweis der Dichtheit des Verschlussystems durchgeführt wurden. In (GÖK, 1998) werden die einzelnen Versuche ausführlicher beschrieben und hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Sicherheitsnachweis des Behältertyps CASTOR V/19 bewertet.

Die Versuche mit CASTOR-Typen in den Jahren 1978 bis 1983 sind überwiegend mit Modellen, wenige mit Behältern in Originalgröße und keine mit Behältern, die alle Konstruktionsmerkmale der Originale besaßen, durchgeführt worden. Letzteres ist vor allem notwendig, wenn nicht nur das Verhalten eines bestimmten Bauteiles, sondern die Beibehaltung der Dichtheit des Deckelsystems nachgewiesen werden soll. Von den oft genannten 80 Versuchen mit CASTOR oder ähnlichen Behältern wurden lediglich neun Versuche mit für Brennelemente konstruierten CASTOR-Typen aus 9 m Höhe auf ein unnachgiebiges Fundament bzw. vier Versuche aus 1 m Höhe auf einen Dorn mit anschließender Leckratenprüfung am Behälterverschlussystem durchgeführt. Alle anderen dienten anderen Zwecken oder wurden mit Behältern durchgeführt, die nicht vergleichbar sind. Das heißt, grundsätzlich können überhaupt nur die 13 genannten Versuche zum Nachweis der IAEA-Anforderungen bezüglich Einhaltung des Freisetzungskriteriums herangezogen werden.

Diese Versuche mit einem CASTOR Ic in Originalgröße (drei 9 m und zwei 1 m Versuche) und einem 1:2 Modell des CASTOR IIa (sechs 9 m und zwei 1 m Versuche) wurden zum Teil

auch ohne Stoßdämpfer durchgeführt (Falltests ohne Stoßdämpfer sind in Bezug auf die IAEA-Anforderungen konservativ). Beide Behältertypen besitzen im Gegensatz zum CASTOR V/19 (der einen Kreisquerschnitt aufweist) innen und außen einen quadratischen Querschnitt. Dies hat Auswirkungen auf die Kräfteverteilung im Behälterkörper und am Deckelsystem. Auch die geometrischen Verhältnisse der Behälterabmessungen (Länge, Durchmesser/Breite, Wanddicke, Deckelaufgelassen) und die Massen unterscheiden sich zum Teil erheblich. Darüber hinaus enthielten beide Testbehälter nicht die in zwei konzentrischen Kreisen angeordneten Bohrlöcher für das Neutronenmoderatomaterial. Der Primärdeckel des CASTOR Ic-Prototyps hatte drei Elastomerdichtungen (BAM, 1982b) im Gegensatz zu einer bei den heutigen Behältern.

Bei den Versuchen mit dem Prototyp des CASTOR Ic wurde nur die Dichtheit des Sekundärdeckels gemessen. Nach einem der Falltests wurde eine Erhöhung der Leckagerate der Sekundärdeckeldichtung festgestellt (BAM, 1982a).

Die Versuche mit dem 1:2-Modell des Typs CASTOR IIa wurden mit bereits angeschweißtem massiven Fügedeckel durchgeführt. Dies kann das Werkstoffverhalten im Deckelbereich beeinflussen. Der die Auswirkungen abschwächende Einfluss gilt auf jeden Fall für die beiden Fallversuche auf den Dorn mit der Deckelmitte, da der Fügedeckel einen Großteil der mechanischen Energie aufnimmt. Bei fünf der acht Fallversuche musste ein deutliches Nachlassen der Dichtwirkung des Sekundärdeckels (es konnte mit der eingesetzten Methode nicht mehr genau gemessen werden) festgestellt werden. Nach den ersten Versuchen wurde das Behältermodell geöffnet. An der Dichtfläche des Sekundärdeckels wurden Riefen festgestellt (GNS, 1980). Die Behauptung, die Riefen und das Nachlassen der Dichtwirkung durch Festklemmen der Dichtung in der Nut verhindern zu können, wurde im angegebenen Bericht nicht belegt.

Aus den unterschiedlichen Konstruktionsmerkmalen und Versuchsbedingungen ergibt sich, dass eine Übertragbarkeit der Testergebnisse für die alten CASTOR-Typen auf den neuen CASTOR-Typ äußerst problematisch ist.

In der jüngeren Vergangenheit werden auch Versuche mit POLLUX-Behältern als Beweis für die Sicherheit des neuen CASTOR genannt, z. B. (DROSTE, 2001). Dies soll vor allem das Argument widerlegen, bei den bisherigen Versuchsbehältern seien die Moderatorstabbohrungen nicht oder nur rudimentär vorhanden gewesen und damit keine hinreichende Ähnlichkeit zum CASTOR V/19 gegeben. Der POLLUX-Abschirmbehälter besaß bei den 1993 und 1994 durchgeführten Fallversuchen solche Bohrungen. Die beiden Falltests mit Stoßdämpfer ergaben keine Hinweise auf Werkstoffbeeinträchtigungen in diesen Bereichen. Es wird von DROSTE (2001) darauf hingewiesen, dass der POLLUX-Körper sogar eine dünnere Wand besitzt als die CASTOR V-Typen. Dies ist zwar richtig, der POLLUX besitzt jedoch gleichzeitig andere Konstruktionsmerkmale am Deckelsystem. Der Deckel ist mittels Gewinde in den Behälterkörper tief eingeschraubt, sorgt also für eine Stabilisierung des Behälterkörpers. Außerdem werden durch diese Verschlussstechnik die geringen Stege zwischen den Moderatorstabbohrungen und Deckelverschlussschrauben vermieden. Darüber hinaus unterscheiden sich die Stoßdämpferkonstruktionen zwischen POLLUX und CASTOR erheblich. Beim POLLUX besitzt der Stoßdämpfer einen erheblich größeren Durchmesser als der Behälterkörper einschließlich Tragzapfen (BAM, 1994). Daher wird ein Teil der kinetischen Energie beim horizontalen Fall bereits durch die Verformung der Stoßdämpfer absorbiert und steht nicht mehr zum Eintrag in den Behälterkörper zur Verfügung. Die Eliminierung dieses Effektes bei der Umrechnung der Ergebnisse des POLLUX-Falltests auf das Verhalten eines CASTOR ist problematisch.

Auch die POLLUX-Versuche sind daher nur bedingt geeignet, den rechnerischen Sicherheitsnachweis für den CASTOR V/19 zu stützen.

In Japan wurden eine Reihe von Tests mit Behältern aus Gusseisen in Originalgröße durchgeführt. Bei einem Teil der Versuche wurden dem Typ CASTOR V/52 in der Konstruktion von Körper und Deckelsystem ähnliche Behälter eingesetzt. Allerdings weichen die geometrischen Verhältnisse (vor allem das Verhältnis Länge : Durchmesser) und die Massen der eingesetzten Behälter sowohl von denen des V/52 wie auch von denen des V/19 ab. Schwerpunkt der Versuchsreihen waren Untersuchungen zur Bruchmechanik.

Unter den durchgeführten Versuchen sind nur drei – jeweils mit Stoßdämpfer und in horizontaler Behälterorientierung, zwei aus 9 m Höhe und einer aus 1 m auf einen Dorn –, die in einen Zusammenhang mit den IAEA-Anforderungen zum Nachweis der Integrität des Gesamtbehälters gesehen werden können. Trotz unterschiedlich großer, in den Behälterkörper eingebrachter Fehler wurden nach den Falltests keine weitergehenden Risse festgestellt (SHIRAI et al., 1993). In CRIEPI (1989) wird auch über Leckratentests bei zwei dieser Versuche berichtet. Danach haben sich die Leckageraten für Primär- und Sekundärdeckel nach den hintereinander durchgeführten Versuchen von 9 m und 1 m um ca. zwei Zehnerpotenzen erhöht. Am Sekundärdeckel wurde auch zwischen den beiden Versuchen gemessen. Hier erhöhte sich die Leckagerate zunächst um drei Zehnerpotenzen, verringerte sich dann aber wieder um den Faktor zehn.

Weitere Falltests wurden in vertikaler Orientierung des Behälters (1,5 m, 7,5 m, 17 m Höhe) ohne Stoßdämpfer mit seinem Boden auf eine armierte Stahlbetonfläche durchgeführt, die allerdings nicht den IAEA-Bedingungen genügt. Es wurden die Belastungen des Behälterkörpers und die Dichtheit des Deckelsystems gemessen. Die Leckagerate des Sekundärdeckels blieb dabei jeweils erhalten, für den Primärdeckel nahm sie mit zunehmender Fallhöhe stark (mehr als drei Zehnerpotenzen) zu (KATO et al., 1992).

Zusammenfassend wird die Übertragbarkeit der japanischen Versuchsergebnisse auf die mechanische Belastung und das Dichtheitsverhalten von CASTOR V/19 und V/52 bzw. die Eignung als Benchmark für die auf den CASTOR V/19 angewendeten Programme aus folgenden Gründen in Frage gestellt (Grundlage dieser Aufzählung ist der derzeitige Kenntnisstand):

- Die Fallorientierungen entsprechen nicht derjenigen, die im Deckelbereich die höchsten Belastungen verursacht (Anforderung der IAEA).
- Die Deckel enthalten nicht alle Merkmale von Originalbehältern (z.B. fehlen Durchbrüche, die ihrerseits mit Dichtungen verschlossen werden).
- Die Ähnlichkeitsgesetze sind verletzt, da die Verhältnisse der geometrischen Abmessungen (z. B. Länge: Durchmesser) zwischen Versuchsbehälter und CASTOR V/19 relativ stark voneinander abweichen.
- Die Masse des Versuchsbehälters ist deutlich geringer als die des CASTOR V/19.
- Die Metaldichtungen bestehen beim Versuchsbehälter aus einem anderen Werkstoff, als bei den möglicherweise für Grafenrheinfeld vorgesehenen CASTOR V/19.
- Die Veröffentlichungen und Reports enthalten keine Angabe, ob der Versuchsbehälter mit den gleichen Techniken für Guss des Behälterkörpers und Herstellung der Moderatorhöhlräume gefertigt wurde.
- Die Stoßdämpfergeometrie und möglicherweise auch das Stoßdämpfermaterial unterscheiden sich zwischen Versuchsbehälter und CASTOR V/19.
- Der Versuchsbehälter enthielt nicht über den gesamten Behälterwandradius Moderatorbohrungen. Bei durch die Bohrungen initiierten Vorschädigungen können auch Orte in der Behälterwand bruchrelevant sein, an denen nicht die höchsten Spannungswerte für den Aufprall erwartet werden.

Es ist daher fraglich, ob die in DREIER et al. (1997) beschriebenen Benchmark-Rechnungen für einen Sicherheitsnachweis ausreichend belastbar sind.

Es ist davon auszugehen, dass im Rahmen der Transportzulassungen für den CASTOR V/19 auch Berechnungen für das sog. Standardfeuer der IAEA durchgeführt wurden. Praktische Feuertests mit CASTOR-Behälter sind nur aus dem Jahr 1978 bekannt. Unter den damals durchgeführten fünf Versuchen befindet sich nur einer mit einem Behälter in Originalgröße. Drei Versuche wurden mit einem verkleinerten Modell und ein weiterer mit dem Fußstück eines Behälters durchgeführt. Alle Versuche beziehen sich auf einen CASTOR vom Typ Ia, der ein einfaches Deckelsystem besaß und sich damit drastisch von den heutigen CASTOR-Behältern unterscheidet.

Im Sicherheitsbericht zum Zwischenlager Grafenrheinfeld gibt es ebenso wie in der einschlägigen Literatur und den zugänglichen Gutachten zur Zwischenlagerung des CASTOR V/19 in Gorleben keine Ausführungen zum thermischen Sicherheitsnachweis. Daher können hier keine Aussagen darüber getroffen werden, ob die Nachweise ausschließlich mit einem Rechenprogramm durchgeführt wurden oder ob Vergleiche mit den Ergebnissen der Feuertests mit dem CASTOR Ia gezogen wurden.

Die IAEA fordert den Nachweis der Behälterintegrität für die drei aufeinander folgend mit dem gleichen Behälter durchgeführten Belastungen durch 9 m-Fall, 1 m-Fall auf Dorn und Feuer mit 800 °C über 30 Minuten (siehe Kapitel 4.1). Im Sicherheitsbericht wird dies auch so wiedergegeben. Weder in Veröffentlichungen, noch auf Erörterungsterminen in Genehmigungsverfahren wurde jedoch bisher berichtet, wie diese Anforderung in Behältersicherheitsnachweisen umgesetzt wurde. Es wurden immer nur Einzelversuche bzw. -rechnungen beschrieben. Sollten tatsächlich keine belastbaren Versuchsreihen oder aneinander anknüpfende Berechnungen mit allen drei Belastungssituationen durchgeführt worden sein, entsprächen die Sicherheitsnachweise nicht den IAEA-Anforderungen. Die Genehmigungsbehörde ist aufgefordert, im Genehmigungsverfahren zum Zwischenlager in Grafenrheinfeld den diesbezüglichen Sachstand zu klären.

#### **4.2.2.2 Bezug auf Extremtests**

In der öffentlichen Diskussion wird als Beleg für die Widerstandsfähigkeit der Behälter für bestrahlte Brennelemente oft auf sogenannte Extremtests hingewiesen.

Ein Eisenbahnunfall wurde 1984 in Großbritannien simuliert. Eine Lokomotive (140 Mg) mit einer Geschwindigkeit von 160 km/h prallte auf einen mit dem Transportwagen auf den Schienen liegenden Magnox M2c-Behälter (48 Mg). Es wurden keine sicherheitstechnisch relevanten Beschädigungen des Behälters festgestellt (ATOM, 1984). LKW-Unfälle wurden 1977 mit Modell- und Originalbehältern in den USA simuliert. Der LKW prallte auf eine Betonwand, der LKW-Aufbau wurde zerquetscht und der Brennelementbehälter (20,5 Mg) prallte mit einer Geschwindigkeit von 43 km/h auf die Wand. Bei diesem und den anderen Versuchen wurden nur leichte Verformungen des Behälters und keine Risse festgestellt (HUERTA, 1977).

Die beschriebenen Versuche sind geeignet zu zeigen, dass Behälter, die die IAEA-Typ B-Anforderungen erfüllen müssen, bei bestimmten größeren Unfallbelastungen nicht auseinanderbrechen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass der Behälter beim Eisenbahnversuch nach dem Aufprall gemeinsam mit dem Waggon bewegt wurde, d. h. ein erheblicher Teil des Energieeintrages in Bewegungsenergie umgesetzt wurde, also nicht für den mechanischen Lasteintrag in den Behälter zur Verfügung stand. Im anderen Fall wurde ein erheblicher Teil der kinetischen Energie in die Verformung der LKW-Aufbauten umgesetzt, so dass

der Lasteintrag in den Behälter geringer war als er bei einem Fall in entsprechender Orientierung auf eine Betonfläche aus 9 m Höhe gewesen wäre.

Diese Versuche sind dagegen nicht geeignet, die Einhaltung des IAEA-Freisetzungskriteriums nachzuweisen, da entsprechende Untersuchungen nicht Ziel der Versuche waren und der mechanische Lasteintrag bei den Versuchsbedingungen auch nicht den IAEA-Anforderungen entsprach. Insbesondere ist keine Übertragbarkeit auf CASTOR V/19-Behälter möglich, da sich konstruktiver Aufbau, geometrische Abmessungen, Massen und Behälterwerkstoff drastisch unterscheiden (NEUMANN, 1997).

Im Jahr 1999 wurde von der BAM ein „Großbrandversuch“ durchgeführt. Ein CASTOR THTR/AVR (42 Mg) wurde neben einem Kesselwagen mit Propangastank aufgestellt und beide Behälter einer den IAEA-Anforderungen entsprechenden Feuertemperatur ausgesetzt. Der mit 5,1 Mg gefüllte Propangastank explodierte nach ca. 15 Minuten und verursachte dabei einen Feuerball, eine Druckwelle und Trümmerflug. Das Fahrgestell des Kesselwagens wurde gegen den CASTOR und dieser 7 m weit durch die Luft auf den Sandboden geschleudert. Die Dichtheit des mit dem üblichen Doppeldeckelsystem versehenen Behälters blieb in vollem Umfang erhalten (DROSTE & VÖLZKE, 2001).

Dieser Versuch zeigt zweifelsohne einen hohen Sicherheitsstandard für diesen CASTOR-Typ. Wie aussagekräftig das Ergebnis für den CASTOR V/19 ist, kann nur bei Kenntnis genauerer Einzelheiten abschließend bewertet werden. Zunächst kann festgehalten werden, dass der Versuchsbehälter nur etwa ein Drittel der Masse des CASTOR V/19 besitzt. Für letztere wäre daher die für die Verformung am Deckelsystem zur Verfügung stehende Energie deutlich größer, da weniger der durch das Fahrgestell eingetragenen Energie in Bewegungsenergie für den Behälter umgesetzt würde. Eine Übertragbarkeit des Ergebnisses für die beibehaltene Dichtheit ist damit nicht ohne weiteres gegeben.

#### 4.2.2.3 Sprödbrechtsicherheit

Ein Sprödbrechtsicherheitsnachweis in klassischem Sinn ist für CASTOR-Behälter auf Grund der Spröde des Werkstoffes GGG 40 nicht möglich. Wegen dieser Eigenschaft von GGG 40 können bestimmte Werkstoffkennwerte nicht mit Standardprüfverfahren ermittelt werden. Die BAM hat daher für diesen Behälterwerkstoff eine abweichende Nachweisführung entwickelt (VÖLZKE, 1994). Dabei werden Ergebnisse von Fallversuchen mit auf - 40 °C abgekühlten Behältern, bei denen teilweise Fehler in die Behälteroberfläche gefräst sind, berücksichtigt. Es handelt sich dabei um einen Teil der Versuchsreihen, die bereits im Abschnitt 4.2.2.1 angesprochen wurden. Damit ergeben sich für die Übertragbarkeit bzw. das Benchmarking von Rechenprogrammen ähnliche Probleme. Hier spielen vor allem mögliche Vorschädigungen in Form von Werkstoffspannungen eine Rolle, die durch bestimmte Konstruktionsmerkmale bedingt sein können.

In den USA sind CASTOR-Behälter wegen des nicht klassisch zu führenden Sprödbrechtsicherheitsnachweises aus sicherheitstechnischen Gründen nur zur Zwischenlagerung (geringere Belastungen im Falle von Unfällen), nicht aber zum Transport zugelassen. Die Herstellerfirma des CASTOR Gesellschaft für Nuklear-Service mbH (GNS) hat daher für den US-amerikanischen Markt einen Transport- und Lagerbehälter aus Stahl entwickelt, der sich zur Zeit in den USA im Genehmigungsverfahren befindet.

### 4.3 Sicherheitsnachweis für Zwischenlagerung

Im Vergleich zu den Anforderungen im verkehrstechnischen Sicherheitsnachweis für mechanische Belastungen durch Stör- oder Unfälle sind für die Situation im Zwischenlager zum Teil andere Randbedingungen zu berücksichtigen. Der Behälter könnte auf der einen Seite größeren Belastungen ausgesetzt sein, da er nicht durch Stoßdämpfer geschützt ist. Andererseits sind mögliche Belastungen begrenzt, da bei den Behälterhandhabungen nur geringe Geschwindigkeiten erreicht werden, die Hubhöhen bei der Handhabung mit dem Kran auf deutlich unter 9 m begrenzt sind und keine den IAEA-Anforderungen vergleichbare unnachgiebige Fläche für den Aufprall vorhanden ist. Bezüglich thermischer Belastungen ist für Auslegungsstörfälle kein Sicherheitsnachweis zu führen, da auf Grund der geringen Brandlasten nicht von einer Gefährdung durch Brand ausgegangen wird.

Laut Sicherheitsbericht wurde ein rechnerischer Nachweis für den senkrechten Aufprall des Behälterbodens eines CASTOR V/19 (ohne Behälterstoßdämpfer) aus 3 m Höhe auf einen mit Bodenstoßdämpfer versehenen Hallenboden geführt. Die errechneten Belastungen sind geringer als bei den verkehrsrechtlich geforderten Nachweisen. Die Berücksichtigung des Bodenstoßdämpfers entspricht wegen der vielfältigen Fehlermöglichkeiten nicht der erforderlichen konservativen Vorgehensweise.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für das Transportbehälterlager Gorleben wurde ein Fall des CASTOR V/19 aus 3,56 m Höhe (entspricht etwa 30 km/h Aufprallgeschwindigkeit) ohne Stoßdämpfer bei senkrechtem Aufprall des Behälterbodens auf den Beton-Hallenboden rechnerisch simuliert. Die festgestellten Aufprallverzögerungen am Behälterkörper waren geringer als bei dem in Abschnitt 4.2.2.1 betrachteten 9 m Fall (entspricht knapp 50 km/h) mit Stoßdämpfer in gleicher Orientierung. Die Genehmigungsbehörde geht daher davon aus, dass Behälter und Dichtungen auch diesen Fall ohne nennenswerte Beeinträchtigungen überstehen (BAM, 1995). Eine Übertragbarkeit auf das Zwischenlager in Grafenrheinfeld müsste allerdings intensiv geprüft werden, da sich die Widerstandsfähigkeit der Hallenböden (Betondichte, Armierung, Bodendicke, Untergrund) stark unterscheiden kann.

In der länger zurückliegenden Vergangenheit wurden Falltests ohne Stoßdämpfer aus Höhen von 9 und 19,5 m durchgeführt. Der Fallversuch aus 19,5 m Höhe auf ein normales Betonfundament wurde mit einem Behältertyp CASTOR Ic in Originalgröße durchgeführt. Es wurden – soweit aus den bisher zugänglichen Unterlagen bekannt – lediglich die Aufprallverzögerungswerte festgestellt und eine optische Integritätsprüfung durchgeführt. Daraus konnte geschlossen werden, dass der Behälterkörper jeweils intakt blieb und die Deckel an ihren Positionen verblieben (BAM, 1982a). Aussagen zur Dichtheit können hieraus allerdings nur unter größtem Vorbehalt abgeleitet werden, da keine Leckagerate gemessen wurde. Der Behälter hatte ein nicht der heutigen Konstruktion entsprechendes Deckelsystem. Da zusätzlich die Verhältnisse verschiedener Abmessungen und die geometrische Form des CASTOR Ic nicht mit dem CASTOR V/19 übereinstimmen (s. o.) können diese Versuche weder direkt übertragen, noch dürften sie für ein Benchmarking von Rechenprogrammen verwendet werden.

### 4.4 Flugzeugabsturz

Für den CASTOR-Behälter V/19 besteht von Hersteller und Behörde die Einschätzung, dass auch nach einem Flugzeugabsturz auf den Deckelbereich eine gewisse Dichtheitswirkung (in der Größenordnung  $10^{-2} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) zumindest für den Primärdeckel erhalten bleibt. Bei ei-

nem Aufprall auf den Behälterkörper wird vom Erhalt der Behälterintegrität ausgegangen. Der mechanische Sicherheitsnachweis für die Dichtheit enthält statische Berechnungen für das Deckelverhalten des Behälters, die durch vergleichende Betrachtungen mit den Ergebnissen von praktischen Beschussversuchen im Jahr 1980 und durch Überlegungen zum dynamischen Verhalten ergänzt werden.

Der Flugzeugabsturz wurde simuliert durch jeweils einen Aufprall eines Geschosses bei einer Geschwindigkeit von 300 m/s (1.080 km/h) auf die Mantelfläche des Fußstückes eines CASTOR Ia sowie senkrecht und unter einem bestimmten Winkel auf die Mitte des Deckelsystems eines verkürzten Modells von einem CASTOR IIa. Das 5 m lange Geschoss besaß eine Gesamtmasse von 1 Mg, wobei der harte Kern eine Masse von 0,5 Mg aufwies. Diese Bedingungen sollen in etwa den Kenndaten von schnell fliegenden Kampfflugzeugen (z. B. Phantom) bei einem Aufprall in einem Behälterlager entsprechen. Auf Grund der erheblich „weicheren“ Konstruktion von Verkehrsflugzeugen ist zu vermuten, dass diese Bedingungen in Bezug auf das Verhalten des Deckelsystems auch für sie abdeckend sind. Eine detaillierte Untersuchung hierzu wurde von Betreiber- und Behördenseite bisher allerdings nicht vorgelegt.

Der Versuch mit dem Fußstück diente dem Nachweis der allgemeinen Widerstandsfähigkeit des Behälters bzw. vor allem des Behälterwerkstoffes. Es traten Beschädigungen der Kühlrippen und der Behälteroberfläche auf. Es ist davon auszugehen, dass der Aufprall erhebliche Spannungen – auch bleibende Vorspannungen – im Behälterkörper verursacht hat. Auf Grund der relativ geringen sichtbaren Schäden kann jedoch unterstellt werden, dass der Behälterkörper eines CASTOR dem Aufprall einer Flugzeugturbine widerstehen kann und keine unmittelbaren Freisetzungen zu befürchten sind. Allerdings ist diese Bewertung insofern zu relativieren, als dass in der Wandung des Fußstückes keine Moderatorstabbohrungen eingebracht waren. Dies hätte eine Schwächung der Wand zur Folge gehabt. Nicht auszuschließen sind daher zumindest Probleme bei der anschließenden Handhabung eines so belasteten Behälters.

Der Versuch mit schrägem Aufprall des Geschosses wurde in Genehmigungsverfahren nicht zur Bewertung herangezogen, da das Deckelsystem bei diesem Versuchsbehälter von den später konstruierten abwich (BAM, 1982a).

Bei dem Beschuss des CASTOR-Modells senkrecht zur Deckelebene wurde die Schutzplatte des Behälters zerstört und der Sekundärdeckel so stark bleibend verformt, dass keinerlei Dichtwirkung mehr zu unterstellen war. Der Primärdeckel wurde nur elastisch verformt. Seine Leckagerate erhöhte sich jedoch erheblich. Sie wurde nicht mit der heute üblichen Leckratenmessung, sondern rechnerisch auf Grundlage einer Druckmessung ermittelt. Sie war so hoch, dass flüchtige radioaktive Stoffe, auf eine bestimmte – relativ kleine – Durchtrittsfläche bezogen, praktisch ungehindert austreten hätten können. Quantitativ wurde die Leckagerate mit  $3 \cdot 10^{-2} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$  angegeben (BAM, 1982a). Es ist anzuzweifeln, ob die Versuchsbedingungen für einen Vergleich mit einem stehenden Behälter ausreichend konservativ waren. Durch die liegende Position des Behälters beim Versuch konnte trotz der 20 cm dicken Betonwand mit dahinter angeschüttetem und verdichtetem Erdreich, vor der der Behälter lag, ein Teil der durch das Geschoss eingetragenen Energie in Bewegungsenergie des Behälters umgesetzt werden. Er wurde um ca. 40 cm verschoben und dabei auch ein Stück gedreht. Das bedeutet, ein weiterer Teil der eingetragenen Energie wurde zur Zerstörung der Wand und der Verdrängung des Erdreiches aufgezehrt.

Die Ermittlung der dynamischen Kennwerte für die Beurteilung des Deckel- und Dichtungsverhaltens auf Grund des alten Beschussversuches ist als problematisch anzusehen, da

- sich die geometrischen Verhältnisse und Abmessungen von Behälterkörper und -deckel, insbesondere auch die Deckelaufgelassen im Behälterkragen, des CASTOR V/19 vom CASTOR IIa unterscheiden,

- die Massen von Körper und Deckel des damaligen Prüfbehälters und des CASTOR V/19 stark differieren,
- die Deckel des CASTOR V/19 aus Edelstahl gefertigt sind, während die Deckel der Versuchsbehältermodelle aus GGG 40 bestanden.
- der Behälterkörper des Testmodells wegen der relativen Kürze (Behälterlänge < 2 m) und der nicht vorhandenen Moderatorstabbohrungen eine höhere Steifigkeit als ein Originalbehälter des Typs CASTOR V/19 (5,9 m lang) besaß; das heißt, es ist ein unterschiedliches Reagieren des Behälterkörpers im Vergleich zum Deckel möglich,
- die äußeren Versuchsbedingungen nicht der realen Konstellation im Zwischenlager entsprachen; unter anderem ist die Betonbodenplatte laut Sicherheitsbericht in Grafenrheinfeld, anstatt 20 cm im Versuch, im Lagerbereich 40 cm bzw. im Verladebereich bis zu 65 cm dick, der Boden des Zwischenlagers besteht zusätzlich aus einer weiteren Beton- und einer Kiesschicht und das Verdrängungsverhalten des Erdreiches ist nicht direkt vergleichbar,
- die Positionen der Elastomerdichtungen unterschiedlich sind,
- mögliche Einflüsse durch die Deckeldurchbrüche und Bohrungen nicht berücksichtigt wurden.

Mit einem Behälter vom Typ TN 1300 wurde 1982 mit einem vergleichbaren Projektil ebenfalls jeweils ein Beschussversuch auf Behälterwand und Deckelmitte durchgeführt. Beim Beschuss der Behälterwand wurde diese in ähnlicher wie oben dargestellt beschädigt. Die Leckagerate des Deckels blieb unverändert. Der zentrale Deckelbeschuss verursachte zunächst Probleme mit den Dichtungen der Deckeldurchbrüche (für Dichtheitsmessung/Evakuierung), nach konstruktiven Veränderungen soll dann eine Gesamtleckrate von ca.  $10^{-7} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$  erhalten geblieben sein (KEESE et al., 1983).

In französischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Beschussorientierung senkrecht auf Deckelmitte nicht die den größtmöglichen Schaden verursachende sein muss. Dort wird auf Grundlage von Berechnungen ein radialer Beschuss des Deckelsystems für wirksamer gehalten (MALESYS, 1994). Diese Auftreffposition auf den Behälter erscheint zwar unwahrscheinlicher, aber ein schräger Aufprall auf die Deckelkante kann ähnliche Auswirkungen haben. Die Übertragbarkeit der französischen Ergebnisse sollte überprüft werden.

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf das Verhalten eines einzelnen CASTOR-Behälters beim Absturz eines relativ kleinen Militärflugzeuges. Beim Absturz eines großen Verkehrsflugzeuges ist auf Grund der Abmessungen und der Verteilung mehrerer massiver Körper über das gesamte Flugzeug (u. a. bis zu vier Turbinen) in einem Zwischenlager davon auszugehen, dass nicht nur ein Behälter von mechanischem Lasteintrag betroffen sein wird. Es ist zwar relativ unwahrscheinlich, dass für mehrere Behälter ein mechanischer Lasteintrag zu unterstellen ist, der unmittelbar zu o. g. Dichtungsnachlass führt, aber verminderte Dichtheit bei mehreren Behältern in Abstufungen sowie das Umkippen oder Zusammenschieben von Behältern ist durchaus wahrscheinlich. Dies kann Auswirkungen für Gesamtfreisetzungsbetrachtungen durch einen Folgebrand haben.

Laut Sicherheitsbericht wird bei einem Flugzeugabsturz ein nachfolgender Brand mit einer Temperatur von 600 °C und einer Dauer von 60 Minuten unterstellt. Die Annahmen gehen vom Tankinhalt (ca. 6 Mg) einer Militärmaschine aus. Die relativ geringe Temperatur wurde in bisherigen Genehmigungsverfahren für Zwischenlager mit der verringerten Sauerstoffzufuhr in der Lagerhalle im Vergleich zu freiem Gelände begründet. Für die genannten Bedingungen wurde rechnerisch über Modellvorstellungen ermittelt, dass dieser Brand nicht in der Lage sei, am Primärdeckel eine Temperatur zu erzeugen, die zu einem Versagen der Dich-

tung führen würde. Dies ist von unterschiedlichen Autoren in mehreren Gutachten auf unterschiedlichen Wegen errechnet worden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass für die unterstellten Bedingungen tatsächlich kein Versagen auftritt. Zu hinterfragen ist jedoch, inwieweit die Kenndaten für das unterstellte Feuer ausreichend konservativ sind. Dies gilt insbesondere, wenn Verkehrsflugzeuge mit wesentlich größeren Kerosinmengen an Bord auf das Zwischenlager stürzen (siehe hierzu Kapitel 6.3 und 7).

#### 4.5 Einwirkungen Dritter

Das Behälterverhalten bei einer gezielten Einwirkung Dritter (z. B. Sabotage) hat vor dem Hintergrund der Terroranschläge am 11.09.2001 in New York und Washington neue Aktualität gewonnen. Für den Absturz eines großen Verkehrsflugzeuges hat es bisher in atomrechtlichen Genehmigungsverfahren in der Bundesrepublik Deutschland keine Betrachtungen gegeben (siehe hierzu Kapitel 6.3). Berücksichtigt wurde dagegen der Beschuss eines CASTOR-Behälters mit einem Hohlladungskörper (z.B. Panzerfaust).

Laut Sicherheitsbericht sollen die Behälter gegen Einwirkungen Dritter geschützt sein. Diese Behauptung hat keine Grundlage, da für die meisten im Sicherheitsbericht genannten Behältertypen diesbezüglich keine Untersuchungen durchgeführt wurden und für CASTOR-Behälter allgemeiner Konsens darüber besteht, dass deren Wand mit einer panzerbrechenden Waffe durchschlagen werden würde. Dies wurde im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für das TBL noch einmal festgestellt (GRS, 1994), zitiert in (GÖK, 1998). Diese Aussagen beruhen auf Untersuchungen, die in (LANGE et al.; 1994) beschrieben werden.

Es wurden drei Beschussversuche mit Hohlladungskörpern durchgeführt. Als Testbehälter wurde ein auf ein Drittel Behälterlänge verkürzter CASTOR IIa eingesetzt. Der Testbehälter enthielt neun entsprechend gekürzte, nicht bestrahlte Brennelemente. Die Hohlladungskörper durchschlugen jeweils problemlos die Behälterwand und beschädigten die vorderen Brennelemente. Der nach Außen frei gesetzte Uranstaub wurde Korngrößenabhängig registriert. Mit Hilfe Anfang der 80er Jahre durchgeführter US-amerikanischer Versuche wurde daraus ein Quellterm bestimmt, der bei bestrahlten Brennelementen aufgetreten wäre (LANGE et al., 1994). Die radiologischen Belastungen durch Inhalation in der Umgebung werden in 150 m Entfernung mit kleiner als die natürliche Strahlenbelastung eines Jahres angegeben (DROSTE, 2001).

Für die benutzten Hohlladungskörper werden in LANGE et al. (1994) und DROSTE (2001) weder Typenbezeichnung noch Durchschlagskraft angegeben. Dies gilt auch für die Veröffentlichungen zu den Versuchen in den USA. Die Auswirkungen auf Behälter und Brennelemente sind jedoch gerade davon abhängig. Auf Grund der Beschreibungen in LANGE et al. (1994) muss von einer eher geringen Durchschlagskraft ausgegangen werden. Für den Quellterm der Freisetzung wird von einer Dominanz durch den ersten getroffenen Brennelementektor ausgegangen. Bei größerer Durchschlagskraft der Waffe müsste von einer Zerstörung aller Brennelemente im Schusskanal bzw. einer Beschädigung der in den Tragkorb zwischen den Brennelementen eingesetzten Metallplatten ausgegangen werden.

Es existieren panzerbrechende Waffen, die 1 m dicke Stahlpanzerung durchschlagen können. Damit liegt auch nahe, dass bei einer Wanddicke der CASTOR-Typen von bis zu 45 cm theoretisch sowohl die der Waffe zugewandte Behälterwand als auch die Rückwand des Behälters durchschlagen werden kann. Vorausgesetzt dies ist möglich, ist von einem erheblich höheren Quellterm für die radioaktiven Freisetzungen auszugehen. Entsprechende Diskussionen werden in den USA geführt (AUDIN, 1989). Dort sind bei den Untersuchungen zwar

andere, mehrschalig aufgebaute Behältertypen eingesetzt worden, die Überlegungen zu den Freisetzungen dürften aber grundsätzlich übertragbar sein.

Unabhängig von der Frage nach erhöhter Freisetzung wegen der Durchdringung der Rückwand ist die Konservativität des Quellterms in LANGE et al. (1994) auch aus den folgenden drei Gründen anzuzweifeln. Die Brennelemente waren bei den Versuchen im Behälter zu jeweils drei Stück gekapselt. Die jeweils hinteren Brennelemente waren gegenüber dem eindringenden Geschoss durch eine Metallplatte abgeschirmt. Bei der Quelltermbestimmung wurde nicht berücksichtigt, dass auf den Brennelementen während des Reaktoreinsatzes Ablagerungen (Crud) aus kurzlebigen Radionukliden (z. B.  $^{60}\text{Co}$ ) entstanden sind, die maßgeblichen Einfluss auf den Quellterm besitzen können (AUDIN, 1989).

In den USA wurden ähnliche Versuche, allerdings mit simulierten Behälterwänden für einen Transport- und Lagerbehälter und für einen reinen Transportbehälter durchgeführt. Der Versuchsaufbau beinhaltete eine Behälterwand, die durchschlagen wurde, und dahinter positionierte Brennelemente (LUNA, 2000). Die dortigen Randbedingungen unterschieden sich von denen bei den CASTOR-Versuchen. Der Transport- und Lagerbehälter wurde mit einer Wand aus Stahl (290 mm) und dahinter befindlichen neun Brennelementdummys, die jeweils durch eine 9,5 mm dicke Stahlplatte getrennt waren, simuliert (PHILBIN & EMERSON, 1988). Beim Transportbehälter bestand die Wand aus 35 mm Stahl und 213 mm Blei, hinter der sich ein ungekapseltes Brennelement befand (LUNA, 2000). Der „Hochenergie-Sprengkörper“ durchschlug jeweils die Wand und fünf der Brennelementsegmente bzw. das eine Brennelement. Der ermittelte Quellterm war bei dem Versuch mit dem Transportbehälter im Vergleich zu den drei deutschen Versuchen um den Faktor 2,5 bis 9,5 größer. Dies ist ein weiteres Indiz, dass der Quellterm in LANGE et al. (1994) – soweit ersichtlich – keinesfalls konservativ ist.

Als Fazit bleibt festzustellen, dass die Behältertypen CASTOR V/19 und V/52 nicht gegen den Beschuss mit panzerbrechenden Waffen (Hohlladungskörpern) ausgelegt sind. Durch Waffen dieser Art wird auf jeden Fall die beschossene Behälterwand durchschlagen und Brennelemente im Inneren stark beschädigt. Dies gilt auch für Behälter aus anderen Werkstoffen und mit anderer Konstruktion. Der Quellterm wird von der Durchschlagskraft der verwendeten Waffe abhängen.

#### **Quellenangaben zu Kapitel 4:**

ATOM (1984): Train crash confirms safety predictions; Atom 335, September 1984, p 31

AUDIN (1989): Audin, L.: Analyses of Cask-Sabotage Involving Portable Explosives, Draft Report, October 1989

BAM (1982a): Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM): Beurteilung behälterspezifischer Fragen der trockenen Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in einem Transportbehälterlager bei Gorleben, Gutachten Az.1.02/3022, Berlin, November 1982

BAM (1982b): Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM): Prüfzeugnis, 2. Neufassung, Baumusterprüfung einer Typ B(U)-Verpackung zum Transport radioaktiver Stoffe vom Typ CASTOR Ic, Az.: 1.2/12273, Berlin, 28.06.1982

BAM (1994): Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): Information on the BAM Drop Test Facility in Lehre and on the Pollux Cask Design, October 26, 1994

BAM (1995): Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): Sicherheitstechnische Beurteilung der Behälterbauart CASTOR V/19 zur trockenen Zwischenlagerung be-

strahlter Brennelemente im Transportbehälterlager in Gorleben, Az. 9.3/20 166, Berlin, Februar 1995

CRIEPI (1989): Central Research Institute of Electric Power Industry: Integrity of Cast-Iron Cask Against Free Drop Test, Part II, EU88005, June 1989

DREIER (1997): Dreier, G. et al.: Benchmark calculations for mechanical stresses upon a transport cask; Nuclear Engineering and Design 176 (1997) 207-214

DROSTE (2001): Droste, B. (BAM): Bauartprüfung, Qualitätssicherung und Sonderversuche mit CASTOR-Behältern; Fachtagung Standortnahe Zwischenlager, Bonn, 14.-15. März 2001

DROSTE & VÖLZKE (2001): Droste, B & Völzke, H.: Prüfungen an Zwischenlagerbehältern zur Belastbarkeit bei Einwirkungen von Innen und Außen; Tagungsbericht Zwischenlager-Workshop, Jülich, 23.-24. Januar 2001

FINK & NEUMANN (1993): Fink, U. & Neumann, W.: Transport of radioactive Material; in: 35 Years Promotion of Nuclear Energy - The International Atomic Energy Agency; erstellt im Auftrag von Anti Atom International unterstützt durch das Österreichische Ministerium für Jugend und Familie, Wien 1993

GNS (1980): Gesellschaft für Nuklear-Service mbH: Fallversuch mit einem Modell des Transport- und Lagerbehälters CASTOR IIa ; GNS B 26/80 (Rev. 0), August 1980

GÖK (1998): Gruppe Ökologie: Stellungnahme zum Nachweis der Unfallsicherheit der Transport-/Lagerbehälter CASTOR V/19 und V/52; erstellt im Auftrag von Greenpeace e.V., Hannover, Februar 1998

GRS (1994): Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH: Potentielle Strahlenexpositionen durch die Freisetzung von radioaktiven Stoffen aufgrund der Einwirkung Dritter auf unterschiedliche Transport- und Lagerbehälter im Zwischenlager Gorleben, GRS-A-2174, Köln, November 1994

HAUGHNEY et al., (1995): Haughney, C. et al.: Transport Issues Facing the International Community; RAMTRANS Vol.6, No 4, pp. 229-233 (1995)

HUERTA (1977): Huerta, M.: Analysis, Scale Modeling, and Full Scale Tests of a Truck Spent-Nuclear-Fuel Shipping System in High Velocity Impacts Against a Rigid Barrier, SAND 77-0270, November 1977

IAEA (1990): International Atomic Energy Agency: Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 1985 edition (as amended 1990); safety series No.6, Vienna 1990

IAEA (1996): International Atomic Energy Agency: Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material; Requirements, No. ST-1, Vienna 1996

KATO (1992): Kato, Y. et al.: Storage Cask Drop Test on Reinforced Concrete Slab and Drop Test of Reinforced Concrete Slab onto Storage Cask; PATRAM'92, Vol. 3, S.1443 und 1451; Yokohama (J), Sept. 13-18, 1992

KEESE (1983): Keese, H et al.: The TN 1300 Transport/Storage Cask System; PATRAM'83, S.242; New Orleans (USA), May 15-20, 1983

LANGE ET AL. (1994): Lange F.: Experimental Determination of UO<sub>2</sub>-Release From a Spent Fuel Transport Cask After Shaped Charge Attack; Nuclear Materials Management, 35<sup>th</sup> Annual Meeting Proceedings, Vol. XXIII, Naples (Florida), July 17-20, 1994

LUNA (2000): Luna, R. E.: Comparison of Results from two Spent Fuel Sabotage Source Term Experiments; RAMTRANS, Vol.11, No. 3 pp 261-265 (2000)

LYMAN (1994): Lyman, E.S. „Safety issues in the sea transport of vitrified high-level radioactive waste to Japan“; Princeton University, New Jersey (USA); December 1994

MALESYS (1994): Malesys, P.: Behaviour of a spent fuel transport-storage cask during an airplane crash; Nuclear Engineering and Design 150 (1994) 453-457

NEUMANN (1997): Neumann, W. (GÖK): Stellungnahme zu Extremtests. Im Auftrag von Greenpeace e.V., Hannover, April 1997

PHILBIN & EMERSON (1988): Philbin, J.S. & Emerson, E.L.: Behavior of a simulated, metal spent-fuel storage cask under explosive attack; Waste Management'88, Vol. 2, 685-690

SHIRAI (1993): Shirai, K. et al.: Integrity of Cast-Iron Cask Against Free Drop Test- Verification of Brittle Fracture Design Criterion; RAMTRANS Vol.4, No 1, pp. 5-13 (1993)

TIMPERT (2002): Timpert, F.H.; Fachgespräch zu Sicherheitsnachweisen für Transportbehälter am 15.01.2002 in Hamburg

VÖLZKE (1994): Völzke, H.: A fracture mechanics safety concept to assess the impact behavior of ductile cast iron containers for shipping and storage of radioactive material; Nuclear Engineering and Design 150 (1994) 357-366

## 5 ABHÄNGIGKEITEN KKW – ZWISCHENLAGER

### 5.1 Einleitung:

Die enge Verknüpfung zwischen dem Standort-Zwischenlager und dem Kernkraftwerk Grafenrheinfeld wird insbesondere in den Kapiteln 2.4 (Beschreibung des Lagers) und 3.1 (Organisation) des Sicherheitsberichtes deutlich.

Demgegenüber werden sämtliche möglichen Einwirkungen des Kernkraftwerks bei Stör- und Unfällen im Kapitel 5.4.4 des SB als entweder durch die Betrachtungen zum Flugzeugabsturz abgedeckt (Turbinenzerknall, Einsturz Abluftkamin), oder als nicht relevant (alle anderen Störfälle und Ereignisse) bezeichnet, ohne dass dies im Detail belegt wird.

Einwirkungen der Kernkraftwerke bei Stör- und insb. bei Unfällen werden hier genauer diskutiert.

### 5.2 Infrastrukturelle und betriebliche Verknüpfung:

Das Brennelementlager befindet sich auf dem KKG- Betriebsgelände. Es bestehen enge Verknüpfungen zwischen dem Zwischenlager und den Kernkraftwerksblöcken.

- Störmeldungen des Behälterüberwachungssystems werden zur Reaktorwarte im Schaltanlagegebäude geführt und dort angezeigt. Auch die Brandmeldeanlage befindet sich dort.

Weiterhin wird die Infrastruktur des KKG für den Betrieb des Zwischenlagers mitgenutzt, insbesondere:

- Zugangsgebäude
- Werkstattgebäude
- Lagergebäude des KKG
- Außenanlagen, z.B. Zäune und Straßen
- Stromeinspeisung und –verteilung
- Allgemeine Dienste wie Feuerwehr und Erste Hilfe
- Weitere Infrastruktureinrichtungen und Versorgungssysteme

Von besonderer Bedeutung ist, dass das Zwischenlager und das Kernkraftwerk auf den gleichen Löschwasser-Anschluss angewiesen sind.

Die Betriebsführung des Zwischenlagers obliegt der Werksleitung des KKG. Der Lagerbetrieb wird von KKG-Personal durchgeführt.

Das Lager liegt ca. 100 m östlich vom Reaktorgebäude des KKG. Die Hauptzufahrtstraße zum Zwischenlager führt in einem Abstand von etwa 50 m am Reaktorgebäude vorbei.

### 5.3 Verknüpfungen mit möglichen Auswirkungen auf die Sicherheit:

Grundsätzlich bestehen zahlreiche Verknüpfungen, die sicherheitsmäßige Auswirkungen haben und zu kritischen Situationen führen können:

- Blockierung der Zufahrtswege zum Zwischenlager durch Ereignisse im KKG
- Nicht-Verfügbarkeit von Personal für das Zwischenlager aufgrund spezieller Anforderung bei Problemen im KKG, und umgekehrt
- Konkurrierende Anforderungen der Feuerwehr (im Hinblick auf Personal, Ausrüstung und verfügbares Löschwasser)
- Konkurrierende Anforderungen des Werkschutzes bei Angriffen von Außen (entsprechende Szenarien sollen hier nicht näher ausgeführt werden)
- Brände und Explosionen auf dem Anlagengelände (wird lt. Sicherheitsbericht ausgeschlossen, ohne dass dies jedoch im Einzelnen belegt wird)

Diese Verknüpfungen werden sich insbesondere bei Unfällen mit radioaktiven Freisetzungen auswirken. Diese sind sowohl im Kernkraftwerk als auch im Zwischenlager möglich. Solche Unfälle können zu erheblichen Freisetzungen führen, die starke Kontamination der anderen Anlagen bewirken.

Unfälle mit schweren Freisetzungen aus dem Zwischenlager werden in Abschnitt 7 diskutiert. Es ist offensichtlich, dass bei derartigen Unfällen der Zugang zum Kernkraftwerk erschwert wird und dass darüber hinaus mit erheblichen radioaktiven Kontaminationen der Zuluft derselben (z.B. der Reaktorwarte) zu rechnen ist.

Die sich daraus ergebenden Fragen nach der weiteren Zugänglichkeit der Reaktorwarte und anderer wichtiger Bereiche können hier nicht näher behandelt werden. Sie müssten wie die Problematik schwerer Unfälle im Zwischenlager insgesamt vom Antragsteller im Sicherheitsbericht diskutiert werden.

Ein anderes Problem, das schwere Unfälle im Zwischenlager nach sich ziehen können, wurde in der Aufzählung oben bereits kurz angesprochen: Eine gefährliche Situation im Zwischenlager kann es nach sich ziehen, dass ein großer Teil des auf dem Standort verfügbaren Personals dort benötigt wird.

In einer von akuten Gefahren und Ungewissheit über die weitere Entwicklung gekennzeichneten Situation wird darüber hinaus auch das im Kernkraftwerk verbliebene Personal durch erhöhten Stress belastet werden. Dadurch können u.U. Pannen und Störfälle im Kernkraftwerk ausgelöst werden.

Da hier das Zwischenlager im Mittelpunkt der Überlegungen steht, soll die Möglichkeit von Reaktorunfällen und deren Auswirkungen auf das Lager in der Folge etwas ausführlicher dargestellt werden.

### 5.4 Bedeutung schwerer Kernkraftwerksunfälle für das Zwischenlager:

Ein Reaktorunfall mit Kernschmelze und schwerwiegenden radioaktiven Freisetzungen – hervorgerufen etwa durch einen Flugzeugabsturz, andere Einwirkungen von Außen, oder interne Störungen – führt zwangsläufig zu schwerer radioaktiver Kontamination des gesamten Geländes und zieht damit auch das Zwischenlager in Mitleidenschaft. Die Zugänglichkeit des Lagers durch das Personal kann erschwert oder verunmöglicht werden. Die weitere Überwachung, Kontrolle und Wartung des Lagers ist damit massiv in Frage gestellt.

Falls längerfristig ein ausreichender Zugang zu dem Zwischenlager nicht möglich ist, sind z.B. Gegenmaßnahmen bei Undichtigkeiten an Behältern nicht realisierbar und es kann zu Freisetzungen aus dem Zwischenlager kommen, die die Auswirkungen des Reaktorunfalls weiter verschlimmern.

Keinesfalls sind also die Grundfunktionen des Lagers für beliebige Zeiten auch ohne Betriebspersonal gewährleistet. Zu prüfen wäre hier vielmehr die Frage, für welche Zeiträume eine Abwesenheit des Personals noch zulässig wäre bzw. wie die Gefährdung bei Abwesenheit sich im Laufe der Zeit entwickelt. Diese Frage wird im SB nicht behandelt.

Ein derartiger schwerer Unfall ist in jedem Kernkraftwerk möglich, auch in einer Anlage wie Grafenrheinfeld, das zur dritten (Vor-Konvoi-) Generation der deutschen Druckwasserreaktoren, und somit zu den neueren Kernkraftwerken gehört.

Auf die Wahrscheinlichkeit eines solchen Unfalles in Grafenrheinfeld kann hier nicht im Detail eingegangen werden. Es ist aber festzuhalten, dass sie jedenfalls größer ist als jene Eintrittswahrscheinlichkeit, die im Sicherheitsbericht einem Flugzeugabsturz auf das Zwischenlager zugeordnet wird ( $10E-8$  bis  $10E-7$ ).

Es ist daher unzulässig und stellt darüber hinaus einen Mangel an Konsistenz in der Dokumentation des Antragstellers dar, wenn das Ereignis „Flugzeugabsturz“ immerhin behandelt wird (wenn auch diese Behandlung im Einzelnen als mangelhaft zu bezeichnen ist, siehe Abschnitte 2 und 6), das wahrscheinlichere Ereignis „Kernschmelzunfall im Kernkraftwerk“ dagegen nicht einmal Erwähnung findet.

## 6 EXTERNE GEFAHREN

### 6.1 Darstellung externer Gefahren im Sicherheitsbericht:

Im Sicherheitsbericht finden folgende externe Gefahren Erwähnung:

#### Störfälle:

- Erdbeben
- Wind- und Schneelasten
- Blitzschlag
- Hochwasser
- Brand außerhalb des Lagers
- Störfälle im Kernkraftwerk

#### Restrisiko-Ereignisse:

- Flugzeugabsturz
- Druckwellen chemischer Reaktionen
- Einwirkung gefährlicher Stoffe (z.B. giftiger und explosiver Gase)
- Sonstige Einwirkungen aus dem KKG-Gelände

#### Einwirkungen Dritter (Terrorangriff, Sabotage)

Von besonderer Bedeutung für den Standort Grafenrheinfeld sind dabei die Themenkreise Erdbeben und Flugzeugabsturz, die hier behandelt werden.

Wegen der hohen grundsätzlichen Relevanz für die Sicherheit von Atomanlagen ist weiterhin der Punkt ‚Einwirkungen Dritter‘ näher zu betrachten.

Auf die Frage der Einwirkungen vom Kernkraftwerk wird, in Zusammenhang mit den sonstigen Abhängigkeiten zwischen Kernkraftwerk und Zwischenlager, in Abschnitt 5 eingegangen.

Die anderen Punkte werden nicht gesondert diskutiert. Es ist jedoch anzumerken, dass bei diesen teilweise die Angaben im Sicherheitsbericht mangelhaft bzw. nicht ausreichend sind (siehe Abschnitt 2).

Die Darstellungen in diesem Abschnitt konzentrieren sich auf Behälter vom Typ CASTOR V/19, da diese Behälter zur Zeit als einzige von allen genannten Typen in Deutschland eingesetzt werden und der Einsatz der anderen Behältertypen z.Zt. nicht absehbar ist. Bei diesen anderen Behältertypen ist noch nicht einmal vorhersehbar, wann sie die verkehrsrechtliche Zulassung bekommen werden, die eine notwendige Bedingung für die Einlagerung ins Zwischenlager darstellt (jedenfalls nach der bisherigen und derzeitigen Praxis).

## 6.2 Erdbeben:

Die seismischen Verhältnisse werden im Sicherheitsbericht sehr knapp dargestellt. Die dem Bemessungserdbeben zugrunde gelegte Intensität und die zugrunde gelegten Bodenbeschleunigungen werden dargestellt, ohne dass eine ansatzweise Begründung oder zumindest eine Quellenangabe geliefert wird.

Ob bzw. inwieweit für das Zwischenlager eigenständige Überlegungen zu den seismischen Verhältnissen angestellt worden sind, oder ob die (wahrscheinlich) älteren Lastannahmen für das Kernkraftwerk übernommen worden sind, ist unklar. Hier fehlt die Nachvollziehbarkeit der wesentlichen Aussagen.

Zuzustimmen ist der generellen Feststellung, dass der Standort in einer durch Erdbeben nur sehr gering gefährdeten Region liegt (seismotektonische Einheit „Nordfranken“).

Hinsichtlich der möglichen Auswirkungen von Erdbeben (Folgeereignissen) werden im Sicherheitsbericht praktisch wortgleich die (äußerst knappen und unbegründeten) Aussagen anderer Zwischenlager-Sicherheitsberichte wiederholt.

## 6.3 Flugzeugabsturz:

### 6.3.1 Darstellung im Sicherheitsbericht:

Das Thema Flugzeugabsturz wird im Sicherheitsbericht in Kapitel 5.4.1 behandelt. Auf die Unvollständigkeit der Darstellung in diesem Kapitel wird auch an anderer Stelle eingegangen (siehe Abschnitt 2.6).

Im Sicherheitsbericht wird eingangs die Eintrittshäufigkeit des Absturzes eines Kampfflugzeuges auf das Zwischenlager abgeschätzt. Die Basiszahl hierfür (Absturzhäufigkeit pro Quadratmeter und Jahr) wird nicht näher begründet. Sie entspricht den Angaben zu anderen Zwischenlagern in Süddeutschland (siehe z.B. (KKB, 2000; KKI, 2001). Die Bandbreite für die ermittelte Gesamt-Eintrittshäufigkeit eines relevanten Flugzeugabsturzes liegt niedriger als für andere Standorte im süddeutschen Raum, was, unter Berücksichtigung der relativ kleinen Fläche des Zwischenlagers Grafenrheinfeld, plausibel ist.

Im SB wird ausschließlich der Absturz von militärischen Flugzeugen behandelt. Dabei wird entsprechend den gültigen Leitlinien für Kernkraftwerke von einem Phantom-Kampfflugzeug ausgegangen. Diese Einschränkung wird wie folgt begründet:

*„Militärflugzeuge fliegen mit höherer Geschwindigkeit als zivile Flugzeuge und haben eine größere Absturzhäufigkeit. Als abdeckend für die Belastungen, die beim Absturz eines Flugzeuges auftreten können, wird deshalb im folgenden der Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeuges auf das BELLA betrachtet.“ (SB S. 228)*

Diese Argumentation ist überwiegend falsch, sowie lückenhaft:

- Die Tatsache, dass Militärflugzeuge eine größere Absturzhäufigkeit haben als Verkehrsflugzeuge, ist völlig irrelevant für die Frage, was für die Belastungen beim Absturz abdeckend ist.
- Die Aussage, Militärflugzeuge hätten am Standort Grafenrheinfeld eine größere Absturzhäufigkeit als zivile Flugzeuge, würde angesichts der Tatsache, dass sich in ca. 120 km

Entfernung vom Standort der internationale Großflughafen Frankfurt/Main befindet, zumindest eine belastbare Begründung erfordern. Eine solche Begründung fehlt.

- Die Behauptung einer größeren Absturzhäufigkeit von Militärflugzeugen ist auch angesichts der Gefahr von gezielt herbeigeführten Abstürzen mittlerer oder großer Verkehrsflugzeuge nicht plausibel. Eine detaillierte, überprüfbare Begründung fehlt auch zu diesem Punkt.
- Es kann insbesondere bei einem bewusst herbeigeführten Absturz (u.U. Sturzflug aus größerer Höhe) nicht davon ausgegangen werden, dass ein ziviles Flugzeug zwangsläufig mit einer geringeren Geschwindigkeit aufprallt als ein Militärflugzeug.
- Ob der Absturz eines Militärflugzeuges im Hinblick auf die Stoßlast abdeckend ist, hängt nicht nur von der Geschwindigkeit, sondern auch von der Gesamtmasse und von deren Verteilung beim Aufprall ab. Zu diesen letzteren Aspekten wird nichts ausgesagt.
- Im Hinblick auf Trümmerlasten sowie die Einwirkung von Treibstoffbränden sind Kampfflugzeuge gegenüber Verkehrsflugzeugen nicht abdeckend. Sowohl die Gesamtmasse als auch die mitgeführte Treibstoffmenge kann im letzteren Fall um einen Faktor zehn und mehr höher liegen.

Im Hinblick auf die Folgen eines Flugzeugabsturzes auf einen Behälter wird auf Versuche verwiesen, bei denen ein Projektil mit einer Masse von ca. 1 Mg und einer Geschwindigkeit von ca. 300 m/s auf das Deckelsystem und den Behälterkörper von CASTOR-Behältern geschossen wurde. Der Nachweis, dass diese Belastungen abdeckend sind, wurde nicht erbracht.

Bei diesen Experimenten wurde die Leckagerate des Primärdeckels erhöht. Auf dieser Basis wurde ein Freisetzungsszenario entwickelt. Die maximal aufgetretene Leckagerate wird im Sicherheitsbericht nicht angegeben; ebenso wenig der genaue zeitliche Verlauf der Leckagerate, die freigesetzte Menge an radioaktiven Stoffen und die genaue Vorgehensweise bei ihrer Ermittlung. Es wird lediglich festgestellt, dass der Störfallgrenzwert lt. Strahlenschutzverordnung in der Umgebung des Lagers eingehalten werde.

Im SB wird nicht angegeben, welche Behältertypen aus der CASTOR-Familie für diese Versuche herangezogen wurden. Eine Auswertung der Literatur zeigt, dass es sich dabei mit hoher Wahrscheinlichkeit um einen verkürzten CASTOR IIa und das Fußstück eines CASTOR Ia handelt (BAM, 1982). Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf jene Behälter, die im Zwischenlager Grafenrheinfeld zum Einsatz kommen sollen (insb. CASTOR V/19), wird im Sicherheitsbericht nicht nachgewiesen.

Ein Treibstoffbrand als Folge eines Flugzeugabsturzes wird im Sicherheitsbericht betrachtet. Dabei wird eine Branddauer von 1 Stunde und eine mittlere Flammentemperatur von 600 °C angenommen. Diesem Brand sollen die Behälter standhalten. Es wird nicht nachgewiesen, dass diese Annahmen für den Absturz eines Militärflugzeuges abdeckend sind. Für den Absturz eines großen Zivilflugzeuges sind sie zweifellos nicht abdeckend.

Der Austritt des Moderatormaterials bei langer Branddauer und der damit verbundene Verlust an Abschirmung werden im SB kurz diskutiert. Nicht behandelt werden mögliche Folgen für die Dichtigkeit der Behälter, wenn sich das Moderatormaterial, bedingt durch die Erhitzung, ausdehnt (insb. im Hinblick auf die Platte zwischen Primär- und Sekundärdeckel), sowie die mögliche Erhöhung der Brandlasten durch den Austritt des (brennbaren) Moderators.

Für den Verschüttungsfall durch Trümmerteile des Lagergebäudes wird im SB ausgeführt, die erreichten maximalen Bauteiltemperaturen des Behälters lägen unter den Grenztemperaturen der einzelnen Komponenten, so dass die Integrität erhalten bliebe. Dies sollen „*Versuche mit einem Behälter vergleichbarer Größe in einer simulierten Verschüttungssituation*“

(S. 230) gezeigt haben. Es wird im SB nicht angegeben, um welchen Behältertyp es sich dabei handelte. Die Versuche werden auch nicht näher beschrieben.

Die Angaben im Sicherheitsbericht sind somit nicht einmal dafür ausreichend, die Beherrschung des Absturzes eines Militärflugzeuges wie eines Phantom-Kampffjets, der nach den Leitlinien der deutschen Reaktorsicherheitskommission (RSK, 1981) für Kernkraftwerke anzusetzen ist, nachzuweisen.

### **6.3.2 Grundsätzliches zum Schutz gegen Flugzeugabsturz:**

Der Schutz gegen Einwirkungen von außen, und insb. auch gegen Flugzeugabsturz, soweit gegeben, soll im Brennelementlager ausschließlich durch die Behälter gewährleistet werden. Dem Gebäude wird im SB keine Schutzfunktion zugeschrieben.

Damit wird von dem in der Kerntechnik ansonsten angewandten Mehrfachbarrierenprinzip abgegangen. Im Sinne dieses Prinzips wäre als bestmögliche Vorsorge gegen Gefahren zu fordern, dass das Gebäude gegen Flugzeugabsturz ausgelegt wird. Das bedeutet ausreichende Standfestigkeit, kein Durchschlagen von Wänden bzw. Dach und auch kein Abplatzen von Trümmern im Inneren durch die Stoßwirkung.

Eine solche Auslegung hätte überdies den Vorteil, dass Fälle wie die Wärmeabfuhr aus einem zum Teil zerstörten Gebäude mit durch Trümmer verschütteten Behältern im Lager im Rahmen des von der Auslegung Abgedeckten nicht untersucht werden müssten. Derartige Untersuchungen sind sehr komplex; sie sind daher auch schwer überprüfbar und lassen Spielraum für willkürliche Annahmen und nicht notwendigerweise begründete Übertragungen experimenteller Ergebnisse.

Weiterhin wäre bei Abstürzen, bei denen das Dach nicht zerstört wird und auch keine Risse bekommt, das Eindringen von Kerosin in die Halle zumindest sehr erschwert. Es wäre noch durch die Lüftungsöffnungen denkbar, wogegen gezielte Maßnahmen ergriffen werden könnten. Die ebenfalls komplexe Untersuchung langer Treibstoffbrände im Lager könnte u.U. ebenfalls unterbleiben.

Der Schutz gegen Flugzeugabsturz ist bei dem WTI-Hallenkonzept, wie es in Grafenrheinfeld vorgesehen ist, besonders schlecht und bleibt auch noch hinter dem Standard des bei den norddeutschen Zwischenlagern geplanten STEAG-Konzeptes zurück.

Im Kapitel 3 wird näher auf die Frage des Konzeptes für die Zwischenlager-Halle und den derzeitigen Stand der Technik auf diesem Gebiet eingegangen.

### **6.3.3 Gefahren durch Absturz von Kampfflugzeugen:**

Es ist nicht zweifelsfrei nachgewiesen, dass die Behälter bei unfallbedingten Belastungen tatsächlich den postulierten Standard erfüllen. Oben wurde bereits darauf hingewiesen, dass bei den Beschussversuchen an CASTOR-Behältern u.a. die Übertragbarkeit auf die im Zwischenlager vorgesehenen Behälter nicht nachgewiesen wurde. Im Kapitel 4 wird dies näher behandelt und darüber hinaus gezeigt, dass auch für andere Lastfälle die ausreichende Belastbarkeit dieser Behälter durch die durchgeführten Untersuchungen nicht genügend belegt wird.

Selbst unter der Annahme, dass der postulierte Standard der Behälter erfüllt wird, bleiben Lücken im Sicherheitsnachweis. Beim Absturz eines Militärflugzeuges wird (nach RSK

(1981) eine mögliche Waffenlast (Raketen, Bomben, Munition), die ein solches Flugzeug mit sich führen kann, nicht berücksichtigt. Weiterhin ist der Auslegung gegen Absturz eines Militärflugzeuges eine Maschine vom Typ Phantom II RF-4E zugrundegelegt. Dies kann für andere Typen wie MIG-29 oder Eurofighter als abdeckend angesehen werden, nicht jedoch für Tornado oder bestimmte Varianten der F-15, die schwerer und z.T. im Tiefflug auch schneller sind als die Phantom (RICHARDSON, 1985; MÜLLER, 2001).

### 6.3.4 Absturz von Verkehrsflugzeugen:

Verkehrsflugzeuge haben im Allgemeinen eine erheblich größere Masse und führen einen erheblich größeren Vorrat an Treibstoff mit als Kampfflugzeuge. In der folgenden Tabelle sind die Daten einiger typischer Verkehrsflugzeuge im Vergleich zu Kampfflugzeugen zusammengestellt (AIRBUS, 2001; BOEING, 2001; MÜLLER, 2001; RICHARDSON, 1985; USAF, 2001):

Flugzeugtyp	Max. Startgewicht	Max. Treibstoffvorrat <sup>+) </sup>
F-4E Phantom II	26.309 kg	6.000 l
F-15E	36.741 kg	7.000 l
Boeing 737-300	63.000 kg	20.105 l
Boeing 747-200	378.000 kg	199.158 l
Boeing 767-300	170.000 kg	90.770 l
Airbus A-320	77.000 kg	29.660 l
Airbus A-340-200	257.000 kg	155.040 l
Airbus A-380-F	590.000 kg	310.000 l

+) Für die Militärflugzeuge handelt es sich um Schätzwerte anhand verschiedener, voneinander abweichender Angaben im Internet; ohne externe Zusatztanks. Auch bei den Zivilflugzeugen sind die Angaben z.T. abweichend, jedoch nur in geringfügigem Maße.

Mit Ausnahme des Airbus A-380 sind alle diese Flugzeugtypen bereits im Einsatz. Beim Airbus A-380 wird mit dem Beginn der kommerziellen Nutzung im Jahr 2006 gerechnet.

Im Anhang zu diesem Kapitel (6.A) ist zusammengestellt, welche Typen großer und mittlerer Verkehrsflugzeuge hauptsächlich die Flughäfen Frankfurt, Stuttgart und München anfliegen. Außerdem enthält der Anhang in Ergänzung obiger Tabelle Angaben zu Startgewicht und Treibstoffvorrat weiterer Verkehrsflugzeugtypen am Beispiel der Flugbewegungen in Stuttgart.

Die angegebene Treibstoffmenge entspricht der Tankfüllung vor dem Start. Der Verbrauch in der Start- und Steigphase ist zwar anteilmäßig (pro zurückgelegtem Kilometer) besonders hoch. Dennoch bewirkt diese Phase insbesondere bei Langstreckenflugzeugen keine nennenswerte Reduzierung des Tankinhaltes.

Bei einer Boeing 747 beträgt beispielsweise der Verbrauch auf den beiden ersten Kilometern beim Start 470 l Kerosin, im Steigflug hierauf 34 l/km (DLR, 1999). Damit sind in ca. 100 km

Abstand von der Startbahn gerade ca. 2 % des Treibstoffes verbraucht (bei voll gefüllten Tanks vor dem Start).

Auch bei einer niedrigeren Aufprallgeschwindigkeit führt ein großes oder auch ein mittleres Verkehrsflugzeug wie der Airbus A-320, wie obige Tabelle zeigt, zu einer erheblich stärkeren Stoßlast auf ein Gebäude als ein Kampfflugzeug. Die Aufprallfläche ist ebenfalls erheblich größer, sodass die Penetrationswirkung nicht im gleichen Maße stärker ist. Andererseits ist zu berücksichtigen, dass die Triebwerke des Verkehrsflugzeuges in der Wirkung mehreren kompakten Geschossen mit einigen Tonnen Masse vergleichbar sind. Insgesamt ist also mit einer deutlich stärkeren Stoßwirkung durch das Verkehrsflugzeug zu rechnen.

Die Auswirkungen durch Trümmerflug und durch Kerosin-Brand gehen beim Absturz eines Verkehrsflugzeuges offensichtlich sehr viel weiter als beim Absturz eines Kampfflugzeuges. Bei Treibstoffmengen in der Größenordnung von Hunderttausenden Litern sind mehrstündige, heiße Feuer zu befürchten.

Weder zur Stoßbelastungswirkung, noch zu den Effekten der Trümmer und möglichen Brand-Szenarien nach Absturz eines großen Verkehrsflugzeuges wurden in Deutschland vor den Ereignissen des September 2001 belastbare Untersuchungen durchgeführt. Dies betrifft sowohl den unfallbedingten wie den gezielten Absturz.

Für unfallbedingte Abstürze von Verkehrsflugzeugen geht die deutsche Reaktorsicherheitskommission von geringeren Aufprallgeschwindigkeiten aus und erwartet daher, dass Strukturen, die gegen den Absturz eines Phantom-Jet ausgelegt sind, im Falle einer mittelgroßen Maschine auch solchen Abstürzen widerstehen könne. Für den Fall großer Verkehrsflugzeuge bzw. gezielter Angriffe werden von der Kommission vertiefende Analysen gefordert (RSK, 2001). Solche Analysen werden für Kernkraftwerke z.Zt. erarbeitet. Ergebnisse werden erst ab Mitte 2002 erwartet.

Inwieweit in diesem Zusammenhang spezielle Untersuchungen für Zwischenlager durchgeführt werden, ist noch völlig offen.

Belastbare Nachweise liegen jedenfalls bisher weder für unfallbedingte Abstürze großer Verkehrsflugzeuge, noch für mittlere Verkehrsflugzeuge vor. Es ist daher davon auszugehen, dass beim Absturz eines Verkehrsflugzeuges in jedem Fall das Gebäude relativ schwer beschädigt wird und große Mengen an Treibstoff in das Gebäude gelangen.

Eine Berücksichtigung niedriger Aufprallgeschwindigkeiten als wesentlich schadensmindernd kann zum jetzigen Zeitpunkt nur als spekulativ angesehen werden.

Eine Überdeckung von Behältern mit Trümmern, die über die im Sicherheitsbericht betrachtete, nicht vollständige Überdeckung hinausgeht, kann nicht ausgeschlossen werden. In diesem Falle können höhere Behältertemperaturen erreicht werden als die im SB angegebenen 180 °C Oberflächentemperatur.

Der Grund für die gravierenden Defizite, die bei der Untersuchung von Abstürzen von Verkehrsflugzeugen bestehen, ist die bis vor kurzem angenommene sehr geringe Wahrscheinlichkeit solcher Abstürze, die nicht nur im Sicherheitsbericht vertreten wurde, sondern beispielsweise auch von Gutachterorganisationen, die im Rahmen von Genehmigungsverfahren für Zwischenlager für Behörden tätig waren und sind.

Allgemein wurde davon ausgegangen, dass relevante Absturzwahrscheinlichkeiten von Verkehrsflugzeugen lediglich in der Start- und Landephase bestehen, also allenfalls in der unmittelbaren Umgebung von kommerziellen Flughäfen von Bedeutung sind. Ansonsten wurde von praktisch vernachlässigbaren Wahrscheinlichkeiten ausgegangen, wie z.B. folgende Aussagen aus jüngster Vergangenheit belegt: *„Fakt ist aber auf jeden Fall, dass für sonstige Flugzeuge, also diese Großraumflugzeuge und so etwas, die Absturzwahrscheinlichkeiten*

*viele Größenordnungen niedriger [als jene von Kampfflugzeugen] liegen ...“ (RINKLEFF, 1999).*

Dies würde einer Absturzwahrscheinlichkeit für Verkehrsflugzeuge entsprechen, die im Bereich von  $10^{-10}$  bis  $10^{-12}$  pro Jahr liegt. Eine solche Annahme lässt sich heute nicht mehr aufrechterhalten.

### **6.3.5 Besondere Bedeutung für den Standort Grafenrheinfeld:**

Für den Standort Grafenrheinfeld ist sowohl die Gefährdung durch den Absturz von Kampfflugzeugen, als auch jene durch den Absturz von Verkehrsflugzeugen von Bedeutung.

Im 10 km-Umkreis um das Zwischenlager befinden sich ein ziviler Flugplatz (für Flugzeuge und Helikopter mit relativ geringem Startgewicht), sowie ein Militärflugplatz.

Der internationale Großflughafen Frankfurt/Main befindet sich in ca. 120 km Entfernung in westlicher Richtung.

Damit ist möglicherweise schon die unfallbedingte Gefährdung durch den Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs nicht zu vernachlässigen; die Wahrscheinlichkeit dafür könnte höher anzusetzen als der o.g. Bereich.

Dazu kommt die Gefahr von Terroranschlägen. Angesichts der relativen Nähe der Flughäfen Frankfurt/Main und Stuttgart können sich Verkehrsflugzeuge rasch dem Standort nähern.

Am Flughafen Stuttgart fanden im Jahr 2000 110 Flugbewegungen von Flugzeugen mit einem Startgewicht von 200 Mg oder mehr statt. In der Größenklasse 150 bis 199 Mg waren es im gleichen Jahr 2347 Flugbewegungen, im Bereich von 100 bis 149 Mg 7927, im Bereich 50 bis 99 Mg rd. 60.000 Flugbewegungen. Noch erheblich größer ist das Verkehrsaufkommen am Flughafen Frankfurt/Main. Im Jahr 2000 fanden dort 77.563 Flugbewegungen von Maschinen mit einem Startgewicht über 175 Mg statt, 98.433 Flugbewegungen in der Größenklasse 75 bis 175 Mg. Genauere Angaben zu den Flugbewegungen sind im Anhang 6.A zusammengestellt.

Daher wird in Kapitel 7 das Unfallszenario ‚Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs auf das Zwischenlager‘ näher betrachtet. Dabei wird deutlich, dass es in diesem Falle zu erheblichen radioaktiven Freisetzungen kommen kann.

## **6.4 Einwirkungen Dritter (terroristische Angriffe):**

### **6.4.1 Darstellung im Sicherheitsbericht:**

Im Sicherheitsbericht wird zu dem Thema lediglich festgestellt:

**„Die Transport- und Lagerbehälter sind bereits durch ihre Auslegung, Abmessungen und Gewichte weitgehend gegen Einwirkungen Dritter geschützt.“ (S. 97)**

Darüber hinaus wird noch erwähnt, dass es administrative und technische Maßnahmen zum Schutz des Lagers gäbe, die in einem gesonderten Bericht zusammengestellt sind.

In der Folge wird gezeigt werden, dass die Behälter keineswegs ausreichenden Schutz gegen Einwirkungen Dritter bieten. Dabei beschränkt sich die Diskussion auf die möglichen Belastungen der Behälter und deren Folgen, also auf rein technische Fragen. Es werden ausschließlich allgemein zugängliche Informationen verwendet.

#### **6.4.2 Mögliche Einwirkungen Dritter:**

Wichtige Beispiele für mögliche terroristische Angriffe sind.

- Herbeiführung eines Flugzeugabsturzes auf das Zwischenlager
- Eindringen in das Lager und Einsatz panzerbrechender Mittel
- Eindringen in das Lager und Einsatz massiver Sprengmittel
- Beschuss des Lagers und seiner Umgebung von außen

Unter Einwirkungen Dritter fallen weiterhin auch Kriegseinwirkungen wie Bombenangriff oder Beschuss mit Cruise Missiles, die zu erheblich schwereren Folgen führen können. Kriegseinwirkungen sollen hier nicht weiter behandelt werden. Es wäre allerdings nicht angebracht, sie als völlig unglaublich und überzogen abzutun. Es sei daran erinnert, dass ein Kernkraftwerk in Mitteleuropa – die Anlage in Krsko (Slowenien) – Anfang der 90er Jahre ernsthaft durch Kriegshandlungen bedroht war (STRITAR et al., 1993). Diese Anlage liegt nur ca. 80 km von der heutigen Außengrenze der Europäischen Union entfernt.

#### **6.4.3 Herbeigeführter Flugzeugabsturz auf das Zwischenlager:**

Wie oben ausgeführt, treten beim Absturz eines großen Verkehrsflugzeuges Belastungen auf, die die im Sicherheitsbericht betrachteten Lastfälle weit überschreiten können, insbesondere im Hinblick auf einen Kerosinbrand. Bezüglich der Folgen kann auf das Unfallszenario in Kapitel 7 verwiesen werden.

Für den Ablauf und die Folgen ist es unerheblich, ob ein Absturz unfallbedingt oder gezielt erfolgte. Bei unfallbedingtem Absturz sind niedrigere Aufprallgeschwindigkeiten sowie ein geringerer Tankinhalt wahrscheinlicher. Davon kann jedoch mangels einer belastbaren Datenbasis kein Kredit genommen werden.

Im Hinblick auf die Wahrscheinlichkeit fanden bei den bisher postulierten, sehr niedrigen Werten (s. oben) lediglich unfallbedingte Abstürze Berücksichtigung. In der gegenwärtigen Situation sind für bewusst herbeigeführte Abstürze sehr viel höhere Wahrscheinlichkeiten zu befürchten.

Auch Kernkraftwerke könnten ein Ziel terroristischer Angriffe sein. Solche Angriffe könnten erfolgen, um radioaktive Stoffe freizusetzen, aber auch, um die Elektrizitätsversorgung eines Landes lahm zu legen, wobei Freisetzungen möglicherweise als Nebenwirkungen in Kauf genommen werden oder sogar ‚erwünscht‘ sind. Die Gefährdung des Zwischenlagers wird nicht geringer dadurch, dass sich ein Reaktor als weiteres und u.U. ‚attraktiveres‘ Ziel in der unmittelbaren Nachbarschaft befinden. Vielmehr besteht die Gefahr, dass Angriffe auf das Kernkraftwerk sich auch auf das Zwischenlager auswirken.

#### **6.4.4 Einsatz panzerbrechender Mittel von innen:**

Eine Gruppe von Tätern könnte in das Zwischenlager eindringen und von innen mit panzerbrechenden Waffen (Panzermine, Panzerfaust) Behälter beschädigen. Es besteht Konsens darüber, dass die Wand von CASTOR-Behältern durch Hohlladungsbeschuss durchschlagen werden kann. In der wissenschaftlichen Literatur wird von Testergebnissen berichtet, die zeigen sollen, dass die radiologischen Auswirkungen in einem solchen Fall gering seien. Wie in Kapitel 4 näher ausgeführt, sind diese Berichte jedoch nur von begrenzter Aussagekraft.

Derartige Waffen können von ein bis zwei Personen getragen werden (Gewicht unter 25 kg). Beim Abfeuern von der Schulter in der Halle gefährdet sich der Schütze selbst, was jedoch nicht unbedingt eine ausreichende Abschreckung darstellen muss. Dies wird vermieden bei Waffen, die aus größerer Entfernung, z.B. über Kabel, ausgelöst werden können (Panzerabwehrminen).

Es gibt panzerbrechende Waffen, die bis zu 400 mm (M136AT-4, Schweden), 600 mm (Javelin, USA), 700 mm (Panzerfaust 3, Deutschland), 900 mm (Eryx (drahtgesteuert), Frankreich) bzw. 1000 mm (Milan 3 (drahtgesteuert), Frankreich) Panzerstahl durchschlagen können (PANZERLEHR, 2001). Von weniger festem Gussstahl könnten noch erheblich größere Dicken durchschlagen werden. Die Wand eines CASTOR-Behälters hat eine Stärke von etwa 400 mm.

Ein derartiges Geschoss von etwa 15 cm Durchmesser, hat die Behälterwand bereits durchdrungen, während die Explosion der Hohlladung noch andauert. Dies führt zu einer heftigen Explosionswirkung im Inneren des Behälters, verbunden mit Pulverisierung einiger Zehntelprozent des Inventars. Außerdem kommt es durch die heißen Explosionsgase sowie durch aus den zerstörten Hüllrohren freigesetzte Spaltgase zur Bildung eines Überdruckes im Behälter. Die Folge ist die Freisetzung eines nennenswerten Anteils des zerstörten Brennstoffes. Das Niederschlagen größerer, schwerer Teilchen in der unmittelbaren Umgebung erzeugt eine sehr stark verstrahlte Zone, in der Dosisleistungen in der Größenordnung von 1 Sv/h nicht auszuschließen sind. Zutritt und Reinigungsarbeiten sind also praktisch unmöglich. Darüber hinaus ist damit zu rechnen, dass feinere Aerosole als radioaktive Wolke freigesetzt werden, die sich weiter ausbreitet.

Die weiteren Konsequenzen können hier nicht im Einzelnen behandelt werden. Jedoch wird aus den obigen Ausführungen bereits klar, dass ein derartiger Anschlag schwerwiegende Folgen für das gesamte Standortgelände hätte und auch die Sicherheit des Kernkraftwerks beeinträchtigen könnte.

#### **6.4.5 Beschuss des Lagers und seiner Umgebung von außen:**

Die Zerstörung eines CASTOR-Behälters durch Beschuss des Lagers mit panzerbrechenden Waffen von außen stellt einen erheblich komplizierteren Vorgang dar als ein Angriff von innen. Es ist nicht möglich, die Behälter direkt mit einer solchen Waffe zu treffen. Vielmehr wäre es zunächst erforderlich, die Wand der Lagerhalle soweit zu beschädigen, dass sich keine Barrieren zwischen dem Täter und den Behältern befinden und die Behälter visuell anvisiert werden können.

Verwundbarer gegenüber Beschuss mit panzerbrechenden Waffen von außen sind dagegen Behälter während des internen Transportes vom Kernkraftwerk zum Zwischenlager. Ein di-

rekter Beschuss mit einer panzerbrechenden Hohlladungsgranate wäre in einer solchen Situation möglich.

Ein weiteres Gefahrenmoment stellt der Beschuss mit Granatwerfern oder Geschützen dar. Derartige Waffen könnten per LKW oder insbesondere mit einem Frachtschiff herangeschafft werden und möglicherweise auch vom Schiff aus abgefeuert werden.

Beispielsweise können russische Artilleriegranaten mit Kaliber 152 mm und einer Sprengladung von 5,86 kg eine Panzerung von 500 mm Stahl oder 1150 mm Stahlbeton durchschlagen. Ungelenkte Raketen aus einem Raketenwerfer haben eine vergleichbare Wirkung (HIRSCH et al., 1997).

Unabhängig von der Plausibilität dieser Szenarien wäre bei ihrem Eintreten mit Freisetzungen zu rechnen, wie sie oben für den Fall eines Beschusses von innen dargestellt wurden, oder noch darüber hinaus. Insbesondere die Zerstörung eines Behälters im Interimslager oder auf dem Transport würde zu einer äußerst schwerwiegenden Kontamination des Standortgeländes führen.

## **6.5 Risikoerhöhende Faktoren:**

Verschiedene Faktoren erhöhen, insbesondere auf längere Sicht, die Gefahren, die von dem Zwischenlager ausgehen.

### **6.5.1 Radioaktives Inventar:**

Für das Zwischenlager wurde lt. Sicherheitsbericht eine Kapazität von 1.050 Mg Schwermetall beantragt. Beim atomrechtlichen Erörterungstermin wurde eine Reduzierung auf 800 Mg angekündigt (BFS, 2001); diese Zahl wird auch in der amtlichen Kundmachung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft angegeben (BMLFUW, 2001).

Die aufgrund der vorgesehenen Laufzeiten gemäß Energiekonsens erforderliche Kapazität läge bei ca. 40 Mg, wenn das Nasslager (Lagerbecken im Reaktorgebäude) voll genutzt wird und die bis 2005 vom KKG-Betreiber geplanten Transporte zur Wiederaufarbeitung in Frankreich (Transporte nach Großbritannien sind nicht vorgesehen) durchgeführt werden. Unterbleiben die Transporte zur Wiederaufarbeitung, erhöht sich diese Menge auf ca. 200 Mg.

Bei kompletter Räumung des Nasslagers (die aus technischen Gründen keineswegs sofort bei Stilllegung des Kernkraftwerkes erforderlich wird) und ohne Transporte zur Wiederaufarbeitung wäre eine Zwischenlager-Kapazität von knapp 600 Mg erforderlich (eigene Abschätzung gemäß (BUNDESREGIERUNG, 2000; RENNEBERG, 2001; GRS, 2001)).

Dabei wurde die Kapazität des Lagerbeckens und dessen derzeitige Belegung mit voll- und teilabgebrannten Brennelementen berücksichtigt, wobei davon ausgegangen wurde, dass die teilabgebrannten Brennelemente nochmals zum Einsatz gelangen und somit die Beckenplätze nicht auf Dauer belegen. Ferner wurden der voraussichtliche jährliche Anfall an abgebrannten Brennelementen sowie das Inventar des Reaktorkerns berücksichtigt.

Die beantragte und auch die reduzierte Menge können also auf jeden Fall nur erreicht werden, wenn die Anlage länger läuft als im Basisfall des Energiekonsens (entsprechend den Regelungen der neuen Atomgesetz-Novelle, die am 01.02.2002 vom Bundesrat abschlie-

ßend beraten wurde) vorgesehen, z.B. durch Übertragung von Laufzeiten von älteren Anlagen auf den Reaktor am Standort – und zwar erheblich länger (selbst bezogen auf die reduzierte Menge um ca. 8 Jahre).

Je größer das im Zwischenlager eingelagerte Inventar, desto größer können bei schweren Unfällen die radioaktiven Freisetzungen sein. Nach der Stilllegung des Kernkraftwerks könnte die Lagerung eines Teiles des Inventars im Zwischenlager, eines Teils im Lagerbecken des Reaktors durch die damit erreichte räumliche Trennung die Sicherheit gegen Flugzeugabsturz erhöhen.

### **6.5.2 Ungeklärte Endlagerung:**

Zur Zeit existieren in Deutschland keine verbindliche Vorgehensweise und keine verbindliche Planung für die Errichtung eines Endlagers für abgebrannte Brennelemente. Für das Endlager Gorleben besteht ein Moratorium, das Vorgehen zur Findung neuer Standorte wird z.Zt. erst geklärt. Die Bundesregierung arbeitet darauf hin, dass ein Endlager im Jahr 2030 zur Verfügung steht (AKEND, 2001).

Schon bei einer Verschiebung dieses Zeitpunktes um wenige Jahrzehnte, was angesichts der bisherigen Geschichte der Endlagerplanung und –errichtung in Deutschland nicht unwahrscheinlich erscheint, müsste das Lager länger als 40 Jahre ab Einlagerung der ersten Behälter betrieben werden (lt. Sicherheitsbericht soll für keinen Behälter eine Lagerzeit von 40 Jahren überschritten werden). Zusätzliche Maßnahmen würden erforderlich, die mit Handtierungen des Brennstoffs und damit zusätzlichen Gefahren verbunden sind.

Außerdem bedeutet jedes Jahr, in dem das Zwischenlager mangels Endlager weiter betrieben werden muss, eine Fortschreibung der Risiken für ein weiteres Jahr, bei gleichzeitigen sicherheitstechnischen Verschlechterungen durch Alterung.

### **6.5.3 MOX-Brennelemente:**

Die Wärmeentwicklung von Mischoxid-(MOX-)Brennelementen, die ebenfalls im Zwischenlager eingelagert werden sollen, ist erheblich höher als die von Uran-Brennelementen. Lt. Sicherheitsbericht liegt sie nach 40 Jahren Abklingzeit bei mehr als dem doppelten Wert.

Es ist davon auszugehen, dass – abhängig von dem später gewählten Endlager-Konzept – MOX-Brennelemente u.U. erst erheblich später in ein Endlager verbracht werden können, selbst wenn ein solches planmäßig zur Verfügung steht, um den Wärmeeintrag in die geologische Formation unter den erforderlichen Grenze zu halten. Dies kann zu einer Verlängerung der Lagerzeit für MOX-Brennelemente und damit auch zu einer Fortschreibung der Gefahren, die von dem Standort ausgehen, führen.

### **6.5.4 Alterungsvorgänge:**

Alterungsvorgänge im Dichtungsbereich des Behälters, z.B. in Verbindung mit Korrosion (vgl. Kapitel 3) können dazu führen, dass die Versagensanfälligkeit der Dichtungen bei Unfällen steigt.

Alterung von Betonstrukturen über Jahrzehnte kann bewirken, dass die Standsicherheit und Festigkeit des Gebäudes verringert wird; auch dies würde eine größere Verwundbarkeit insb. gegenüber Einwirkungen von außen mit sich bringen.

Während also bei der Lagerung über Jahrzehnte einerseits das Gefahrenpotenzial durch radioaktiven Zerfall und Verringerung des radioaktiven Inventars absinkt, kann andererseits die Unfallgefahr durch Alterungsvorgänge erhöht werden.

## **6.6 Mögliche Belastungspfade für Österreich:**

Angesichts der dargestellten Möglichkeiten von Unfällen mit erheblichen Freisetzungen radioaktiver Stoffe wird deutlich, dass derartige Freisetzungen das österreichische Staatsgebiet in relevanten Mengen lediglich auf dem Luftpfad erreichen können.

Direkte Freisetzungen auf dem Wasserpfad können aus technischen Gründen praktisch nicht eintreten. Indirekt wären derartige Freisetzungen beispielsweise bei einem langen, schweren Brand denkbar, der zu Freisetzungen in die Luft führt, die sich z.T. im Bereich des Lagers niederschlagen und so in das Löschwasser gelangen können.

Ein Versickern von kontaminiertem Löschwasser oder anderen kontaminierten Flüssigkeiten auf dem Standortgelände kann jedoch kaum zu einer Beeinträchtigung des österreichischen Staatsgebietes führen, da der Standort am Main liegt. Der Main mündet in den Rhein, der nach Norden fließt und in die Nordsee mündet.

## **Quellenangaben zu Kapitel 6:**

AIRBUS (2001): Website des Airbus-Konsortiums, [www1.airbus.com](http://www1.airbus.com), eingesehen am 15.10.2001

AKEND (2001): Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte: 2. Zwischenbericht; August 2001

BAM (1982): Bundesanstalt für Materialprüfung: Beurteilung behälterspezifischer Fragen der trockenen Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in einem Transportbehälterlager bei Gorleben; Gutachten Az. 1.02/3022, Berlin, November 1982

BMLFUW (2001): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Kundmachung über eine Umweltverträglichkeitsprüfung für vier Brennelemente-Zwischenlager; GZ 11 5610/34-I/1U/01, Wien, 17.12.2001 ([www.ubavie.gv.at](http://www.ubavie.gv.at))

BFS (2001): Website des Bundesamtes für Strahlenschutz, [www.bfs.de](http://www.bfs.de), Stand vom 23.11.2001

BOEING (2001): Website von Boeing, [www.boeing.com](http://www.boeing.com), eingesehen am 15.10.2001

BUNDESREGIERUNG (2000): Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vom 14. Juni 2000

DROSTE (2001): Droste, B.: Bauartprüfung, Qualitätssicherung und Sonderversuche mit CASTOR-Behältern; Fachtagung Standortnahe Zwischenlager, Hotel Bristol, Bonn, 14.-15. März 2001

GRS (2001): Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit: Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland – Ergebnisse der Länderumfrage vom 31.12.2000; Arbeitsbericht der GRS für das Bundesamt für Strahlenschutz, Auftrags-Nr. 856400-2, Juni 2001

HIRSCH et al. (1997): Hirsch, H., Hofer, P., Seidelberger, E., Kromp, W. & Kromp-Kolb, H. (Hrsg.): Extended Safety Review for Krsko NPP; Institute of Risk Research of the Academic Senate of the University of Vienna, Risk Research Report Nr. 9, Vienna, November 1997

KKB (2000): RWE Power AG: Sicherheitsbericht für das BE-Zwischenlager Biblis; Stand 12/2000

KKI (2001): E.ON Kernkraft GmbH: Sicherheitsbericht für das Brennelementbehälterlager Isar (KKI BELLA); Stand 02/2001

LANGE & PRETZSCH (1994): Lange, F. & Pretzsch, G.: Experimental Determination of UO<sub>2</sub>-Release from a Spent Fuel Transport Cask after Shaped Charge Attack; Nuclear Materials Management, 35<sup>th</sup> Annual Meeting Proceedings, Naples, Florida, July 17-20, 1994, Volume XXIII, 408-413

MÜLLER (2001): Müller, C.: Flugzeuge der Welt 2001; Motorbuch Verlag, Stuttgart 2001

PANZERLEHR (2001): Private Website der „Panzerlehrabteilung“, eines Vereins von Wehrtechnik-Experten ([www.panzerlehr.de](http://www.panzerlehr.de)). Die über panzerbrechende Waffen angegebenen Daten stammen nach Angabe des Autors vom Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, Koblenz, sowie von den Unternehmen Dynamit-Nobel, Raytheon Missiles und EADS. Eingesehen am 16.10.2001.

RENNEBERG (2001): Renneberg, W.: Atomausstieg in Deutschland und Herausforderungen für die Atomaufsicht; atomwirtschaft-atomtechnik, 46. Jg., Heft 8-9, August/September 2001, S. 550-556

RICHARDSON (1985): Richardson, D.: Kampfflugzeuge Heute und Morgen; Motorbuch-Verlag/Verlag Stocker-Schmid, Stuttgart/Zürich 1985

RINKLEFF (1999): Aussage des Sachverständigen Dr. Rinkleff, TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt, auf dem Erörterungstermin für das Standort-Zwischenlager Lingen, 17.12.1999 (lt. Wortprotokoll, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 2000, S. 3-49)

RSK (1981): Reaktorsicherheitskommission (RSK): Leitlinien für Druckwasserreaktoren, 3. Ausgabe vom 14. Oktober 1981, zuletzt geändert u. berichtigt 1996

RSK (2001): Reaktorsicherheitskommission (RSK): Erste Stellungnahme der RSK – Sicherheit deutscher Atomkraftwerke gegen gezielten Absturz von Großflugzeugen mit vollem Tankinhalt; 344. Sitzung der RSK, 11.10.2001

STRITAR et al. (1993): Stritar, A.; Mavko, B.; Susnik, J. & Sarler, B.: Some Aspects of Nuclear Power Plant Safety under War Conditions; Nuclear Technology, Vol. 101, Feb. 1993, 193-201

TÜV (1985): Technischer Überwachungsverein Norddeutschland e.V.: Untersuchungen zu Ereignisabläufen mit Kernschmelzen in den DWR-Anlagen KKS und KBR sowie in den SWR-Anlagen KKB und KKK; erstellt im Auftrag der Energiesysteme Nord GmbH, Nr. 50-85-001, Hamburg, 1985

USAF (2001): Website der U.S. Air Force, [www.af.mil/news/factsheets/](http://www.af.mil/news/factsheets/), eingesehen am 15.10.2001

## 7 SZENARIO: ABSTURZ EINES VERKEHRSFLUGZEUGES

### 7.1 Einleitung

Der Absturz eines Verkehrsflugzeuges und daraus möglicherweise resultierenden Brände bei hoher Temperatur und langer Dauer werden bei der Sicherheitsanalyse von Brennelement-Zwischenlagern bisher ausgeschlossen. Aufgrund der nicht erfolgten Gebäudeauslegung gegen Flugzeugabsturz ist gleichwohl in Teilen des Lagerbereiches ein Kerosinbrand möglich, der deutlich höhere Lasteinträge verursachen kann als die für „Standard“-Brände bei Transportunfällen unterstellten 800°C über 30 Minuten bzw. der im Sicherheitsbericht angenommenen 600°C über eine Stunde.

Die einzige wirksame Barriere gegen Einwirkungen von außen stellt die Behälterwand bzw. das Deckelsystem dar. Die Transportbehälter sind lt. Vorschriften gegen ein „800 °C, 30 Minuten“ Feuer auszulegen. An dieser Stelle soll ermittelt werden, ob der Absturz eines Verkehrsflugzeuges einen qualitativ anderen Belastungsfall für die Behälter verursacht und welche Folgen damit verbunden sind. Die angestellten Betrachtungen haben grundsätzlich für alle oberirdischen Standort-Zwischenlager nach dem WTI-Konzept Gültigkeit. In der Folge werden dabei die speziellen Gegebenheiten am Standort Grafenrheinfeld berücksichtigt, soweit dies erforderlich erscheint.

Die Auswirkung eines Unfalles wird überwiegend durch die relativ flüchtigen Cäsiumisotope bestimmt, die sich nach der Freisetzung auf dem Boden ablagern und über Jahrzehnte eine Ganzkörperbelastung durch Gamma-Bodenstrahlung verursachen. In diesem Abschnitt werden die Freisetzungsmengen von Cs-137 (Halbwertszeit 30,2 Jahre) ermittelt, und zwar beispielhaft für das Behälterinventar eines CASTOR V/19 (mit 19 DWR-Brennelementen).

Diese Behälter werden am Standort Grafenrheinfeld aller Voraussicht nach die ersten sein, die eingesetzt werden.

### 7.2 Brandszenario

#### 7.2.1 Branddauer

In der Folge eines Flugzeugabsturzes entsteht u.U. ein Brand von großem Ausmaß, in dessen Folge mit einer erheblichen Freisetzung von radioaktivem Material gerechnet werden muss. Es sind umfangreiche Maßnahmen unter hohen Sicherheitsanforderungen erforderlich, um den Brandherd unter diesen Umständen unter Kontrolle zu bringen, insofern muss von einer Branddauer von mehreren Stunden ausgegangen werden. Es ist nicht auszuschließen, dass die Branddauer nur durch die vorhandene Brennstoffmenge determiniert wird (SCHLICH, 1998).

Große Verkehrsflugzeuge haben ihren Treibstoff auf mehrere Tanks verteilt, die sich u.a. in den Tragflächen befinden. Bei dem Aufprall der Maschine auf das Dach des Zwischenlagers wird sich vermutlich ein Teil des Kerosins fein in der Luft verteilen, gefolgt von einer Durchzündung des explosiven Kerosindampf-Luft-Gemisches. Die bis zum diesem Zeitpunkt durch Start und Flug (z. B. vom Flughafen Frankfurt) verbrauchte Treibstoffmenge beträgt bei großen Maschinen wie der Boeing B-747 nur etwas mehr als 2 % (s. Kapitel 6.3).

Es wird angenommen, dass ca. 50 % der max. Treibstoffmenge eines Verkehrsflugzeuges in einen der beiden Lagerbereiche des Zwischenlagers eindringt und bei ei-

nem anschließenden Brand verbrennt. Für eine Boeing B-747 oder einen Airbus A-340 ergibt sich eine Brennstoffmenge von 80 Mg Kerosin. Ein Brand mit einer größeren Brennstoffmenge von 120 Mg (das wären beispielsweise ca. 50% des Treibstoffs eines Airbus A-380-F) kann nicht ausgeschlossen werden, Weiterhin wird gezeigt, dass auch bei einer Treibstoffmenge von ‚nur‘ 50 Mg mehrstündige Brände möglich sind.

Die Abbrandgeschwindigkeit [ $\text{kg}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ ], auch als Massenabbrandgeschwindigkeit bezeichnet, ist eine aus Brandversuchen ermittelte Größe. Sie gibt an, welche Menge eines brennbaren Stoffes auf einer bestimmten Fläche pro Zeiteinheit verbrennt. In Berechnungen zur Branddauer wird auch die sogenannte lineare Abbrandgeschwindigkeit [ $\text{mm}/\text{min}$ ] verwendet. Sie gibt die Höhe der in der Zeiteinheit abbrennenden Schicht an, und errechnet sich durch Dividieren der Massenabbrandgeschwindigkeit durch die Dichte des Stoffes (HÄHNEL 1978, 1986).

Der tabellarische Wert der Massenabbrandgeschwindigkeit in Gebäuden beträgt für Kerosin  $0,82 \text{ kg}/\text{min}\cdot\text{m}^2$  bzw. ca.  $1 \text{ mm}/\text{min}\cdot\text{m}^2$  (HÄHNEL, 1978), in einer Stunde entsprechend  $49,2 \text{ kg}/\text{m}^2$ . Die tabellarischen Werte sind bezogen auf ein Öffnungsverhältnis  $n_0 = 0,16$ . (Das Öffnungsverhältnis gibt das Verhältnis der Summe aller im Brandraum vorhandenen Öffnungen zur Grundfläche des Brandraumes an.)

Für das Zwischenlager Grafenrheinfeld entspricht dieses Öffnungsverhältnis  $n_0 = 0,16$ , auf den Lagerbereich 1 mit einer Grundfläche von  $670 \text{ m}^2$  bezogen, einer Summe der Öffnungen von ca.  $110 \text{ m}^2$ . Für den Lagerbereich 2 mit  $760 \text{ m}^2$  ergibt sich entsprechend eine Summe der Öffnungen von ca.  $120 \text{ m}^2$ . Dies erscheint als plausible Größenordnung; auch größere Öffnungsverhältnisse könnten möglich sein. (Auf die weitergehenden Ausführungen im Anhang, Abschnitt 7.A.5, sei hier hingewiesen.) Vor dem Störfall sind nach eigener Abschätzung im Dach und an der Längsseite Öffnungen von max.  $80 \text{ m}^2$  Fläche vorhanden.

Angesicht der nach einem Absturz vorhandenen Lagergeometrie ist jedenfalls der o.g. Wert von  $0,82 \text{ kg}/\text{min}\cdot\text{m}^2$  für die Abbrandgeschwindigkeit plausibel. Damit können sich bei den angenommenen Branddauern und Treibstoffmengen folgende Brandflächen (d.h. tatsächlich von Kerosin bedeckte Flächen, ohne Berücksichtigung der von den Behältern eingenommenen Bereiche) ergeben.

Tab. 1: Mögliche Brandflächen in Abhängigkeit von Treibstoffmenge und Zeit (bei einer Abbrandgeschwindigkeit von  $49,2 \text{ kg/h}\cdot\text{m}^2$ )

Stunde	kg/m <sup>2</sup>	[m <sup>2</sup> ] bei 50 Mg	[m <sup>2</sup> ] bei 80 Mg	[m <sup>2</sup> ] bei 120 Mg
1	49,2	1016	1626	(2439)
2	98,4	508	813	1220
<b>3</b>	<b>147,6</b>	<b>339</b>	<b>542</b>	<b>813</b>
4	196,8	254	407	610
<b>5</b>	<b>246</b>	<b>203</b>	<b>325</b>	<b>488</b>
6	295,2	169	271	407
7	344,4	145	232	348

Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, dass Branddauern von mehreren Stunden bei Berücksichtigung der betrachteten Treibstoffmengen auf großen Flächen potenziell möglich sind. In der Folge werde Brände von fünf bzw. drei Stunden Dauer genauer betrachtet.

Bei einer Treibstoffmengen von 80 Mg ergibt sich bei einer Branddauer von fünf Stunden eine Brandfläche von 325 m<sup>2</sup>, bei drei Stunden eine Brandfläche von 542 m<sup>2</sup>. Auf diesen Flächen befinden sich bei Berücksichtigung der Behälteraufstellung in dem Lagerbereich 20 bzw. 36 Behälter. (Unter Berücksichtigung der Grundflächen der Behälter entsprechen sie Gesamtflächen von ca. 422 m<sup>2</sup> bzw. 705 m<sup>2</sup>.) Die Begrenzung der Brandfläche kann durch Wände im Lagerbereich sowie durch Trümmeransammlungen erfolgen.

Bei größeren Abbrandgeschwindigkeiten (etwa aufgrund anderer Öffnungsverhältnisse) sind längere Branddauern ebenfalls nicht auszuschließen, da es durchaus möglich ist, dass die Brandfläche und somit die Anzahl der betroffenen Behälter entsprechend kleiner sind. Bei einer Abbrandgeschwindigkeit von 3 mm/min ergäbe sich z.B. für einen fünfständigen Brand eine Fläche von 111 m<sup>2</sup> (entspricht 8 Behältern).

Die Verringerung der Brandflächen bei Zunahme der Abbrandgeschwindigkeit ist bei Betrachtung des Störfallszenarios plausibel. Bei der Abbrandgeschwindigkeit von  $0,82 \text{ kg/min}\cdot\text{m}^2$  wird von einem Gebäude mit einer relativ kleinen Öffnung im Dach ausgegangen. Die Erhöhung der Abbrandgeschwindigkeit mit steigender Öffnung im Gebäude entspricht zwangsläufig einem höheren Zerstörungsgrad des Gebäudes. In diesem Fall ist eine stärkere Eingrenzung der Brandfläche durch die entstandenen Trümmer möglich, d.h. die potenziell mögliche Begrenzung des Brandes auf eine kleinere Fläche des Lagerbereichs.

Vorstellbar ist im Verlauf des Störfalles weiterhin, dass durch die Zerstörung des Gebäudes Behälter verschüttet werden und so dem Feuer nicht oder kaum ausgesetzt sind. Auch in diesem Fall führt das resultierende Szenario nicht zu Änderungen hinsichtlich der Annahmen zur Branddauer, sondern lediglich zur Anzahl der betroffenen Behälter.

Die maximale Behälteranzahl der in dem gewählten Unfallszenario (Abbrandgeschwindigkeit  $0,82 \text{ kg/min}\cdot\text{m}^2$ ) eines fünfständigen Feuers betroffenen Behälter beträgt 20, bei einem dreistündigen Feuer können nach o.g. Annahmen bis zu 36 Behälter betroffen sein.

Der für die thermische Belastung der Behälter relevante Wärmestrom ist dem Produkt aus Abbrandgeschwindigkeit und Brandfläche proportional. Bei der hier gemachten Annahme

bleibt das Produkt konstant. Der Wärmestrom liegt bei einem Heizwert von Kerosin mit 43,13 MJ/kg in der Größenordnung von 200 MW.

### 7.2.2. Flammentemperatur

In den IAEA-Richtlinien wird bei einem Brand eine mittlere Flammentemperatur von 800 °C angenommen. Die IAEA-Anforderungen orientieren sich an den bei schweren Transportunfällen auftretenden Belastungen, erfüllen aber nicht den Anspruch, jede mögliche Unfallbelastung abzudecken. Dass dies nicht der Fall ist, wurde in verschiedenen Studien belegt. Nach einer Studie von "ECO-Engineering" in den USA werden häufig Flammentemperaturen von bis zu 1.100 °C erreicht (zitiert in (LYMAN, 1994)).

Die thermische Lastannahme für den Transport von Lagerbehältern, ein kurzer Temperaturanstieg und dann ein Brand mit konstanter Temperatur von 800 °C für 30 Minuten ist insbesondere für einen Brand innerhalb eines Gebäude nicht anwendbar. In GÖK (1991) wurde in diesem Zusammenhang ermittelt, dass bei Mineralölbränden in großen Gebäuden mit Flüssigkeitslachen von 20 – 200 m<sup>2</sup> mit Temperaturen von 1000 °C in der Flammenzone zu rechnen ist.

Flammentemperaturen lassen sich nicht berechnen, sie basieren vielmehr auf real gemessenen Werten (GÖK, 1991; HÄHNEL, 1978). Sie sind in erster Linie vom Brandstoff abhängig.

Im Hinblick auf den Zeitverlauf der Temperatur gilt: Die Flammentemperatur eines Mineralölbrandes steigt in kurzer Zeit stark an - wenige Minuten nach Brandbeginn ist mit Flammentemperaturen im Bereich von 1000 °C zu rechnen – und nimmt dann während des Brandes langsam weiter zu (GÖK, 1991; PASCH, 1994).

In PSE 8 (1985) wird für die thermischen Behälteranalysen in Übereinstimmung mit der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) angenommen, dass Feuer mit einer Branddauer von einer Stunde auch Temperaturen von 1000 °C erreichen können. Für längere Branddauern wird hingegen eine mittlere Flammentemperatur von 800 °C unterstellt. Hierbei wird angenommen, dass durch Flackern und Lodern der Flammen durch Windeinfluss etc. die maximale mittlere Flammentemperatur auf 800 °C über den Zeitraum hinweg gesenkt wird (PSE 8, 1985). Bei der Diskussion der in PSE (1985) gemachten Annahmen anhand der diesen zugrundegelegten Literaturangaben kommt GÖK (1990) zu der Feststellung, dass die Beschränkung auf diese Flammentemperaturen und Branddauern willkürlich ist.

Eine Flammentemperatur von 1000 °C wird nur bei genügender Sauerstoffzufuhr erreicht. Die Lagerhalle besitzt Zu- und Abluftöffnungen, die einen sich selbständig aufrecht erhaltenden Luftzug erlauben. Da durch den unterstellten Störfall weitere Öffnungen im Zwischenlager entstehen, ist anzunehmen, dass für die Erreichung der hoher Flammentemperaturen ausreichend Sauerstoff vorhanden ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Flammentemperatur von 1000 °C für längere Branddauern realistisch sein kann – auch für Branddauern von fünf Stunden. In dem hier betrachteten Brandszenario ist ein Absinken der mittleren Flammentemperatur, wie für einen Brand im Freien angenommen wird, in einem - wenn auch teilweise zerstörten - Gebäude nicht plausibel.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für das Interimslager Biblis wurden für einen Kerosinbrand nach Absturz einer Boeing 747-400 erheblich höhere Flammentemperaturen (ca. 1200 °C) sowie eine Dauer von bis zu 50 Minuten angenommen (Bundesamt für Strahlenschutz: Genehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen im Interimslager in Biblis der

Diese Annahme ist auch unter Berücksichtigung des Ausmaßes des Feuers und vor allem angesichts der Tatsache, dass die thermische Beanspruchung der Behälter, die im Sinne konservativen Vorgehens jedenfalls nicht unterschätzt werden soll, entscheidend aus der Höhe der Temperatur resultiert, gerechtfertigt.

Bei einer Abschätzung der Flammenhöhe aus den nach PASCH (1994) aus Videoaufzeichnungen ermittelten Werten von 0,5 - 0,9 für das Verhältnis Flammenhöhe zu Durchmesser ergeben sich auch bei kleiner Brandfläche von z.B. 120 m<sup>2</sup> Flammenhöhen von mindestens sechs Metern. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Behälter vollständig den Flammen ausgesetzt sein können.

Auch im Falle, dass nicht alle Behälter einer Flammentemperatur von 1000 °C ausgesetzt sind, wird diese Temperaturannahme dennoch aller Voraussicht nach zumindest für einen Teil der Behälter berechtigt sein.

Bei nicht homogener Verteilung der Flammentemperatur über die Brandfläche bzw. über die betroffenen Behälter verringert sich also nicht die thermische Lastannahme des Brandes auf einen einzelnen Behälter, sondern die max. Anzahl der unter diesen Unfallbedingungen betroffenen Behälter.

### 7.3 Dichtungsversagen der Behälter

Die von der IAEA festgelegten Anforderungen für Transportbehälter werden vielfach als unzureichend kritisiert. Hauptkritikpunkte sind nicht nur die nicht ausreichende Abdeckung möglicher Unfalleinwirkungen, sondern auch die Möglichkeit der Nachweisführung ohne praktische Tests mit Originalbehältern (FINK & NEUMANN, 1993).

Belastbare Werte für die Versagensgrenzen können vor allem durch realitätsnahe Experimente ermittelt werden. Oft werden jedoch Berechnungen bzw. Abschätzungen mit Hilfe von Modellen zur Vorhersage von Versagensgrenzen verwendet. Bei der Modellierung von Verhältnissen zur Berechnung der Versagensgrenzen müssen immer idealisierte Angaben gemacht werden, die zu erheblichen Abweichungen der Ergebnisse von der Realität führen können.

Mit den für Brände durchgeführten Computersimulationen wird die Verantwortung für die Einhaltung der Sicherheitsanforderungen auf komplizierte Modellierungen und Berechnungen (z.B. zur Wärmeübertragung) transferiert. Die nicht ausreichende Belastbarkeit der Modelle wird von Lyman mit dem Beispiel für die Berechnung stationärer Temperaturprofile für Brennelementbehälter, wo die Abweichungen gegenüber Messungen bei z.T. 60 °C lagen, belegt (LYMAN, 1994). Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch BÖCK (1983). Er untersuchte das thermische Verhalten eines CASTOR Ia bei einem Brand mit 800 °C und einer Stunde

---

RWE Power AG; 20.12.2001, Az. GZ-V3 - 8532 510, veröffentlicht Mitte Februar 2002). Eine Flammentemperatur von 1000 °C ist somit nicht als konservative Obergrenze anzusehen, insb. angesichts der Tatsache, dass es sich bei dem Brand im Interimslager praktisch um einen Brand im Freien handelt, bei dem eher niedrigere Temperaturen zu erwarten sind als im teilzerstörten Gebäude. Die kürzere Dauer des Brandes im Interimslager dagegen ist auf die Situation im Zwischenlager nicht übertragbar. Bei einem Brand im Interimslager ist eine großflächige Verteilung des Kerosins (die zu geringeren Schichtdicken und damit kürzerer Branddauer führt) erheblich wahrscheinlicher als im Zwischenlager, bei dem Gebäudestrukturen, Trümmer usw. die Ausbreitung des Kerosins verhindern können.

Dauer und stellte fest: *„Die Untersuchungen lieferten deutlich höhere Temperaturen (auch bei Mittelwertbildung), als alle bisher bekannt gewordenen Rechnungen der Betreiberseite.“*

Es ist davon auszugehen, dass im Rahmen der Transportzulassungen für den CASTOR V/19 auch Berechnungen für das sog. Standardfeuer der IAEA durchgeführt wurden. Praktische Feuertests mit CASTOR-Behältern sind nur aus dem Jahr 1978 bekannt. Unter den damals durchgeführten fünf Versuchen befindet sich nur einer mit einem Behälter in Originalgröße. Drei Versuche wurden mit einem verkleinerten Modell und ein weiterer mit einem Fußstück des Behälters durchgeführt.

In der einschlägigen Literatur und den zugänglichen Gutachten zur Zwischenlagerung des CASTOR V/19 in Gorleben gibt es keine Ausführungen zum thermischen Sicherheitsnachweis. Daher können hier keine Aussagen getroffen werden, ob die Nachweise ausschließlich mit einem Rechenprogramm durchgeführt wurden oder ob Vergleiche mit den Ergebnissen der Feuertests mit dem CASTOR Ia gezogen wurden (siehe Kapitel 4).

Untersuchungen und Analysen zu den Versagensgrenzen von CASTOR-Behältern wurden vor allem von der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM, 1982) und im Rahmen des Projektes Sicherheitsstudie Entsorgung (PSE 8, 1985) durchgeführt (GÖK, 1990).

Im Rahmen des Projektes Sicherheitsstudien Entsorgung (PSE) 1979 bis 1985 wurde u.a. der Transport von abgebrannten Brennelementen bzw. radioaktivem Abfall in Behältern der Typen CASTOR und TN 1300 auf Straße (PSE 8, 1985) und Schiene (PSE 7, 1985) untersucht. Für die thermischen Belastungsanalysen werden ein 800 °C Feuer bei 4 Stunden Branddauer sowie ein 1000 °C Feuer mit einer Stunde Dauer zugrundegelegt.

Bei Untersuchungen zum thermischen Lastfall am CASTOR IIa (Material GGG 40, Gewicht 120 t, Wandstärke ca. 44 cm, Höhe ca. 6 m, Breite ca. 2 m) wurden die Versagensgrenzen bei thermischer Belastung definiert (PSE 8, 1985). Der CASTOR V/19 ist ebenfalls ein monolithischer Körper mit innen liegendem Moderatormaterial aus gleichem Grundwerkstoff und besitzt in Bezug auf das thermische Verhalten vergleichbare Parameter (Gewicht 124 t, Wandstärke 42 cm, Höhe ca. 5,9 m, Durchmesser ca. 2,4 m). Die Ergebnisse mit dem CASTOR IIa können daher für die Zwecke der hier durchgeführten Abschätzung grob orientierend auf den CASTOR V/19 übertragen werden, obgleich sie angesichts der gegebenen Unterschiede für einen belastbaren Sicherheitsnachweis von CASTOR V/19 nicht ausreichend wären.

In PSE 8 (1985) wird bei der thermischen Behälteranalyse des CASTOR IIa angegeben, dass kein Versagen der Metalldichtung in einem 800 °C Feuer bei einer Branddauer bis zu 4 Stunden und bei einem 1000 °C Feuer bei einer Branddauer von bis zu 2 Stunden eintreten wird. Nähere Angaben zum Temperaturverlauf im Behälter sind nicht vorhanden. Die Rechnungen wurden mit und ohne Stoßdämpfer durchgeführt. Nach Angaben der BAM wird in PSE 8 von einer Versagensgrenze der eingesetzten Metalldichtungen bei Kurzzeitbelastungen von 500 °C ausgegangen. Die Ergebnisse bedeuten somit lediglich, dass nach 2 Stunden bei einem 1000 °C Brand eine Temperatur von 500 °C im Dichtungsbereich nicht erreicht wird.

Bei der Behälteranalyse der thermischen Belastung eines ebenfalls in den Größenordnungen vergleichbaren Behälters TN 1300 in PSE 7 (1985) und in den Sicherheitsberichten für die Standort-Zwischenlager werden für die Versagensgrenzen der verwendeten Metalldichtungen 400 °C bei Kurzzeitbelastung (Zeitintervall von 120 h) und 250 °C bei Langzeitbelastung angegeben.

Nach Auswertung der Literaturangaben wird in GÖK (1990) für die thermische Belastung an einem CASTOR-Behälter im 1000 °C Feuer ein Versagen bei ca. 3 Stunden unterstellt, ohne Stoßdämpfer kann ein Versagen auch früher eintreten (GÖK, 1990).

Die Extrapolation der Ergebnisse aus GRS (1999) bestätigt dies. Sie zeigen, dass mit einem Versagen des Deckeldichtungssystems ab ca. 3 Stunden gerechnet werden muss. Nach 5 Stunden sind in diesem Bereich Temperaturen zu erwarten, die deutlich über 500 °C liegen. Zu diesem Zeitpunkt ist also eindeutig ein Versagen praktisch aller Dichtungen anzunehmen.

Probleme für die Langzeitdichtheit von Behältern mit verpressten Dichtungen sind in Kapitel 3.3.1 ausführlich beschrieben. Eine darauf aufbauende Quantifizierung der Veränderung der Versagensgrenze der Dichtungen mit der Zeit soll hier nicht erfolgen. Es kann aber angenommen werden, dass ein Versagen der Dichtungen je nach Vorgeschichte bei unterschiedlichen Temperaturen – und damit zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Brandbeginn – möglich ist.

Auch die Auswirkung einer möglichen mechanischen Belastung des Behälters auf die Versagenstemperatur kann nicht ermittelt werden. Es ist zwar relativ unwahrscheinlich, dass in dem behandelten Szenario für mehrere Behälter ein mechanischer Lasteintrag zu unterstellen ist, der zu einem nennenswerten Dichtungsnachlassen führt, aber verminderte Dichtheit bei mehreren Behältern in Abstufungen, sowie das Umkippen oder Zusammenschieben von Behältern ist durchaus wahrscheinlich.

Bei den hier betrachteten Unfallszenarien wird davon ausgegangen, dass ein Versagen der metallischen Dichtungen im Temperaturbereich zwischen 400 °C und 500 °C erfolgt. Die ersten betroffenen Behälter werden bei ca. 400 °C Dichtungstemperatur undicht; bei ca. 500 °C ist bei allen betroffenen Behältern Undichtigkeit eingetreten.

Das bedeutet, dass die Versagenstemperaturen im Dichtungsbereich bei dem untersuchten thermischen Belastungsfall im Zusammenhang mit einem Brand nach Absturz eines Verkehrsflugzeuges bei einem Teil der Behälter nach drei Stunden und bei praktisch allen Behältern nach fünf Stunden erreicht werden. Diese Annahme ist nicht zwangsläufig konservativ.

Für die Berechnung der Freisetzungsmengen wird vereinfachend angenommen, dass bei einer Flammentemperatur von ca. 1000 °C und einer Branddauer von drei Stunden die Hälfte der Dichtungen und bei einer Branddauer von fünf Stunden alle Dichtungen der auf der Brandfläche befindlichen Behälter versagen.

Im Hinblick auf den Gesamtverlauf der Ereignisse am Unfallort und insb. den zeitlichen Verlauf der Freisetzungen ist von Bedeutung, dass die Temperatur in der Umgebung der betroffenen Behälter – im Gegensatz etwa zu einem Feuerfest, dem ein einzelner Behälter unterzogen wird – auch nach Ende des Brandes deutlich erhöht bleibt und somit keine Abkühlung der Behälterwände und des Dichtungsbereiches über die Behälteroberfläche erfolgt. Der nach dem Erlöschen des Feuers in das Innere der Behälter gerichtete Wärmefluss, der auch beim Feuerfest mit einem Behälter zu beobachten ist, wird weiter andauern, ohne jedoch durch eine starke Abkühlung der Oberfläche abgeschwächt zu werden.

## 7.4 Ermittlung der Freisetzung

Ein vollständiger Integritätsverlust des CASTOR ist bei den unterstellten Belastungen nicht zu erwarten. Die Freisetzung aus dem Behälter erfolgt ausschließlich über den Dichtungsbe-  
reich.

Im Normalbetrieb wird der CASTOR mit Helium bei 0,8 bar befüllt. Erst bei einer Druckerhöhung im Behälter kann es zu einer nennenswerten Aktivitätsfreisetzung kommen. Zu einer solchen Druckerhöhung kommt es durch Temperaturerhöhung und die Freisetzungen aus den Brennstäben. Für die Berechnung der Freisetzungsmengen wird konservativ 100 % Hüll-

rohrschaden angenommen. Bei einer Behälterinnentemperatur von 400 °C errechnet sich der Behälterinnendruck zu 3,35 bar und bei 500 °C zu 3,85 bar.

Die Leckageraten für den Transportbehälter CASTOR IIa wurden von der BAM ermittelt und sind den Berechnungen der Freisetzungsmengen in PSE 7 (1985) zugrundegelegt. Für ein defektes Deckeldichtungssystem wurde eine Leckagerate von 1 mbar<sup>3</sup>/s (Blockspaltweite 10 µm) bei einer Temperatur von 273 K und einem Druck von 1,013 bar angegeben. Für das Dichtungssystem des CASTOR V/19 wird hier bei völligem Versagen des Dichtungssystems dieselbe Leckagerate angenommen. Für die Bestimmung der druckabhängigen Leckagerate wird in Analogie zum Vorgehen in PSE 7 (1985) von einer laminar viskosen Strömung durch eine „Normpore“ ausgegangen. Die Freisetzungsraten wurden in Abhängigkeit von Druck und Temperatur bestimmt. Der Freisetzungbruchteil aus der Behälteratmosphäre errechnet sich für Cs-137 nach 10 Stunden bei 400 °C zu einem Wert von 0,00951 und bei 500 °C zu einem Wert von 0,01234.

In PSE 7 (1985) wird eine Freisetzungsdauer von 10 Stunden, bis Dichtungsmaßnahmen einsetzen können, angenommen. Im Sicherheitsbericht wird im Abschnitt 5.4.1 ein Zeitraum von sieben Tagen, innerhalb dessen Maßnahmen zur Begrenzung und Beendigung der Aktivitätsfreisetzung getroffen werden können, genannt.

Die Temperatur im Behälterinnenraum ist für die Angabe der Freisetzungsmengen wesentlich, da die Cäsium-Konzentration in der Behälteratmosphäre mit der Temperatur stark ansteigt. Die maximale Aktivität des Cs-137 Inventars des CASTOR V/19 wird im Sicherheitsbericht mit  $8,60 \times 10^{16}$  Bq angegeben. Die Aktivität des gasförmigen Radionuklids Cs-137 in der Behälteratmosphäre in Abhängigkeit von der Temperatur ergibt sich in Analogie zur Vorgehensweise in TÜV (1995) zu:

*Tabelle 2: Cs-137 Aktivität in der Behälteratmosphäre des CASTOR V/19*

Temperatur in [°C]	200	300	350	400	450	500	550	600
Aktivität in 10 <sup>12</sup> [Bq]	0,209	66,12	203,86	528,45	1194,77	2419,58	4479,41	7702,06

#### 7.4.1 Cs-137 Freisetzung beim 1000 °C/3 h Feuer

Die Behälterinnentemperaturen können aus den verfügbaren Quellen abgeschätzt werden (GRS, 1999; PSE 7, 1985; PSE 8, 1985).

Bei der Untersuchung des 800 °C/4 h Feuers an dem TN 1300 wird aus dem Temperaturverlauf an den Dichtungen ersichtlich, dass die max. Behälterinnentemperatur erst nach ca. 6,5 Stunden erreicht wird, und dann um ca. 10 °C pro Stunde absinkt. Auch bei dem 1000 °C/1 h Feuer wird die max. Temperatur erst nach zwei Stunden erreicht und sinkt dann langsam (5 °C/ Stunde) wieder ab.

Nach einem dreistündigen Feuer werden im Innenbereich der Behälter, aus denen die Freisetzung erfolgt, Temperaturen von mindestens 400 °C erreicht. Die Temperaturen werden nach Beendigung des Feuers weiter ansteigen und dann langsam abfallen. Dabei wird nach einem Brand auf großer Fläche angesichts der hohen Temperaturen in der Umgebung der Anstieg deutlicher sein und der Abfall später eintreten, als bei den o.g. Untersuchungen für Einzelbehälter. Für die Berechnung der Freisetzung wird unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit der Cäsium-Konzentration in der Behälteratmosphäre die Cs-137 Freisetzung für eine gemittelte Freisetzungstemperatur der Behälteratmosphäre von 400 °C für die ersten zehn Stunden angenommen.

Die freigesetzte Aktivität an Cs-137 aus einem Behälter bei dem 1000 °C/3h Feuer nach zehn Stunden ergibt so ca.  $5 \cdot 10^{12}$  Bq und für die bei diesem Fall maximale Anzahl der undicht gewordenen Behälter (die Hälfte von 36, somit 18)  $90 \cdot 10^{12}$  Bq. Eine weitere Freisetzung für 14 Stunden bei 300 °C erhöht die freigesetzte Aktivität von Cs-137 nach 24 Stunden auf ca.  $120 \cdot 10^{12}$  Bq bei dem gewählten Brandszenario. Eine Freisetzung über diesen Zeitraum hinaus ergibt keinen nennenswerten Beitrag mehr, da sie bei einer Freisetzungstemperatur von 200 °C nach weiteren 100 Stunden in der Größenordnung von  $10^{10}$  Bq liegt.

#### 7.4.2 Cs-137 Freisetzung beim 1000 °C/5 h Feuer

Nach einem fünfstündigen Feuer werden nach eigener Abschätzung in der Behälteratmosphäre Temperaturen von mindestens 500 °C erreicht.

Wie oben gezeigt, ist auch beim 1000 °C/5 h Feuer davon auszugehen, dass die Temperatur in der Behälteratmosphäre nach Brandende zunächst weiter ansteigt und erst mit erheblicher Verzögerung langsam abfällt. Schon vor Ende des Brandes wird nach Versagen der Dichtungen eine Freisetzung - im Temperaturbereich von 400 °C bis 500 °C - erfolgen.

Für die Berechnung der Freisetzung von Cs-137 für das 1000 °C/5 h Feuers wird unter den o. g. Voraussetzungen eine gemittelte Freisetzungstemperatur von 500 °C für die ersten zehn Stunden angenommen. Ob diese Abschätzung konservativ ist, kann an dieser Stelle nicht bewertet werden. Die freigesetzte Aktivität an Cs-137 aus der Behälteratmosphäre eines Behälters errechnet sich für die ersten zehn Stunden zu knapp  $30 \cdot 10^{12}$  Bq. Nach den o. g. Annahmen versagen nach einem fünfstündigen Feuer bei 1000 °C alle Dichtungen der maximal betroffenen Anzahl der Behälter (20).

Bei einem 1000 °C/5 h Feuer errechnet sich so die freigesetzte Aktivität an Cs-137 nach zehn Stunden zu knapp  $600 \cdot 10^{12}$  Bq. Eine mögliche weitere Freisetzung für 14 Stunden erfolgt bei einer gemittelten Freisetzungstemperatur von 400 °C, daraus ergibt sich eine zusätzliche Aktivitätsfreisetzung von  $160 \cdot 10^{12}$  Bq. Nach 24 h würde somit eine Aktivität von Cs-137 in der Höhe von ca.  $750 \cdot 10^{12}$  Bq freigesetzt.

Eine Freisetzung für weitere 24 Stunden (Freisetzungstemperatur 300 °C) erhöht die freigesetzte Aktivität nach zwei Tagen auf ca.  $790 \cdot 10^{12}$  Bq.

Eine Erhöhung der gemittelten Freisetzungstemperatur auf 550 °C, die nach dem oben beschriebenen Temperaturenverläufen in dem Behälter durchaus möglich ist, ergibt bei etwas größerer Freisetzungsrate und fast doppelter Cs-137 Aktivität in der Behälteratmosphäre einen doppelten Wert für die Freisetzungen nach 10 Stunden, d.h. ca.  $1200 \cdot 10^{12}$  Bq. Die Freisetzungsraten im weiteren Verlauf des Unfallszenarios hängen stark von der Beherrschung des Unfalls, d.h. von der Absenkung der Temperatur in der Behälterinneratmosphäre ab. Bei Extrapolation analog dem Verlauf im Fall von 500 °C gemittelter Freisetzungstemperatur in den ersten zehn Stunden ergibt für die Gesamtfreisetzung nach 24 Stunden einen Wert von ca.  $1500 \cdot 10^{12}$  Bq.

#### 7.4.3 Zusammenfassung der freigesetzten Mengen:

Die wichtigsten Ergebnisse zu den freigesetzten Mengen sollen hier nochmals als Endergebnis zusammengestellt werden. Ihrem Charakter entsprechend werden sie, wie bereits in den vorhergegangenen Abschnitten, in gerundeter Form angegeben, um Scheingenaugkeit zu vermeiden.

Tab. 3: Es ergeben sich folgende Freisetzungen an Cäsium-137

	Szenario I	Szenario II	Szenario Iia
Freisetzung innerhalb der ersten 10 h	90 TBq	600 TBq	1200 TBq
Freisetzung innerhalb der ersten 24 h	120 TBq	750 TBq	1500 TBq

Szenario I: Feuer mit 1000 °C für 3 Stunden, 36 Behälter im Feuer (50 % werden undicht)

Szenario II: Feuer mit 1000 °C für 5 Stunden, 20 Behälter im Feuer (100 % werden undicht)

Szenario Iia: Wie II, höhere Temperatur im Behälterinneren angenommen

### Quellenangaben zu Kapitel 7:

ATKINS (1996): Atkins, P.W.: Physikalische Chemie; VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1996

BÖCK (1983): Böck, W.: Das thermische Verhalten eines CASTOR Ia-Behälters für abgebrannte Brennelemente; Universität Bremen, Informationen zu Energie und Umwelt, 1983

GÖK (1990): Gruppe Ökologie: Gutachten zur Sicherheit von Kernbrennstofftransporten auf dem Gebiet der Freien und Hansestadt Hamburg; erstellt im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg, Hannover, 1990

GÖK (1991): Gruppe Ökologie: Gutachterliche Stellungnahme zum „Plan Endlager für radioaktive Abfälle Schachanlage Konrad, Salzgitter“ des Bundesamtes für Strahlenschutz; erstellt im Auftrag der Stadt Salzgitter, Hannover, 1991

GRS (1999): Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Sicherheitstechnische Untersuchungen für Schienentransporte mit hohem Aktivitätsinventar. GRS-A-2715, 1999

HÄHNEL (1976): Hähnel, E. (Hrsg.): Lexikon Brandschutz; Staatsverlag der DDR, Berlin, 1976

HÄHNEL (1978): Hähnel, E. (Hrsg.): Brandschutz Formeln und Tabellen; Staatsverlag der DDR, Berlin, 1978

LYMAN (1994): Lyman, E. S.: Safety issues in the sea transport of vitrified high-level radioactive waste to Japan; Princeton University, New Jersey (USA), 1994

PASCH (1994): Pasch, U.: Untersuchungen zur Simulation ausgewählter Brandkenngrößen und deren Wirkung auf die persönliche Schutzausrüstung des Feuerwehrangehörigen; Forschungsbericht Nr. 91, Institut der Feuerwehr Sachsen – Anhalt, Heyrothsberge, 1994

PSE 7 (1985): Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung: Abschlußbericht, Fachband 7 (Sicherheitsanalyse der Transporte von radioaktiven Materialien für den Verkehrsträger Schiene); erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, Berlin, 1985

PSE 8 (1985): Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung: Abschlußbericht, Fachband 8 (Sicherheitsanalyse der Transporte von radioaktiven Materialien für den Verkehrsträger Straße); erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, Berlin, 1985

SCHLICH (1998: ): Schlich, E. (Hrsg.): Castor-Schwarzbuch; Dokumentation unabhängiger Gutachter zum Ahaus-Verfahren mit Kommentaren; Ökoinstitut, Freiburg, 1998

TÜV (1995): Technischer Überwachungsverein Hannover/Sachsen-Anhalt: Gutachten zum Transportbehälterlager Gorleben; Hannover, 1995

## 8 AUSWIRKUNGEN AUF ÖSTERREICH

### 8.1 Einleitung

Angesichts der dargestellten Möglichkeiten von Unfällen mit erheblichen Freisetzungen radioaktiver Stoffe wird deutlich, dass derartige Freisetzungen das österreichische Staatsgebiet in relevanten Mengen lediglich auf dem Luftpfad erreichen können.

Direkte Freisetzungen auf dem Wasserpfad können aus technischen Gründen praktisch nicht eintreten. Indirekt wären derartige Freisetzungen beispielsweise bei einem langen, schweren Brand denkbar, der zu Freisetzungen in die Luft führt, die sich z.T. im Bereich des Lagers niederschlagen und so in das Löschwasser gelangen können.

Ein Versickern von kontaminiertem Löschwasser oder anderen kontaminierten Flüssigkeiten auf dem Standortgelände kann jedoch nicht zu einer Beeinträchtigung des österreichischen Staatsgebietes führen, da der Standort am Main liegt. Der Main mündet in den Rhein, der nach Norden fließt und in die Nordsee mündet.

### 8.2 Abschätzung der Deposition radioaktiver Stoffe nach einem Flugzeugabsturz auf das Zwischenlager

Aufgrund der Ausführungen in Kapitel 7 wird zur Abschätzung der potentiell größten Folgen eines Unfalls im Standortzwischenlager Grafenrheinfeld für Österreich ein Flugzeugabsturz mit Treibstoffbrand angenommen.

Als Quellterm wird laut Szenario IIa (Kapitel 7.4.3) eine Freisetzung von 1200 TBq ( $1,2 \cdot 10^{15}$  Bq) Cs-137 –als Leitnuklid – angenommen. Die Freisetzung erfolgt über einen Zeitraum von 10 Stunden bei einer Branddauer von 5 Stunden.

*Tabelle 2: Quellterm für die Analyse der Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes auf das Zwischenlager*

	Szenario IIa
1. Phase: 10 h	1200 TBq
2. Phase 14 h	300 TBq

Für das Standortzwischenlager Grafenrheinfeld wurden vom Institut für Meteorologie und Physik der Universität für Bodenkultur in Wien mit dem Programm Flexpart realistische Ausbreitungsszenarien modelliert.

Es wurden 88 reale meteorologische Situationen analysiert. Dabei wurden dieselben 88 Starttermine aus dem Jahr 1995 verwendet, die auch im Projekt Riskmap (ANDREEV et.al.1988, HOFER et al. 2000) benutzt wurden.

Die Ergebnisse wurden nach Häufigkeit und Höhe der Deposition in Österreich ausgewertet.

Tabelle 3: Absolute und relative Häufigkeit jener Fälle unter den untersuchten 88 meteorologischen Szenarien, bei denen Gebiete in Österreich betroffen wären, in Abhängigkeit von der Stärke der Kontamination.

<b>maximale Deposition</b>	<b>Häufigkeit (absolut)</b>	<b>Häufigkeit in Prozent</b>
> 50kBq/m <sup>2</sup>	1	1
20-50 kBq/m <sup>2</sup>	3	3
10-20 kBq/m <sup>2</sup>	4	5
5-10 kBq/m <sup>2</sup>	6	7
1-5 kBq/m <sup>2</sup>	9	10
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>26</b>

Obwohl die Entfernung vom Standort Grafenrheinfeld zum nächstgelegenen Punkt der österreichischen Grenze 270 km beträgt, könnten Gebiete in Österreich in einem Viertel der Fälle mit radioaktiven Stoffen aus dem Zwischenlager kontaminiert werden. Die dabei maximal auftretende Deposition von Cäsium-137 wurde mit 65 kBq/m<sup>2</sup> errechnet (Abbildung 1), was etwa dem Dreifachen der mittleren Kontamination in Österreich nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl gleichkommt (21kBq/m<sup>2</sup>).

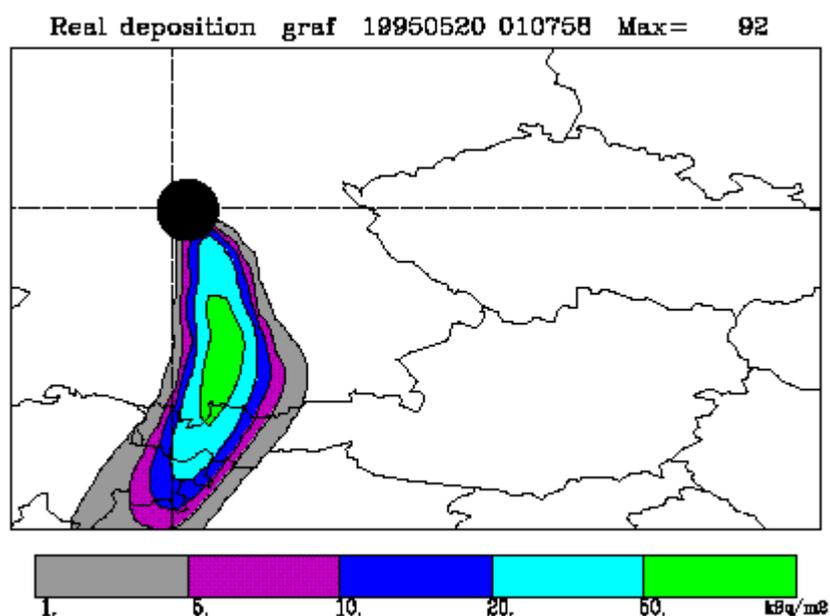


Abbildung 1: Berechnete Cs-137 Deposition nach Unfall im Brennelementelager Grafenrheinfeld (meteorologisches Szenario mit Beginn der Emission am 20.05.1995, 01:07:58 UTC).

In 5 % der untersuchten 88 Fälle treten Depositionen über der Durchschnittsbelastung vom Mai 1986 auf. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen weitere Beispiele.

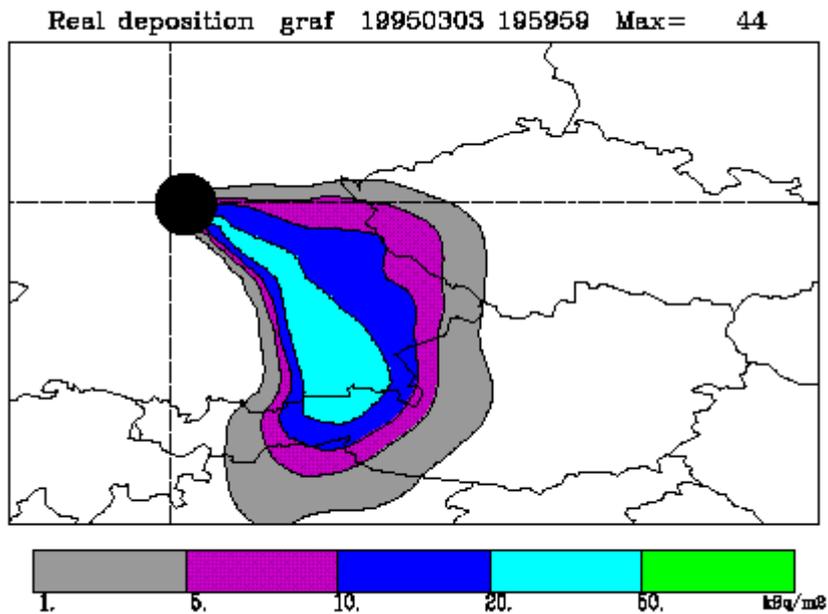


Abbildung 2: Berechnete Cs-137 Deposition nach Unfall im Brennelementlager Grafenrheinfeld (meteorologisches Szenario mit Beginn der Emission am 03.03.1995, 19:59:59 UTC).

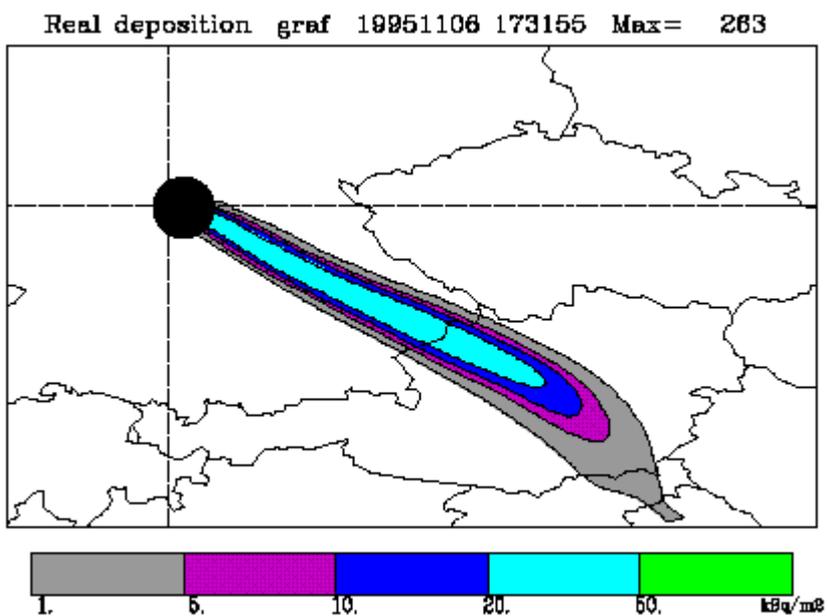


Abbildung 3: Berechnete Cs-137 Deposition nach Unfall im Brennelementlager Grafenrheinfeld (meteorologisches Szenario mit Beginn der Emission am 06.11.1995, 17:31:55 UTC).

Entsprechend den in Kapitel 7 analysierten Brandszenarien beinhaltet der betrachtete Quellterm nur die erste Phase der Emission, während die nachfolgende langsame Freisetzung vernachlässigt wurde.

Um sichtbar zu machen, wie stark sich die Deposition durch diese zweite Emissionsphase noch erhöhen könnte, wurde die Berechnung für das meteorologisches Szenario mit der größten Deposition in Österreich (2.11.1995) mit dem zweiphasigen Quellterm wiederholt (Abbildung 4, zu vergleichen mit Abbildung 1). In konkreten Fall erhöht sich die maximale Deposition in Österreich nur wenig - von 65 auf 68 kBq/m<sup>2</sup>.

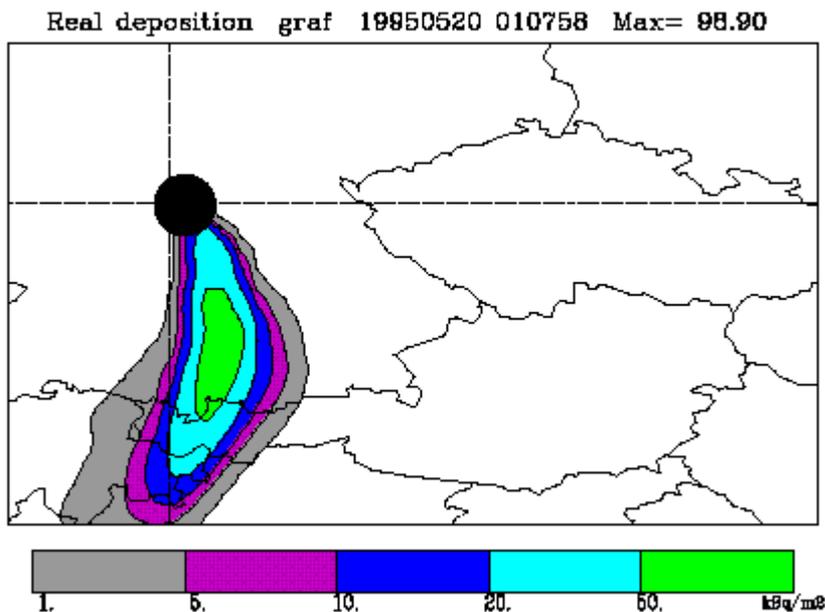


Abbildung 4: Cs-137 Deposition nach Unfall im Brennelementelager Grafenrheinfeld, Flexpart-Berechnung (Daten des 20-05-1995) ; Emission in zwei Phasen: 1.Phase 10 Stunden 1200 TBq, zweite Phase 14 Stunden 300 TBq.

Die maximale Dosisleistung tritt dann auf, wenn unter den durch den Brand beschädigten Behältern ein großer Anteil an frisch eingelagerten ist, da dann neben Cs-137 auch Cs-134 freigesetzt wird. Unter dieser Annahmen errechnet sich die maximale Dosisleistung mit 0,44  $\mu$ Sv/h. Entsprechend den österreichischen Rahmenempfehlungen für den Strahlenschutz entspricht dies Warnpegel 2 ( $> 0,3 \mu$ Sv/h). Bei diesem Warnpegel ist Gefährdungsstufe I zu erwarten. Es könnte daher nötig sein Maßnahmen zur Minimierung der Strahlenbelastung spezieller Risikogruppen zu treffen (Kleinkinder, Schwangere).

Außerdem ist festzuhalten, dass es sich bei der Deposition um langlebige Radionuklide handelt – vorwiegend Cäsium-137 mit 30 Jahren aber auch Jod-129 mit 16 Millionen Jahren Halbwertszeit. Jod-129, wird wie alle Jodisotope vollständig aus der Atemluft durch die Lunge und aus der Nahrung durch den Darm resorbiert und in der Schilddrüse gespeichert. Das hat zur Folge, dass die gesamte vom radioaktiven Jod ausgehende Strahlung das kleine Organ Schilddrüse belastet. Die biologische Halbwertszeit von Jod in der Schilddrüse beträgt 120 Tage. Die Verweildauer von Jod-129 in den oberen 30 cm des Erdbodens beträgt viele Jahrzehnte (LENGFELDER 1988).

## Literaturverzeichnis

RAHMENEMPFEHLUNGEN für die Festlegung und Durchführung von Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor ionisierender Strahlung in Fällen großräumiger radioaktiver Verunreinigung. Forschungsberichte des Bundesministeriums für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz 2. Ausgabe Wien, 1991

BOSSEW et al (1996), Bossew, P., Ditto M., Falkner, T., Henrich E., Kienzl K., Rappelsberger U., : Cäsiumbelastung der Böden Österreichs Monographien Band 60; Umweltbundesamt Wien, 1996

Andreev et.al.(1988), Andreev I., Hittenberger M., Hofer P., Kromp-Kolb, H., Kromp, W., Seibert, P., Wotawa, G., 1998. Risk due to severe accidents of nuclear power plants in Europe – the methodology of Riskmap. J.Hazardous Materials, 61,257-262

Hofer et al. (2000), Hofer P., Seibert, P., Andreev I., Gohla, H., Kromp-Kolb, H., Kromp, W., 2000, Risks Due to Severe Accidents of Nuclear Power Plants in Europe – the Methodology of Riskmap. Proceedings ESEE 2000, Vienna 4-6 May 2000.

LENGFELDER (1988), Lengfelder E., Strahlenwirkung – Strahlenrisiko, Hugendubel, München 1988



## ANHANG

### *Flugverkehr in der Umgebung der standortnahen Zwischenlager*

Neckarwestheim, Philippsburg, Biblis und Grafenrheinfeld

#### **1. Der Flughafen Stuttgart**

Der Internationale Flughafen Stuttgart liegt etwa 10 km südlich des Stadtzentrums. Mit über acht Millionen Fluggästen im Jahr 2000 lag der Flughafen auf Platz sechs der innerdeutschen Fluggaststatistik (1. Frankfurt, 2. München, 3. Düsseldorf, 4. Berlin, 5. Hamburg)<sup>(4)</sup>.

Über 150.000 Flugzeugbewegungen wurden im Jahr 2000 registriert. Hierbei entfallen:

- 110 Flüge auf Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht von über 200 t<sup>3</sup>. Diese Maschinen führen zwischen 120.000 (Boeing 777) und 200.000 (Boeing 747) Liter Kerosin mit sich. Hauptsächlich handelt es sich in dieser Gruppe um Flugzeuge vom Typ Airbus 330 (230 t), sowie um Flugzeuge des Herstellers McDonnell Douglas vom Typ DC10 (263 t) und MD11 (273 t).
- 2347 Flüge auf Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht zwischen 150 und 199 t. Diese Maschinen führen zwischen 62.000 (Airbus 300) und gut 90.000 (Boeing 767-300) Liter Kerosin mit sich. Hauptsächlich handelt es sich in dieser Gruppe um Flugzeuge vom Typ Boeing 767 (181 t), sowie Airbus 300 (ca. 170t<sup>(5)</sup>) und Airbus 310-300 (150t).
- 7927 Flüge auf Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht zwischen 100 und 149 t. Diese Maschinen führen zwischen gut 60.000 (Airbus 310-200) und knapp 45.000 (Boeing 757) Liter Kerosin mit sich. In dieser Gruppe handelt es sich ausschließlich um Flugzeuge vom Typ Boeing 757 (ca. 115 t<sup>(6)</sup>) und Airbus 310-200 (132t).
- 59716 Flüge auf Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht zwischen 50 und 99 t. Diese Maschinen führen zwischen gut 13.000 (Boeing717) und knapp 30.000 (Airbus 320) Liter Kerosin mit sich. In dieser Gruppe handelt es sich vornehmlich um Flugzeuge vom Typ Boeing 737 (ca. 63 t<sup>(7)</sup>) und Airbus der Serie 320 (ca. 75 t<sup>(8)</sup>).
- 80351 auf Sonstige Flugbewegungen (kleine Flugzeuge, Hubschrauber, etc.) die aufgrund ihres geringen Treibstoffvorrats für die weitere Betrachtung nicht von großer Bedeutung sind.

Die ausführlichen Daten sind in Anlage [1] zusammengestellt.

---

<sup>3</sup> 1 t (Tonne) = 1 Mg (Megagramm). In den für die Zusammenstellung des Anhangs 6.A herangezogenen Quellen wird überwiegend noch die Einheit Tonne benützt. Diese Praxis wurde für diesen Anhang übernommen.

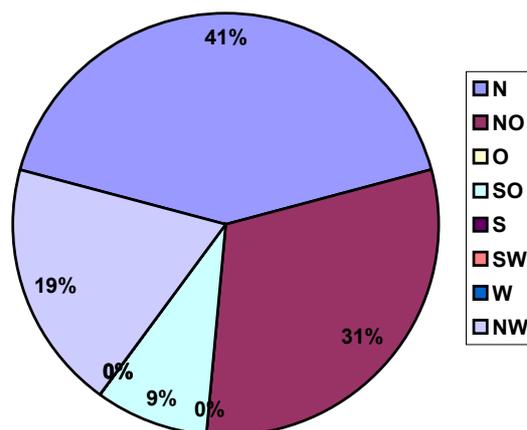
Die Statistik beinhaltet Starts ebenso wie Landungen. Es ist davon auszugehen, dass insbesondere die Zahl der Starts (d.h. die Hälfte der Flugbewegungen) von Bedeutung ist, da vermutlich in erster Linie eine startende und somit vollgetankte Maschine für Terroranschläge „attraktiv“ erscheint. Weiter muss angemerkt werden, dass die Statistik zu einem sehr geringen Prozentsatz Cargo-Flüge enthält, für die ein terroristischer Übergriff unwahrscheinlicher, allerdings dennoch nicht ausgeschlossen erscheint.

In der Nähe des Flughafens befinden sich mehrere geplante dezentrale Zwischenlager. Das GKN liegt etwa 35 km nördlich, das KKP etwa 85 km nordwestlich, das KWB etwa 125 km nordwestlich und das KKG etwa 200 km nordöstlich des Airports.

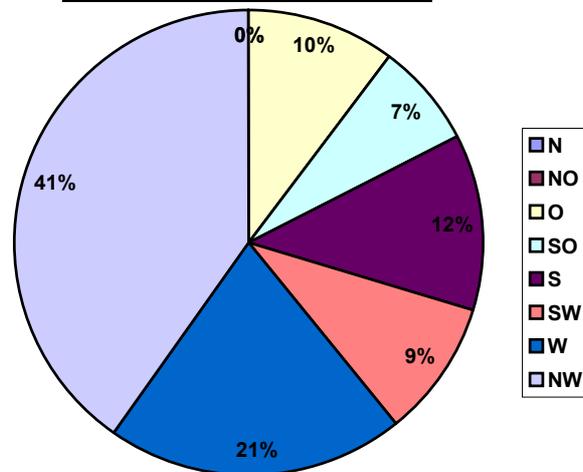
Im Folgenden soll die Abflugrichtung der Flugzeuge vom Flughafen Stuttgart betrachtet werden. Auf Grundlage von Daten des Statistischen Bundesamtes<sup>(12)</sup> wurde eine Zuordnung der Flugziele (gewerbliche Verkehrsleistungen) nach der Himmelsrichtung vorgenommen, in der der Zielflughafen liegt<sup>(13)</sup>.

Hierbei wird unterschieden zwischen Zielflughäfen im In- und Ausland, da davon ausgegangen werden kann, dass Ziele im Ausland im Allgemeinen mit größeren Maschinen und mit höherem Treibstoffvorrat angefliegen werden. Die den Graphiken zugrundeliegenden Daten sind in Anlage [2] aufgeführt.

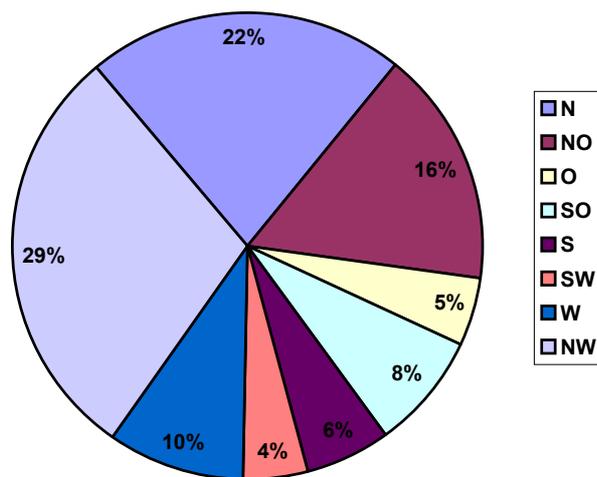
**Abgänge vom Flughafen Stuttgart (Inland)**  
**nach Himmelsrichtungen (Jahr 2000)**



**Abgänge vom Flughafen Stuttgart (Ausland)  
nach Himmelsrichtungen (Jahr 2000)**



**Abgänge vom Flughafen Stuttgart (gesamt)  
nach Himmelsrichtungen (Jahr 2000)**



## **2. Der Flughafen Frankfurt/Main**

Am Flughafen Frankfurt wurden im Jahr 2000 458.731 Flugzeugbewegungen und 49.360.620 Fluggäste registriert<sup>(4)</sup>. Er ist somit der verkehrsreichste Flughafen Deutschlands (und einer der größten Flughäfen der Welt).

Von den oben aufgeführten Flugzeugbewegungen entfielen im Jahr 2000 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes<sup>(12)</sup>:

- 77.563 auf Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht größer 175 t. Vornehmlich handelt es sich hierbei um Maschinen der Typen Boeing 747 (34.101 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000<sup>(22)</sup>), Boeing 777 (15.364 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000<sup>(22)</sup>), Boeing 767 (15.364 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000<sup>(22)</sup>), McDonnell Douglas MD11 (7.455 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000<sup>(22)</sup>), McDonnell Douglas DC10 (1.399 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000<sup>(22)</sup>), sowie den Airbus-Baureihen A-330 (3.090 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000<sup>(22)</sup>) und A-340 (14.607 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000<sup>(22)</sup>). Diese Flugzeuge besitzen maximale Tankinhalte zwischen etwa 90.000 und 200.000 Litern.
- 98.433 auf Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht zwischen 75 und 175 t. Vornehmlich handelt es sich hierbei um Maschinen der Typen Boeing 757, Boeing 727, Airbus 300 (22.956 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000<sup>(22)</sup>) und Airbus 310 (14.167 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000<sup>(22)</sup>). Diese Flugzeuge besitzen maximale Tankinhalte zwischen etwa 30.000 und 75.000 Litern.
- 233.490 auf Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht zwischen 25 und 75 t. Vornehmlich handelt es sich hierbei um Maschinen der Typen Boeing 737, Airbus 320, Airbus 319, McDonnell Douglas DC9 sowie der McDonnell Douglas MD80-Baureihe. Diese Flugzeuge besitzen maximale Tankinhalte zwischen etwa 10.000 und 30.000 Litern.

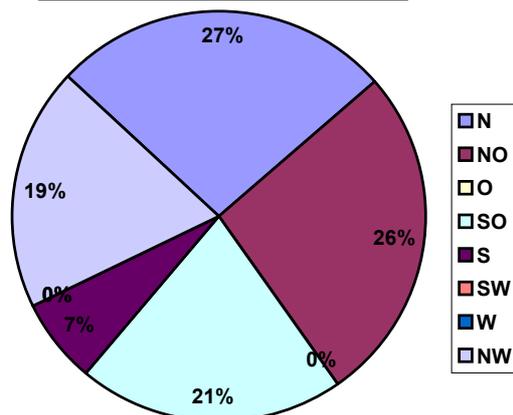
Die Statistik beinhaltet Starts ebenso wie Landungen. Es ist davon auszugehen, dass insbesondere die Zahl der Starts (d.h. die Hälfte der Flugbewegungen) von Bedeutung ist, da vermutlich in erster Linie eine startende und somit vollgetankte Maschine für Terroranschläge „attraktiv“ erscheint. Weiter muss angemerkt werden, dass die Statistik auch einen nennenswerten Anteil von Cargo-Flüge enthält. Dieser konnte im Rahmen der vorliegenden Recherche nicht genau ermittelt werden, liegt aber jedenfalls deutlich unter 50 %. Für Cargo-Flüge scheint ein terroristischer Übergriff unwahrscheinlicher, aber dennoch nicht ausgeschlossen.

Das GKN liegt etwa 120 km südöstlich, das KKP etwa 90 km südlich, das KWB etwa 40 km südlich und das KKG etwa 115 km östlich des Flughafen Frankfurts.

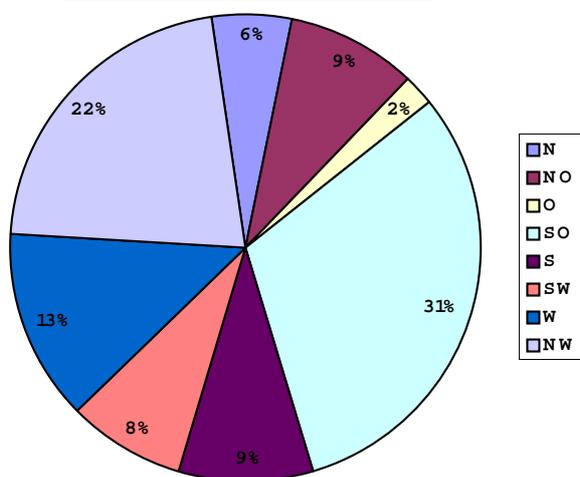
Im Folgenden soll die Abflugrichtung der Flugzeuge vom Flughafen Frankfurt betrachtet werden. Auf Grundlage von Daten des Statistischen Bundesamtes<sup>(12)</sup> wurde eine Zuordnung der Flugziele (gewerbliche Verkehrsleistungen) nach der Himmelsrichtung vorgenommen, in der der Zielflughafen liegt<sup>(13)</sup>.

Hierbei wird unterschieden zwischen Zielflughäfen im In- und Ausland, da davon ausgegangen werden kann, dass Ziele im Ausland im Allgemeinen mit größeren Maschinen und mit höherem Treibstoffvorrat angefliegen werden. Dies gilt um so mehr noch für Interkontinentalflüge, die in der Graphik Ausland enthalten, aber bei den zugrundeliegenden Daten in Anlage [3] extra gekennzeichnet sind.

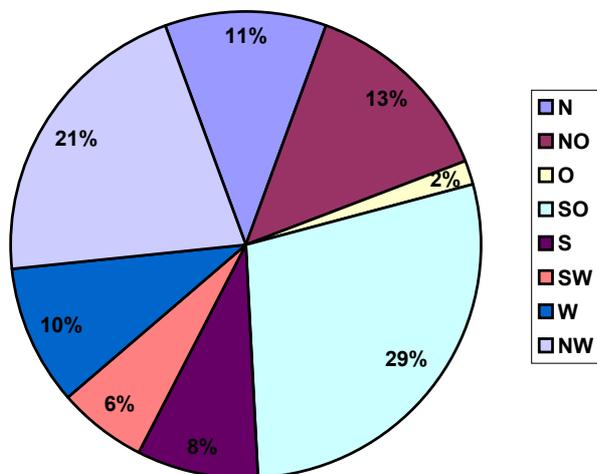
**Abgänge vom Flughafen Flughafen (Inland)  
nach Himmelsrichtungen (Jahr 2000)**



**Abgänge vom Flughafen Frankfurt (Ausland)  
nach Himmelsrichtungen (Jahr 2000)**



**Abgänge vom Flughafen Frankfurt (gesamt)  
nach Himmelsrichtungen (Jahr 2000)**



### **3. Der Flughafen München**

Am Flughafen München wurden im Jahr 2000 319.009 Flugzeugbewegungen und 23.125.872 Fluggäste registriert <sup>(4)</sup>. Damit belegt er in beiden Kategorien den zweiten Platz in der innerdeutschen Statistik.

Von den oben aufgeführten Flugzeugbewegungen entfielen im Jahr 2000 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes <sup>(12)</sup>:

- 11.326 auf Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht größer 175 t. Vornehmlich handelt es sich hierbei um Maschinen der Typen Boeing 747, Boeing 777, Boeing 767, McDonnell Douglas MD11, McDonnell Douglas DC10, sowie den Airbus-Baureihen A-330 und A-340. Diese Flugzeuge besitzen maximale Tankinhalte zwischen etwa 90.000 und 200.000 Litern.
- 40.322 auf Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht zwischen 75 und 175 t. Vornehmlich handelt es sich hierbei um Maschinen der Typen Boeing 757, Boeing 727, Airbus 300 und Airbus 310. Diese Flugzeuge besitzen maximale Tankinhalte zwischen etwa 30.000 und 75.000 Litern.
- 187.920 auf Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht zwischen 25 und 75 t. Vornehmlich handelt es sich hierbei um Maschinen der Typen Boeing 737, Airbus 320, Airbus 319, McDonnell Douglas DC9 sowie der McDonnell Douglas MD80-Baureihe. Diese Flugzeuge besitzen maximale Tankinhalte zwischen etwa 10.000 und 30.000 Litern.

Die Statistik beinhaltet Starts ebenso wie Landungen. Es ist davon auszugehen, dass insbesondere die Zahl der Starts (d.h. die Hälfte der Flugbewegungen) von Bedeutung ist, da vermutlich in erster Linie eine startende und somit vollgetankte Maschine für Terroranschläge „attraktiv“ erscheint. Weiter muss angemerkt werden, dass die Statistik zu einem sehr geringen Prozentsatz Cargo-Flüge enthält, für die ein terroristischer Übergriff unwahrscheinlicher, aber dennoch nicht ausgeschlossen scheint.

Die Standortnahen Zwischenlager Neckarwestheim, Biblis, Philippsburg und Grafenrheinfeld liegen zwischen etwa 200 und 300 Kilometer nordwestlich des Flughafen München.

#### **4. Der Flughafen Frankfurt/Hahn**

Dieser etwa 110 Kilometer westlich von Frankfurt im Hunsrück gelegene Flughafen spielt eine wichtige Rolle im Billig-Flugsegment, sowie der Luftfracht. Er soll an dieser Stelle betrachtet werden, da er ein enormes Wachstumspotential bezüglich Flugzeugbewegungen und Passagieren besitzt. „Besonderen (Flugzeug-) Bewegungszuwachs verzeichnete der Standort Hahn (im Jahr 2000) mit einem Plus von 54,2 Prozent.“<sup>(14)</sup> Derzeitig werden im Linienverkehr ausschließlich Ziele im europäischen Ausland angefliegen.<sup>(15)</sup> Zielflughäfen sind (Stand: Frühjahr 2002): Oslo Torp in Norwegen, London Stansted, Glasgow Prestwick und Bournemouth in Großbritannien, Shannon in Irland, Pisa, Pescara und Mailand Bergamo in Italien, Larnaca auf Zypern, Montpellier und Perpignan in Frankreich, sowie Arvidsjaur in Schweden. Im Jahr 2000 wurden 380283 Passagiere befördert, nach einer Prognose des Flughafenbetreibers werden es im Jahr 2002 bereits 1,5 Millionen sein.<sup>(16)</sup>

Im Linienverkehr starten im Jahr 2002 etwa 100 Flugzeuge pro Woche<sup>(18)</sup>, wobei das größte eingesetzte Passagierflugzeug eine Boeing 767<sup>(17)</sup> (Maximales Startgewicht: 181t, maximaler Tankinhalt: 90.000 l) ist. Im Frachtverkehr stellen Flugzeuge vom Typ Boeing 747<sup>(17)</sup> (Maximales Startgewicht: 378t, maximaler Tankinhalt: ca. 200.000 l) und Antonov 124<sup>(17)</sup> (Maximales Startgewicht: 405t) die größten von Frankfurt/Hahn startenden Maschinen dar.

Von den Standorten liegt Biblis etwa 90 km südöstlich von Frankfurt/Hahn, Philippsburg etwa 120 km südöstlich, Neckar etwa 180 km südöstlich und Grafenrheinfeld etwa 190 km östlich.

## **5. Die zukünftige Entwicklung des Flugverkehrs**

Im Jahr 2000 wurden in Deutschland knapp zwei Millionen Flugzeugbewegungen registriert. Nach Prognosen der DLR<sup>(19)</sup> wird diese Zahl im Jahr 2010 auf drei Millionen angestiegen sein. Im Verkehrsbericht 2000 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen heißt: „In den kommenden 15 Jahren wird eine Verdopplung der Nachfrage nach Luftverkehrsleistungen erwartet.“<sup>(20)</sup>

Nach Airbusangaben<sup>(21)</sup> wird der Passagierverkehr (ausgedrückt in Personen-Kilometer) ein durchschnittliches Wachstum von 5% aufweisen. Die Anzahl der in Betrieb stehenden Passagiermaschinen wird von 10.000 (1998) auf 19.100 im Jahr 2018 ansteigen. Gleichzeitig wird die Kapazität der Flugzeuge steigen. „Die durchschnittliche Anzahl von Sitzplätzen wird um 38 zunehmen und Ende des Jahres 2018 218 Sitzplätze pro Flugzeug erreichen.“<sup>(21)</sup>

Setzt man den jährlichen Zuwachs an gewerblichen Passagierflügen mit 4% an, so wird es im Jahr 2035 etwa viermal mehr Starts an deutschen Flughäfen geben, als im Jahr 2000. Gleichzeitig wird durch den oben angesprochenen Trend größere Maschinen mit mehr Kerosin an Bord einzusetzen, das Risiko für kerntechnische Anlagen weiter erhöht.

Eine vermutliche Herabsetzung des Risikos erfolgt einerseits durch eine abnehmende Flugbereitschaft vor dem Hintergrund des 11. September 2001 und durch einen wahrscheinlich eintretenden Zuwachs an Sicherheit, bedingt durch den Einsatz neuer Technologien zur Personenkontrolle an Flughäfen.

## Anlage [1]:

## Flugzeugbewegungen am Flughafen Stuttgart nach Flugzeugtyp im Jahr 2000

Quelle: Statistischer Jahresbericht 2000, Flughafen Stuttgart GmbH, April 2001

IATA-Code	Flugzeugtyp	Flugzeugbewegungen	Max. Gewicht <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> [t]	Max. Tankinhalt <sup>(2)</sup> [L]
<b>Flugbewegungen, Maximal-Gewicht über 200t</b>			<b>Summe: 110</b>	
742	Boeing B 747-200	2	378	199158
74X	Boeing B 747-200 Cargo	2	378	
M1F	McDonnell Douglas MD11 Cargo	2	286	
M11	McDonnell Douglas MD11	10	273	
772	Boeing B 777-200	2	268	117335
D1C	McDonnell Douglas DC10-30ER	16	263	
342	Airbus 340-200	4	257	155040
332	Airbus 330-200	54	230	139090
333	Airbus 333-300	8	223	
L11	Tristar L1011	8	211	
D11	McDonnell Douglas DC10-10	2	200	
<b>Flugbewegungen, Maximal-Gewicht 150 bis 199t</b>			<b>Summe: 2347</b>	
763	Boeing B 767-300	1131	181	90770
AB6	Airbus 300 B6-600	252	171	62000
IL7	Ilyushin76	4	170	
ABX	Airbus 300 B4 Cargo	8	165	62000
ABF	Airbus 300 Cargo	20	165	62000
AB4	Airbus 300 B4-200	280	165	62000
313	Airbus 310-300	652	150	75470
<b>Flugbewegungen, Maximal-Gewicht 100 bis 149t</b>			<b>Summe: 7927</b>	
312	Airbus 310-200	716	132	61070
753	Boeing B 757-300	1546	124	43400
75F	Boeing B 757 Cargo	58	116	
752	Boeing B 757-200	5607	109	43490
<b>Flugbewegungen, Maximal-Gewicht 50 bis 99t</b>			<b>Summe: 59716</b>	
TU5	Tupolev 134	352	94	
321	Airbus 321	3036	83	29500
738	Boeing B 737-800	5143	79	26035

72F	Boeing B 727 Cargo	439	78	
721	Boeing B 727-100	2	77	
320	Airbus 320	8632	72	29660
M83	McDonnell Douglas MD83	598	72	26495
M90	McDonnell Douglas MD90	38	71	22104
LOH <sup>(3)</sup>	Lockheed Hercules L 100	9	70	
734	Boeing B 737-400	4468	68	20105
319	Airbus 319	5660	68	29660
M87	McDonnell Douglas MD87	108	68	26495
M88	McDonnell Douglas MD88	396	68	22106
M82	McDonnell Douglas MD82	740	67	22106
73G	Boeing B 737-700	308	64	
M81	McDonnell Douglas MD81	308	64	22106
733	Boeing B 737-300	14640	63	20105
736	Boeing B 737-600	1888	62	26035
735	Boeing B 737-500	11897	61	20105
ANF <sup>(3)</sup>	Antonov12	10	61	
73A	Boeing B 737-200 Adv.	32	58	
717	Boeing B 717-200	584	55	13381
732	Boeing B 737-200	6	55	19500
D93	McDonnell Douglas DC 9-30 /C9	88	55	13925
D94	McDonnell Douglas DC 9-40	6	52	13925
YK2	Yakovlev 42	328	52	
<b>Flugbewegungen, Maximal-Gewicht unter 50t</b>			<b>Summe: 58077</b>	
<b>Sonstige (Hubschrauber, Kolbenflugzeuge)</b>			<b>Summe: 22274</b>	
<b>FLUGBEWEGUNGEN GESAMT</b>			<b>GESAMTSUMME: 150451</b>	

**Anlage [2]:****Verkehrsmaschinenabgänge  
vom Flughafen Stuttgart im Jahr 2000**

Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 6, Luftverkehr 2000

Zielflughafen <sup>(9)</sup>	Richtung	Flugzeugabgänge
<b>Inland</b>		
Berlin (Tegel)	NORD-OST	5159
Hamburg	NORD	3034
Frankfurt	NORD	2548
Düsseldorf	NORD-WEST	2012
München	SÜD-OST	1445
Hannover	NORD	1401
Köln/Bonn	NORD-WEST	1206
<b>Europäisches Ausland</b>		
Paris	WEST	3066
London	NORD-WEST	2513
Zürich	SÜD	1840
Amsterdam	NORD-WEST	1759
Brüssel	NORD-WEST	1749
Wien	OST	1554
Palma de Mallorca	SÜD-WEST	1419
Istanbul	SÜD-OST	1070
<b>GESAMT</b>		<b>31775</b>

**Anlage [3]:****Verkehrsmaschinenabgänge  
vom Flughafen Frankfurt im Jahr 2000**

Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 6, Luftverkehr 2000

Zielflughafen <sup>(10)</sup>	Richtung	Flugzeugabgänge
<b>Inland</b>		
Berlin	NORD-OST	5671
München	SÜD-OST	5508
Hamburg	NORD	4962
Hannover	NORD	3122
Düsseldorf	NORD-WEST	3055
Stuttgart	SÜD	2591
Nürnberg	SÜD-OST	2573
Köln/Bonn	NORD-WEST	2569
Leipzig	NORD-OST	2278
Dresden	NORD-OST	2234
Bremen	NORD	2212
Münster/Osnabrück	NORD-WEST	1723

Zielflughafen <sup>(10)</sup>	Richtung	Flugzeugabgänge
<b>Ausland</b>		
London	NORD-WEST	9480
Paris	WEST	5760
Brüssel	NORD-WEST	4045
Zürich	SÜD	3699
Amsterdam	NORD-WEST	3604
Madrid	SÜD-OST	3581
Wien	SÜD-OST	3335
Rom	SÜD-OST	3259
Kopenhagen	NORD	2650
Manchester	NORD-WEST	2604
Istanbul <sup>(11)</sup>	SÜD-OST	2578
Stockholm	NORD-OST	2471
Warschau	NORD-OST	2422
New York <sup>(11)</sup>	WEST	2394
Prag	OST	2360
Birmingham	NORD-WEST	2358
Palma de Mallorca	SÜD-WEST	2281
Genf	SÜD-WEST	2272
Helsinki	NORD-OST	2236
Lyon	SÜD-WEST	2204
Moskau <sup>(11)</sup>	NORD-OST	2189
Chicago <sup>(11)</sup>	WEST	2098
Budapest	SÜD-OST	2004
Athen	SÜD-OST	1869
Lissabon	SÜD-WEST	1805
Oslo	NORD	1728
Venedig	SÜD-OST	1714
Göteborg	NORD	1583
Turin	SÜD	1541
Nizza	SÜD	1520
Basel	SÜD	1501

Luxemburg	WEST	1477
Salzburg	SÜD-OST	1468
Linz	SÜD-OST	1447
Mailand	SÜD	1426
Tel Aviv <sup>(11)</sup>	SÜD-OST	1425
Bologna	SÜD-OST	1417
Graz	SÜD-OST	1395
Zagreb	SÜD-OST	1392
Washington <sup>(11)</sup>	WEST	1369
Singapur <sup>(11)</sup>	SÜD-OST	1324
Dubai <sup>(11)</sup>	SÜD-OST	1297
Bangkok <sup>(11)</sup>	SÜD-OST	1269
Dublin	NORD-WEST	1230
Antalya <sup>(11)</sup>	SÜD-OST	1164
Atlanta <sup>(11)</sup>	WEST	1134
Innsbruck	SÜD-OST	1104
<b>GESAMT (Inland + Ausland)</b>		<b>144981</b>

### Anmerkungen / Fußnoten:

- (1) Gerundet auf ganze Tonnen;
- (2) Angaben nach Folgenden Internetseiten, eingesehen am 20. und 21. Januar 2002:
- <http://www.hwerner-ruh.de/flugzeug.htm>
- <http://www.sphynx.de/html/flug.html>
- <http://www.boeing.com/flash.html>
- <http://www.airbus.com/>
- [http://www.munich-airport.de/english/flugplan/typen\\_nach bez\\_e.htm](http://www.munich-airport.de/english/flugplan/typen_nach bez_e.htm)
- (3) Turboprop-Flugzeuge;
- (4) Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV);
- <http://www.munich-airport.de/unternehmen/zahlen/vergleich.htm>
- eingesehen am 22.01.2002
- (5) Abhängig vom der genauen Typ-Spezifikation zwischen 165 und 171 t;
- (6) Abhängig vom der genauen Typ-Spezifikation zwischen 109 und 124 t;

- (7) Abhängig vom der genauen Typ-Spezifikation zwischen 55 und 79 t;
- (8) Abhängig vom der genauen Typ-Spezifikation zwischen 68 und 83 t;
- (9) Es wurden nur Zielflughäfen berücksichtigt, die mindestens 1000 mal im Jahr 2000 von Stuttgart aus angefliegen wurden.
- (10) Es wurden nur Zielflughäfen berücksichtigt, die mindestens 1000 mal im Jahr 2000 von Frankfurt aus angefliegen wurden.
- (11) Interkontinentalflug;
- (12) Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 6, Luftverkehr 2000;  
(Diese Statistik enthält nur den gewerblichen Flugplatzverkehr)
- (13) In der näheren Umgebung des Startflughafens kann es Abweichungen von den angegebenen Himmelsrichtungen geben, da die Startrichtung von der aktuellen Windrichtung abhängig ist.
- (14) Fraport, Frankfurt Airport Services Worldwide, Geschäftsbericht 2000;
- (15) Abflug-Plan des Airport Hahn;  
[http://www.hahn-airport.de/deutsch/seiten/flugplan/t\\_abflug.htm](http://www.hahn-airport.de/deutsch/seiten/flugplan/t_abflug.htm)  
eingesehen am 23.01.2002
- (16) [http://www.hahn-airport.de/deutsch/seiten/geschaeftsbereiche/t\\_passage.htm](http://www.hahn-airport.de/deutsch/seiten/geschaeftsbereiche/t_passage.htm)  
eingesehen am 24.01.2002
- (17) Telefongespräch am 23.01.2002 mit Herrn Schmidt,  
Flughafen Frankfurt-Hahn GmbH;
- (18) Berechnet aus <sup>(15)</sup> für eine Woche im April
- (19) Langfristprognose des Luftverkehrs Deutschlands 1995 - 2010 – 2015, DLR;  
<http://www.dlr.de/vl/glvprog.HTM> eingesehen am 24.02.2002
- (20) Verkehrsbericht 2000, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und  
Wohnungswesen, Berlin 11/2000;
- (21) The Airbus Global Market Forecast, Airbus Industrie, Frankreich 1999;  
(Die GMF-Prognosen beziehen sich auf den Zeitraum von 1999 bis 2018. Es wird die zivile Flotte von den 227 größten Airlines betrachtet, wobei die Flugzeuge mindestens 70 Sitze aufweisen müssen.)
- (22) Luftverkehrsstatistik für den Flughafen Frankfurt,  
Fraport, Frankfurt Airport Services Worldwide, April 2001

## **ANHANG ZU KAPITEL 7:**

### **Ergänzende Bemerkungen zu Kapitel 7 (Brand im Zwischenlager):**

#### **1 Allgemein:**

Die betrachteten oberirdischen Zwischenlager nach dem WTI-Konzept befinden sich an Standorten, die einen gezielten Angriff potenziell möglich erscheinen lassen:

- 1) Sie sind in der Nähe großer Flughäfen gelegen (bei unterschiedlichen Abständen im Einzelfall)
- 2) Die geographische Umgebung ermöglicht den gezielten Anflug
- 3) Das zugehörige Kernkraftwerk (Kühltürme, Reaktor(en), Abluftkamin(e) etc.) und die Lage am Fluss machen die Zwischenlager zu aus der Luft leicht zu ortenden Zielen
- 4) Das Zwischenlager selbst liegt am Rande des Geländes der kerntechnischen Anlagen und ist somit von mindestens einer Seite leicht ansteuerbar.

Die Türme des WTC waren für ein Flugzeug verhältnismäßig einfach zu treffende Ziele. Der Anschlag auf das Pentagon erforderte einen gezielteren Anflug, da der Aufprall auf einer deutlich geringeren Höhe erfolgen musste. Bei Berücksichtigung der Höhe und Lage des Pentagons ergibt sich für einen gezielten terroristischen Anschlag auf ein Zwischenlager ein vergleichbarer Schwierigkeitsgrad.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass aktuelle Flugsimulatoren eine Übung des Anfluges bereits sehr wirklichkeitsnah ermöglichen. Darüber hinaus kann aber auch nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, dass ein gut ausgebildeter und erfahrener Pilot einen terroristischen Anschlag ausübt.

#### **2 Grundsätzliches zu Absturz und Explosion:**

Die Bestimmung eines genauen Absturzscenarios ist praktisch unmöglich, da es zu viele variable und nicht vorhersehbare Einflussgrößen gibt. Bei den hier untersuchten Szenarien wird von einem Fall, in dem mehrere eher ungünstige Randbedingungen zusammentreffen, der jedoch nicht durchgängig konservativ ist, ausgegangen.

Erfahrungen bei Flugzeugabstürzen belegen, dass es, abhängig von der Art des Absturzes und dem Grad der Zerstörung bei der jeweiligen Maschine, innerhalb eines Zeitraumes von Sekunden bis zu wenigen Minuten nach dem Aufprall zum Ausströmen von Kerosin aus den geborstenen Tanks sowie zu einer Explosion der inzwischen freigewordenen Kerosindämpfe kommt (siehe beispielsweise (DIJKE, 1992; HELWIG, 1997)).

Bei leichteren Abstürzen oder Notlandungen kann die Explosion auch mit größeren Zeitverzögerungen eintreten.

Bei einem Absturz, der aus einem geplanten Angriff auf ein Zwischenlager resultiert, ist damit zu rechnen, dass es praktisch sofort zu einer Explosion eines Teiles des Kerosins kommt. Beim Aufprall kommt es beim Bersten der Tanks zu einer feinen Verteilung von Kerosin in der Luft und kurzzeitig zu einer Entzündung des explosiven Kerosindampf-Luft-Gemisches. Nach dieser einmaligen Durchzündung ist mit der Entzündung aller anderen brennbaren Materialien, auch mit der Entzündung schwer brennbarer Stoffe, die im Flugzeugbau verwendet werden, zu rechnen. Somit werden nachfolgend sowohl Kerosin als auch andere brennbare Substanzen am Brandprozess beteiligt sein.

Im Gegensatz zu „normalen“ Feststoffbränden ist eine Brandentstehungsphase nicht vorhanden. Der Brandprozess beginnt schlagartig mit einer hohen Wärmefreisetzungsrate als Explosion. Weiterhin muss mit der Entzündung nahezu des gesamten Kerosins gerechnet werden. Nicht eindeutig vorherzusagen ist, ob die gesamte Kerosinmenge innerhalb des Gebäudes im Bereich der Behälter zum Abbrand kommt oder ob Teile dieser Menge an anderen Stellen abbrennen.

Es kann angenommen werden, dass bei einem großen Verkehrsflugzeug ein Teil des Kerosins bei der Aufprallexplosion kurzzeitig verbrennt, durch diese Explosion weggeschleudert wird oder aus Gründen der Geometrie (Lage des Flugzeuges) nicht in das Lagergebäude eindringt. 50 % der Kerosinmenge nehmen an dem Brandgeschehen im Lager teil. Diese Annahme ist nicht notwendig konservativ.

### **3 Grundsätzliches zu Branddauer und Brandbekämpfung:**

Die hier getroffene Grundannahme zur Branddauer ist: Es ist nicht auszuschließen, dass die Branddauer nur durch die vorhandene Brennstoffmenge determiniert wird. Dafür sprechen folgende grundsätzliche Überlegungen:

- Nach einem Anschlag auf eine kerntechnische Anlage ist einerseits eine Evakuierung der angrenzenden Bevölkerung angezeigt, andererseits eine Massenflucht zu erwarten. Dadurch werden die ohnehin beschränkten Zufahrtsmöglichkeiten zu den Zwischenlagern stark erschwert.
- Es gibt keine speziellen Planungen für ein auslegungsüberschreitendes Brandszenario in einem Zwischenlager.
- Nach den Erfahrungen des 11. September 2001 können auch mehrere parallel stattfindende Angriffe nicht ausgeschlossen werden. Dadurch können Gegenmaßnahmen weiter erschwert werden.

Auch abgesehen davon stellt die Brandbekämpfung nach einem Flugzeugabsturz eine der schwersten Anforderungen für die Einsatzkräfte der Feuerwehr dar. Derartige Katastrophen sind mit den normalen Einsatzkräften, die sich im Umkreis einer Industrieanlage befinden, nicht zu beherrschen. Sie verlangen in jedem Fall ein vollständiges Katastrophenmanagement mit Katastrophenplänen, die für Unfälle mit diesen Ausmaßen allerdings in der Regel nur sehr schwer umsetzbar sind.

Der erforderliche feuerwehrtechnische Aufwand ist enorm. Beim Absturz einer Frachtmaschine in Irkutsk 1997 waren beispielsweise ca. 1500 Einsatzkräfte der Feuerwehr über mehrere Stunden mit der Brandbekämpfung beschäftigt (NOSKOV, 1998).

Es ist davon auszugehen dass die zum Einsatz kommenden Feuerwehren im Gegensatz zu Flughafenfeuerwehren für derartige Katastrophen nicht ausreichend vorbereitet sind und es zu organisatorischen Problemen kommt. Illustrativ sind dafür beispielsweise die Analysen in DIJKE (1992), wonach selbst für mitteleuropäische Staaten wie die Niederlande erhebliche organisatorische Defizite festgestellt wurden.

Diese Defizite bei derartigen Ereignissen, die nicht mit normalen Bränden vergleichbar sind, bestehen sowohl in der Logistik als auch in der Ausrüstung. Während die betriebliche Feuerwehr eines Kernkraftwerks in der Regel für den Einsatz bei Bränden „normaler“ Größenordnung, auch mit Freisetzung von Radioaktivität, vorgesehen ist, wird sie bei einem Flugzeugabsturz mit Explosion und Nachfolgebrand ebenso überfordert sein wie die anderen zum Einsatz kommenden regionalen Feuerwehren.

Weiterhin ist festzustellen, dass große Kerosinbrände in der Regel nur mit dem Löschmittel Schaum sinnvoll zu löschen sind. Entsprechend notwendige Schaumbildner-Mengen werden im Allgemeinen lediglich in Mineralölunternehmen und auf Flughäfen vorgehalten, nicht jedoch in kerntechnischen Anlagen bzw. deren Umkreis, da dort nicht mit dem Brand einer derart großen Kerosinmenge gerechnet wird (bzw. bisher nicht gerechnet wurde).

Von entscheidender Bedeutung ist auch eine ausreichende Versorgung mit Wasser, das zur Herstellung des Schaums benötigt wird sowie notfalls auch direkt für Löschversuche eingesetzt werden könnte, auch wenn dies keineswegs optimal wäre.

Während bei Industrieanlagen in der Regel eine Wasserversorgung von 192 m<sup>3</sup>/h für 2 Stunden vorgesehen wird, ist diese Wassermenge bei einem Flugzeugabsturz wie beschrieben nicht ausreichend, da die dieser Kapazität zugrundegelegten Werte einer „normalen“ Brandausbreitung eines Feststoffbrandes nach 15 Minuten entsprechen, nicht jedoch der eines Kerosinbrandes mit erheblich höheren Wärmefreisetzungsraten in der Anfangsphase des Brandes.

Es ist daher zu erwarten, dass, sofern die Wasserversorgung nicht erheblich überdimensioniert ist und ggf. zusätzliche Wasserreservoirs zur Verfügung stehen, neben den Schaumengen auch die zur Verfügung stehende Wasserleistung zu gering ist.

Die Brandbekämpfung kann aus folgenden weiteren Gründen erschwert werden:

- Selbst wenn eine größere Menge Schaumbildner verfügbar ist, kann diese vorhandene Menge möglicherweise bei der Brandbekämpfung nicht eingesetzt werden, da der Brand in einem Bereich mit erheblichen Zerstörungen liegt und/oder u.U. bereits radioaktive Freisetzungen aufgetreten bzw. zu befürchten sind.
- Bei der zu erwartenden Flammenhöhe von ca. 10 m ist eine Brandbekämpfung mit Schaumbildner infolge der hohen Wärmestrahlung allenfalls in Randbereichen möglich, soweit diese zugänglich sind.
- Bei einem Großbrand müssen weitere Brandlasten im Umkreis als in Brand geraten angenommen werden und müssen ebenfalls gelöscht werden, beispielsweise Kunststoffteile, die aus dem Flugzeug stammen. U.U. ist anders ein Zugang zum Hauptbrandherd gar nicht möglich bzw. erschwert.
- Bei dem anzunehmenden Öffnungsverhältnis ist eine Brandbekämpfung im direkten Bereich weiter erschwert, da der Raum kaum betretbar ist.

Insgesamt kann keineswegs davon ausgegangen werden, dass eine wirksamen Brandlöschung oder –eindämmung des Kerosinfeuers vor Ablauf von 3 bis 5 Stunden erfolgen kann.

Dies wird dadurch bestätigt, dass es bereits mehrfach nach Abstürzen von Verkehrsflugzeugen zu mehrstündigen Bränden gekommen ist. Einige Beispiele dazu sind in Anlage 1 zusammengestellt.

#### **4 Treibstoffmenge:**

Große Verkehrsflugzeuge haben ihren Treibstoff auf mehrere Tanks verteilt, die sich u.a. in den Tragflächen befinden. Ca. 90 % des Treibstoffs einer Boeing 747 befindet sich in Tanks, die über eine Spannweite von ca. 40 m und ca. 14 m Breite verteilt sind.

Es ist nicht Ziel dieses Berichtes, im Sinne einer konservativen Annahme den Lastfall zu ermitteln, bei dem es zu den größtmöglichen Freisetzungen kommen kann. Vielmehr ist es Ziel, die Bandbreite der qualitativ möglichen Szenarien aufzuzeigen und in diesem Rahmen quantitative Abschätzungen vorzunehmen. Zur Darstellung der Bandbreite werden in einigen

Bereichen bewusst nicht streng konservative Annahmen gewählt, an anderen Stellen ist es im Rahmen dieser Stellungnahme nicht möglich, solche zu wählen. Eine genaue, detaillierte Sicherheitsanalyse wäre Aufgabe der Antragsteller.

Die angenommene Brandlast von 80 Mg, entsprechend der Treibstoffmenge von 50 % eines großen Verkehrsflugzeugs, in einem Lagerbereich berücksichtigt 50 % Verluste durch verschiedene Faktoren (vgl. 7.A.2). Der Verbrauch von Kerosin beim Anflug von einem nahe gelegenen Flughafen (in der Größenordnung von 1 – 2 %) fällt demgegenüber praktisch nicht ins Gewicht. Der wichtigste Einflussfaktor dürfte sein, dass ein Teil des ursprünglich in den Tanks vorhandenen Kerosins möglicherweise nicht in den betrachteten Lagerbereich gelangt.

Bei einem quer zum Lager auftreffendem Flugzeug ist aber – bei einer Lagerbreite von ca. 92 m und der Verteilung der Tanks auf einer Länge von ca. 40 m (bei einer Neigung von 45° entspricht dies, senkrecht projiziert auf das Lager, ca. 28 m) – potenziell durchaus auch ein Eindringen und Verbrennen einer größeren Treibstoffmenge in einen Lagerbereich vorstellbar, z. B. von 75 % des Tankinhalts eines großen Verkehrsflugzeugs, entsprechend 120 Mg.

Die gewählten 80 Mg decken somit auch den Absturz kleinerer Maschinen mit geringeren Treibstoffmengen – aber dafür mit „gezieltem“ Eindringen in einen Lagerbereich – ab. Sie stellen keine durchgängig konservative Annahme dar.

### 5 Abbrandgeschwindigkeit:

Der tabellarische Wert der Massenabbrandgeschwindigkeit in Gebäuden beträgt für Kerosin 0,82 kg/min\*m<sup>2</sup> (HÄHNEL, 1978), in einer Stunde entsprechend 49,2 kg/m<sup>2</sup>. Diese tabellarischen Werte sind bezogen auf ein Öffnungsverhältnis  $n_0 = 0,16$ . Das Öffnungsverhältnis gibt das Verhältnis der Summe aller im Brandraum vorhandenen Öffnungen zur Grundfläche des Brandraumes an.

Für die Zwischenlager Biblis und Philippsburg errechnet sich beispielsweise, auf die einzelnen Bereiche bezogen, bei einer Grundfläche des Lagerbereichs 1 von 1150 m<sup>2</sup>, mit  $n_0 = 0,16$  die Summe der Öffnungen zu 184 m<sup>2</sup>, für den Lagerbereich 2 mit 1250 m<sup>2</sup> entsprechend zu 200 m<sup>2</sup>. Vor dem Absturz sind nach eigener Abschätzung im Dach und an der Längsseite Öffnungen von max. 80 m<sup>2</sup> Fläche vorhanden. Der Aufprall des Flugzeuges auf das Gebäude wird z.T. auch auf solche Stellen einwirken, an denen sich bereits Öffnungen befinden. Die neu entstehenden und die bereits vorhandenen Öffnungen überschneiden sich somit und es kann davon ausgegangen werden, dass die Öffnungsfläche nach dem Absturz im wesentlichen durch die Größe der durch den Unfall erzeugten Öffnung bestimmt sein wird.

Bei einer Gesamtbetrachtung des Hallengebäudes ergibt sich folgendes Bild: Der Verladebereich ist von den Lagerbereichen durch eine 8 m (Lagerbereich 1) bzw. 8,80 m (Lagerbereich 2) hohe Abschirmwand getrennt. Da für die Berechnung des Öffnungsverhältnisses der freie Luftraum über dem Brandraum ausschlaggebend ist, muss bei einer Gesamthöhe der Halle von 18 m die Summe der Flächen beider Lagerbereiche sowie auch die Grundfläche des Verladebereichs für die Abschätzung der Abbrandgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Die Grundflächen des Brandraums und die Gebäudeöffnungen bei  $n_0 = 0,16$  lassen sich somit abschätzen zu:

Standort	Länge x Breite x Höhe [m <sup>3</sup> ]	Wandstärke Verladebereich/L [m]	Wandstärke L1/L2 [m]	Wandstärke Außen [m]	Wandstärke Dach [m]	Grundfläche gesamt [m <sup>2</sup> ], ca.	Öffnungen bei $n_0=0,16$ entsprechen [m <sup>2</sup> ], ca.
Isar	92*38*18	0,8	0,5	0,85	0,55	3200	510
Grundremmingen	104*38*18	0,8	0,5	0,85	0,55	3650	580
Biblis	92*38*18	0,8	0,5	0,85	0,55	3250	520
Phillipsburg	92*37*18	0,8	0,3	0,7	0,55	3150	500
Grafenrheinfeld	62*38*18	0,8	0,5	0,85	0,55	2150	340

Soll andererseits jeweils die gleiche Öffnungsfläche angenommen werden, würden sich an den verschiedenen Standorten unterschiedliche Öffnungsverhältnisse  $n_0$  ergeben.

Es ist jedoch schwer voraussehbar, in welchem Ausmaß das Lagergebäude im Einzelnen von einem Verkehrsflugzeug zerstört wird, bzw. wie groß die durch den Unfall erzeugte Gebäudeöffnung tatsächlich sein wird. Daher soll nicht versucht werden, nach unterschiedlichen Grundflächen differenzierend genaue Werte für Öffnungen bzw. Öffnungsverhältnisse abzuleiten. Angesichts der tatsächlich möglichen Bandbreite der Zerstörungen würde dabei lediglich Scheingenauigkeit resultieren.

Entscheidend für das Brandszenario ist die Abbrandgeschwindigkeit. Diese wird für die Brandszenarien als gegeben angenommen. Die Überlegungen zum Öffnungsverhältnis belegen dabei, dass die getroffene Annahme zur Abbrandgeschwindigkeit plausibel ist und in jedem Fall ein Unfallszenario aus dem Bereich der möglichen resultiert. Sie zeigen insbesondere, dass ein Brand im Gebäude und nicht im Freien betrachtet werden muss.

Angesichts der nach einem Absturz vorhandener Lagergeometrie ist der o.g. Wert von  $0,82 \text{ kg/min} \cdot \text{m}^2$  für die Abbrandgeschwindigkeit somit als Richtwert als belastbar anzusehen. Diese Abbrandgeschwindigkeit entspricht einer linearen Abbrandgeschwindigkeit von  $1,025 \text{ mm/min}$ .

Die hier gewählte Abbrandgeschwindigkeit für Gebäude repräsentiert im übrigen auch einen abgesicherten Erfahrungswert. Dieser liegt im unteren Bereich der verschiedenen für theoretische Betrachtungen verwendeten Abbrandgeschwindigkeiten.

Nachdem sich die Kunststoffteile des Flugzeuges durch die hohe Temperatur des Kerosinbrandes entzündet haben, verbrennen diese ebenfalls bei Temperaturen um  $1000 \text{ °C}$ . (Beim Unfall im WTC hatten die vorhandenen Kunststoffmöbel eine entscheidende Bedeutung für die Branddauer und Brandintensität.)

Nach einer groben Abschätzung würde sich die Brandlast durch die im Flugzeug vorhandenen Kunststoffe um ca. 20 % erhöhen. Die zusätzliche Brandlast des Flugzeugs geht hier in die Bestimmung der Branddauer nicht ein, insofern ist diese nicht-konservativ. Auch Moderator material der Behälter kann unter bestimmten Umständen einen Beitrag liefern, der die Brandlast erhöht, der hier aber ebenfalls nicht quantifiziert bzw. berücksichtigt wird.

## 6 Flammentemperatur:

Die Flammentemperaturen sind grundsätzlich von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängig, unter anderem von den Ventilationsverhältnissen, insbesondere vom stöchiometrischen Verhältnis von Luft und Kerosindämpfen, von der Vorwärmung der Flüssigkeit und von den Wärmeverlusten bei der Verbrennung.

In den Sicherheitsberichten der Standort-Zwischenlager wird bei einem Treibstoffbrand von einer Temperatur von 600 °C über 1 h Dauer ausgegangen. Dieser Wert ist nicht konservativ; auch die Annahme einer Temperatur von 800 °C (wie bei den Behältertests vorgeschrieben) wäre das nicht, insbesondere nicht im Inneren von Gebäuden.

Die Flammentemperaturen in Gebäuden erreichen nachgewiesenermaßen in der Vollbrandphase höhere Werte; bei begrenzt möglicher Wärmeableitung kann es zum Wärmestau mit Temperaturen von weit über 1000 °C kommen.

In der Literatur werden z.B. folgende Werte angegeben: ca. 1200 °C für Erdöl und Erdölprodukte (KENNWERTE, 1988), 1050 °C für Kerosin (BUSSENIUS, 1996).

Merkmale eines Brandes mit großer Wärmefreisetzung in einem teilweise zerstörten Gebäude mit einer Begrenzung des Wärmeaustauschs sind u.a.:

- Es ist eine erhebliche Flammenhöhe zu erwarten, die zum vollständigen Einschluss eines Teils der Behälter führen wird (schon bei 120 m<sup>2</sup> Brandfläche mindestens 6 m nach (PASCH, 1994); auch erheblich höhere Werte können erreicht werden, siehe z.B. (BUSSENIUS, 1996), wo für große Brandflächen eine Flammenhöhe von ca. 10 m angegeben wird).
- Infolge der gegenüber einem Brand in einem geschlossenen Raum ausreichenden Ventilationsbedingungen ist in der Regel ausreichend Luftsauerstoff zur Verbrennung vorhanden. Dieser kann auch zuströmen, so dass ein sowohl ein vollständig brandstoffgesteuerter Brand als auch u.U. ein teilweise ventilationsgesteuerter Brand auftreten können.
- Durch die in vielen Fällen entstehenden großen Wärmeabzugsflächen (infolge der teilweisen Zerstörung des Gebäudedachs) wird ein Teil des konvektiven Anteils der Wärme abgeführt, so dass im wesentlichen die thermische Belastung der Behälter aus Flammenstrahlung und Wärmeleistung im Bereich der Flammen durch die Flammentemperatur direkt bestimmt wird.

Die Annahme einer Flammentemperatur von 1000 °C ist in bei dem hier betrachteten Brand-szenario in jedem Fall gerechtfertigt. Bei einer weitgehend brandstoffgesteuerten Verbrennung wären u.U. noch höhere Werte anzusetzen (1050° - 1080 °C); bei eingeschränkter Ventilation und begrenzter Wärmeübertragung an die Umgebung Temperaturen von bis zu 1200 °C.

In Hinblick auf den Temperatur-Zeit-Verlauf ist mit einem raschen Ansteigen der Temperatur nach Brandbeginn zu rechnen. Werte von 1000 °C und höher werden innerhalb weniger Minuten erreicht. Das entspricht in etwa bestimmten von DAHL (2001) aufgeführten Temperatur-Zeit-Kurven, beispielsweise der Hydrocarbon-Kurve. Danach verändern sich die Temperaturen während eines längeren Feuers nur noch in relativ geringem Ausmaß.

Die vereinfachende Annahme, dass die angenommene Flammentemperatur bei Brandbeginn ohne Zeitverzögerung erreicht wird und diese dann bis Brandende konstant gegeben ist, kommt somit den real zu erwartenden Verhältnissen ziemlich nahe.

## **7 Anzahl der betroffenen Behälter:**

In der Annahme der vom Feuer betroffenen Behälterzahl sind 10 – 20 % Abzüge für Behälter, die nicht vollständig vom Feuer umschlossen sind, weil sie z.B. mit Trümmern überdeckt sind, berücksichtigt. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die Behälter in Viererreihen aufgestellt sind, so dass die in der Brandfläche stehende Behälterzahl einem Vielfachen von vier entspricht. Diese Abschätzung ist für alle Standorte zutreffend – auch für Biblis, das eine

etwas geringere Behälterdichte als die anderen Lager aufweist. Sie ist aber nicht für alle Standorte konservativ. Es wurden insgesamt 36 Behälter bei einer Brandfläche von 542 m<sup>2</sup> und 20 Behälter auf bei einer Brandfläche von 325 m<sup>2</sup> angenommen. Zur Ermittlung der auf den Brandflächen stehenden Behältern siehe Anlage 2 (Tabelle).

### **8 Brandfläche:**

Eine Treibstoffmenge von 80 Mg brennt auf einer Brandfläche von 325 m<sup>2</sup> fünf Stunden lang, und auf einer Brandfläche von 542 m<sup>2</sup> für eine Dauer von drei Stunden. Auf diesen Flächen befinden sich bei Berücksichtigung der Behälteraufstellung in dem Lagerbereich ca. 20 bzw. ca. 36 Behälter. Als Begrenzung der Brandflächen in zwei Richtungen wurden die Mauern des Lagerbereichs angenommen.

Eine Nettofläche von 325 m<sup>2</sup> entspricht einer von Brand betroffenen Lagerfläche von ca. 422 m<sup>2</sup>, eine Nettofläche von 542 m<sup>2</sup> entspricht einer Lagerfläche von ca. 705 m<sup>2</sup>. Bei der vorhandenen Lagerbreite entspricht diese Fläche einer Lagerlänge von 26 m bzw. 44 m. Betrachtet man die Verteilung der Tanks über das Flugzeug, ist ein Brand auf einer Fläche dieser Größenordnung plausibel.

Die vom Brand betroffene Lagerfläche liegt im ersten Fall (fünfstündiger Brand) bei einem guten Drittel der Fläche des Lagerbereichs in einem typischen Zwischenlager, im zweiten Fall (dreistündiger Brand) in der Größenordnung eines ganzen Lagerbereichs im Zwischenlager Grafenrheinfeld. Die hier betrachteten Brandszenarien setzen also keine extreme Konzentration des Kerosins auf kleinen Teilen der Lagerflächen voraus.

Die Mauern der Lagerbereich sind zwischen 70 und 85 cm dick, das Dach 55 cm. Auf einer Brandfläche von 325 m<sup>2</sup> stände das Kerosin ca. 30 cm hoch, auf einer Fläche von 542 m<sup>2</sup> ca. 18 cm hoch. Eine entsprechende Begrenzung der Brandfläche durch die entstandenen Gebäudetrümmer ist möglich. Weiterhin ist eine Verringerung der Brandfläche durch Gebäudetrümmer, Flugzeugteile, Gepäckstücke etc. wahrscheinlich. Kleine Unebenheiten, die vorher im Gebäudeboden vorhanden waren oder auch durch den Unfall entstanden sind, begünstigen ebenfalls eine Ansammlung von Kerosin in einem begrenzten Bereich. Eine nichtsymmetrische Anordnung des zerstörten Flugzeugs (z.B. Schräglage) und dynamische Effekte während und nach dem Unfall (wie beispielsweise Nachfließen von Kerosin aus einem beim Aufprall nicht sofort völlig entleerten Tank oder späteres Herunterfallen von Flugzeugteilen, die zunächst auf dem teilzerstörten Gebäudedach verblieben sind) können diese zusätzlich begünstigen. Bei Berücksichtigung aller genannten Faktoren ist ein Brand in einem begrenzten Bereich wahrscheinlicher als eine gleichmäßige Verteilung des Kerosins über eine größere Fläche.

### **9 Thermisches Verhalten:**

Bei einem Feuer mit einer Flammentemperatur von 1000 °C = 1273 K verdoppelt sich gegenüber einer Flammentemperatur von 800 °C die pro Flächeneinheit eingestrahlte Wärmeleistung, da diese proportional zu  $T^4$  (T in K) ist. Bei einem Vergleich von 800 °C zu 1200 °C resultiert eine ca. 3,6-fache Wärmeleistung pro Flächeneinheit.

Bei thermischen Belastungstests oder Berechnungen wurde nach 30 Minuten oder nach 1 Stunde die Wärmequelle entfernt. Eine sofortige Abkühlung der Behälteroberfläche wurde beobachtet, jedoch bewegte sich eine Wärmefront zunächst weiter durch die Behälterwand in das Behälterinnere. Der zeitliche Verlauf dieser Wärmefront bei bleibender Wärmequelle soll hier für den CASTOR V/19 aus Angaben in GRS (1999) abgeschätzt werden.

In dieser Arbeit wurden Ergebnisse der Temperaturfeldberechnungen für den CASTOR V/19 für ein 1000 °C / 0,5 Stunden allseitig umschließendes Feuer vorgestellt. Folgende maximale Temperaturwerte wurden für den Wandbereich des Behälters auf halber Höhe bereits kurz nach Brandende ermittelt: 890 °C, an der Behälteroberfläche, 500 °C im Bereich der äußeren Moderatorstäbe (16,5 cm innenliegend) und 310 °C im Bereich der inneren Moderatorstäbe (32,7 cm innenliegend).

Durch eine elementare Extrapolation dieser Werte können die entsprechenden Temperaturen nach 3 bzw. 5 Stunden näherungsweise ermittelt, sowie die Schachtwandtemperaturen grob abgeschätzt werden. Die Temperaturen im Deckeldichtungsbereich (mit Stopdämpfer) werden von GRS (1999) nach dem Feuer mit 1000 °C und 0,5 Stunden Dauer mit 170 – 190 °C angegeben. Daraus lässt sich auch die Bandbreite der Temperaturen im Deckeldichtungsbereich nach 3 bzw. 5 Stunden näherungsweise ermitteln. (Der Effekt der Stoßdämpfer ist nicht berücksichtigt.)

Insgesamt ergeben sich folgende Temperaturen bzw. Temperaturbereiche, die - bei allen Einschränkungen hinsichtlich ihres abschätzenden Charakters - als grobe Orientierung dienen können:

	Bereich der äußeren Moderatorstäbe, halbe Behälterhöhe, bei 16,5 cm	Bereich der inneren Moderatorstäbe, halbe Behälterhöhe, bei 32,7 cm	Schachtwand, halbe Behälterhöhe, bei 41,8 cm	Deckeldichtungssystem
Nach 3 Stunden in [°C]	876 °C	729 °C	Ca. 550 °C	407-455 °C
Nach 5 Stunden in [°C]	889 °C	832 °C	Ca. 700 °C	540-593 °C

Diese Abschätzungen belegen die Annahme, dass die Dichtungen der diesem Feuer ausgesetzten Behälter ab 3 Stunden beginnen, zu versagen, und nach 5 Stunden sämtlich versagt haben.

Die Schachtwandtemperatur ist in der Mitte des Behälters höher als im Deckeldichtungsbereich. Eine Abschätzung über die thermische Verteilung über die Längsachse der Behälterinnenwand kann hier nicht erfolgen. Auch eine zeitliche Abschätzung der Temperaturerhöhung in der Behälteratmosphäre ist hier nicht möglich.

Die Annahme von 400 °C Behälteratmosphäre nach 3 Stunden und mindestens 550 °C nach 5 Stunden zur Abschätzung der Cäsiumaktivität in der Behälteratmosphäre scheint nach o.g. Abschätzungen aber jedenfalls gerechtfertigt.

**Quellenangaben zu Anhang zu Kapitel 7:**

BUSSENIUS (1996): Bussenius, S.: Wissenschaftliche Grundlagen des Brand- und Explosionsschutzes; Kohlhammer-Verlag, Stuttgart, 1996

DAHL (2001): Dahl, J. & Richter, E.: Brandschutz im einschaligen Tunnelbereich – Vermeidung von Betonabplatzungen; Braunschweiger Brandschutztag 2001, Kurzreferate, TU Braunschweig IBMB, Heft 158, S. 47-64

DIJKE (1992): Dijke, A. & Helwig, L.: Anticipere i ook bis grote rampen; Brand & Brandweer 16 (1992) 778, S. 330-332

GRS (1999): Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Sicherheitstechnische Untersuchungen für Schienentransporte mit hohem Aktivitätsinventar; GRS-A-2715, 1999

HÄHNEL (1978): Hähnel, E. et al.: Brandschutz-Formeln und Tabellen; Staatsverlag der DDR, Berlin 1978

HELWIG (1997): Helwig, L.: Fehler beim Einsatz (Übers.); Brand & Brandweer 1997, 1

KENNWERTE (1988): Autorenkollektiv: Brandschutz- und sicherheitstechnische Kennwerte brennbarer und gefährlicher Stoffe; Staatsverlag der DDR, Berlin 1988

MDZ (2001): Moskauer Deutsche Zeitung (MDZ), 16.07.2001

NOSKOV (1998): Noskov et al.: Air tragedy in Russia; Fire International 162 (1998), S. 9-10

PASCH (1994): Pasch, U.: Untersuchungen zur Simulation ausgewählter Brandkenngrößen und deren Wirkung auf die persönliche Schutzausrüstung des Feuerwehrangehörigen; Forschungsbericht Nr. 91, Institut der Feuerwehr Sachsen – Anhalt, Heyrothsberge, 1994

**Anlage 1: Beispiele für Abstürze von Verkehrsflugzeugen mit mehrstündigen Bränden:**

- 04.10.1992: Amsterdam: B-747. Hauptbrandherd wurde nach einer, nach anderen Angaben innerhalb von drei Stunden gelöscht ([www.wsws.org](http://www.wsws.org), [www.oneworld.org](http://www.oneworld.org)).
- 06.12.1997, Irkutsk: Frachtflugzeug (Typ konnte nicht ermittelt werden; mit 140 Mg Kerosin). 1500 Einsatzkräfte der Feuerwehr waren über mehrere Stunden mit der Brandbekämpfung beschäftigt (NOSKOV, 1998).
- 16.02.1998, Taipei: A300. Absturz über Wohngebiet. Noch nach Stunden wird über Brände berichtet ([www.cnn.com](http://www.cnn.com)).
- 25.07.2000, Paris: Concorde (max. Tankinhalt 119.500 l). Über 400 Feuerwehrleute im Einsatz. Feuerdauer über 2 h ([www.flugzeug-absturz.de](http://www.flugzeug-absturz.de)).
- 14.07.2001, Nähe Moskau: Il-76 (Größenklasse der B-767; max. Tankinhalt bis zu 90 t). 40 Mg Kerosin wurde frei, mehrstündiges Feuer (MDZ, 2001).
- 12.11.2001, New York (Queens): A-300-600. Mehrstündiges Feuer (Absturz erfolgte 09:17, die Brände waren um die Mittagszeit unter Kontrolle), Temperaturen von ca. 1000° berichtet, über 40 Feuerwehrfahrzeuge, über 40 Feuerwehrleute im Einsatz ([www.wdr.de](http://www.wdr.de); [abcnews.go.com](http://abcnews.go.com); [europe.cnn.com](http://europe.cnn.com), [www.uwire.com](http://www.uwire.com)).

		Lagerbereich 1 = L1						Lagerbereich 2= L2								
	Anzahl Behälter	Behälterfläche [m²]	Fläche L1 netto [m²]	Fläche L1, netto [m²]	L1/L1netto Behälter	m² pro Behälter	Behälter* bei L1 netto = 542 m²	Behälter* bei L1 netto = 325 m²	Anzahl Behälter	Behälter fläche [m²]	Fläche L2 [m²]	Fläche L2 netto [m²]	L2/L2netto Behälter	m² pro Behälter	Behälter* bei L1 netto = 542 m²	Behälter* bei L1 netto = 325 m²
<b>Brandlast 80 Mg</b>																
Isar	72	2671150	883	1,30	16	44	26	80	296	1250	953,8	1,31	15,63	45	27	
Grundremmingen	84	3111400	1089	1,29	17	42	25	88	326	1500	1174	1,28	17,05	41	24	
Biblis	64	2371150	913	1,26	18	38	23	71	263	1250	987,1	1,27	17,61	39	23	
Phillipsburg	72	2671150	883	1,30	16	44	26	80	296	1250	953,8	1,31	15,63	45	27	
Grafenheinfeld	40	148670	522	1,28	17	42	25	48	178	760	582,3	1,31	15,83	45	27	
<b>24 Mg =15 %</b>																
Neckarwestheim	73	2701000	730	1,37	14	13		79	293	1000	707,5	1,41	12,66	14		

L netto = Fläche ohne Behälter

\* Behälterfläche= 3.703 [m²]