

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

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

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 3-85457-634-X

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	6
1 Einleitung	11
2 Vollständigkeit der Unterlagen	13
2.1 Einleitung:.....	13
2.2 Standortfragen (Kapitel 1 des SB):.....	13
2.3 Beschreibung des Zwischenlagers (Kapitel 2 des SB):.....	15
2.4 Organisation und Betrieb (Kapitel 3 des SB):.....	17
2.5 Sicherheitsanalyse f. d. bestimmungsgemäßen Betrieb (Kapitel 4 des SB):	18
2.6 Störfallanalyse und Restrisikobetrachtung (Kapitel 5 des SB):	20
2.7 Stilllegung (Kapitel 6 des SB):.....	22
2.8 Mängel und Unvollständigkeiten in der Umweltverträglichkeitsprüfung	22
Quellenangaben zu Kapitel 2:.....	23
3 Verfahrensbewertung.....	24
3.1 Verfügbare Zwischenlager-Konzepte	24
3.1.1 Vergleichende Bewertung	25
3.2 Erfahrungen mit der Brennelementzwischenlagerung in Behältern	26
3.2.1 Abschirmung der Neutronenstrahlung.....	27
3.2.2 Dichter Einschluss des radioaktiven Inventars.....	28
3.2.3 Überwachung des dichten Einschlusses.....	28
3.3 Langzeitdichtheit von Transport- und Lagerbehältern	29
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.....	31
3.3.1.4 Korrosion.....	31
3.3.2 Herstellung des spezifikationsgerechten Zustands des Dichtungssystems	32
3.3.3 Restfeuchtekriterium	34
3.3.4 Dichtungsmaterial.....	35
3.4 Freisetzungsüberwachung	36
3.5 Zwischenlagertunnel-Konzept	39
Quellenangaben zu Kapitel 3:.....	40
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:.....	61
5.5	Mögliche Wechselwirkungen mit dem Interimslager am Standort:.....	61
	Quellenangaben zu Kapitel 5:.....	62
6	Externe Gefahren	63
6.1	Darstellung externer Gefahren im Sicherheitsbericht:.....	63
6.2	Erdbeben:.....	64
6.3	Flugzeugabsturz:	64
6.3.1	Darstellung im Sicherheitsbericht:.....	64
6.3.2	Grundsätzliches zum Schutz gegen Flugzeugabsturz:	66
6.3.3	Gefahren durch Absturz von Kampfflugzeugen:	66
6.3.4	Absturz von Verkehrsflugzeugen:	67
6.3.5	Besondere Bedeutung für den Standort Neckar:	69
6.4	Einwirkungen Dritter (terroristische Angriffe):.....	70
6.4.1	Darstellung im Sicherheitsbericht:.....	70
6.4.2	Mögliche Einwirkungen Dritter:.....	70
6.4.3	Herbeigeführter Flugzeugabsturz auf das Zwischenlager:.....	70
6.4.4	Einsatz panzerbrechender Mittel von innen:	71
6.4.5	Beschuss des Lagers und seiner Umgebung von außen:.....	72
6.5	Risikoerhöhende Faktoren:	72
6.5.1	Radioaktives Inventar:.....	72
6.5.2	Ungeklärte Endlagerung:.....	73
6.5.3	MOX-Brennelemente:.....	73

6.5.4 Alterungsvorgänge:	74
Quellenangaben zu Kapitel 6:.....	74
7 Szenario: Absturz eines Verkehrsflugzeuges	77
7.1 Einleitung.....	77
7.2 Brandszenario	77
7.2.1 Branddauer.....	77
7.2.2. Flammentemperatur:	78
7.3 Dichtungsversagen der Behälter:	79
7.4 Ermittlung der Freisetzung	79
Quellenangaben zu Kapitel 7:.....	80
8 Auswirkungen auf Österreich	82
8.1 Einleitung.....	82
8.2 Abschätzung der Deposition radioaktiver Stoffe nach einem Flugzeugabsturz	82
Quellenangaben zu Kapitel 8.....	87
Anhang	88

ZUSAMMENFASSUNG

Das GKN-ZL liegt auf dem Anlagengelände der Gemeinschaftskernkraftwerke Neckar GmbH (GKN). Das Anlagengelände liegt etwa 25 km nördlich der Stadt Stuttgart am rechten Neckarufer zwischen den Ortschaften Gemmrigheim und Neckarwestheim. Die dem GKN-Standort am nächsten gelegene Stadt ist Lauffen a. N. in einer Entfernung von etwa 3.3 km.

In ca. 25 km Entfernung vom Standort befindet sich der Flughafen Stuttgart und in ca. 120 km der internationale Großflughafen Frankfurt/Main. Im Umkreis von 50 km befinden sich ausserdem noch 3 Nachttiefflugstrecken. Flugverbotszonen im Umkreis von AKW-Standorten, wie es sie in vielen mittel- und osteuropäischen Ländern gibt, sind in der Bundesrepublik Deutschland nicht vorgesehen.

Die Unterlagen, auf die sich die gegenständlichen Arbeiten zum Standort-Zwischenlager Neckar 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 liefert hinsichtlich der Umweltauswirkungen bei Stör- und Unfällen kaum essentielle Informationen.

Die ersten Behälter, die im Standortzwischenlager eingelagert werden, werden CASTOR V/19 (mit 19 DWR-Brennelementen) sein.

Insgesamt ist für das Zwischenlager eine Kapazität von 1600 Mg beantragt. Es lässt sich nachweisen, dass dies eine Überkapazität von zumindest ca.30 % dessen darstellt, was bis zum Auslaufen der beiden Reaktoren nötig wäre.

Lagerkonzepte

Für die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente gibt es international gegenwärtig drei Konzepte: Nasslager, Behälterlager und Blocklager. 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.

Bei den trockenen Lagerkonzepten erfolgt die Kühlung durch einen sich natürlich einstellenden Luftzug (Konvektion). Es handelt sich also um ein passives System. Dieses sei 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 in einem Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente ist 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. Das beantragte Zwischenlager in Neckar stellt einen Sonderfall dar, da die Lagerung der Behälter - bei sonst im wesentlichen gleichem Konzept - in einem Felsstollen einige Meter unter der Erdoberfläche erfolgen soll.

Das Zwischenlager soll aus einem Eingangsgebäude (mit Verladebereich für die Behälter), zwei parallel horizontal in die Steilwand des ehemaligen Steinbruchs getriebenen Lagertunneln mit einem Verbindungstunnel am Ende, einem Abluftbauwerk und einem Fluchtbauwerk bestehen.

Während der Zwischenlagerung bilden die Behälter und die 14 m mächtige Gesteinsformation des Deckgebirges eine Doppelbarriere gegen mechanische Belastungen physischer Art auf das radioaktive Inventar.

Eine Überwachung des Austritts radioaktiver Stoffe in die Hallenatmosphäre und damit in die Umgebungsluft ist in Neckar 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 Neckar 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 Neckar 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), Verschlusstechnik der Behälter, Brennelementtyp (DWR/SWR), Größenordnung von Wärmeentwicklung und Aktivitätsinventar sowie Beladevorgang der Behälter müssen vergleichbar sein. Diese Erfahrungen beschränken 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 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.

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.

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

Für die Auslegung des GKN-Zwischenlagers wird das Bemessungsspektrum für das Sicherheitserdbeben verwendet, das bereits für die Auslegung des 1989 in Betrieb gegangenen Kernkraftwerksblocks II zugrunde gelegt wurde. Angesichts des möglichen Auftretens von Starkbeben, die die historisch überlieferten an Stärke erreichen oder übertreffen können, im Oberrheingraben und in der Schwäbischen Alb, stellt sich die Frage, ob der im SB angegebene Bemessungswert für die horizontale Bodenbeschleunigung als „sehr konservativ“ anzusehen ist.

Im übrigen fehlt im Sicherheitsbericht jede Aussage darüber, ob sich im Zusammenhang mit seismischen Lastannahmen Besonderheiten daraus ergeben, dass das GKN-Zwischenlager als Tunnelbauwerk im Gestein des oberen Muschelkalk (ggf. auch der quartären Lockergesteine) konzipiert ist, bzw. um welche Besonderheiten es sich ggf. handelt.

Erst hieraus wären Aussagen zur Standsicherheit des Tunnelbauwerkes im Lastfall Erdbeben ableitbar.

Flugzeugabsturz

Im unterirdischen Lagerbereich bilden die Gesteinsformation des Deckgebirges und der Lagerbehälter eine Doppelbarriere. Das mit dem Lagerbereich verbundene Eingangsgebäude liegt aber außerhalb vom Tunnel. Dort erfolgt die Verladung und Abfertigung der Behälter.

Aus dem Sicherheitsbericht ist nicht ersichtlich, dass Wände und Decke des geplanten Eingangsgebäudes auch für den Absturz eines Verkehrsflugzeugs ausgelegt sind.

Auch wird im Sicherheitsbericht nicht ausgeschlossen, dass größere Teile der Decke, insbesondere Dachbinder, auf den in Handhabung befindlichen Behälter fallen. Im Vergleich zu einem Zwischenlager in Hallenbauweise ist die Wahrscheinlichkeit für den Aufprall im verwundbaren Eingangsbereich kleiner.

Gegen das Eindringen von Kerosin bei einem Flugzeugabsturz ist aber weder das Eingangsgebäude noch das Abluftbauwerk ausgelegt. In der Folge eines Flugzeugabsturzes auf das Zwischenlager kann – im Vergleich zu oberirdischen Zwischenlagern – lediglich ein relativ kleiner Teil des in den Tanks vorhandenen Kerosins in den vorderen Sektor eines Lagerbereichs eindringen. Abschätzungen ergeben einen Anteil von 10 – 20% der Kerosinmenge eines großen Verkehrsflugzeugs, die sich auf eine Fläche von 100 – 150 m² verteilen. Im Eingangs- und in Teilen des Lagerbereiches ist daher 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.

Bei eingeschränkter Ventilation und begrenzter Wärmeübertragung an die Umgebungsluft (wie im Tunnelbereich) ist mit Temperaturen von 1200 °C und mehr zu rechnen.

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 4 Stunden bei 1200 °C Flammentemperatur ist davon auszugehen, dass alle Dichtungen der betroffenen 14 Behälter versagen.

Für die Analyse potentieller Auswirkungen in Österreich wurden gemäß dem beschriebenen Brandszenario die in Tabelle 1 angegebenen freigesetzten Mengen an Cs-137 unterstellt.

Tabelle 1: Quellterm für die Analyse der Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes aufs Zwischenlager in Österreich

	Freigesetztes Cäsium-137
1.Phase: 10 Stunden	1000 TBq
2.Phase: 14 Stunden	500 TBq
3. Phase: 24 Stunden	200 TBq

Mit diesem Quellterm wurden anhand realistischer Wettersituationen eigene Untersuchungen über die potentiellen Auswirkungen auf Österreich angestellt:

Obwohl die Entfernung vom Standort Neckar zum nächstgelegenen Punkt der österreichischen Grenze 180 km beträgt, könnten Gebiete in Österreich in rund 40 Prozent der für das Jahr 1995 zufällig ausgewählten Wettersituationen mit radioaktiven Stoffen aus dem Zwischenlager kontaminiert werden. Die dabei maximal auftretende Deposition von Cäsium-137 wurde mit 31 kBq/m² errechnet, was deutlich über der mittleren Kontamination in Österreich nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl liegt (21kBq/m²).

Bei dieser Belastung (maximale Dosisleistung 0,20 µSv/h) sind noch keine besonderen Gesundheitsgefahren zu erwarten und daher sind auch keine Maßnahmen zu treffen.

Trotzdem ist radioaktiver Fallout in dieser Größenordnung nicht als Normalzustand anzusehen. Entsprechend den österreichischen Rahmenempfehlungen ist für solche Situationen (WP 1, Gefährdungsstufe 0) die volle Information der Bevölkerung über die ersten Messwerte, ergänzende Probenahmen und Messungen, verstärkte Lebensmittelkontrollen und Kontrolle gefährdeter Wasserversorgungsanlagen vorgesehen.

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 EinwanderInnen 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 Neckar stützen können, sind der Bericht zur Umweltverträglichkeitsprüfung (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.

Der Bericht zur Umweltverträglichkeitsprüfung 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 Umweltverträglichkeitsprüfung 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 der Bericht zur Umweltverträglichkeitsprüfung 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 1 ungeachtet der Ausführlichkeit in einigen Punkten gravierende Lücken auf:

- In Abschnitt 1.5 fehlen Angaben zur Dichte des Flugverkehrs in den zivilen Flugstrecken sowie den drei militärischen Nachttiefflugstrecken im 50 km-Bereich. Derartige Daten wären, aufgeschlüsselt nach Flugzeugtypen (insbesondere im Hinblick auf mittlere und große Verkehrsflugzeuge sowie schnelle Kampfflugzeuge), erforderlich. Der Flughafen Stuttgart, der sich ca. 25 km südlich des Standortes findet, wird erwähnt, nicht jedoch, dass sich in ca. 120 km Entfernung vom Standort der internationale Großflughafen Frankfurt/Main befindet.
- Die geologischen Verhältnisse werden im Abschnitt 1.7 des Sicherheitsberichtes auf insgesamt sieben Seiten dargelegt, wobei die beispielhafte Beschreibung der stratigraphischen Verhältnisse allein vier Seiten umfassen. Zusammen mit dem eine weitere Seite umfassenden stratigraphischen Übersichtsprofil erhält man einen Überblick über die am Standort ausgebildeten Gesteinsschichten. Trotz der recht detaillierten Darstellung der stratigraphischen Verhältnisse ist die geologische Standortsituation jedoch insgesamt

nicht klar erkennbar. Insbesondere fehlen eindeutige Angaben über die Lagerungsverhältnisse im Standortbereich, sowie auch die tektonischen Verhältnisse. Die Sondierungsbohrungen (sowie begleitende ingenieurgeologische Untersuchungen) werden nicht dokumentiert.

Beispielsweise kann man auf Grund des stratigraphischen Übersichtsprofils (Abb. 1.7/2) nur annehmen, dass die Schichten direkt am geplanten Standort des Tunnels flachlagern. Inwieweit dies für den weiteren Standortbereich insgesamt gilt, bleibt unklar (z.B.: Sind größere Störungen vorhanden, wenn ja: Lage/Verlauf der Störungen). Der knappe und nicht weiter belegte Hinweis, im Bereich des GKN-Zwischenlagers seien keine Hinweise auf Störzonen festgestellt worden, ist nicht ausreichend. Auf „kleinere“, durch Gipsauslaugung bedingte Verwerfungen und Störungen wird zwar kurz hingewiesen, über den tatsächlichen Umfang dieser Befunde und ihre mögliche Bedeutung für das Vorhaben wird nicht eingegangen. Hierbei ist insbesondere die Frage von Interesse, ob und in welchem Ausmaß im Untergrund des Zwischenlagers im Bereich des Mittleren Muschelkalks noch weiterhin Gipsauslaugung oder auch Verkarstung stattfinden. Diese potenziell sicherheitsrelevanten Fragen (Gefahr ungleichförmiger Setzungen, Erdfälle) werden insofern unzureichend behandelt. Mindestens erforderlich wären weiterführende Quellenhinweise zu dieser Problematik. Weiterhin fehlen grundlegende Angaben zu den gebirgsmechanischen Verhältnissen im geplanten Tunnelbereich. Die Tunnelfirste wird (zumindest teilweise) nur noch vom Quartär überlagert. Daraus resultierende Konsequenzen für die Standfestigkeit werden nicht diskutiert. Zu fordern ist ein Überblick über die Hauptergebnisse diesbezüglich doch wohl durchgeführter Untersuchungen und Überlegungen oder zumindest die Angabe einer entsprechenden Quelle.

- Abschnitt 1.8 des SB behandelt die hydrologischen Verhältnisse. Im Muschelkalk sind – zumindest großräumig – zwei durch die Hassmersheimer Schichten getrennte Grundwasserstockwerke ausgebildet. Nach den Abbildungen 1.7/2 und 1.8/1 gehört das am Standort permanent geförderte Grundwasser dem oberen Grundwasserstockwerk an. Im Fall der Einstellung der Grundwasserförderung ist von der Wiederherstellung der ursprünglichen Grundwasserfließverhältnisse im oberen Stockwerk auszugehen. Dies wird im SB zwar diskutiert, es verbleiben aber mindestens folgende Unklarheiten:
 - Worauf stützt sich die Aussage, die Grundwasserstände lägen dann nur wenige Dezimeter über dem Normalwasserstand des Neckar? Zweifellos wird sich im Standortbereich ein höherer Grundwasserstand als der Normalwasserstand des Neckar (169,7 m NN) einstellen, es muss aber sichergestellt sein, dass der Grundwasserstand niedriger liegt als die Tunnelsohle (172,5 m NN). Jedenfalls müsste der SB eine nachvollziehbare Aussage über die zu erwartende „Normalhöhe“ des Grundwasserstandes enthalten. Dies ist nicht der Fall.
 - Bei Hochwasser des Neckar steigt der Grundwasserspiegel zeitweilig an. Im Sicherheitsbericht wird dieser Fall nicht ausreichend behandelt. Es müsste dargelegt werden, wo der Grundwasserspiegel bei häufig zu erwartenden Neckar-Hochwassern liegen wird. Dies gilt v.a. vor dem Hintergrund, dass es sich bei dem interessierenden oberen Grundwasserleiter wohl um einen Kluftgrundwasserleiter handelt.
 - Der Hinweis, dass selbst bei einem 10.000-jährlichen Hochwasser nicht mit einem Grundwasseranstieg bis in den Bereich der Tunnelsohle zu rechnen sei, ist lediglich eine Behauptung. Ein Beleg wird nicht angeführt.
 Insgesamt ist die Darstellung der hydrogeologischen Situation – speziell des interessierenden oberen Grundwasserstockwerks nach Einstellung der Grundwasserförderung – sehr spärlich. Dies gilt auch für den oberhalb des Grundwassers liegenden ungesättigten Gebirgsbereich, in dem das Tunnelbauwerk errichtet werden soll. Hier wären Angaben über im Tunnelbereich zu erwartende Sickerwassermengen oder eventuelle Gebirgswasserdruckverhältnisse interessant.

- Für die Auslegung des Zwischenlagers wird das Bemessungsspektrum für das Sicherheitsbeben verwendet, das bereits für die Auslegung des 1989 in Betrieb gegangenen Kernkraftwerks GKN II zugrunde gelegt wurde. Es wird nicht dargelegt, aus welchen historischen Ereignissen und anhand welcher konkreter Überlegungen die Daten des Bemessungserdbebens abgeleitet wurden. Ein aktuelles Gutachten, in dem die seismischen Lastannahmen nach heutigem Wissensstand überprüft wurden, wird erwähnt, aber nicht mit Autor und Titel zitiert. Die Vorgehensweise bei diesem Gutachten und die Ergebnisse im Einzelnen werden nicht dargestellt. Auf die Besonderheiten, die sich daraus ergeben, dass das GKN-Zwischenlager als Tunnelbauwerk konzipiert ist, wird nicht eingegangen (SB Abschnitt 1.9).

2.3 Beschreibung des Zwischenlagers (Kapitel 2 des SB):

Abschnitte 2.1 bis 2.3:

Die Abschnitte 2.1, 2.2 und 2.3 beinhalten Zusammenfassung, grundsätzliche Ausführungen zur Auslegung und Allgemeines zur Qualitätssicherung. Sie haben generellen 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 Vorsichtsmaßnahme, 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 der Gesamtanlage:

In diesem, insgesamt sehr kurz gehaltenen Abschnitt fehlen genaue Angaben, welche Maßnahmen nach Stilllegung der Kernkraftwerke am Standort ergriffen werden sollen. Es wird lediglich festgestellt, dass das Lager völlig autark von der bestehenden Kernkraftwerksanlage

betrieben werden könne. Solange mindestens einer der Kernkraftwerksblöcke in Betrieb sei, würden infrastrukturelle Anlagen der Kernkraftwerksanlage mitbenutzt. Diese werden lediglich ohne weitere Diskussion beispielhaft aufgelistet.

Es wäre zu klären, inwieweit die Erörterung dieser Sachverhalte im Zusammenhang mit der Stilllegung der Kernkraftwerksblöcke erfolgen kann, und inwieweit sie bereits zum jetzigen Zeitpunkt erforderlich ist.

Abschnitt 2.5 – Beschreibung der bautechnischen Anlagen:

- Die Abgrenzung des Kontrollbereiches und insb. die Gestaltung seines Ausganges werden nicht genauer beschrieben. Es bleibt offen, wie im Einzelnen verhindert wird, dass radioaktives Material aus dem Lager gebracht wird.
- Es fehlen verschiedene genauere Angaben zu den Anlagen, u.a. zur Abdichtung der Tunnels und zum Aufbau der Schächte.

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 den Kernkraftwerken und beim internen Transport eingesetzt werden.
- Die Begrenzung der Hubhöhe in der Kransteuerung wird nicht beschrieben – sie findet lediglich Erwähnung. (Auch in Abschnitt 5.3 – s. unten – erfolgt keine genauere Diskussion dieses Punktes.)
- Der Normal- und Ersatzstromversorgung 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.
- Meldungen der Behälterüberwachung werden im Kontrollraum des Zwischenlagers angezeigt und in die Hauptwarte von Block II geführt. Der Stellenwert des Kontrollraumes bleibt unklar. Ist dieser Raum von Anfang an besetzt, oder soll er erst nach der Stilllegung von Block II 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 beschrie-

ben. 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.
- Die einzulagernden Kernbauteile werden nicht näher beschrieben, ihr radioaktives Inventar wird nicht angegeben. Es werden lediglich beispielhaft maximale Aktivitäten aufgelistet.

Abschnitt 2.9 – Belegung des Zwischenlagers:

- 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 nicht genau dargestellt, inwieweit für das Zwischenlager spezielles Personal zum Einsatz kommt bzw. inwieweit Personal aus den Kernkraftwerksblöcken im Zwischenlager tätig ist. (Welche personellen Überschneidungen gibt es im Einzelnen, wann werden welche Kräfte aus welchen Fachbereichen wo eingesetzt; wo könnten ggf. Engpässe entstehen, wie sollen diese vermieden werden?)
- Die „Technischen Annahmebedingungen“ werden lediglich in äußerst summarischer Form dargestellt. Es wird nicht angegeben, welche Werte für jeden Behälter nachzuweisen sind, und welche zulässigen (meist Maximal-) Werte dabei einzuhalten sind. Dies betrifft wichtige Daten wie Restfeuchte und Kontamination.

Abschnitt 3.2 – Betriebsabläufe:

- Die Vorgänge bei der Auslagerung aus den Kernkraftwerksblöcken bzw. dem Interimslager 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 ein zusätzlicher Fügedeckel montiert werden, der mit einer Schutzplatte abgedeckt wird. Die Vorgänge bei der Montage werden lediglich sehr summarisch beschrieben. Alternativ dazu kann der Behälter zur Reparatur in das Reaktorgebäude GKN II oder in eine andere kerntechnische Anlage verbracht werden. Es wird nicht dargelegt, nach welchen Kriterien zwischen den bestehenden Optionen entschieden 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 – Behälterausslegung:

- 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 seit mehr als 25 Jahren 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 Neckar vorgesehenen Behälter übertragen werden können. Auch die Angabe, für wie viele Jahre die einzelnen Behälter jeweils gelagert wurden, fehlt.
- 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. Freisetzungsanteile für die flüchtigen Nuklide werden im Abschnitt 4.1 gegeben, jedoch ohne stichhaltige Begründung, s. unten)
- Die Freisetzungsanteile 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 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.

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.

2.6 Störfallanalyse und Restrisikobetrachtung (Kapitel 5 des SB):

Abschnitt 5.1 – Überblick:

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

Abschnitt 5.2 – Sicherheitsmerkmale der Behälter:

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 den Kernkraftwerken, 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.
- Der Störfall ‚Anprall eines Behälter‘ wird nicht näher beschrieben, insbesondere wird die angenommene maximale Belastung nicht angegeben.

- Als maximale Transporthöhe in den Lagertunneln wird 30 cm angegeben. Dies soll durch eine Hubhöhenbegrenzung gewährleistet werden, die nicht näher beschrieben wird. Es wird nicht angegeben, welchen Hubhöhen bei Ausfall dieser Begrenzung möglich sind.
- 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 oder um das unter Berücksichtigung einer speziellen Hubhöhenbegrenzung für das Abheben der Behälter maximal Mögliche handelt.
- 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.
- Es wird nicht erörtert, was die Folgen eines Flutens des Zwischenlagers bei Hochwasser wären.
- Auf die offenen Fragen im Zusammenhang mit der Abhängigkeit des Grundwasserspiegels vom Wasserstand bei Hochwasser wurde in 2.2 bereits hingewiesen.
- 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 auf die oberirdischen Bereiche des Zwischenlagers wird nicht angegeben.

- Es wird behauptet, aber nicht nachgewiesen, dass beim Absturz eines Militärflugzeugs das Eingangsgebäude ein Eindringen des Flugzeugs oder größerer Wrackteile in den Lagerbereich verhindert.
- Es wird lediglich der Absturz eines schnellfliegenden Militärflugzeuges diskutiert. Es wird nicht nachgewiesen, dass der Absturz eines Militärflugzeuges im Hinblick auf Stoßlast, Trümmerwirkung und Treibstoffbrände gegenüber dem Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs abdeckend ist.
- Auf mögliche Folgen des Absturzes eines Verkehrsflugzeugs wird im SB überhaupt nicht eingegangen. Die Möglichkeit eines solchen Absturzes wird nicht einmal erwähnt.
- Das Eindringen von Kerosin in das Lager nach Absturz eines Militärflugzeugs soll durch eine Auffangwanne verhindert werden. Dies wird nicht im Einzelnen belegt.
- Die Möglichkeit eines Eindringens von Kerosin über das Fluchtbauwerk wird nicht diskutiert.
- Die Möglichkeit des Eindringens größerer Kerosinmengen (im Vergleich zum Tankinhalt eines Militärflugzeugs) beim Absturz eines Verkehrsflugzeugs wird nicht diskutiert.
- Im SB werden Angaben zu den Maximaltemperaturen gemacht, die sich bei vollständigem Verschluss des Kamins einstellen können. Diese Angaben werden nicht näher begründet bzw. abgeleitet.
- Mögliche Einwirkungen aus dem GKN-Betrieb werden kurz erörtert. Es wird jedoch nicht auf die Folgen eines Kernschmelzunfalles in einem der Reaktorblöcke eingegangen. Diese Auslassung wird im SB nicht begründet. Sie kann auch methodisch kaum begründet werden, da die Wahrscheinlichkeit für ein solches Ereignis erheblich 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 Umweltverträglichkeitsprüfung

Im folgenden werden die Kapitel der Untersuchung der Umweltauswirkungen angeführt, in denen Unvollständigkeiten aufgefunden wurden.

Kapitel 1.5 Die Vorhabensalternativen

Die Bewertung der Vorhabensalternativen erfolgt nicht als Abschätzung der Vor- und Nachteile der einzelnen Vorhabensalternativen, sondern dadurch, daß angegeben wird, welche Alternative durch äußere Umstände ausscheidet und kommt zu dem Schluß, daß nur das GKN-ZL als Vorhabensalternative bleibt.

Kapitel 1.6 Die Verfahrensalternativen

Als Verfahrensalternativen werden die trockene Zwischenlagerung als Hallen- bzw. Tunnel-lösung in Betracht gezogen. Das Hallenlager wird aus Platzgründen wegen nicht vorhandener Baufläche auf dem Anlagengelände des GKN ausgeschlossen. Andere Standorte für ein Hallenlager wurden offensichtlich nicht geprüft.

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

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 MgSM¹ 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 bei sonst gleichem Konzept in einem Felsstollen einige Meter unter der Erdoberfläche erfolgen. In der Tschechischen Republik wurde Ende der 90er Jahre ein ähnliches Projekt in Skalka 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 Si-

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

cherheitsdiskussion über Nasslager außerhalb von Reaktorblöcken und mit größeren Lagerkapazitäten 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 – insbesondere wenn sie unterirdisch erfolgt – 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 durchgängig 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 Standsi-

cherheit 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 der dickwandige Behälter die einzige für jede Belastungsart wirksame Barriere (zum Sicherheitsnachweis siehe Kapitel 4). Im Falle der unterirdischen Behälterzwischenlagerung – wie im Standort-Zwischenlager Neckarwestheim – stellt während der Lagerung das Deckgebirge eine zusätzlich Barriere gegen mechanische Einwirkungen von außen dar.

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), Verschluss technik 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 Neckarwestheim 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 Standort-Zwischenlager Neckar, 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 Neckarwestheim 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 beide 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.

Abgesehen von möglichen Problemen mit der Überwachung während der Zwischenlagerung ist am Standort Neckarwestheim ein weiterer Punkt zu beachten. Dem Sicherheitsbericht ist nicht zu entnehmen, ob für Behälter, die bereits über mehrere Jahre im so genannten Interimslager gelagert wurden, die Dichtheit der Deckel bei Übernahme in das Standort-Zwischenlager geprüft wird.

Die während der Interimslagerung durchgeführte Überwachung des Druckes zwischen den beiden Deckeln erlaubt keine quantitative Aussage über die Leckagerate der beiden Deckel. Diese kann sich auch ohne Ansprechen des Druckschalters um mehr als eine Größenordnung verschlechtert haben.. Damit wäre der Behälter möglicherweise für die Aufnahme in das Standort-Zwischenlager nicht mehr spezifikationsgerecht.

Es ist ferner zu berücksichtigen, dass der Behälter mit einem erheblichen Überdruck zwischen den beiden Deckeln gehandhabt und transportiert werden muss. Dadurch entstehen möglicherweise Belastungen des Dichtungssystems, die deutlich höher als während der statischen Lagerung sein können. Auch deshalb sind Leckageratenmessungen erforderlich.

3.3 Langzeitdichtheit von Transport- und Lagerbehältern

In Kapitel 3.3 wird die Langzeitdichtheit der im Standort-Zwischenlager Neckarwestheim gelagerten CASTOR-Behälter bewertet. Dieses Thema ist auch für die Republik Österreich relevant, da der Zustand des Dichtsystems Auswirkungen auf Möglichkeit und Höhe von Freisetzen bei Stör- bzw. Unfällen haben kann.

Die Dichtheit des Einschlusses der bestrahlten Brennelemente soll laut Sicherheitsbericht für das Standort-Zwischenlager in Neckarwestheim im Normalfall entweder durch das Aufschrauben von zwei Deckeln unter Verpressung von Dichtringen oder durch Verschweißen von Behälterkörper und einem Deckel erreicht werden. Laut Sicherheitsbericht (S. 2.2-4) ist ein Nachweis für die Langzeiteignung allerdings nur für das verschraubte Deckelsystem erbracht worden.

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. Inwieweit 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 Neckarwestheim 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 abgegebene 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 Werkstoff bezogenen 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 Dichtungsbe-
reich – als Voraussetzung für die Einlagerung eines mit bestrahlten Brennelementen beladenen Transport- und Lagerbehälters vorgeschrieben. Diese Restfeuchte liegt in der Größenordnung von 1-10 g/m³.

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 Be-

hälterinneren 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 Verschließvorgang 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 (MECKVORP, 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 Durchrost 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 Neckarwestheim 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 Restfeuchte Kriterium

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 Metallichtung 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 Restfeuchte Kriterium 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/m³ (=3,4 mg/l) für den CASTOR V/19 genannt (BFS, 2000b). 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 Neckarwestheim 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). Säurehaltiges 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 bo-riert 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 Neckarwestheim 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 WWER 84/440 geführt (GÖK, 1997).

3.3.4 Dichtungsmaterial

Im Sicherheitsbericht ist nicht angegeben, ob für die Behälter in Neckarwestheim 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 Mehrbarrierensystem auch eine diversitäre Überwachung von Freisetzungen radioaktiver Stoffe. In der Bundesrepublik ist in den gegenwärtig betriebenen und auch für das beantragte Zwischenlager am Standort Biblis 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 Neckarwestheim 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 Freisetzungüberwachung 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 den Lagertunneln 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 Neckarwestheim 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 Tunnelatmosphäre 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 den Lagertunneln (großes Raum- bzw. 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(^3H)-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 ^3H -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. ^3H 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 – im Standort-Zwischenlager Neckarwest-

heim vor allem auch wegen des vermutlich horizontall ausgerichteten Luftstromes – noch Untersuchungsbedarf.

Für ^{85}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 dem Tunnellager bzw. dessen Abluf, der Freisetzungsüberwachung aus den beiden benachbarten Reaktoren und ggf. anderen Anlagen sowie der Umgebungsüberwachung kann der Beleg erbracht werden, dass keine signifikanten Freisetzungen im Behälterlager 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 den Tunneldecken und von kontinuierlichen Sammlern für ^3H (möglichst über den Behältern) und Aerosole im Abluftkamin 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 in den Lagerbereichen bzw. der Abluf 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 Neckarwestheim informiert zu werden.

International ist eine Überwachung der Raumluf 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}Cs) registriert und wöchentlich im Labor analysiert (FAJMAN & SEDLACEK 2001).

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

3.5 Zwischenlagertunnel-Konzept

Abweichend von allen anderen Standort-Zwischenlagern in der Bundesrepublik Deutschland ist in Neckarwestheim eine unterirdische Behälterlagerung vorgesehen. Das Zwischenlager soll aus einem Eingangsgebäude (mit Verladebereich für die Behälter), zwei parallel horizontal in die Steilwand des ehemaligen Steinbruchs getriebenen Lagertunneln mit einem Verbindungstunnel am Ende, einem Abluftbauwerk und einem Fluchtbauwerk bestehen. Nur das Eingangsgebäude ist oberirdisch.

Während der Zwischenlagerung bilden die Behälter und die 14 m mächtige Gesteinsformation des Deckgebirges eine Doppelbarriere gegen mechanische Belastungen physischer Art auf das radioaktive Inventar. Die Verladung und Abfertigung der Behälter soll im oberirdischen Eingangsgebäude stattfinden. Die Wände und Decke des geplanten Eingangsgebäudes bestehen aus Stahlbeton. Über ihre Dicke und Armierung enthält der Sicherheitsbericht keine Angaben. Es wird mit Bezug auf Flugzeugabsturz allerdings ausgeführt, dass die Gebäudeauslegung ein Eindringen des Flugzeuges oder größerer Wrackteile verhindert. Dabei wird im Sicherheitsbericht nicht eindeutig ausgeführt, welche Flugzeugbauart (schnell fliegende Militärmaschine oder Großraumflugzeug) dieser Einschätzung zu Grunde gelegt wurde. Dies ist entscheidend für den auf das Gebäude wirkenden Impuls und damit für die Gebäudestandfestigkeit. Da im entsprechenden Kapitel des Sicherheitsberichtes (5.4.3) eingangs jedoch von einem Militärflugzeug die Rede ist, für dessen Absturz auch Wahrscheinlichkeiten angegeben werden, muss davon ausgegangen werden, dass sich das gesamte Kapitel auf Militärmaschinen bezieht und nur solche bei der Auslegung berücksichtigt wurden.

Ganz abgesehen von der nicht völlig eindeutig festgelegten Flugzeuggröße ist im Sicherheitsbericht nicht ausgeschlossen worden, dass größere Teile der Decke, insbesondere Dachbinder, auf den in Handhabung befindlichen Behälter fallen.

Gegen das Eindringen von Kerosin bei einem Flugzeugabsturz ist weder das Eingangsgebäude (hier befinden sich die Lufteintrittsöffnungen für die Behälterkühlung, die laut Sicherheitsbericht auch bei Flugzeugabsturz funktionsfähig bleiben sollen) noch das Abluftbauwerk ausgelegt. Kerosin, das über das Abluftbauwerk in das Zwischenlager gelangt soll allerdings in bestimmtem Umfang durch die vorhandene Regenwasserauffangwanne zurückgehalten werden. Deren Fassungsvermögen wird im Sicherheitsbericht nicht angegeben, es können hier daher keine Beurteilungen abgegeben werden, ob das Vordringen einer größeren Kerosinmenge, die einen längeren Brand verursachen kann, über diesen Weg möglich ist.

Im Zusammenhang mit der Auslegung des Zwischenlagers gegen Einwirkungen von außen ist damit für den Schutz des hohen Aktivitätsinventars von Bedeutung:

1. Der Sicherheitsnachweis für die Barriereigenschaften der beantragten Behälter sowie für Behälter mit volumetrisch verschweißtem Deckel ist unzureichend (siehe zu CASTOR Kapitel 4) bzw. bisher nicht erbracht.
2. Bei nicht erfolgter Gebäudeauslegung ist im Eingangs- und 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.
3. Das Verschütten eines oder beider Tunneleingänge sowie ein umfangreicheres Verschütten eines im Eingangsgebäude befindlichen Behälters durch Gebäudeteile/-schutt muss nachweisbar verhindert werden, um den Zugang zum Zwischenlagerbereich zu gewährleisten und die Wärmeabfuhr zu sichern. Dies gilt insbesondere für das Standort-Zwischenlager Neckarwestheim, da

- bei schweren Unfällen das Hauptaugenmerk zunächst auf die benachbarten Reaktoren gerichtet sein muss,
 - die unmittelbare Zugänglichkeit zu den Behältern durch die Lagerplatzanordnung für die Behälter erheblich eingeschränkt ist.
4. 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 Neckarwestheim vorgesehene Zwischenlager nur teilweise gerecht.

Aus den genannten Gründen ist eine umfassende Auslegung von Behälter und Eingangsgelände sowie Abluft- und Fluchtbauwerk gegen die Einwirkungen von Außen zu fordern (Vollschutz). Dass heißt, auch 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.

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

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, 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 Garching-Reaktor FRM-II; München, 25.04.2001

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

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 Neckarwestheim 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 Neckarwestheim 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 Neckar 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. In bisherigen Genehmigungen für die Zwischenlagerung von Brennelementen in Transport- und Lagerbehältern war die verkehrsrechtliche Zulassung des Behälters vor und während der gesamten Lagerzeit eine Voraussetzung. Für das Zwischenlager in Neckarwestheim soll dies offenbar nicht mehr notwendigerweise der Fall sein. Die verkehrsrechtliche Zulassung muss laut Sicherheitsbericht bei der Ersteinlagerung in das Interimslager oder das Zwischenlager gegeben sein. Das heißt, in das Zwischenlager kann ein Behälter eingelagert werden, der zu diesem Zeitpunkt keine verkehrsrechtliche Zulassung mehr besitzt und damit im Falle von Problemen bei der Einlagerung (betriebliche Störungen im Zwischenlager, Störfall, Behälterschäden usw.) nicht vom Standort weg transportiert werden kann. Die Zulässigkeit ist zu prüfen. Zu prüfen ist darüber hinaus, inwieweit die langfristige Lagerung von Behältern ohne verkehrsrechtliche Zulassung die Transportfähigkeit des Behälters nach einigen Jahrzehnten Zwischenlagerung beeinträchtigen könnte.

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 Neckarwestheim – 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 Neckar 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 Feuerestanforderungen 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 (IAE, 1996) nichts

* 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).

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 Freisetzungsrates aus dem Behälter von 10^{-6} A₂/h (z. B. 500.000 Bq/h ¹³⁷Cs) zulässig. Dabei ist A₂ die auf eine Nuklidart bezogene maximal zulässige Aktivität in einem Behälter. Diese Werte sorgen nach Meinung der IAEA für eine Strahlenbelastung, die der Bevölkerung zugemutet 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 Sprödbruchsicherheitskriterien 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 Neckar 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 Versu-

chen 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 Deckelverschlusschrauben 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 Metalledichtungen bestehen beim Versuchsbehälter aus einem anderen Werkstoff, als bei den möglicherweise für Neckarwestheim 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 Moderatorhohlräume 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 Neckar 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 Neckarwestheim den diesbezügliche 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 Wagon 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 (gerin-

gere 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 Dämpferbeton versehenen Hallenboden geführt. Die errechneten Belastungen sind geringer als bei den verkehrsrechtlich geforderten Nachweisen. Zur Größe der Behälterbelastung enthält der Sicherheitsbericht keine Aussage. Es ist zu prüfen, wie sich der in Neckarwestheim unter der Betonbodenplatte befindliche gesteinsharte Boden (im Vergleich zum Erdreich bei anderen Zwischenlagern) auf den Lasteintrag für den Behälter auswirkt.

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 einem 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 Ergeb-

nissen 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 Deckelaufgabeflächen 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 Neckarwestheim, anstatt 20 cm im Versuch, im Lager 70 cm dick, und das Gestein besitzt nicht das Verdrängungsverhalten des Erdreiches,
- 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 Dichtung 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).

Es besteht allgemeiner Konsens darüber, dass mit einer panzerbrechenden Waffe die Wand eines CASTOR-Behälters 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 kurz lebigen Radionukliden (z. B. ^{60}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 bestrahlter 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 und 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 UO₂-Release From a Spent Fuel Transport Cask After Shaped Charge Attack; Nuclear Materials Management, 35th 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 den beiden Kernkraftwerksblöcken des Gemeinschaftskernkraftwerks Neckar wird insbesondere im Kapitel 2.4 (Beschreibung der Gesamtanlage) des Sicherheitsberichtes deutlich.

Die gegebenen personellen Überschneidungen bzw. Eigenständigkeiten sollten aus dem Kapitel 3.1 ersichtlich sein, werden dort jedoch nicht dargestellt.

Im Kapitel 5.5 des Sicherheitsberichts werden drei mögliche Ereignisse bei den Kernkraftwerken im Hinblick auf mögliche Auswirkungen auf das Zwischenlager betrachtet – Umstürzen des Fortluftkamins oder anderer Bauwerke, Turbinenversagen und Versagen von Behältern mit hohem Energieinhalt. Es wird festgestellt, dass dies Ereignisse entweder keine Effekte auf das Zwischenlager haben, oder durch andere, im Sicherheitsbericht betrachtete Ereignisse abgedeckt werden, ohne dass dies im Detail belegt wird.

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

Kurz wird auch auf mögliche Wechselwirkungen mit dem Interimslager für abgebrannten Kernbrennstoff am Standort Neckar eingegangen.

5.2 Infrastrukturelle und betriebliche Verknüpfung:

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

- Störmeldungen des Behälterüberwachungssystems werden zur Hauptwarte von Block II geführt und dort angezeigt.

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

- Verwaltungsgebäude / Eingangsgebäude
- Hauptpforte
- Werkstatt
- Anlagensicherungseinrichtungen
- Löschwasserversorgung
- Entsorgung von Niederschlagswasser
- Außenanlagen, z.B. Zäune und Straßen
- Im Bedarfsfall weitere Gebäude, Anlagen bzw. Systeme

Das GKN-Zwischenlager verfügt über einen Leiter, der von der Geschäftsführung der GKN GmbH benannt wird. Diesem Leiter steht eine Betriebsorganisation zur Verfügung, die alle Stellen enthält, die zu einem ordnungsgemäßen und sicheren Betrieb des Zwischenlagers erforderlich sein soll.

Genauer wird zur Frage des Personals im Sicherheitsbericht nicht angegeben. Die o.g. Angaben deuten darauf hin, dass das Zwischenlager zumindest teilweise über spezielles Personal verfügt. Sie bleiben in dieser Hinsicht jedoch vage und unverbindlich.

Die Tatsache, dass Meldungen des Behälterüberwachungssystems in der Hauptwarte von Block II angezeigt werden, belegt andererseits zweifelsfrei, dass personelle Verknüpfungen zwischen Zwischenlager und Kernkraftwerken bestehen.

Das Zwischenlager ist an das betriebliche Straßennetz des GKN-Anlagengeländes angeschlossen. Sämtliche Straßen zum Lager führen dementsprechend relativ nahe an den Kernkraftwerksblöcken 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 insb. im direkt benachbarten Kernkraftwerksblock I
- Nicht-Verfügbarkeit von Personal für das Zwischenlager aufgrund spezieller Anforderung bei Problemen in den KKW, 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 in den Kernkraftwerken 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 zu den Kernkraftwerken erschwert wird und dass darüber hinaus mit erheblichen radioaktiven Kontaminationen der Zuluft derselben (z.B. der Reaktorwarten) zu rechnen ist.

Die sich daraus ergebenden Fragen nach der weiteren Zugänglichkeit der Reaktorwarten 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 in den Kernkraftwerken verbliebene Personal durch erhöhten Stress belastet werden. Dadurch können u.U. Pannen und Störfälle in den Kernkraftwerken 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 noch in einem eigenen Abschnitt 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 Sicherheitsbericht nicht behandelt.

Ein derartiger schwerer Unfall ist in jedem Kernkraftwerk möglich, auch am Standort Neckar, an dem sich ein älterer Reaktorblock (GKN I) sowie ein Block der neuesten Generation deutscher Kernkraftwerke (GKN II, Konvoi-Anlage) befinden.

Dennoch werden die Auswirkungen solcher Unfälle auf das Zwischenlager im Sicherheitsbericht nicht behandelt.

Dies ist nicht zulässig und stellt im übrigen einen Mangel an Konsistenz dar. Das Restrisiko-Ereignis „Flugzeugabsturz“ wird nämlich durchaus im Sicherheitsbericht kurz behandelt (wenn auch diese Behandlung im Einzelnen als mangelhaft zu bezeichnen ist, siehe Abschnitte 2 und 6), obwohl ihm im Sicherheitsbericht eine Eintrittswahrscheinlichkeit von $10E-9$ bis $10E-8$ pro Jahr zugeordnet wird, d.h. eine Wahrscheinlichkeit, die erheblich niedriger liegt als jene eines schweren Reaktorunfalls mit Kernschmelze.

5.5 Mögliche Wechselwirkungen mit dem Interimslager am Standort:

Unmittelbar neben dem Maschinenhaus des Kernkraftwerksblocks I, also nahe dem Eingang zum Zwischenlager, befindet sich das Interimslager für abgebrannten Kernbrennstoff, das bis zu 24 gefüllte Transport- und Lagerbehälter vom Typ CASTOR V/19 aufnehmen soll. Es befinden sich bereits Behälter im Interimslager.

Alle Behälter aus dem Interimslager sollen in das Standort-Zwischenlager verbracht werden, sobald dieses zur Verfügung steht (GKN, 2000).

Wenn es zu Verzögerungen bei der Räumung des Interimslagers kommt, kann dies zu einem gleichzeitigen Betrieb beider Lagereinrichtungen führen. Im Interimslager werden die Behälter im Freien, lediglich unter einer Abdeckung aus Beton, aufbewahrt.

Sie sind somit gegenüber Einwirkungen von außen besonders verwundbar. Weiterhin erfolgt keine kontinuierliche Kontrolle der Dichtigkeit. Auswirkungen von Freisetzungen aus dem Interimslager auf das Zwischenlager (sowie auch auf die Kernkraftwerksblöcke) sind nicht auszuschließen, werden jedoch im Sicherheitsbericht nicht betrachtet.

Quellenangaben zu Kapitel 5:

GKN (2000): Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar mbH: Interimslager für 24 Transport- und Lagerbehälter der Bauart CASTOR V/19 am Standort des Gemeinschaftskernkraftwerks Neckar, Kurzbeschreibung; Mai 2000

6 EXTERNE GEFAHREN

6.1 Darstellung externer Gefahren im Sicherheitsbericht:

Im Sicherheitsbericht finden folgende externe Gefahren Erwähnung:

Auslegungsstörfälle durch Einwirkungen von außen:

- Sturm, Regen, Schneefall, Frost
- Blitzschlag
- Hochwasser
- Erdbeben
- Bergschäden
- Brand außerhalb des Zwischenlagers

Restrisiko-Ereignisse:

- Einwirkungen gefährlicher Stoffe
- Druckwellen chemischer Reaktionen
- Flugzeugabsturz

Wechselwirkungen mit den Kernkraftwerken:

- Umstürzen des Fortluftkamins und anderer Bauwerke
- Turbinenversagen
- Versagen von Behältern mit hohem Energieinhalt

Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen Dritter

Von besonderer Bedeutung für den Standort Neckar sind dabei die Themenkreise Erdbeben, Flugzeugabsturz sowie Einwirkungen von den Kernkraftwerken auf dem Gelände. Der letzte Punkt wird getrennt, in Zusammenhang mit den sonstigen Abhängigkeiten zwischen Kernkraftwerken und Zwischenlager, behandelt (Abschnitt 5). Auf die Themen Erdbeben und Flugzeugabsturz wird hier genauer eingegangen.

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

Die anderen Punkte werden hier 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 verkehrsrechtli-

che Zulassung bekommen werden, die eine notwendige Bedingung für die Einlagerung ins Zwischenlager darstellt (jedenfalls nach der bisherigen und derzeitigen Praxis).

6.2 Erdbeben:

Für die Auslegung des GKN-Zwischenlagers wird das Bemessungsspektrum für das Sicherheitserdbeben verwendet, das bereits für die Auslegung des 1989 in Betrieb gegangenen Kernkraftwerksblocks II zugrunde gelegt wurde. Die diesbezüglichen im Sicherheitsbericht gemachten Angaben werden weder begründet, noch wird auf entsprechende Quellen hingewiesen. Insofern sind die gemachten Angaben nicht nachvollziehbar.

Die fehlende Nachvollziehbarkeit ergibt sich auch hinsichtlich der aus einem „aktuellen Gutachten“ abgeleiteten Aussage, dass das der Auslegung des Zwischenlagers zugrunde gelegte Bemessungsspektrum sehr konservativ sei. Abgesehen davon, dass noch nicht einmal die entsprechende Quelle genannt wird, fehlen grundlegende Angaben im SB (z.B. zur Intensität des maßgeblichen Erdbebens). Dies ist umso unverständlicher, da andererseits sehr spezielle Angaben im SB gemacht werden (Tabelle 1.9/2: „Kontrollpunkte des modifizierten USAEC-Spektrums ...“).

Auch angesichts des möglichen Auftretens von Starkbeben, die die historisch überlieferten an Stärke erreichen oder übertreffen können, im Oberrheingraben und in der Schwäbischen Alb stellt sich die Frage, ob der im SB angegebene Bemessungswert für die horizontale Bodenbeschleunigung wirklich „sehr konservativ“ ist.

Im übrigen fehlt im Sicherheitsbereich jede Aussage darüber, ob sich im Zusammenhang mit seismischen Lastannahmen Besonderheiten daraus ergeben, dass das GKN-Zwischenlager als Tunnelbauwerk im Gestein des oberen Muschelkalk (ggf. auch der quartären Lockergesteine) konzipiert ist, bzw. um welche Besonderheiten es sich ggf. handelt.

Erst hieraus wären Aussagen zur Standsicherheit des Tunnelbauwerkes im Lastfall Erdbeben ableitbar.

Die Aussage, der durch Erdbeben induzierte Absturz der Kranbrücke sei für die Parkposition nachgewiesen, mag stimmen (eine Begründung wird nicht geliefert). Fraglich ist, was im Erdbebenfall geschieht, wenn die Parkposition gerade nicht eingenommen wird.

Das GKN-ZL ist insgesamt als Klasse I-Bauwerk gemäß der sicherheitstechnischen Regel KTA 2201.1 ausgelegt. Dies bedeutet, dass die Standsicherheit für das Bemessungserdbeben gewährleistet sein muss. Inwieweit dies tatsächlich der Fall ist, lässt sich auf der Grundlage der Ausführungen des Sicherheitsberichtes nicht beurteilen, da für die entsprechenden Aussagen bzw. Behauptungen keine wirklichen Begründungen geliefert werden (es werden nicht einmal entsprechende Quellen genannt).

6.3 Flugzeugabsturz:

6.3.1 Darstellung im Sicherheitsbericht:

Das Thema Flugzeugabsturz wird im Sicherheitsbericht in Kapitel 5.4.3 behandelt. Auf die Unvollständigkeit der Darstellung in diesem Kapitel wird auch an anderer Stelle eingegangen (siehe Abschnitt 2.6).

Im Sicherheitsbericht wird eingangs ein grober Bereich für die Eintrittshäufigkeit des Absturzes eines Kampfflugzeuges auf die oberirdischen Bereiche des Zwischenlagers angegeben. Die angegebene Zahl erscheint konsistent mit Angaben in Sicherheitsberichten für andere Standorte.

Soweit ersichtlich, beziehen sich die Ausführungen im Sicherheitsbericht ausschließlich auf den Absturz von militärischen Flugzeugen. Auf den Absturz eines Verkehrsflugzeuges wird nicht eingegangen; jedenfalls werden hierfür keine Wahrscheinlichkeiten angegeben und es gibt bei der (sehr knapp gehaltenen) Diskussion möglicher Folgewirkungen keinerlei Differenzierung bzgl. Stoßlast, Kerosinmengen u.a.. Dies ist aus mehreren Gründen nicht akzeptabel:

- In ca. 120 km Entfernung vom Standort befindet sich der internationale Großflughafen Frankfurt/Main, sowie in ca. 25 km Entfernung der Flughafen Stuttgart, der ebenfalls von großen und mittleren Verkehrsflugzeugen frequentiert wird. Allein deshalb wäre eine Behandlung des Problemkreises „Absturz eines Verkehrsflugzeuges“ unverzichtbar gewesen.
- Insbesondere angesichts der Gefahr von gezielt herbeigeführten Abstürzen mittlerer oder großer Verkehrsflugzeuge ist es nicht plausibel, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit für den Absturz eines Militärflugzeuges größer ist als jene für den Absturz eines Verkehrsflugzeuges.
- Im Hinblick auf die Lasten 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 weiterhin nicht nur von der Geschwindigkeit, sondern auch von der Gesamtmasse und von deren Verteilung beim Aufprall ab.
- Im Hinblick auf Trümmerlasten sowie die Einwirkung von Treibstoffbränden sind Kampfflugzeuge gegenüber Verkehrsflugzeugen keinesfalls abdeckend. Sowohl die Gesamtmasse als auch die mitgeführte Treibstoffmenge kann im letzteren Fall um einen Faktor zehn und mehr höher liegen.

Laut Sicherheitsbericht soll durch die Bauweise ein Gebäudeeinsturz ausgeschlossen sein und ein abstürzendes Flugzeug oder größere Teile davon sollen nicht in den Lagerbereich eindringen können. Dies soll einerseits durch das Deckgebirge, andererseits durch das Eingangsgebäude gewährleistet werden.

Insbesondere für den Fall des Eingangsgebäudes fehlen die entsprechenden Nachweise selbst für den Absturz eines Militärflugzeuges.

Im Sicherheitsbericht wird weiterhin nicht ausgeschlossen, dass größere Teile der Decke auf einen gerade im Handhabungsbereich befindlichen Behälter abstürzen.

Ein Treibstoffbrand im Zwischenlager als Folge eines Flugzeugabsturzes wird im Sicherheitsbericht aufgrund der Existenz einer „Auffangwanne“ für Regenwasser, die ggf. auch Kerosin rückhalten soll, das in Abluftkamin bzw. Abluftbauwerk eindringt, ausgeschlossen. Dies wird selbst für Militärflugzeuge nicht genauer belegt.

Es wird weiterhin nicht behandelt, welche Szenarien bei den großen Kerosinmengen aus den Tanks eines Verkehrsflugzeuges bzw. beim Eindringen von Kerosin über das Abluftbauwerk, das Fluchtbauwerk und insbesondere auch über den Eingangsbereich möglich wären.

Nach den Ausführungen im Sicherheitsbericht kann ein längerer Brand im Zwischenlager im Falle eines Flugzeugabsturzes nicht belastbar ausgeschlossen werden.

Für den Fall einer vollständig unterbundenen Wärmeabfuhr durch den 100%igen Verschluss des Kamins durch Trümmer ergibt sich lt. SB innerhalb von fünf Tagen eine Erhöhung der Tunnelwandtemperatur auf ca. 150 °C. Dies sei für die Standsicherheit der Tunnelkonstruktion sowie für die Behälter unkritisch. In dieser Zeit könnten Aufräumarbeiten durchgeführt und die vollständige Wärmeabfuhr wiederhergestellt werden.

Die Angabe zur Temperaturerhöhung im Tunnel wird nicht belegt. Ebenso wird nicht nachgewiesen, dass der Zeitraum von fünf Tagen in jedem Fall für Räumungsarbeiten ausreichend ist.

Eine Gefährdung der Behälterintegrität nach Verschluss des Kamins kann somit anhand der Angaben im Sicherheitsbericht nicht ausgeschlossen werden.

6.3.2 Grundsätzliches zum Schutz gegen Flugzeugabsturz:

Im Zwischenlager Neckar soll bei Einwirkungen von außen ein Schutz der Behälter durch die unterirdische Bauweise gewährleistet sein. Dies ist jedenfalls vom Konzept her ein Mehrbarrierensystem und damit vorteilhafter als die Planung bei den anderen Standort-Zwischenlagern, insbesondere jenen im süddeutschen Raum.

Bei den anderen süddeutschen Zwischenlagern soll der Schutz gegen Einwirkungen von außen ausschließlich durch die Behälter gewährleistet werden.

Das Mehrbarrierensystem ist beim Zwischenlager Neckar allerdings lediglich gegen mechanische Einwirkungen im Lagerbereich gegeben. Es besteht kein ausreichender Schutz gegen das Eindringen von Kerosin und damit schwere thermische Belastungen. Im Gegensatz zu einem oberirdischen Zwischenlager in Hallenbauweise ist allerdings die Wahrscheinlichkeit des Eindringens großer Kerosinmengen in den Lagerbereich geringer, da die bei Flugzeugabsturz verwundbare Fläche kleiner ist. Daraus folgt, dass die Wahrscheinlichkeit eines Auftreffens auf diesen verwundbaren Bereich (Eingangsgebäude und die ersten Meter der Lagertunnel) ebenfalls kleiner sowie die Wahrscheinlichkeit, dass sich praktisch das gesamte Kerosin außerhalb des Zwischenlagers verteilt, größer ist als bei einem der oberirdischen Zwischenlager.

Im Vergleich zu den oberirdischen Zwischenlagern ist somit insgesamt festzustellen, dass das Konzept des Zwischenlagers Neckar deutliche Vorteile aufweist. Unfälle mit schweren Freisetzungen radioaktiver Stoffe sind mit geringerer Wahrscheinlichkeit zu befürchten.

Solche Unfälle sind allerdings nicht völlig auszuschließen; das unterirdische Lagerkonzept, wie am Standort Neckar realisiert, kann nicht als völlig katastrophensicher bezeichnet werden.

Auf die grundsätzliche Einschätzung dieses Konzeptes wird auch in Kapitel 3.5 eingegangen.

6.3.3 Gefahren durch Absturz von Kampfflugzeugen:

Trotz der aufgezeigten Lücken und Mängel, die der Sicherheitsbericht im Hinblick auf die Behandlung des Absturzes eines Militärflugzeugs aufweist, ist davon auszugehen, dass der Absturz eines Militärflugzeugs beim Zwischenlager Neckar mit deutlich geringerer Wahrscheinlichkeit zu gravierenden Folgen führt, als bei einem oberirdischen Zwischenlager.

Wichtigste Schwachstelle dürfte dabei das Eingangsgebäude sein. Auch unter der Annahme, dass es den vorgeschriebenen Schutzstandard gegen Flugzeugabsturz erfüllt (entsprechend den RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren (RSK, 1981)), bleiben Lücken im Sicherheitsnachweis. Beim Absturz eines Militärflugzeuges wird 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:

Wie bereits erwähnt, haben Verkehrsflugzeuge im allgemeinen eine erheblich größere Masse und führen einen erheblich größeren Vorrat an Treibstoff mit als Kampfflugzeuge. Daraus folgt im Falle eines Absturzes eine besondere Gefährdung oberirdischer Bauten durch die Stoßlast, sowie eine besondere Gefährdung des Lagerbereiches selbst durch eindringendes Kerosin.

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):

Tabelle 2: Daten typischer Verkehrs- und Kampfflugzeuge

Flugzeugtyp	Max. Startgewicht	Max. Treibstoffvorrat ⁺⁾
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 Stuttgart, Frankfurt 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. 25 km Abstand von der Startbahn noch nicht einmal 0,7 % 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 Megagramm 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 bei Auftreffen auf den verwundbaren Bereich des Zwischenlagers (s. oben) in jedem Fall die oberirdischen Bauten schwer beschädigt werden und Mengen an Treibstoff in das Zwischenlager gelangen können, die auf einer begrenzten Fläche für ein mehrstündiges Feuer ausreichend sind.

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

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 Neckar:

Für den Standort Neckar ist sowohl die Gefährdung durch den Absturz von Kampfflugzeugen, als auch jene durch den Absturz von Verkehrsflugzeugen von Bedeutung, obgleich, wie bereits festgestellt, die Bedrohung insgesamt als geringer einzuschätzen ist als bei den oberirdischen Zwischenlagern.

In der Umgebung des Standortes ist mit besonderer Flugtätigkeit von Kampfflugzeugen zu rechnen. Laut Sicherheitsbericht befindet sich drei militärische Nachttiefflugstrecken im 50 km-Umkreis.

Der internationale Großflughafen Frankfurt/Main befindet sich in ca. 120 km Entfernung in nordnordwestlicher Richtung, der Flughafen Stuttgart in ca. 25 km Entfernung in südlicher.

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 und unauffällig 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:

„Grundsätzlich wird der erforderliche Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter durch die Auslegung der Transport- und Lagerbehälter selbst erreicht. Aufgrund der Gebäudeauslegung ist eine weitere Schutzfunktion wirksam.“ (S. 2.2-6)

Darüber hinaus wird noch erwähnt, dass es administrative und technische Maßnahmen zur Sicherung 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. Auf die Grenzen der Schutzfunktion der Gebäudeauslegung insb. beim Absturz eines Verkehrsflugzeugs wurde bereits hingewiesen. 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 unglaubhaft 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 im Lagerbereich, der im Sicherheitsbericht gar nicht betrachtet wird. 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 Abstürzen 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 zwei Reaktoren als weitere und u.U. ‚attraktivere‘ Ziele in der unmittelbaren Nachbarschaft befinden. Vielmehr besteht die Gefahr, dass Angriffe auf die Kernkraftwerke 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. über 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 der Kernkraftwerke beeinträchtigen könnte.

6.4.5 Beschuss des Lagers und seiner Umgebung von außen:

Die Zerstörung eines CASTOR-Behälters durch Beschuss des Lagers von außen stellt einen erheblich komplizierteren Vorgang dar als ein Angriff von innen. Insbesondere angesichts der unterirdischen Anlage des GKN-Zwischenlagers handelt es sich dabei am Standort Neckar um ein eher untergeordnetes Risikomoment.

Im Interimslager sind die Behälter lediglich durch eine Beton-Umhausung mit 40 cm Wandstärke geschützt (GKN, 2000).

Noch verwundbarer gegenüber Beschuss mit panzerbrechenden Waffen von außen sind Behälter während des internen Transportes vom Kernkraftwerk (bzw. Interimslager) zum Zwischenlager. Ein direkter Beschuss mit einer panzerbrechenden Hohlladungsgrenate 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 1.600 Mg Schwermetall beantragt.

Die aufgrund der vorgesehenen Laufzeiten gemäß Energiekonsens erforderliche Kapazität läge bei ca. 390 Mg, wenn das Nasslager (Lagerbecken im Reaktorgebäude) voll genutzt wird und die bis 2005 vom KKW-Betreiber geplanten Transporte zur Wiederaufarbeitung in Frankreich und Großbritannien durchgeführt werden. Unterbleiben die Transporte zur Wiederaufarbeitung, erhöht sich diese Menge auf ca. 500 Mg.

Bei kompletter Räumung der Nasslager (die aus technischen Gründen keineswegs sofort bei Stilllegung des Kernkraftwerkes erforderlich wird) und ohne Transporte zur Wiederaufarbeitung wäre eine Zwischenlager-Kapazität von ca. 1.030 Mg erforderlich (eigene Abschätzung gemäß (BUNDESREGIERUNG, 2000; RENNEBERG, 2001; GRS, 2001)).

Dabei wurde die Kapazität der Lagerbecken und deren 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 der beiden Reaktorkerne berücksichtigt.

Die beantragte und auch die reduzierte Menge können also auf jeden Fall nur erreicht werden, wenn die Anlagen länger laufen als im Basisfall des Energiekonsens (entsprechend den Regelungen der neuen Atomgesetz-Novelle, die am 01.02.2002 vom Bundesrat abschließend beraten wurde) vorgesehen, z.B. durch Übertragung von Laufzeiten von älteren Anlagen auf die Blöcke am Standort.

Je größer das im Zwischenlager eingelagerte Inventar, desto größer können bei schweren Unfällen die radioaktiven Freisetzungen sein.

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.

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.

Quellenangaben zu Kapitel 6:

AIRBUS (2001): Website des Airbus-Konsortiums, 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

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

BOEING (2001): Website von Boeing, 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

GKN (2000): Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar mbH: Interimslager für 24 Transport- und Lagerbehälter der Bauart CASTOR V/19 am Standort des Gemeinschaftskernkraftwerks Neckar, Kurzbeschreibung; Mai 2000

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

LANGE & PRETZSCH (1994): Lange, F. & Pretzsch, G.: Experimental Determination of UO₂-Release from a Spent Fuel Transport Cask after Shaped Charge Attack; Nuclear Materials Management, 35th 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). 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/, eingesehen am 15.10.2001

7 SZENARIO: ABSTURZ EINES VERKEHRSFLUGZEUGES

7.1 Einleitung

Der Absturz eines Verkehrsflugzeuges und die daraus möglicherweise resultierenden Brände bei hoher Temperatur und langer Dauer werden bei der Sicherheitsanalyse von Brennelemente-Zwischenlagern bisher ausgeschlossen.

Im Gegensatz zu den anderen geplanten Standort-Zwischenlagern, bei denen die Behälterwand bzw. das Deckelsystem die einzige wirksame Barriere gegen Einwirkungen von außen darstellt, ist am Standort Neckar während der Zwischenlagerung durch die unterirdische Bauweise ein Mehrfachbarrierensystem gegen mechanische Belastungen sowie auch ein weitergehender Schutz gegen Eindringen von Kerosin in einen Lagerbereich gegeben.

Der Absturz eines Verkehrsflugzeugs auf das Zwischenlager Neckar kann voraussichtlich lediglich im Fall eines Auftreffens auf die oberirdische Eingangshalle und die ersten Meter des Lagerbereiches – die noch nicht von Gesteinsschichten überdeckt sind – zu einem größeren Brand in einem Lagerbereich führen.

Die Auswirkung eines Unfalles mit Brand 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) quantifiziert. Die Freisetzungsmengen werden beispielhaft für das Behälterinventar eines CASTOR V/19 (mit 19 DWR-Brennelementen) ermittelt.

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

7.2 Brandszenario

7.2.1 Branddauer

In der Folge eines Flugzeugabsturzes auf das Zwischenlager kann – im Vergleich zu oberirdischen Zwischenlagern – lediglich ein relativ kleiner Teil des in den Tanks vorhandenen Kerosins in den vorderen Sektor eines Lagerbereichs eindringen. Abschätzungen ergeben einen Anteil von 10 – 20% der Kerosinmenge eines großen Verkehrsflugzeugs, die sich auf eine Fläche von 100 – 150 m² verteilen. Bei einer Boeing B-747 mit einer Treibstoffkapazität von ca. 160 Mg und Bildung von Mittelwerten der o.g. Angaben folgt ein Brand mit einer Verteilung von 24 Mg Kerosin (15 %) auf eine Fläche von 125 m². Auf dieser Fläche stehen ca. 14 Behälter. Dieses Brandszenario wird hier näher betrachtet.

Bei einem Brand im Tunnel muss im Vergleich zum Brand in einem teilzerstörten Gebäude mit einer deutlich geringeren Abbrandgeschwindigkeit gerechnet werden. Der in dem oben skizzierten Unfallszenario betrachtete Brand findet allerdings sowohl im teilweise zerstörten Gebäude, als auch im Tunnelbereich statt. Für diesen Fall sind in der Literatur keine Betrachtungen zu Abbrandgeschwindigkeiten bekannt. Daher wird mangels genauerer Orientierungswerte und als plausible, wenn auch u.U. etwas zu hoch liegende Annahme eine Abbrandgeschwindigkeit von 49,2 kg/h*m² ((HÄHNEL, 1978); wie bei den oberirdischen Zwischenlagern, vgl. insb. die parallel erarbeiteten Stellungnahmen zu Biblis, Grafenheinfeld und Philippsburg) angenommen. Unter diesen Umständen wäre ein Brand von knapp 4 Stunden Dauer möglich.

Dabei muss der Brandverlauf derart angenommen werden, dass die Flammen den gesamten Tunnelquerschnitt ausfüllen und sowohl an der Vorderseite (Gebäude) als auch im vorderen Tunnelsektor in einer Tiefe von ca. 12 –13 m brennen. Die Flammen schlagen infolge der Abluftventilation durch den Tunnel zum Teil tiefer in den Lagertunnel hinein, wobei die Flammenlängen eine Beaufschlagung auch einer größeren Zahl von Behältern als auf der eigentlichen Brandfläche möglich erscheinen lassen. Aus diesem Grund erscheinen bei dem hier betrachteten Brandszenario Abzüge von der betroffenen Behälterzahl (wie bei den oberirdischen Zwischenlagern in Ansatz gebracht, da bei diesen u.U. einige Behälter auf der Brandfläche nicht vollständig von den Flammen eingehüllt werden) nicht angebracht.

Von einer Verkürzung der Branddauer durch Gegenmaßnahmen kann nicht ausgegangen werden. Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Brandbekämpfung ist schon bei Großbränden in oberirdischen Zwischenlagern anzunehmen, dass die Branddauer nur durch die Brennstoffmenge begrenzt wird. Dies gilt verstärkt für Brände im Tunnelbereich, bei denen weitere Erschwernisse auftreten – eine Bekämpfung des Brandes ist, wenn überhaupt, nur „einseitig“ möglich.

7.2.2. Flammentemperatur:

Entscheidend für die thermische Belastung der Behälter ist die Flammentemperatur im Tunnelbereich, die auf diese einwirkt. Eine über das Gesamtfeuer (einschl. der Bereiche außerhalb des Tunnels) gemittelte Temperatur wäre insofern wenig aussagekräftig.

Durch die tunnelartige Bauweise sind die Wärmeabzugsbedingungen bei dem betrachteten Feuer als ungünstiger einzuschätzen als bei einem Brand in einem oberirdischen Zwischenlager. Im vorderen Lagerteil ist eine teilweise Verschließung des Eingangsbauwerks durch das abgestürzte Flugzeug sowie durch Bauteile zu erwarten. Daher ist insgesamt eine Ventilationssteuerung des Feuers anzunehmen.

Die Flammentemperaturen können schon in Gebäuden in der Vollbrandphase höhere Werte als die oft angenommenen 600 °C oder 800 °C erreichen. Bei begrenzt möglicher Wärmeableitung kann es zum Wärmestau mit Temperaturen von weit über 1000 °C kommen. In der Literatur werden z.B. folgende Werte für Brände in Gebäuden angegeben: ca. 1200 °C für Erdöl und Erdölprodukte (KENNWERTE, 1988), 1050 °C für Kerosin (BUSSENIUS, 1996).

Bei eingeschränkter Ventilation und begrenzter Wärmeübertragung an die Umgebungsluft (wie im Tunnelbereich) ist mit Temperaturen von 1200 °C und mehr zu rechnen. Im Hinblick auf den Temperatur-Zeit-Verlauf ist im Tunnel ein rasches Ansteigen der Temperatur nach Brandbeginn zu erwarten. Werte von ca. 1200 °C und höher werden innerhalb von etwa zehn Minuten erreicht (siehe z.B. die von DAHL (2001) aufgeführten Temperatur-Zeit-Kurven). Danach können die Temperaturen während eines längeren Feuers noch weiter zunehmen und unter den gegebenen Umständen sogar 1300 °C erreichen.

Für die weiteren Überlegungen wird von einer konstanten Flammentemperatur von 1200 °C ausgegangen. Die vereinfachende Annahme, dass diese Flammentemperatur bei Brandbeginn ohne Zeitverzögerung erreicht wird und dann bis Brandende unverändert gegeben ist, kommt nach den obigen Ausführungen den real zu erwartenden Verhältnissen ziemlich nahe und unterschätzt die auftretenden Belastungen u.U. noch.²

² Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für das Interimslager Biblis wurden für einen Kerosinbrand nach Absturz einer Boeing 747-400 ebenfalls Flammentemperaturen von 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

7.3 Dichtungsversagen der Behälter:

Die Versagenstemperatur der Metaldichtungen der Behälter ist im Bereich von 400 °C bis 500 °C anzunehmen (vgl. z.B. (PSE 7, 1985; PSE 8, 1985); in den Sicherheitsberichten der Standort-Zwischenlager, auch des Zwischenlagers Neckar, wird für kurzzeitige Belastungen der Wert 400 °C angegeben).

Es sind keine Angaben darüber bekannt, nach welcher Feuerdauer bei einem Behälter CASTOR V/19, der einem Brand mit einer Flammentemperatur von 1200 °C ausgesetzt ist, diese Temperaturen im Dichtungsbereich erreicht werden. Im Vergleich zu dem für die oberirdischen Zwischenlager angenommenen Zeitverlauf ist aber mit einer deutlich höheren thermischen Belastung zu rechnen. Die für die Erwärmung des Behälter relevante Wärmeeinstrahlung ist bei einem 1200 °C-Feuer ca. um den Faktor 1,8 höher als bei einem 1000 °C-Feuer.

Angesichts der Ergebnisse für das 1000 °C-Feuer (in dem entsprechenden Brandszenario wurde Dichtungsversagen bei der Hälfte der Behälter nach 3 h, bei allen Behältern spätestens nach 5 h angenommen; für genauere Ausführungen vgl. die parallel erarbeiteten Stellungnahmen zu Biblis, Grafenrheinfeld und Philippsburg) ist davon auszugehen, dass Metaldichtungen bereits ab etwa 2 h nach Brandbeginn versagen und noch vor dem Ende des Feuers (das nach rund 4 Stunden angenommen wurde) sämtliche betroffenen Behälter undicht geworden sind.

7.4 Ermittlung der Freisetzung

Die für die Freisetzung relevante Behälterinnentemperatur wurde für den Brand in einem oberirdischen Zwischenlager mit 5 h Dauer und 1000 °C Flammentemperatur mit bis zu 550 °C angenommen (für Details, auch zum weiteren Zeitverlauf des dort betrachteten Brand-szenarios, siehe die parallel erarbeiteten Stellungnahmen zu den Zwischenlagern Biblis, Grafenrheinfeld und Philippsburg).

Der Wärmeeintrag in die Behälter ist bei dem hier betrachteten Szenario (4 h Dauer, 1200 °C) zweifellos höher. Eine belastbare Quantifizierung der daraus resultierenden Innentemperatur ist im Rahmen dieser Stellungnahme nicht möglich. Dem verstärkten Wärmeeintrag gegenüber dem Szenario für die oberirdischen Zwischenlager wird daher durch einen Zuschlag von 20 ° zu dem genannten Wert von 550 °C Rechnung getragen, wobei nicht gewährleistet ist, dass dieses Vorgehen konservativ ist.

Für die Berechnung der freigesetzten Mengen wird konservativ 100 % Hüllrohrschaden angenommen. In Analogie zur Vorgehensweise in (TÜV, 1995) kann ermittelt werden, dass sich bei der so festgelegten Innentemperatur von 570 °C etwa 5600 TBq Cs-137 in der Be-

RWE Power AG; 20.12.2001, Az. GZ-V3 - 8532 510, veröffentlicht Mitte Februar 2002). Dabei handelt es sich um einen Brand im Freien, bei dem grundsätzlich niedrigere Temperaturen erreicht werden als in einem weitgehend geschlossenen Raum. Eine Flammentemperatur von 1200 °C ist somit nicht als konservative Obergrenze für einen Brand im Tunnel anzusehen. Die kürzere Dauer des Brandes im Interimslager dagegen ist auf die Situation im Zwischenlager Neckar 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 Tunnelbereich.

hälteratmosphäre befinden. Bei einem Freisetzunganteil von ca. 0,0124 innerhalb der ersten 10 Stunden resultiert für 14 Behälter eine Freisetzungsmenge von rd. 1000 TBq Cs-137.

Es ist anzunehmen, dass die „Abkühlung“ der Behälter im Tunnel langsamer als in einem Gebäude erfolgen wird. Hier wird davon ausgegangen, dass die Freisetzung für weitere 14 Stunden bei einer gemittelten Temperatur von ca. 500 °C erfolgt. Bei einer Menge von ca. 2400 TBq Cäsium-137 in der Behälteratmosphäre folgt eine zusätzliche Freisetzung von ca. 500 TBq.

Insgesamt liegt somit die Freisetzung innerhalb der ersten 24 Stunden bei etwa 1500 TBq Cs-137.

Die Freisetzung für die nächsten 24 Stunden ermittelt sich bei angenommenen 400 °C Innentemperatur, entsprechend ca. 530 TBq Cs-137 in der Behälteratmosphäre, zu rd. 180 TBq.

Die im betrachteten Szenario (Branddauer ca. 4 h, Flammentemperatur 1200 °C, 14 Behälter sind betroffen) freigesetzten Mengen an Cs-137 sind also (grobe Richtwerte):

Tabelle 3: Ermittelte Freisetzung nach Absturz eines Verkehrsflugzeugs auf das Zwischenlager Neckar

Zeitspanne	Freigesetztes Cäsium-137
0 – 10 Stunden	1000 TBq
0-24 Stunden	1500 TBq
0 – 48 Stunden	1700 TBq

Quellenangaben 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

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

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

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

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 rechten Neckarufer liegt und der Neckar in den Rhein mündet. Der Rhein fließt nach Norden in die Nordsee.

Wie in den voranstehenden Kapiteln ausgeführt, ist beim Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs auf den Eingangsbereich der Lagerhalle eine Beschädigung der Halle und ein Treibstoffbrand in der Halle nicht auszuschließen.

Bei einem länger andauernden Treibstoffbrand ist mit dem Versagen der Behälterdichtungen im Zentrum des Brandes zu rechnen. Dabei sind radioaktive Emissionen nicht auszuschließen. Die möglichen Auswirkungen dieser Emissionen in Österreich wurden daher untersucht.

8.2 Abschätzung der Deposition radioaktiver Stoffe nach einem Flugzeugabsturz

Aufgrund der Ausführungen in Kapitel 7.4 wird zur Abschätzung der potentiellen Folgen eines Unfalls im Standortzwischenlager Neckar für Österreich der Absturz eines Verkehrsflugzeugs mit Treibstoffbrand angenommen. **Tabelle 4** gibt einen Überblick über das unterstellte Freisetzungsszenario.

Tabelle 4: Quellterm für die Analyse der Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes aufs Zwischenlager in Österreich

Zeitspanne	Freigesetztes Cäsium-137
1. Phase: 10 h	1000 TBq
2. Phase: 14 h	500 TBq
3. Phase: 24 h	200 TBq

Als Quellterm wird gemäß Szenario in Kapitel 7.4 zunächst nur die erste Phase der Freisetzung von 1000 TBq ($1,0 \cdot 10^{15}$ Bq) Cs-137 –als Leitnuklid – betrachtet. Die Freisetzung erfolgt über einen Zeitraum von 10 Stunden bei einer Branddauer von 4 Stunden.

Unter Zugrundelegung dieses Quellterms wurden vom Institut für Meteorologie und Physik der Universität für Bodenkultur in Wien mit dem Lagrange'schen Partikel-Ausbreitungsmodell Flexpart (STOHL et al., 1998) realistische Szenarien für das Standortzwischenlager Biblis simuliert.

Jedes Szenario beruht auf einer von 88 realen meteorologischen Situationen. Es wurden die selben 88 Situationen aus dem Jahr 1995 und die selben meteorologischen Felder verwendet, die auch im Projekt Riskmap (ANDREEV et.al.1988, HOFER et al. 2000) benutzt wurden. Sie sind zufällig über die Tageszeiten und das Jahr verteilt. Dabei wurde eine effektive Quellhöhe von 50-200 m (gleichmässige Verteilung) angenommen. Die radioaktiven Aerosole werden durch den mittleren Wind transportiert, durch Turbulenz verdünnt und unterliegen trockener und nasser Deposition. Als Ergebnis wurde die gesamte Deposition auf einem Gitter mit einer Auflösung von 0,2 Grad in E-W Richtung und 0,125 Grad in N-S Richtung (ca. 15 km) dargestellt (siehe Abbildungen 1 bis 3).

Die Ergebnisse wurden nach der Häufigkeit verschiedener Werte der dabei in Österreich maximal aufgetretenen Deposition ausgewertet (siehe *Tabelle 5*).

Tabelle 5: 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.

maximale Deposition	Häufigkeit (absolut)	Häufigkeit in Prozent
> 50kBq/m²	0	0
20-50 kBq/m²	3	3
10-20 kBq/m²	5	6
5-10 kBq/m²	12	14
1-5 kBq/m²	15	17
Total	35	40

Obwohl die Entfernung vom Standort Neckar zum nächstgelegenen Punkt der österreichischen Grenze ca. 180 km beträgt, könnten Gebiete in Österreich in 40 Prozent der untersuchten Fälle mit radioaktiven Stoffen aus dem Zwischenlager kontaminiert werden. Die dabei maximal auftretende Deposition von Cäsium-137 wurde mit 25 kBq/m² errechnet (Abbildung 1), was bereits über der mittleren Kontamination in Österreich nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl liegt (21kBq/m²).

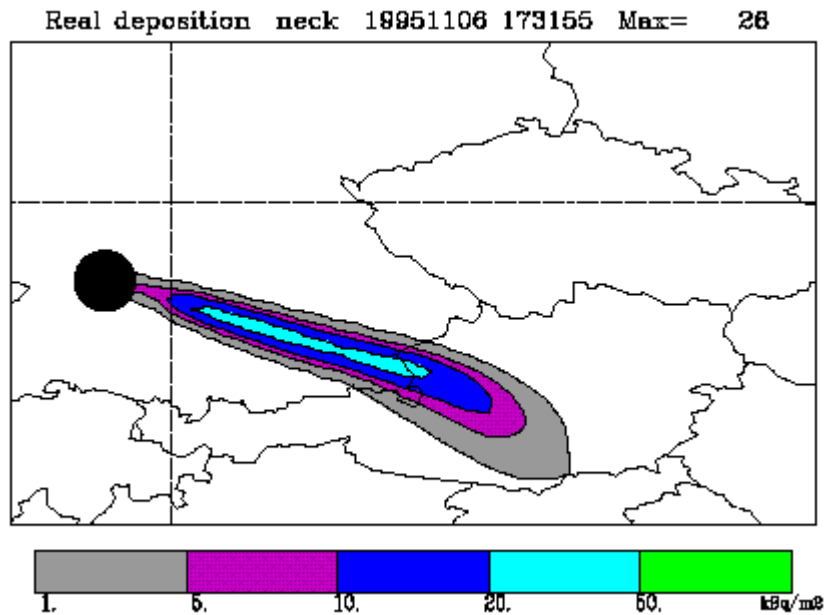


Abbildung 1: Berechnete Cs-137 Deposition nach Unfall im Brennelementlager Neckar, (meteorologisches Szenario mit Beginn der Emission am 6.11.1995, 15:31:55 UTC).

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen weitere Beispiele für meteorologische Situationen, in denen jeweils andere Teile Österreichs von einem Unfall im Zwischenlager Neckar betroffen wären.

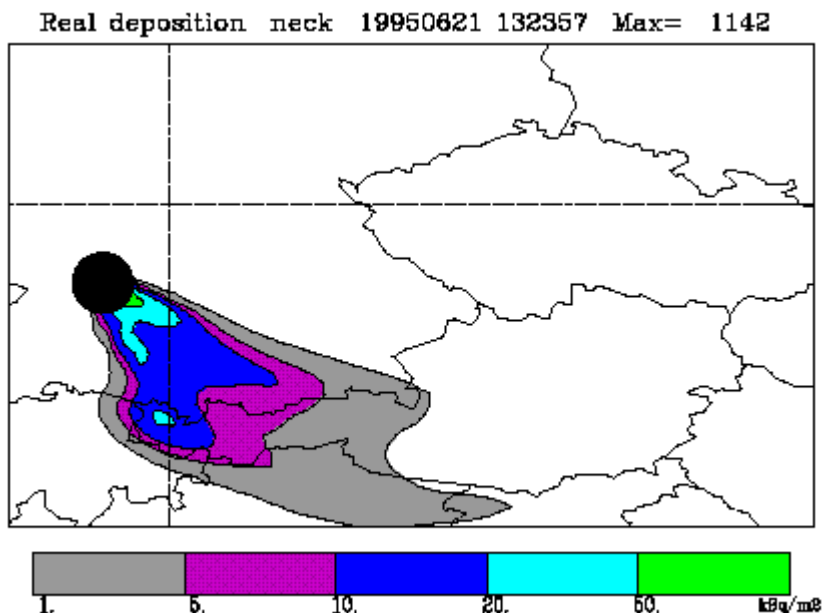


Abbildung 2 : Berechnete Cs-137 Deposition nach Unfall im Brennelementlager Neckar, (meteorologisches Szenario mit Beginn der Emission am 21.06.1995, 13:23:57 UTC).

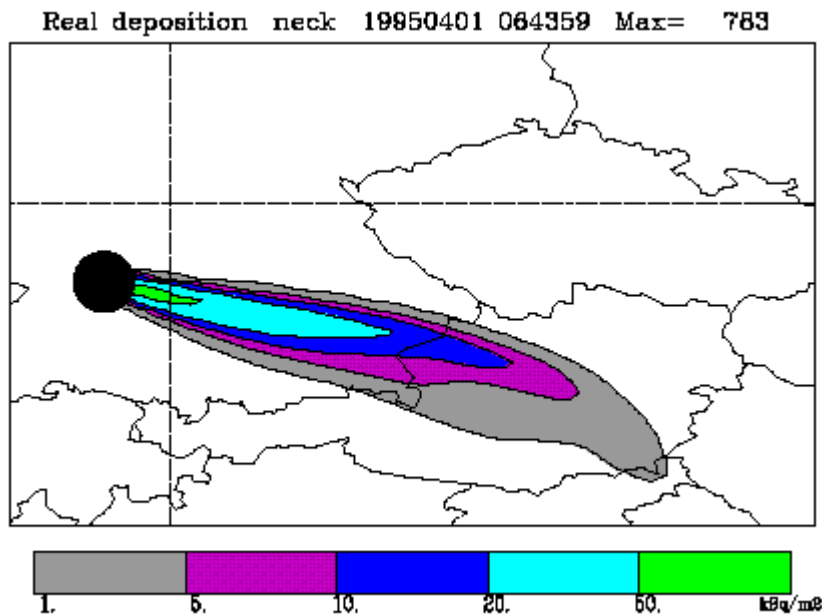


Abbildung 3: Berechnete Cs-137 Deposition nach Unfall im Brennelementelager Neckar, (meteorologisches Szenario mit Beginn der Emission am 01.04.1995, 06:43:59 UTC).

Entsprechend den in Kapitel 7.4 analysierten Brandszenarien beinhaltet der betrachtete Quellterm nur die erste Phase der Emission, während die nachfolgenden Freisetzungen vernachlässigt wurden.

Um sichtbar zu machen, wie stark sich die Deposition durch die folgenden Emissionsphasen noch erhöhen könnte, wurde die Berechnung für das meteorologische Szenario mit der größten Deposition in Österreich (6.11.1995) mit dem dreiphasigen Quellterm wiederholt (Abbildung 4, zu vergleichen mit Abbildung 1).

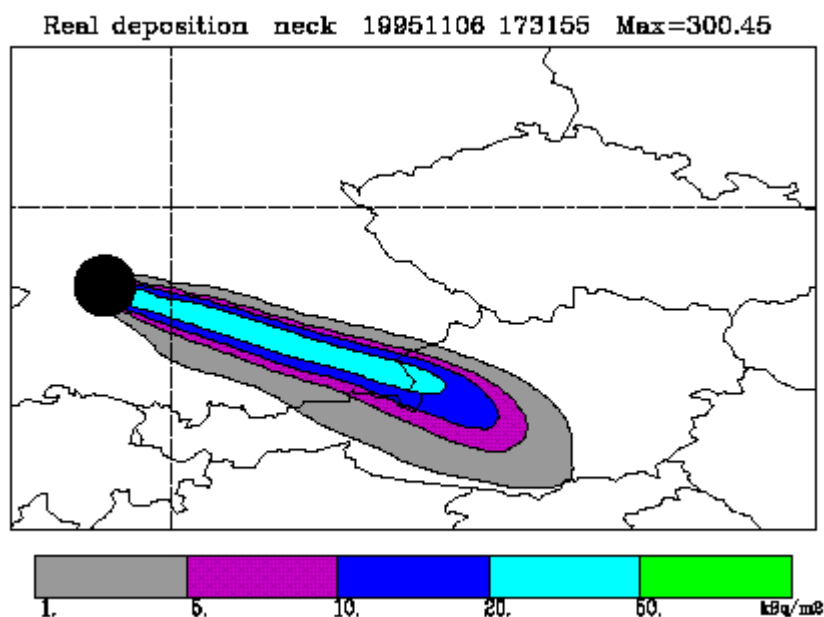


Abbildung 4 Berechnete Cs-137 Deposition nach Unfall im Brennelementelager Neckar, (meteorologisches Szenario vom 6.11.1995). ; Emission in drei Phasen: 1.Phase 10 Stunden 1000 TBq, zweite Phase 14 Stunden 300 TBq, dritte Phase 24 Stunden 200 TBq)

In diesem Fall erhöht sich die maximale Deposition in Österreich von 25 auf 31 kBq/m². - außerdem vergrößert sich die kontaminierte Fläche (vergleiche Abbildung 1 und Abbildung 4). Der Grund dafür ist, dass der Wind während der relativ langen Freisetzungszeit leicht dreht.

Die maximale Dosisleistung tritt dann auf, wenn unter den durch den Brand beschädigten Behältern ein großer Anteil an frisch eingelagerten ist, dann wird neben Cs-137 auch Cs-134 freigesetzt. Unter dieser Annahme errechnet sich die maximale Dosisleistung mit 0,20 µSv/h. Entsprechend den österreichischen Rahmenempfehlungen für den Strahlenschutz entspricht dies Warnpegel 1 (mehr als 15%ige Überschreitung des Normalwertes von durchschnittlich 0,1µSv/h). Bei diesem Warnpegel sind noch keine besonderen Gesundheitsgefahren zu erwarten und daher sind auch keine Strahlenschutz-Massnahmen zu treffen.

Trotzdem ist radioaktiver Fallout in dieser Größenordnung nicht als Normalzustand anzusehen. Außerdem ist festzuhalten, dass es sich dabei um langlebige Radionuklide handelt – vorwiegend Cäsium-137 mit 30 Jahren aber auch Iod –129 mit 16 Millionen Jahren Halbwertszeit. Iod 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 Iod ausgehende Strahlung das kleine Organ Schilddrüse belastet. Die biologische Halbwertszeit von Iod in der Schilddrüse beträgt 120 Tage. Die Verweildauer von Iod-129 in den oberen 30 cm des Erdbodens beträgt viele Jahrzehnte (LENGFELDER 1988).

Entsprechend den österreichischen Rahmenempfehlungen wird für solche Situationen (WP 1, Gefährdungsstufe 0) die volle Information der Bevölkerung über die ersten Messwerte, ergänzende Probenahmen und Messungen, verstärkte Lebensmittelkontrollen und Kontrolle gefährdeter Wasserversorgungsanlagen vorgesehen.

Quellenangaben zu Kapitel 8

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., Rappersberger 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 E (1988), 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)⁽⁴⁾.

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

- 110 Flüge auf Flugzeuge mit einem maximalen Startgewicht von über 200 t³. 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⁽⁵⁾) 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⁽⁶⁾) 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⁽⁷⁾) und Airbus der Serie 320 (ca. 75 t⁽⁸⁾).
- 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.

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.

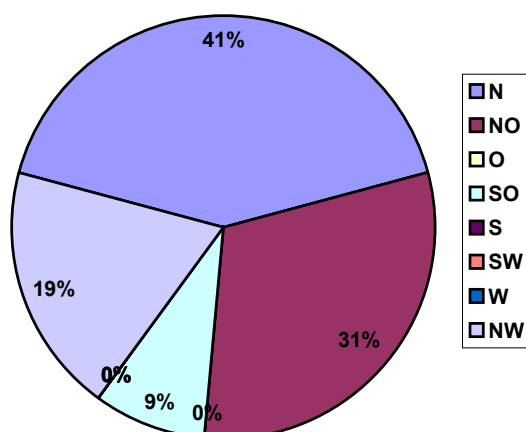
³ 1 t (Tonne) = 1 Mg (Megagramm). In den für die Zusammenstellung des Anhangs 6.A herangezogenen Quellen wird überwiegend noch die Einheit Tonne benützt. Diese Praxis wurde für diesen Anhang übernommen.

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.

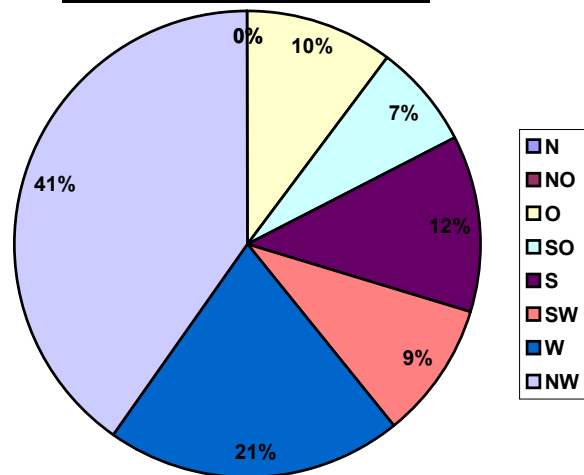
Im Folgenden soll die Abflugrichtung der Flugzeuge vom Flughafen Stuttgart betrachtet werden. Auf Grundlage von Daten des Statistischen Bundesamtes⁽¹²⁾ wurde eine Zuordnung der Flugziele (gewerbliche Verkehrsleistungen) nach der Himmelsrichtung vorgenommen, in der der Zielflughafen liegt⁽¹³⁾.

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.

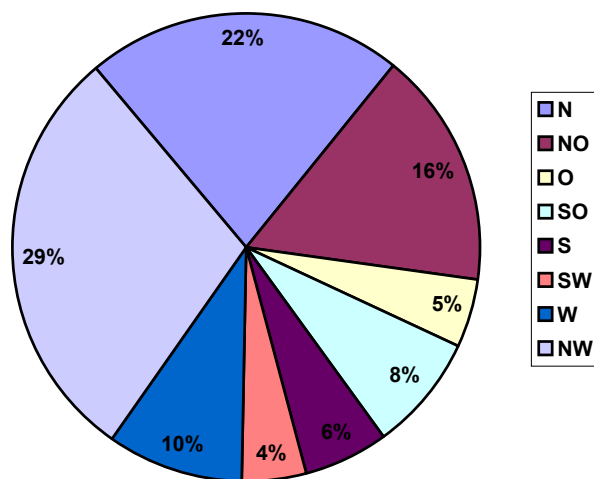
Abgänge vom Flughafen Stuttgart (Inland)
nach Himmelsrichtungen (Jahr 2000)



**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⁽⁴⁾. 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⁽¹²⁾:

- 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⁽²²⁾), Boeing 777 (15.364 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000⁽²²⁾), Boeing 767 (15.364 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000⁽²²⁾), McDonnell Douglas MD11 (7.455 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000⁽²²⁾), McDonnell Douglas DC10 (1.399 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000⁽²²⁾), sowie den Airbus-Baureihen A-330 (3.090 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000⁽²²⁾) und A-340 (14.607 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000⁽²²⁾). 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⁽²²⁾) und Airbus 310 (14.167 Flugzeugbewegungen im Jahr 2000⁽²²⁾). 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.

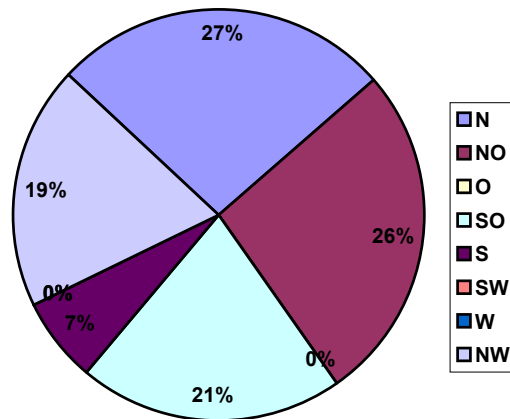
Das GKN liegt etwa 120 km südöstlich, das KKP etwa 90 km südlich, das KWB etwa 40 km südlich und das KKG etwa 115 km östlich des Flughafen Frankfurts.

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

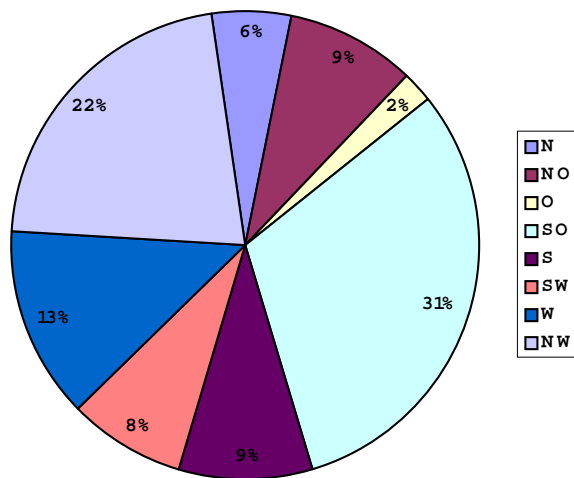
Hierbei wird unterschieden zwischen Zielflughäfen im In- und Ausland, da davon ausgegangen werden kann, dass Ziele im Ausland im Allgemeinen mit größeren Maschinen und mit

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.

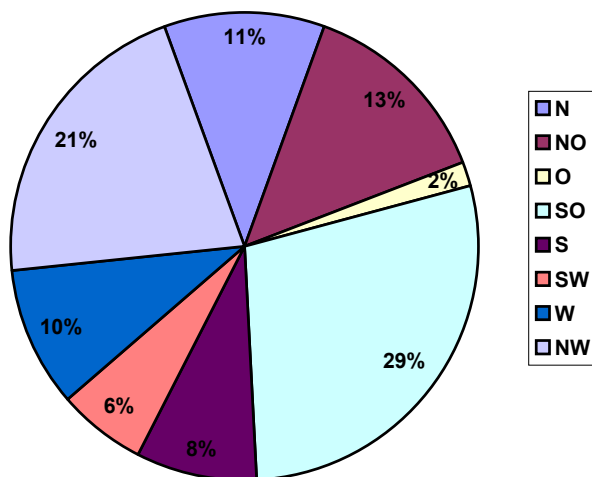
**Abgänge vom Flughafen Flughafen (Inland)
nach Himmelsrichtungen (Jahr 2000)**



**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 ⁽⁴⁾. 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 ⁽¹²⁾:

- 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.“⁽¹⁴⁾ Derzeitig werden im Linienverkehr ausschließlich Ziele im europäischen Ausland angefliegen.⁽¹⁵⁾ 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.⁽¹⁶⁾

Im Linienverkehr starten im Jahr 2002 etwa 100 Flugzeuge pro Woche⁽¹⁸⁾, wobei das größte eingesetzte Passagierflugzeug eine Boeing 767⁽¹⁷⁾ (Maximales Startgewicht: 181t, maximaler Tankinhalt: 90.000 l) ist. Im Frachtverkehr stellen Flugzeuge vom Typ Boeing 747⁽¹⁷⁾ (Maximales Startgewicht: 378t, maximaler Tankinhalt: ca. 200.000 l) und Antonov 124⁽¹⁷⁾ (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⁽¹⁹⁾ 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.“⁽²⁰⁾

Nach Airbusangaben⁽²¹⁾ 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.“⁽²¹⁾

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 ⁽¹⁾ ⁽²⁾ [t]	Max. Tankinhalt ⁽²⁾ [L]
Flugbewegungen, Maximal-Gewicht über 200t			Summe: 110	
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	
Flugbewegungen, Maximal-Gewicht 150 bis 199t			Summe: 2347	
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
Flugbewegungen, Maximal-Gewicht 100 bis 149t			Summe: 7927	
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
Flugbewegungen, Maximal-Gewicht 50 bis 99t			Summe: 59716	
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 ⁽³⁾	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 ⁽³⁾	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	
Flugbewegungen, Maximal-Gewicht unter 50t			Summe: 58077	
Sonstige (Hubschrauber, Kolbenflugzeuge)			Summe: 22274	
FLUGBEWEGUNGEN GESAMT			GESAMTSUMME: 150451	

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

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

Zielflughafen ⁽⁹⁾	Richtung	Flugzeugabgänge
Inland		
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
Europäisches Ausland		
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
GESAMT		31775

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

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

Zielflughafen ⁽¹⁰⁾	Richtung	Flugzeugabgänge
Inland		
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 ⁽¹⁰⁾	Richtung	Flugzeugabgänge
Ausland		
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 ⁽¹¹⁾	SÜD-OST	2578
Stockholm	NORD-OST	2471
Warschau	NORD-OST	2422
New York ⁽¹¹⁾	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 ⁽¹¹⁾	NORD-OST	2189
Chicago ⁽¹¹⁾	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 ⁽¹¹⁾	SÜD-OST	1425
Bologna	SÜD-OST	1417
Graz	SÜD-OST	1395
Zagreb	SÜD-OST	1392
Washington ⁽¹¹⁾	WEST	1369
Singapur ⁽¹¹⁾	SÜD-OST	1324
Dubai ⁽¹¹⁾	SÜD-OST	1297
Bangkok ⁽¹¹⁾	SÜD-OST	1269
Dublin	NORD-WEST	1230
Antalya ⁽¹¹⁾	SÜD-OST	1164
Atlanta ⁽¹¹⁾	WEST	1134
Innsbruck	SÜD-OST	1104
GESAMT (Inland + Ausland)		144981

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
eingesehen am 23.01.2002
- (16) 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 ⁽¹⁵⁾ 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

- 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; abcnews.go.com; europe.cnn.com, www.uwire.com).

		Lagerbereich 1 = L1						Lagerbereich 2= L2										
	80 Mg	Behälterfläche [m²]	Fläche L1, L1netto [m²]	Fläche L1, L1netto [m²]	m² pro Behälter	Behälter* bei L1 =netto 325 m²	Anzahl Behälter	Behälter fläche [m²]	Fläche L2 [m²]	Fläche L2 netto [m²]	m² pro Behälter	Behälter* bei L1 =netto 325 m²	Anzahl Behälter	Behälter fläche [m²]	Fläche L2 netto [m²]	Fläche L2 [m²]	Behälter* bei L1 =netto 325 m²	
		72	267	1150	883	1,30	16	44	296	1250	953,8	1,31	15,63	45	27			
		84	311	1400	1089	1,29	17	42	326	1500	1174	1,28	17,05	41	24			
		64	237	1150	913	1,26	18	38	263	1250	987,1	1,27	17,61	39	23			
		72	267	1150	883	1,30	16	44	296	1250	953,8	1,31	15,63	45	27			
		40	148	670	522	1,28	17	42	178	760	582,3	1,31	15,83	45	27			
		73	270	1000	730	1,37	14	13	293	1000	707,5	1,41	12,66	14				

L netto = Fläche ohne Behälter

* Behälterfläche= 3.703 [m²]