

Schwere Unfälle im AKW Esenshamm und ihre Folgen

Schwerpunkt Terrorgefahren



Oda Becker, Helmut Hirsch

April 2006



Danksagung

Die Geschichte dieser Sicherheitsstudie zum AKW Esenshamm/Unterweser ist eine lange. Es brauchte mehrere Jahre von den ersten Vorüberlegungen bis zur Fertigstellung.

So hat bereits die heutige Europaabgeordnete Rebecca Harms als damalige Fraktionsvorsitzende der Grünen im niedersächsischen Landtag wichtige Anstöße gegeben.

Ermöglicht wurde diese Studie durch Spenden von den Kreisverbänden Ammerland, Braunschweig, Hannover, Harburg Land, Leer, Lüneburg, Oldenburg Stadt und Osterode, dem Landesverband Niedersachsen sowie durch die Bremer Bürgerschaftsfraktion und Einzelspenden der Landtagsabgeordneten Ina Korter, Andreas Meihies, Stefan Wenzel, der Europaabgeordneten Rebecca Harms und von Bruni Ritzenhoff.

Der Hartnäckigkeit und dem Engagement vieler, an der grünen Basis arbeitender AtomkritikerInnen ist es zu verdanken, dass sie uns jetzt vorliegt. Eine, die einen großen Anteil daran hat, kann dies leider nicht mehr miterleben: Helga Rinsky, unermüdliche Anti-AKW-Aktivistin der ersten Stunde; eine, die ihr Engagement gegen die Nutzung der Atomkraft durch die Stromkonzerne durchhielt und weiterkämpfte, als viele, die mit ihr begonnen hatten, schon lange resigniert hatten; eine, die es schaffte, Menschen in ihrer Umgebung immer wieder neu zu motivieren, aktivieren, anzuschieben. Ihr widmen wir dieses Gutachten.

Bis zum Schluss wandte sie ihre Kraft darauf, es Wirklichkeit werden zu lassen, beschäftigte sich mit ihrem inhaltlichen Schwerpunkt „Gefahren durch Überflutung“. Ihr Wissen, ihre Hartnäckigkeit und ihr unermüdliches Engagement fehlen uns sehr.

Vielleicht hilft diese Studie ja ein kleines bisschen mit, ihren Wunsch nach Beendigung des atomaren Wahnsinns Realität werden zu lassen.

Für BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Namen aller, die sie kannten

Elke Kuik-Janssen, Kreisverband Wesermarsch

Vorwort

Seit ihrer Gründung stehen BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN vor allem für die Themen Umweltschutz und „Nein zur Atomkraft“.

In Niedersachsen ist die Geschichte der Grünen auf das Engste mit der Anti-Atom-Bewegung und der Auseinandersetzung um die niedersächsischen Atomkraftwerke sowie der Frage der Endlagerung atomaren Mülls verknüpft.

Der Ausstieg aus der Atomenergie ist daher für die niedersächsischen Grünen nicht nur eine politische Frage, sondern auch eine echte Herzensangelegenheit und unumstoßbarer grüner Grundsatz.

Auch heute noch sind die Risiken atomarer Energiegewinnung unabschätzbar groß und die Frage der Endlagerung atomaren Mülls nicht gelöst. Atomkraft halten wir deshalb für keine verantwortbare Option der Energieversorgung.

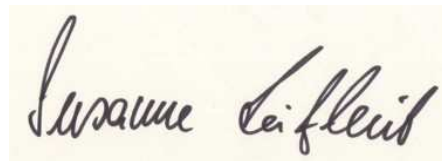
Atomkraftwerke und atomare Mülllager sind letztlich gegen militärische und terroristische Angriffe nicht zu schützen. Die vorliegende Studie untersucht die potenziellen Auswirkungen derartiger Angriffe auf eines der ältesten Atomkraftwerke der Republik : das niedersächsische AKW Esenshamm an der Unterweser. Ziel war es, die bestehenden Problemlagen aufzuzeigen und die vom AKW ausgehenden Gefahren zu präzisieren.

Ein Ergebnis der Studie erscheint mir besonders bemerkenswert; nämlich dass nicht nur ein terroristischer Angriff, sondern auch Überschwemmungen ein nicht zu vernachlässigendes Risiko darstellen. Ein Risiko, das nachweislich durch den Klimawandel größer wird und das von Betreiberseite bislang keine Beachtung findet.

Die vorliegende Studie macht deutlich, dass der Weiterbetrieb des AKWs „ein Spiel mit dem Feuer ist“, wie die Autoren feststellen. Das grüne Ziel, aus der Atomwirtschaft auszusteigen, bleibt damit ein vorrangiges Ziel der nächsten Jahrzehnte. Wir wollen, dass die Vision einer solaren und erneuerbaren Energieversorgung, die sicher ist und den Menschen dezentral zur Verfügung steht, Wirklichkeit wird. Die Chancen hierfür sind heute deutlich gestiegen. Es gilt sie zu nutzen!

Herzlichen Dank an alle Spenderinnen und Spender, die das Gutachten ermöglicht haben. Großer Dank gebührt zudem den beiden Autoren Oda Becker und Helmut Hirsch.

Ich wünsche mir, dass die Studie einen Beitrag zur atomfreien Welt leistet.

A handwritten signature in black ink on a light yellow background. The signature reads "Susanne Leifheit" in a cursive script.

*Susanne Leifheit, Landesvorsitzende
BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN Niedersachsen*

Schwere Unfälle im AKW Esenshamm und ihre Folgen

Schwerpunkt Terrorgefahren

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	1
2. Das AKW Esenshamm - Auslegungsschwächen und Störanfälligkeit	6
2.1 Schwachstellen der Auslegung.....	6
2.2 Betriebliche Sicherheit	11
3. Weitere gravierende Probleme	18
3.1 Sicherheitsprobleme durch Alterung	18
3.2 Abbau von Sicherheitsmargen durch Leistungssteigerung	20
3.3 Gefahr durch Überflutung der Anlage.....	23
4. Terror-Angriffe.....	28
4.1 Angriffe aus der Luft	29
4.2 Beschuss von außerhalb des Anlagengeländes.....	31
4.3 Angriff vom Boden.....	33
4.4 Innentäter	36
4.5 Gegen- und Schutzmaßnahmen	39
5. Möglicher Ablauf eines schweren Unfalls	42
5.1 Das Unfallszenario	42
5.2 Der Quellterm	43
5.3 Freisetzung aus dem Brennelement-Lagerbecken.....	45
6. Folgen eines schweren Unfalls	48
6.1 Ausbreitungsrechnung	49
6.2 Cs-137 Bodenkontaminationen	51
6.3 Ermittlung der Strahlenbelastungen	56
6.4 Mögliche Strahlenbelastungen nach 7 Tagen.....	57
6.5 Mögliche Strahlenbelastungen nach einem Jahr	59
6.6 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse	61
7. Literatur	72
Anhang	79

1. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Das Atomkraftwerk Esenshamm gehört zu den ältesten in Deutschland betriebenen Druckwasserreaktoren (DWR). Im Vergleich zu den neueren DWR weist die Anlage verschiedene Auslegungsschwächen auf. In einigen Bereichen wurden Nachrüstungen, die punktuell den Sicherheitsstandard der Anlage verbessert haben, durchgeführt, in anderen Bereichen sind grundlegende Verbesserungen kaum möglich.

Insgesamt gesehen besteht im AKW Esenshamm nach wie vor eine gegenüber neueren Anlagen erhöhte Gefährdung durch Unfälle mit internem Auslöser.

Äußerst mangelhaft ist weiterhin der Schutz der Anlage gegen Einwirkungen von außen, insb. gegen Terror-Angriffe. Die geringe Wandstärke der Reaktorkuppel führt dazu, dass das AKW Esenshamm gegenüber einer ganzen Reihe von denkbaren Angriffsmöglichkeiten stark verwundbar ist. Das Schutzkonzept des AKW Esenshamm gegen äußere Einwirkungen besitzt insgesamt Schwächen, da es nur auf punktuelle Einwirkungen ausgelegt ist. Wirksame Schutzmaßnahmen gegen Terror-Angriffe sind nicht möglich.

Alles in allem ist die Verwundbarkeit gegenüber Terror-Angriffen und damit die Gefahr von schweren Unfällen für das AKW Esenshamm gegenüber neueren Atomkraftwerken deutlich erhöht.

Beim Absturz eines Verkehrsflugzeugs kann nach Untersuchungen der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) ein schwerer Unfall mit massiven radioaktiven Freisetzungen – ein Kernschmelzunfall mit offenem Containment – resultieren.

Seit dem 11. September 2001 konzentriert sich die öffentliche Diskussion der Terrorgefahr weitgehend auf derartige Selbstmordangriffe. Tatsächlich ist die Bedrohung jedoch erheblich vielfältiger.

Für einen Terror-Angriff aus der Luft kommen als Tatmittel auch andere Flugobjekte, z.B. mit Sprengstoff beladene Privatflugzeuge, in Frage. Auch für einen Sprengstoffanschlag vom Boden sind verschiedene Szenarien denkbar.

Realisierbar wäre auch ein Beschuss des Atomkraftwerks aus einigen Kilometern Entfernung mit einem Artilleriegeschütz (Feldhaubitze).

Eine große Bedrohung für Atomkraftwerke stellt die Ausführung oder Unterstützung von Terror-Angriffe durch Innentäter dar. Die im AKW Esenshamm festgestellten Mängel der Sicherheitskultur begünstigen die Aktivität etwaiger Innentäter. Mängel bei Wareneingangskontrollen, wie sie 2002 deutlich wurden, erleichtern zudem das Einschmuggeln von Sprengstoff in die Anlage.

Neben Mängeln in der Auslegung offenbart das AKW Esenshamm auch Gefahren und Schwächen, die durch die Art und Weise des täglichen Betriebs entstehen. So zeigte auch der schwere Störfall im Juni 1998 nicht nur Mängel in der Auslegung der Sicherheitssysteme (die bis heute nicht behoben wurden), sondern auch gravierende Mängel der Sicherheitskultur. Es gibt keine deutlichen Anzeichen, dass seitdem eine Verbesserung der Situation eingetreten ist.

Das AKW Esenshamm weist heute mit den beiden Blöcken in Biblis und dem AKW Brunsbüttel den höchsten Betriebsindikator auf. Dieser im Auftrag von Greenpeace Deutschland entwickelte Indikator liefert einen Hinweis auf das Risiko, das vom Betrieb einer speziellen Anlage ausgeht. Der meist hohe Betriebsindikator für das AKW Esenshamm der letzten Jahre resultiert auch aus den Schwächen bei der Sicherheitskultur.

Die Mängel in Auslegung und Betriebsweise führen außerdem zu einer schlechteren Beherrschung von Unfallsituationen und erhöhen dadurch zusätzlich das Risiko, das vom AKW Esenshamm ausgeht.

Aufgrund der langen Betriebsdauer des AKW Esenshamm (28 Jahre) sind zudem nach und nach immer mehr Sicherheitsprobleme durch Alterungsprozesse zu erwarten. Das Altern führt zu einer fortlaufenden Verminderung der Sicherheitsmargen. Statt dem fortschreitenden Alterungsprozess des AKW Esenshamm Rechnung zu tragen, wurden die Sicherheitsmargen im Jahr 2000 durch eine Erhöhung der Reaktorleistung zusätzlich reduziert.

Laut wissenschaftlichen Erkenntnissen der letzten Jahre besteht ein nicht zu vernachlässigendes Risiko einer Überschwemmung des Anlagengeländes. Die Gefahr steigt wegen des Klimawandels an. Aufgrund der großen Gefahr, die von einer Überflutung ausgeht – ein Kernschmelzunfall mit offenem Containment droht –, ist ein

Weiterbetrieb des AKW Esenshamm schon allein aus diesem Grund mit großen Risiken verbunden.

In dieser Studie wurden die Folgen eines Kernschmelzunfalls mit offenem Containment betrachtet. Bei diesem Unfallszenario kommt es innerhalb von zwei bis drei Stunden nach Auslösung des Unfalles zu hohen radioaktiven Freisetzungen. Für Maßnahmen des Katastrophenschutzes steht daher sehr wenig Zeit zur Verfügung.

Ausgelöst werden kann dieses Szenario durch einen Terror-Angriff, der zu einer Zerstörung des Containments sowie schweren Schäden am Primärkreislauf führt. Dabei könnte es sich beispielsweise um eine Aktion einer in das Reaktorgebäude eingedrungenen Angreifergruppe, um den gezielten Absturz eines Flugzeugs auf das Reaktorgebäude oder um einen Beschuss desselben mit Granaten handeln.

Derartig schwere Unfälle können aber auch ohne böswilliges Eingreifen, sondern aufgrund von technischem und/oder menschlichem Versagen eintreten. Diese Gefahr besteht insbesondere, da Schwächen in Auslegung und Betriebsweise des AKW Esenshamm zu einer schlechteren Beherrschung von Unfallsituationen führen können.

Bei einem Reaktorunfall wird eine Vielzahl von Radionukliden freigesetzt. Hier wurde sich auf die radiologisch bedeutenden Nuklide Cäsium 137 und Cäsium 134 beschränkt. Für die Berechnungen wurde eine Freisetzung von 40 % des Cäsium Inventars des Reaktorkerns angenommen. Dies entspricht nicht dem schlimmsten Fall, Cäsium-Freisetzungen von bis zu 90 % sind laut deutscher Risikostudie denkbar. Auch eine zusätzliche Freisetzung aus dem Lagerbecken, das doppelt so viel Brennstoff enthalten kann, wie der Reaktor selbst, blieb hier unberücksichtigt.

In dieser Studie wurden die Folgen eines schweren Unfalls im AKW Esenshamm für die Bevölkerung der Orte Rodenkirchen, Brake und Bremen ermittelt. Dazu wurden zunächst die Cs-137 Bodenkontaminationen berechnet. Die Ausbreitungsrechnungen wurden für meteorologische Szenarien ohne, mit leichtem (0,5 mm/h) und mit starkem (5mm/h) Niederschlag durchgeführt.

So wurde bei mittlerer Windstärke und entsprechenden Windrichtungen Cs-137-Bodenkontaminationen für Rodenkirchen bis 20.000.000 kBq/m², für Brake

(Stadtzentrum) bis 2.900.000 kBq/m² und für Bremen (Stadtzentrum) bis 390.000 kBq/m² ermittelt.

Die ermittelten Cs-137 Bodenkontaminationen sind teilweise erheblich höher als die Kontaminationen in der entsiedelten 30 km-Zone um den havarierten Tschernobyl-Reaktor. Die Cs-137-Kontaminationen der „Verbotenen Zone“ werden mit größer als 18.500 kBq /m² angegeben.

Eine Betrachtung der resultierenden Strahlenbelastungen aus allen denkbaren Expositionspfaden und der sich daraus möglicherweise ergebenden Gesundheitsfolgen konnte im Rahmen dieser Studie nicht erfolgen. Es sollte hier in erster Linie geprüft werden, ob schon die aus den Cäsium-Depositionen resultierenden Strahlenbelastungen Dosiswerte erreichen, die Maßnahmen des Katastrophenschutzes erforderlich machen.

So wurden aus den ermittelten Cs-137-Kontaminationen die potenziellen Strahlenbelastungen berechnet, die nach einem Jahr durch Bodenstrahlung hervorgerufen werden.

Es errechneten sich bei mittlerer Windgeschwindigkeit für alle drei Orte Jahresdosen, die deutlich über dem Eingreifrichtwert (100 mSv) der Katastrophenschutzmaßnahme „langfristige Umsiedlung“ liegen. Die ermittelten Jahresdosen übersteigen den Eingreifrichtwert teilweise um mehrere Größenordnungen.

Die Bevölkerung müsste insgesamt aus großen Gebieten (290 bis 2000 km²) langfristig umgesiedelt werden. Bei der hier gewählten Vorgehensweise für die Ermittlung der Strahlenbelastungen muss davon ausgegangen werden, dass diese Gebiete über Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte nicht wieder besiedelt werden können.

Zusätzlich zur Jahresdosis wurden in dieser Studie die Strahlenbelastungen, die in einem Zeitraum von sieben Tagen aus Bodenstrahlung der Nuklide Cs-134 und Cs-137 resultieren, berechnet. Die ermittelten Werte wurden dem Eingreifrichtwert für die Maßnahme „Evakuierung“ (100 mSv) gegenübergestellt. Aufgrund der fehlenden Berücksichtigung kurzlebiger Nuklide einerseits und weiterer Expositionspfade andererseits ist eine deutlich höhere potenzielle Strahlendosis zu erwarten, als hier ermittelt wurde. Die ermittelten Werte für die Strahlendosis nach sieben Tagen unterschätzen die potenziellen Strahlendosen mindestens um einen Faktor 10.

Dennoch zeigte die vorliegende Studie, dass – entsprechende Windrichtungen vorausgesetzt - für viele meteorologische Bedingungen von einer sofortigen Evakuierung aller drei hier betrachteten Orte ausgegangen werden muss. Ob eine Evakuierung einer derartig großen Menschenmenge in kurzer Zeit überhaupt gelingen wird, muss bezweifelt werden. Logistisch ist diese in jedem Fall ein großes Problem.

Die widersprüchlichen oder teilweise nicht einzuhaltenden Anweisungen des „Ratgebers für die Bevölkerung in der Umgebung des KKW“ werden das Chaos, das nach einem schweren Unfall ausbrechen wird, nicht aufhalten, sondern eher noch verstärken.

Im Rahmen dieser Studie konnte nicht ermittelt werden, welche gesundheitlichen Folgen eine massive radioaktive Freisetzung aus dem AKW Esenshamm für die Bevölkerung der drei Orte haben kann. Aufgrund der Höhe der ermittelten Strahlenbelastungen sind jedoch erhebliche gesundheitlichen Folgen für Hunderttausende zu erwarten. In Rodenkirchen bzw. in der näheren Umgebung des Atomkraftwerks werden tödliche Strahlendosen auftreten.

Aufgrund der aufgezeigten Mängel in Auslegung und Betriebsweise ist die Gefährdung für einen schweren Unfall im AKW Esenshamm besonders groß. Diese Schwächen wirken sich ebenfalls negativ bei der Beherrschung einer Unfallsituation aus. Die Folgen eines schweren Unfalls für die Bevölkerung der Umgebung sind gravierend. Das Risiko bedeutet schon zum jetzigen Zeitpunkt ein Spiel mit dem Feuer. Und das Risiko wird in Zukunft weiter ansteigen.

2. Das AKW Esenshamm - Auslegungsschwächen und Störanfälligkeit

Das Atomkraftwerk Esenshamm (Kernkraftwerk Unterweser) liegt in der Gemeinde Stadland im Landkreis Wesermarsch (Regierungsbezirks Weser-Ems, Niedersachsen). Es befindet sich am westlichen Ufer der Unterweser, etwa 10 km nördlich von Nordenham.

Das Atomkraftwerk Esenshamm mit einer elektrischen Nettoleistung von 1345 MWe ist seit 1978 in Betrieb. Betreiber/Eigentümer ist die E.ON Kernkraft GmbH.

Im so genannten Atomkonsens wurde für das AKW Esenshamm eine Reststrommenge von 117,98 Milliarden Kilowattstunden festgelegt. Die Reststrommengen wurden im Anhang zur Novelle des Atomgesetzes verbindlich festgelegt. Das AKW Esenshamm erzeugte im Jahresdurchschnitt etwa neun Milliarden Kilowattstunden, so dass es vorrausichtlich erst Ende 2012, Anfang 2013, nach mehr als 34 Jahren Betriebszeit, endgültig abgeschaltet wird. Sollten sich die Störungen weiterhin häufen, kann sich der Zeitpunkt noch weiter nach hinten verschieben.

2.1 Schwachstellen der Auslegung

Das Atomkraftwerk Esenshamm ist ein Druckwasserreaktor der 2. Generation, zu dieser gehören auch Biblis A und B sowie Neckarwestheim 1. Die Anlagen der älteren 1. Generation (Stade und Obrigheim) sind bereits stillgelegt. Esenshamm ist somit der ältesten noch in Betrieb befindlichen Baulinie von Druckwasserreaktoren in Deutschland zuzurechnen.

Im Vergleich zu den Druckwasserreaktoren der 3. und 4. Generation weisen jene der 2. Generation u. a. folgende Schwachstellen auf [BMU 2004]:

- Die Prüfbarkeit des Primärkreislaufes ist eingeschränkt.
- Nahtlose Schmiederinge für Behälter bzw. nahtlose Rohre werden im Primärkreislauf in geringerem Maße eingesetzt; das bedeutet mehr Schweißnähte an potentiell kritischen Stellen.

- Das „Bruchausschlusskonzept“ wurde erst nach der Inbetriebnahme, durch Nachqualifizierung, umgesetzt.
- Verwendung nicht optimierter Werkstoffe für Komponenten und Rohrleitung.
- Auslegungsdruck und –temperatur des Sicherheitsbehälters (Containments) sind niedriger.
- Geringere Wandstärke des Sicherheitsbehälters.
- Geringere Strangzahl bei der zusätzlichen Notstromversorgung zur Beherrschung äußerer Einwirkungen.
- Geringere Strangzahl bei der unterbrechungslosen Gleichstromversorgung.
- Teilweise Vermaschung bei der Notstromversorgung.
- Geringerer Schutz gegen Flugzeugabsturz.

Verschiedene dieser Auslegungsschwächen wurden in der Vergangenheit beim Atomkraftwerk Esenshamm konkret aufgezeigt und waren Gegenstand von kontroversen Diskussionen. Dies betraf insbesondere Mängel bei den Werkstoffen bzw. den Einsatz veralteter Werkstoffe in Reaktordruckbehälter, Dampferzeuger, Druckhalter sowie Hauptkühlmittelleitung [BFK 1993]. Grundlegende Verbesserungen in diesen Bereichen erscheinen kaum möglich.

In anderen Bereichen wurden dagegen Nachrüstungen durchgeführt, die punktuell den Sicherheitsstandard der Anlage verbessert haben (z. B. Einbau von katalytischen Rekombinatoren zum Abbau von Wasserstoff bei schweren Unfällen, Verbesserungen beim Brandschutz [NMU 2004]). Insgesamt gesehen besteht in Esenshamm jedoch nach wie vor eine gegenüber neueren Anlagen erhöhte Gefährdung durch Unfälle mit internem Auslöser.

Die Gefahr eines Versagens des Reaktordruckbehälters (RDB) ist im AKW Esenshamm höher als in neueren DWR. Das Bersten des RDB führt zwangsläufig zu einem schweren Unfall mit Kernschmelze; es kann durch Sicherheitssysteme nicht beherrscht werden. Darüber hinaus kann dieser Unfall auch mit frühzeitigem Versagen des

Containments – etwa durch Aufprall von Bruchstücken – verbunden sein, und damit zu besonders hohen radioaktiven Freisetzungen führen.

Äußerst mangelhaft ist weiterhin der Schutz der Anlage gegen Einwirkungen von außen, insb. gegen Terror-Angriffe.

Während die Reaktorgebäude der Druckwasserreaktoren der 3. und 4. Generation durch eine Betonschale mit einer Stärke von 180 bis 200 cm geschützt werden, liegt die Stärke der Betonkuppel in Esenshamm lediglich bei ca. 80 cm [TÜV 1990]. Diese Auslegung soll ausreichend sein, um dem Absturz eines Starfighter-Kampfflugzeugs mit einer Masse von ca. 10 t standzuhalten.

Beim Absturz eines großen Passagierflugzeugs wie einer Boeing 747 oder eines Airbus A 340 ist nach Untersuchungen der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mit großflächiger Zerstörung des Reaktorgebäudes zu rechnen. Ein Kernschmelzunfall mit offenem Containment ist die Folge¹.

Bei kleineren Flugzeugen wie dem Airbus A 300 oder A 320 ist eine lokal begrenzte Durchdringung des Reaktorgebäudes möglich. Bei gleichzeitigen Leckagen im Primärkreislauf durch Erschütterungen und Zerstörung der Warte resultiert auch in diesem Fall ein schwerer Unfall mit Kernschmelze [BMU 2002] (s. Kapitel 4.1).

Die im Vergleich zu neueren Anlagen geringere Stärke der Betonschale bedeutet weiterhin, dass das AKW Esenshamm gegenüber einer ganzen Reihe von denkbaren Angriffsmöglichkeiten stärker verwundbar ist – etwa bei Beschuss mit Granaten (s. Kapitel 4.2) oder bei einem Sprengstoffanschlag am Gebäude (s. Kapitel 4.3).

Auch abgesehen vom mangelhaften Schutz des Reaktorgebäudes weist das Schutzkonzept des AKW Esenshamm gegen äußere Einwirkungen Schwächen auf. Für die Beherrschung äußerer Einwirkungen sind in Esenshamm vor allem die folgenden weiteren Gebäude von Bedeutung. Diese sind mit Ausnahme des „Gesicherten Gebäudes“ nicht einmal gegen den Absturz einer Militärmaschine ausgelegt [TÜV 1990]:

¹ Dies gilt natürlich verstärkt für den in naher Zukunft in Dienst gestellten Airbus A 380.

- Notstandsgebäude: Es enthält u. a. die Notstandsdieselanlage, Notstandsspeisepumpen und die Batterien für die Gleichstromversorgung. Es befindet sich 50 m vom Reaktorgebäude und noch weiter von der Warte entfernt; durch diese räumliche Trennung soll eine gleichzeitige Zerstörung mit diesen Einrichtungen vermieden werden.
- Schaltanlagegebäude: Es enthält u. a. Anlagen für die Stromversorgung, Rechner und die Warte (Kontrollraum) des Atomkraftwerkes.
- Maschinenhaus: Es enthält u. a. die Notspeisepumpen.
- „Gesichertes Gebäude“: Dieses enthält die Notsteuerstelle sowie verschiedene Einrichtungen des Reaktorschutzsystems. Es ist nach den Anforderungen der Leitlinie der Reaktor-Sicherheitskommission [RSK 1981] gegen den Absturz eines Militärflugzeugs mit einer Masse von 20 t geschützt. Dies entspricht etwa dem Absturz eines Phantom-Kampffjets. Die Wanddicke beträgt 180 cm.

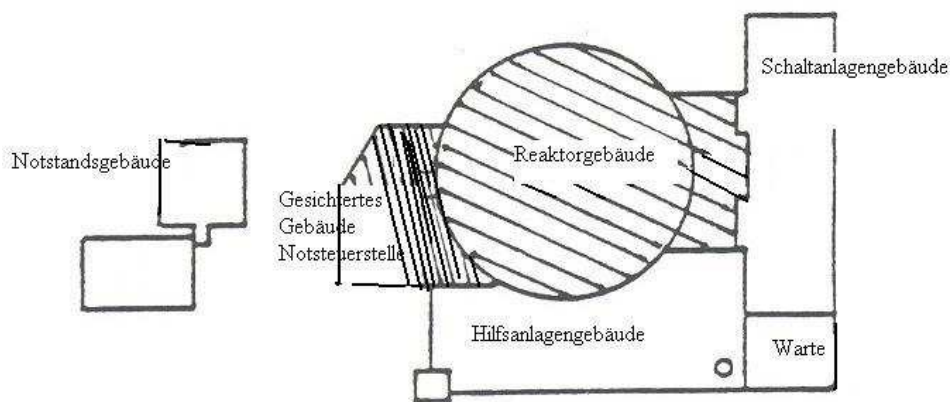


Abb. 1: Anordnung der wichtigsten Gebäude des AKW Esenshamm (schraffiert bzw. eng schraffiert sind die Gebäude, die gegen den Absturz eines Starfighters bzw. eines Phantom-Kampffjets ausgelegt sind)

Eine Verteilung wichtiger Sicherheitsfunktionen auf verschiedene Gebäude (räumliche Trennung) ist die wichtigste Maßnahme gegen eine punktuelle Einwirkung, wie sie der Absturz eines relativ kleinen Militärflugzeugs darstellt. Dadurch soll gewährleistet werden, dass jeweils nur eine einzige für die Sicherheit wichtige Einrichtung zerstört

wird und somit trotz Zerstörung einzelner Gebäude die Kühlung des Reaktors aufrechterhalten werden kann.

So kann beispielsweise bei Ausfall der Elektrizitäts-Eigenbedarfsversorgung über den entsprechenden Transformator die Notstromversorgung mit Dieselgeneratoren einspringen.

Weiterhin ist bei einem Ausfall des Notstandsgebäudes vorgesehen, dass die Notstromdiesel den erforderlichen Strom liefern, während die Dampferzeuger-Bespeisung durch die Notspeisepumpen im Maschinenhaus durchgeführt wird. Umgekehrt sollen bei einer Zerstörung von Schaltanlagegebäude, Notstromdieselgebäude oder Maschinenhaus Einrichtungen im Notstandsgebäude die erforderlichen Funktionen übernehmen.

Alle diese Überlegungen sind gegenstandslos, wenn es zu einer Zerstörung des Reaktorgebäudes, verbunden mit starken Beschädigungen des Primärkreislaufs kommt. Eine Beherrschung des Unfallablaufs, d.h. die Verhinderung eines schweren Unfalls mit massiven Freisetzungen, ist in diesem Falle nicht mehr denkbar. Die Gefahr für eine Zerstörung des Reaktorgebäudes ist in Esenshamm aufgrund der deutlich geringeren Wandstärke wesentlich höher als für neuere Atomkraftwerke.

Aber auch wenn das Reaktorgebäude unbeschädigt bleibt, kann es zu einem schweren Unfall kommen. Das auf punktuelle Einwirkungen ausgerichtete Sicherheitskonzept versagt, wenn flächenhaft verteilte Belastungen auf dem Anlagengelände eintreten. Dies kann etwa durch den Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs gegeben sein, bei dem durch Trümmerflug und Kerosinbrände mehrere der aufgelisteten Gebäude beschädigt werden.

Bei gleichzeitiger Zerstörung von Warte und Notstandsgebäude z.B. kann eine Situation entstehen, in der die erforderlichen Systeme an sich noch einsatzfähig sind, aber nicht mehr gesteuert und kontrolliert werden können. Eine entsprechende Situation kann auch durch Beschuss von außen oder durch gezieltes Anbringen mehrerer Sprengladungen an verschiedenen Gebäuden hervorgerufen werden.

Zudem kommt die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) zu dem Schluss, dass bei Zerstörung sicherheitsrelevanter Gebäude (auch ohne Beschädigung

des Reaktorgebäude) durch Absturz eines Verkehrsflugzeugs eine Kernschmelze nur dann verhindert werden kann, wenn rechtzeitig vom Personal Maßnahmen zur Gewährleistung der Not- und Nachkühlkette getroffen werden [BMU 2002].

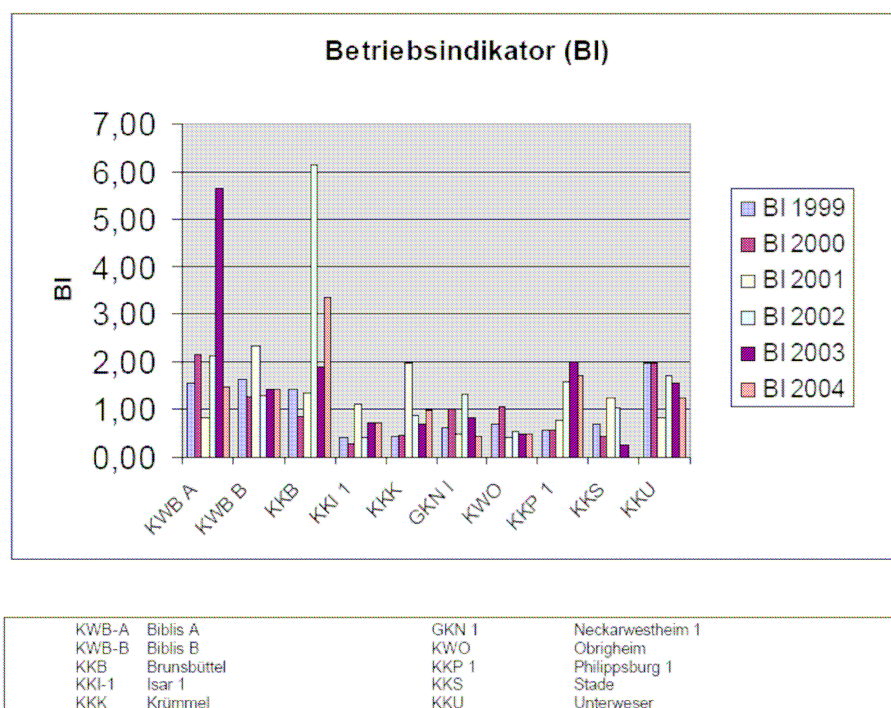
Es muss bezweifelt werden, ob dies bei allen Angriffsszenarien gewährleistet werden kann – insbesondere, wenn durch großräumige Schäden und mehrere Brandherde auf dem Anlagengelände eine sehr unübersichtliche Situation entsteht.

2.2 Betriebliche Sicherheit

Neben den in Abschnitt 1.1 dargestellten Schwachstellen in der Auslegung und in Kombination mit diesen gibt es Gefahren und Schwächen, die durch die Art und Weise des täglichen Betriebes des Atomkraftwerks entstehen.

In den letzten Jahren wurden im Auftrag von Greenpeace Deutschland methodische Arbeiten durchgeführt, um einen Indikator zu entwickeln, der das betriebliche Risiko darstellt [GREENPEACE 2005]. Dieser Betriebsindikator (BI) berücksichtigt Störungen und Störfälle (meldepflichtige Ereignisse) im Betrieb, ungeplante Stillstandszeiten, radioaktive Abgaben und die Strahlenbelastung der in der Anlage Beschäftigten (eine genauere Erklärung des BI findet sich im Anhang).

Die folgende Grafik zeigt für die alten Atomkraftwerke in Deutschland (Druckwasserreaktoren 1. und 2. Generation, Siedewasserreaktoren der Baulinie 69) den BI für die Jahre 1999 – 2004 (für Stade bis 2003).



(Die Wiedergabe dieser Grafik erfolgt mit freundlicher Genehmigung von Greenpeace Deutschland.)

Abb.2: Betriebsindikatoren für die älteren Atomkraftwerke in Deutschland

Dabei wird deutlich, dass das AKW Esenshamm (Unterweser) im betrachteten Zeitraum, selbst im Vergleich mit den anderen Altanlagen, im Durchschnitt zu den Anlagen mit dem höchsten Betriebsindikator zählt. Nur Biblis A und B sowie Brunsbüttel weisen höhere Werte auf.

Der hohe Wert für 1999 ist dabei vor allem durch eine relativ große Zahl meldepflichtiger Ereignisse bedingt. Die Werte für 2002 und 2003 werden durch längere ungeplante Stillstandszeiten bestimmt, unter anderem im Zusammenhang mit Problemen mit den nuklearen Zwischenkühlern (s. unten).

In der Folge sollen einige wichtige Beispiele für Störungen und Störfälle dargestellt werden. Dabei handelt es sich um Vorfälle, die zeigen, dass es im AKW Esenshamm Mängel in der sogen. „Sicherheitskultur“ gibt.

Der Begriff der Sicherheitskultur wurde von der Internationalen Atomenergie-Organisation geprägt. Damit sollen die grundsätzlichen Einstellungen von Organisationen und Menschen erfasst werden, die für die Sicherheit einer Atomanlage mindestens ebenso wichtig sind wie die Auslegung oder die Betriebshandbücher.

Sicherheitskultur wird wie folgt definiert [IAEA 1991]:

„Sicherheitskultur ist jene Gesamtheit von Merkmalen und Einstellungen bei Organisationen und Menschen, die sicherstellt, dass als vordringliche Priorität Sicherheitsfragen von Kernkraftwerken die Aufmerksamkeit erhalten, die ihrer Bedeutung entspricht.“²

Gute Sicherheitskultur fordert also nicht nur eine gute Einstellung von Menschen zur Sicherheit, sondern auch ein gutes Sicherheits-Management in Organisationen. Sie bedeutet, der Sicherheit höchste Priorität zu geben, und sich andauernd mit Sicherheitsfragen auseinanderzusetzen, um zu garantieren, dass sie angemessene Aufmerksamkeit erhalten.

Im Juni 1998 ereignete sich im AKW Esenshamm ein schwerer Störfall. Er zeigte nicht nur Mängel in der Auslegung der Sicherheitssysteme (die bis heute nicht behoben wurden), sondern auch und vor allem gravierende Mängel in der Sicherheitskultur.

Das Jahr 1998 brachte schon vorher eine ganze Reihe von Pannen mit sich. Am 12. Mai wurden Undichtigkeiten an einem nuklearen Zwischenkühler festgestellt, später auch an einem zweiten. Am 15. Mai fand man einen Defekt an einem von vier Notstromaggregaten.

Am 4. Juni ging das Atomkraftwerk dann wieder ans Netz. Schon zwei Tage später musste aber wegen einer Leckage von Turbinenöl die Turbine abgeschaltet werden. Es kam es zu einem Ansteigen des Dampfdruckes. Dabei zeigte sich, dass an einer von vier Dampfleitungen sämtliche Sicherheits- und Abblaseventile nicht geöffnet werden konnten. Die Steuerleitungen, die zu diesen Ventilen führten, waren im Zuge von Wartungsarbeiten geschlossen und versperrt worden, ebenso die Steuerleitungen des Absperrventils der Dampfleitung. Nach Abschluss der Wartung war vergessen worden, die Ventile wieder betriebsbereit zu machen.

Die restlichen funktionsfähigen Ventile reichten aus, um die Anlage in einen sicheren Zustand zu bringen. Die Bedeutung des Vorfalles liegt ungeachtet dessen darin, dass

² “Safety culture is that assembly of characteristics and attitudes in organizations and individuals which establishes that, as an overriding priority, nuclear plant safety issues receive the attention warranted by their significance.”

das AKW mit abgesperrten Sicherheitsventilen hochgefahren und betrieben worden war – und dass dies nur durch Zufall (durch den Störfall an der Turbine) herausgekommen war.

Die Sicherheitsventile an der Frischdampfleitung zählen zu den wichtigsten Sicherheitssystemen eines Atomkraftwerkes; sie sind zur Beherrschung bestimmter Störfälle unbedingt erforderlich.

Die Steuerleitungen aller betroffenen Ventile wurden durch ein Schlüsselsystem kontrolliert, das als völlig sicher gegen Irrtum galt: Jede Leitung hat zwei Schlüssel (zum Öffnen und zum Schließen). Jeder Schlüssel hat einen eigenen Haken. Ist die Leitung offen, hängt der Öffnungs-Schlüssel an seinem Haken in der Reaktorwarte; ist es zu, der Schlüssel zum Verschließen. Ein Blick sollte also genügen, um den Zustand des Ventils zu erkennen.

Am 04. Juni waren jedoch Schlüssel vom Personal falsch abgelegt worden. Daher wurde in der Folge übersehen, dass die Steuerleitungen und damit die Ventile nicht betriebsbereit waren.

Es gibt in Esenshamm kein automatisches Sicherheitssystem, das bei verschlossenen Ventilen einfach ein Anfahren des Reaktors verhindert – wie etwa bei amerikanischen und französischen Atomkraftwerken. Ein solches System wurde auch nach dem Vorfall nicht eingebaut [NMU 2004]. Verbessert wurde nach dem Vorfall lediglich die Anzeige des Ventilstandes; die optischen Kontrollen bei der Handhabung der Schlüssel wurden neu geordnet.

Nachdem die Betreiber zunächst versucht hatten, den Vorfall auf Stufe 1 der siebenteiligen INES-Skala der Internationalen Atomenergie-Organisation einzuordnen, erfolgte bald darauf aufgrund der Häufung menschlicher Fehler die Neueinstufung auf Stufe 2. Es war der erste Vorfall mit diesem Schweregrad in Deutschland seit Einführung der INES-Skala 1991 [NUCWEEK 25_98, 26_98].

Der Atomexperte Lothar Hahn sprach von "gravierenden Sicherheitsmängeln", die bislang verharmlost worden sind, und äußerte "Zweifel an der Zuverlässigkeit und Fachkunde" des Betreibers des Atomkraftwerks. Die vielen menschlichen Fehler seien

durch mangelhafte Personalqualifikation oder schlechte betriebliche Organisation möglich gewesen.

Auch wenn bei dem Vorfall keine radioaktiven Stoffe freigesetzt wurden, ist es doch erschreckend, dass auch in einem deutschen Atomkraftwerk ein Sicherheitssystem, auf das man im Notfall rechnen, per Hand abgeschaltet und der Reaktor dennoch wieder angefahren werden kann [KW 0709/1998, 1708/1998, 1307/1998].

Am 1. Oktober 1998 – knapp nach der Bundestagswahl vom 27. September – erhielten die Betreiber von der niedersächsischen Landesregierung die Zustimmung zum Wiederaufstart. Nach Aussage der damaligen Bundesumweltministerin Merkel waren die Untersuchungen der Reaktor-Sicherheitskommission zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen.

Das der Atomindustrie nahe stehende, gewöhnlich gut informierte Newsletter „Nucleonics Week“ behauptete, dass die rasche Inbetriebnahme politisch motiviert und auf ein internes Abkommen zwischen dem damaligen Ministerpräsidenten Schröder und dem PreussenElektra-Chef Harig zurückzuführen sei. Dies würde den Verzicht auf eine gründliche Überprüfung und insbesondere auch auf systematische und tief greifende Verbesserungen nach dem Vorfall erklären. Fest steht, dass die Wieder-Inbetriebnahme von Esenshamm am 1. Oktober 1998 der einzige Fall war, in dem Frau Merkel als Bundesumweltministerin eine Landesregierung wegen einer Entscheidung zugunsten eines AKW-Betreibers kritisierte [NUCWEEK 39_98].

Im Jahr 2005 titelte die Presse: „Das Atomkraftwerk Esenshamm hat offensichtlich Pech mit seinen Generatoren“ [KW 2405/2005]. Aber auch die Generatorpannen sind ein Hinweis auf eine mangelnde Sicherheitskultur.

Im September 2002 fing der alte Generator, der seit Inbetriebnahme (über 25 Jahre) im Einsatz war, beim Wiederaufstart nach der Revision Feuer. Durch einen Kurzschluss mit Funkenflug entstand eine Stichflamme. Im Juni 2004 wurde ein neuer Generator eingebaut. Bereits im Mai 2005 kam es an diesem, fast fabrikneuen Generator erneut zu einer Panne. Der neue Generator musste ausgebaut werden [KW 2405/2005].

Im Jahre 2002 traten noch völlig anders geartete Probleme auf, die ebenfalls große Bedeutung für die Beurteilung der Sicherheitskultur in der Anlage haben: An den nuklearen Zwischenkühlern wurden Mängel festgestellt.

Diese Zwischenkühler stellten neue, verbesserte Konstruktionen dar, die erst in den Jahren 1999 bis 2002 eingebaut worden waren, nachdem an den alten Zwischenkühlern mehrfach Leckagen aufgetreten waren.

Das nukleare Zwischenkühlsystem ist für den sicheren Betrieb des AKW von großer Bedeutung. Es hat zum einen betriebliche Aufgaben (z. B. kühlt es die Hauptkühlmittelpumpen). Es erfüllt zum anderen aber auch sicherheitstechnische Aufgaben – insbesondere die Abfuhr der Wärme aus dem Notkühlsystem bei einem Kühlmittelverluststörfall oder bei Einwirkungen von außen. Es ist somit für die Beherrschung von Störfällen erforderlich.

Bei den neu eingebauten Zwischenkühlern wurden 2002 Abweichungen zwischen dem tatsächlichen Zustand und den Fertigungsunterlagen des Herstellers festgestellt. Die in der Folge durchgeführten Prüfungen ergaben zwar einerseits, dass die Abweichungen sicherheitstechnisch unbedenklich waren. Andererseits wurde jedoch auch offenbar, dass dieser Vorfall nur durch grundlegende Schwächen bei den vom Betreiber durchgeführten Kontrollen möglich gewesen war. Er stellt somit einen weiteren Beweis für mangelnde Sicherheitskultur dar; nur durch Zufall hatten die genannten Schwächen keine schlimmere Konsequenz.

Der Vorfall wirft insgesamt gravierende Fragen zur Qualitätssicherung und Kontrolle bei der Herstellung auf [KW 2311/2002]. Konkret hatte sich herausgestellt, dass der Umfang der Stichprobenkontrollen durch den Betreiber nicht ausreichend gewesen war, um eine umfassende Überwachung des Qualitätssicherungssystems des Herstellers zu gewährleisten. Weiterhin waren Art und Umfang der Wareneingangskontrollen im Kraftwerk nicht ausreichend gewesen, um die Abweichungen aufzudecken.

Die Verantwortung für die Abweichungen lag nicht allein beim Betreiber des AKW. Als weitere Problempunkte wurden die Beauftragung örtlich tätiger Sachverständiger durch den Hersteller und deren Kompetenz bei kerntechnischen Fragestellungen identifiziert [NLT 2002]. Der TÜV suspendierte einen Prüfer, der im Auftrag der Herstellerfirma den ordnungsgemäßen Zustand der beiden dort produzierten

Wärmetauscher testiert hatte, vom Dienst. Der zweite Prüfer entging der Suspendierung nur, weil er in den Ruhestand gegangen war [KW 0102/2003]. Nach umfangreichen Prüfungen konnte das AKW erst im Februar 2003 wieder ans Netz gehen.

Das AKW Esenshamm sorgte seit Betriebsbeginn immer wieder für negative Schlagzeilen. So auch durch die „Korruptionsaffäre“ im Jahr 1987: Führende Mitarbeiter des AKW hatten sich Aufträge an Fremdfirmen in bar belohnen oder durch Arbeiten im eigenen Haus oder Garten bezahlen lassen. Involviert waren mehr als zehn Montage- und Reparaturfirmen [KW 1609/2003].

Zwar betrafen die bei der Aufdeckung des Skandals festgestellten technischen Mängel nicht den nuklearen, sondern den konventionellen Bereich des Atommeilers, der Vorfall zeigt aber, dass schon seit mindestens 20 Jahren ein recht eigenwilliges Verständnis von „Sicherheitskultur“ im AKW Esenshamm vorhanden ist.

3. Weitere gravierende Probleme

3.1 Sicherheitsprobleme durch Alterung

Vom Moment der Inbetriebnahme an unterliegen alle Bestandteile und Materialien eines Atomkraftwerks verschiedenen Abnutzungs- und Alterungsprozessen. Diese werden von vielen Faktoren beeinflusst, insbesondere vom intensiven Neutronenfluss, von Temperatur- und Druckbeanspruchungen, von mechanischer Ermüdung und von chemischen Reaktionen.

Da die Alterung technischer Anlagen im Unterschied zur biologischen Alterung äußerlich kaum wahrgenommen wird, wird sie meist unterschätzt. Mit wenigen Ausnahmen vollziehen sich die Alterungsprozesse auf der Ebene der mikroskopischen Gitterstruktur. In einer technischen Anlage wird die Schwäche des Werkstoffes in der Regel erst nach dessen Versagen, z. B. beim Bruch, erkenntlich.

Die Versagenhäufigkeiten technischer Komponenten sind meist unmittelbar nach der Inbetriebnahme einer Anlage besonders hoch, da sich Mängel bei Bau, Herstellung und Auslegung auswirken. Im „mittleren Alter“ einer Anlage tendieren die Versagenhäufigkeiten zu einem Minimum. Später nehmen die Probleme allmählich wieder zu, da Alterungsprozesse sich zunehmend auszuwirken. Im Allgemeinen wird die Alterungsphase bei einem Atomkraftwerk nach etwa 20 Betriebsjahren beginnen.

Während einige Alterungsmechanismen zweifelsfrei identifiziert sind, herrscht bei anderen trotz stetigem Wissenszuwachs durch Forschung und zunehmende Erfahrung beim Betrieb von Atomkraftwerken noch immer große Ungewissheit [COEYTAUX 2004].

Die Veränderung der mechanischen Eigenschaften von Werkstoffen ist häufig nicht zerstörungsfrei prüfbar, woraus die Schwierigkeit resultiert, den jeweils aktuellen Materialzustand sicher abzuschätzen. Zerstörungsfreie Prüfverfahren erlauben zwar in vielen Fällen, Rissentwicklungen, Oberflächenveränderungen und Wanddickenschwächungen zu verfolgen, aus Gründen konstruktiver Unzugänglichkeit sind aber nicht alle Komponenten uneingeschränkt überprüfbar. Im AKW Esenshamm sind die Schweißnähte des Primärkreises schlechter prüfbar und zudem mehr Schweißnähte vorhanden als in neueren Atomkraftwerken [BMU 2004].

Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) bewertete im Jahr 2003 einige Ereignisse in deutschen und ausländischen Atomkraftwerken, darunter waren auch die Befunde an den Speisewasserstutzen im AKW Esenshamm³. Die GRS stellt zusammenfassend fest, dass die untersuchten Ereignisse überraschende und nicht vorhersehbare Erkenntnisse und Merkmale zeigen. Es stelle sich auch die Frage nach der Auffindbarkeit von derartigen Schäden und der Eignung des Konzeptes für die wiederkehrenden Prüfungen. Denn es werden u. a. zerstörungsfreie Prüfverfahren eingesetzt, die ausschließlich auf bestimmte erwartete Fehlertypen ausgerichtet sind [RECK 2003].

Für die Bestimmung der Belastungen und deren Auswirkungen auf das Werkstoffverhalten ist man auf Rechenverfahren angewiesen, die auf Untersuchungen an Modellsystemen basieren, so dass nicht quantifizierbare Unsicherheiten bestehen. Erschwerend kommt hinzu, dass mit zunehmendem Alter der Anlage Schädigungsmechanismen auftreten können, mit denen nicht gerechnet wurde oder die sogar ausgeschlossen wurden.

Die Folgen der Alterung zeigen sich auf zwei Arten. Einerseits ist zu erwarten, dass die Anzahl von Störungen und Störfällen zunimmt – dies betrifft kleine Leckagen, Risse, Kurzschlüsse wegen Schäden an Kabeln usw. Andererseits gibt es Effekte, die eine graduelle Schwächung von Werkstoffen bewirken. Mit Glück zeigen sich die Konsequenzen dieser Schwächungen erst nach der Stilllegung des Reaktors; sie können jedoch auch zu katastrophalem Versagen von Komponenten mit schwerwiegenden radioaktiven Freisetzungen führen. Der wichtigste dieser Effekte ist die Versprödung des Reaktordruckbehälters, die die Gefahr eines Berstens des Behälters erhöht (s. Kapitel 2).

Alterungsprozesse können auch in anderen Bereichen weit reichende Folgen haben. Zum Beispiel können in alternden Anlagen mit schlechter werdendem Material der Kabelisolierungen Kurzschlüsse und Kabelbrände mit wachsender Häufigkeit auftreten. Die Brandgefahr steigt damit signifikant an [RÖWEKAMP 2004].

³ Während der Revision 2002 traten an drei der vier Stutzen, mit denen die Speisewasserleitung an die Dampferzeuger angeschlossen ist, bei Prüfungen unerwartete Rissanzeigen auf. Sie stellten sich im Verlauf weiterer Untersuchungen als Mulden heraus, die während der Stillstandszeiten der Anlage durch Korrosion entstanden waren.

Reaktoren altern nicht nur physisch infolge des Betriebs, sie veralten auch in ihrer Konzeption und Auslegung, die für mehrere Jahrzehnte festgelegt worden sind. Zwischen ursprünglicher Auslegung und neuesten Sicherheitsanforderungen öffnet sich mit der Zeit ein Graben, der mit Nachrüstungsmaßnahmen nur teilweise überbrückt werden kann [COEYTAUX 2004]. Die Auslegungsdefizite des AKW Esenshamm (wie z. B. die geringere Wandstärke der Reaktorkuppel) sind in Kapitel 2 dargelegt.

3.2 Abbau von Sicherheitsmargen durch Leistungssteigerung

Bei fast allen deutschen Atomkraftwerken wurde im Laufe ihrer Betriebszeit mindestens einmal die elektrische Leistung erhöht. Der überwiegende Teil der Leistungserhöhungen wurde bisher durch Wirkungsgrad verbessernde Umbaumaßnahmen im konventionellen Anlagenbereich ausgeführt. Im AKW Esenshamm wurde 1992 und 1996 durch Wirkungsgrad verbessernde Maßnahmen die elektrische Nettoleistung um 25 MW bzw. 30 MW erhöht.

Eine andere Möglichkeit zur Steigerung der elektrischen Leistung ist die Erhöhung der thermischen Reaktorleistung. Dies stellt jedoch eine Anlagenänderung dar, durch die Sicherheitsmargen abgebaut werden und zugleich der Alterungsprozess der Anlage beschleunigt wird. Im Jahr 2000 wurde im AKW Esenshamm die thermische Reaktorleistung von 3733 auf 3900 MWth (4,5%) und damit die elektrische Nettoleistung um 60 MW erhöht.

Diese Erhöhung war aus mehreren Gründen bemerkenswert:

- Bei keinem anderen DWR der 2. Generation wurde die thermische Reaktorleistung heraufgesetzt.
- Selbst bei den neueren AKW, den DWR der 3. und 4. Generation, wurden vergleichbare Leistungserhöhungen in zwei Schritten durchgeführt - zunächst eine Erhöhung um ca. 2 % und dann erst 7 bis 10 Jahre später eine Erhöhung um weitere ca. 2,5 %.
- Im Jahr 2001 wurde für das AKW Grafenrheinfeld eine ähnliche Leistungserhöhung (von 3765 auf 3950 MWth), die im Jahr 2000 im AKW

Esenshamm durchgeführt worden war, beantragt. Das BMU schaltete sich in das Genehmigungsverfahren ein und verlangte auf Empfehlung der RSK die Vorlage von zusätzlichen Sicherheitsnachweisen [RSK 2003]. Da diese bisher nicht erbracht werden konnten, ist die Genehmigung bis heute nicht erteilt.

- Die Anhebung der thermischen Reaktorleistung im Atomkraftwerk Esenshamm erfolgte ohne (kostenintensive) technische Umrüstungen, lediglich die leittechnischen Einstellwerte wurden geändert [KW 1209/2000]. Sicherheitstechnisch ist diese Vorgehensweise höchst bedenklich, alte Systeme wurden nicht durch neue und gegen höhere Belastungen ausgelegte Systeme ersetzt. Dass die höheren Belastungen sicherheitstechnisch „akzeptabel“ sind, wurde vor allem auf dem Papier – durch den Abbau von Sicherheitsmargen – nachgewiesen [SOMMER 2004].

Von der Erhöhung der thermischen Reaktorleistung ist eine Vielzahl von Systemen und Komponenten betroffen (u. a. Reaktorkern, Reaktorkühlkreislauf, Wasserdampfkreislauf, Not- und Nachkühlsystem, Notspeisesystem, leittechnische Einrichtungen, elektrischer Eigenbedarf und Netzeinspeisung) [SOMMER 2004]. Insofern bewirkt eine Leistungserhöhung eine Vielzahl von Änderungen im Anlagenverhalten, diese wirken sich vor allem bei der Störfallbeherrschung aus.

Die RSK untersuchte im Auftrag des BMU die beantragte Leistungserhöhung für das AKW Grafenrheinfeld. Nach Aussage der RSK verursacht die Leistungserhöhung u. a. eine deutliche Verringerung der Karenzzeiten (d. h. der Differenz zwischen benötigter und verfügbarer Zeit) für Handeingriffe bei Notfallmaßnahmen zur. Die geplante sekundär- und primärseitige Druckentlastung soll im Falle eines auslegungüberschreitenden Störfalls die massive Freisetzung von radioaktiven Stoffen verhindern [RSK 2003].

In der komplexen und unübersichtlichen Situation, die in der Folge eines auslegungüberschreitenden Unfalls eintritt, ist nicht von der sofortigen Handlungsfähigkeit des Personals auszugehen. Die Gewährleistung von ausreichend langen Karenzzeiten für die Durchführung von Notfallprozeduren ist insofern unbedingt erforderlich.

Die Bedeutung der Auswirkungen von Leistungssteigerungen auf die Sicherheitsmargen bei AKW wird dadurch unterstrichen, dass die IAEA im Oktober 2003 eine Konferenz zu diesem Thema veranstaltete [IAEA 2004].

Im Rahmen einer Leistungssteigerung wird der Sicherheitsabstand zwischen der Versagensgrenze einer Komponente oder eines Systems und dem Ergebnis der Sicherheitsanalyse abgebaut [IAEA 2004].

Dieser Abbau von Sicherheitsmargen wird mit der wachsenden Genauigkeit der Störfallanalysen begründet [SOMMER 2004]. Die postulierte Genauigkeit ist jedoch auch heute nicht gegeben. In keiner Analyse wird jede Eventualität zahlenmäßig erfasst. Insofern gewährleistet die vermeintliche Rechengenauigkeit keine ausreichende Sicherheit, sondern erweckt nur die Illusion einer solchen.

Auch wenn in einigen Fällen die mit der Änderung verbundene Reduzierung von Sicherheitsmargen „akzeptabel“ sein mag, ist sie an anderen Stellen (wie bei der Zuverlässigkeit der Notfallschutzmaßnahmen) vollkommen unverständlich.

Diese – von wirtschaftlichen Motiven getriebene – Vorgehensweise kann dazu führen, dass durch einen unerwarteten Ausfall von Komponenten oder Systemen, Ereignisabläufe bei einem Störfall auftreten, die nicht mehr beherrscht werden können. Gerade vor dem „Unerwarteten“ sollen die Sicherheitsmargen Schutz bieten.

Das Altern einer Anlage sowie der wachsende Graben zwischen der Auslegung einer Anlage und der Entwicklung der Sicherheitsanforderungen (Veralten) sind zwei ohnehin schon wirksame Faktoren für die fortlaufende Verminderung der Sicherheitsmargen, die – wenn überhaupt – nur mit strengen Kontrollen und mit Investitionen in die Anlage aufgewogen werden können [COEYTAUX 2004].

Um dem fortschreitenden Alterungsprozess des AKW Esenshamm Rechnung zu tragen, hätten die Sicherheitsmargen nicht noch durch eine Leistungserhöhung weiter reduziert werden dürfen.

3.3 Gefahr durch Überflutung der Anlage

Der lange befürchtete Klimawandel ist inzwischen Realität geworden, darüber besteht heute Einigkeit unter den Experten. Die globale Durchschnittstemperatur stieg seit Anfang des 20. Jahrhunderts um $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ und der mittlere jährliche Niederschlag in der Nordhemisphäre um 0,5 bis 1 % pro Dekade [MUNICH 2005].

Von den globalen Änderungen ist auch die Region um das AKW Esenshamm betroffen. Im Rahmen des Projektes Klimaänderung und Unterweserregion (KLIMU) wurde bis zum Jahr 2050 eine Erhöhung des Meeresspiegels von 55 cm, des Tidehochwassers um 7,5 %, des Tidehubs um 30 cm und der Windintensität um ca. 4 % prognostiziert [OSTERKAMP 2000].

Die Forschungsergebnisse von Klimawissenschaftlern belegen, dass bereits geringe Temperaturänderungen außerordentlich große Wirkung bei den Extremwerten entfalten. Laut Hamburger Max-Planck-Institut für Meteorologie wird es künftig in Deutschland häufiger zu heftigen Unwettern mit sintflutartigen Regenfällen und schweren Überschwemmungen kommen [Volke 2005]. Es ist zu befürchten, dass diese gravierende Folgen haben werden, denn weder Menschen, noch Gebäude oder Infrastruktur sind zurzeit auf solche Extreme vorbereitet [MUNICH 2004].

Extremereignisse, insbesondere Stürme und Überflutungen, stellen eine große Gefahr für Atomkraftwerke dar. In einem internationalen Bericht [HIRSCH 2005] wird anhand von bisher aufgetretenen Unfällen in Atomkraftwerken verdeutlicht, welche komplexen Situationen als Folge von Überschwemmungen auftreten können. Es zeigten sich meist sowohl generelle Sicherheitsprobleme als auch spezielle Probleme am jeweiligen Standort. Deutlich wurde auch, dass das Personal nicht vorbereitet war und Eingreifmöglichkeiten von außen durch eine Isolation des Geländes erschwert waren.

Nach dem gefährlichen Überflutungsereignis im französischen AKW Blayais im Dezember 1999 forderte das BMU von den Ländern einen Bericht und Unterlagen zur Auslegung der deutschen Atomkraftwerke gegen Hochwasser an. Die GRS wurde mit der Erstellung eines Gutachtens beauftragt.

Bereits 1997 war in einer Studie im Auftrag des BMU festgestellt worden, dass zu der äußeren Einwirkung „externe Überflutung“ in Deutschland kaum Untersuchungen

vorliegen. Die wenigen verfügbaren Analysen und Daten behandeln das Thema auf eine relativ globale und qualitative Art. In den USA basiert die hypothetisch angenommene Überflutung auf einer Abschätzung der ungünstigsten möglichen Beiträge. Die deutsche Vorgehensweise, die auf einer Extrapolation der Pegelstände basiert, sei dagegen weniger konservativ. Zudem sei aufgrund laufender Veränderungen in der Hochwasserverbauung, Flusstopographie oder der Eindeichung die Zuverlässigkeit der verwendeten älteren Daten in Frage zu stellen [BMU 1997]. Referenzanlage der Studie war das AKW Esenshamm.

Die beiden wesentlichen Beiträge, deren gleichzeitiges Auftreten für eine Gefährdungssituation sorgt, sind Sturm-/Orkanflut und Tidehochwasser (Springtide). Bei starken Sturmfluten, die meist 10 bis 30 Stunden andauern, sind Hochtide maxima möglich, die 2 bis 3 m über dem normalen Tidehochwasser-Werten liegen [BMU 1997]. Die Überflutungen des AKW-Geländes können durch eine länger dauernde Deichüberflutung oder durch einen Deichbruch verursacht werden.

Eine vom BMBF geförderte Studie untersuchte den Schutz des AKW Esenshamm gegen Hochwasser. Die Autoren errechneten als Bemessungswasserstand für ein 10.000-jähriges Hochwasser 6,90 m ü. NN (± 2 cm). Zu diesem Wert muss ein Sicherheitszuschlag von 0,8 m für Sturmfluten addiert werden. Als erforderliche Deichhöhe ermittelten sie so einen Wert von 7,70 m ü. NN. Das Gelände des AKW Esenshamm liegt jedoch nur hinter einem Schutzdeich von 7,10 m ü. NN. Die Autoren halten daher eine Erhöhung des Deiches für erforderlich [MAI 2002].

Das AKW-Gelände ist im Vergleich zur Umgebung höher gelegen. Durch erhöhte Anordnung der zu schützenden Systeme/Komponenten sowie der Eingänge und Öffnungen soll ein zusätzlicher Hochwasserschutz gewährleistet werden.

In zwei gutachterlichen Stellungnahmen zum möglichen Wasserstand auf dem Gelände des AKW Esenshamm wurde ermittelt, dass das Gelände nach einem Deichbruch innerhalb von wenigen Minuten bis zu 2,8 Meter überflutet wird. Das Erreichen der Anlagensicherheitsgrenze (gekennzeichnet durch den Ausfall des sicheren Betriebs der Anlage) von 4 Meter wird bei einer Deichbruchlänge von 220 Metern errechnet. Diese Deichbruchlänge wurde jedoch für unrealistisch gehalten [BMU 1997]. Die Stellungnahmen sind jedoch aus den Jahren 1977 und 1995 und gehen von einem

deutlichen geringeren Bemessungswasserstand (6 m ü. NN) aus als heute anzusetzen ist (6,90 m ü. NN).

In der probabilistischen Sicherheitsanalyse, als Bestandteil der periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) 2001 erstellt, wurde für das AKW Esenshamm als Häufigkeit für einer Deichüberflutung $6 \cdot 10^{-5}/a$ und für einen Deichbruch $6 \cdot 10^{-6}/a$ angegeben. Das Erreichen der Anlagensicherheitsgrenze wurde mit $6,5 \cdot 10^{-7}/a$ abgeschätzt [RICHEI 2002]. Die genannten Wahrscheinlichkeiten entsprechen den in der BMU-Studie aus 1997 genannten Werten [BMU 1997]. Das lässt darauf schließen, dass für die PSÜ immer noch die veralteten Gutachten aus den Jahren 1977 und 1995 herangezogen wurden.

Das heißt auch, dass diese Häufigkeiten noch auf einem Bemessungswasserstand von 6 m ü. NN beruhen. Die Auswirkung einer Überflutung wird so stark unterschätzt. Denn wenn es bei einem höheren Tidehochwasser zu einem Deichversagen kommt, ist zu erwarten, dass auch auf dem Gelände der Wasserstand höher sein wird als in der BMU-Studie angegeben. Die Gefahr der Überflutung ist auf dem AKW-Gelände kein lineares, sondern ein Schwellen-Problem. Bei einem Pegelstand, der der Anlagensicherheitsgrenze entspricht, versagt die Nachwärmeabfuhr. Der komplette Ausfall der Nachwärmeabfuhr führt nach 2 Stunden Dauer zum Sieden des Kühlmittels im Primärkreislauf und schließlich zur Kernschmelze.

Aber auch wenn der Wasserstand auf dem Gelände unterhalb der Sicherheitsgrenze bleibt, kann ein gefährlicher Kernschmelzunfall resultieren. Die Gefahr wird durch die besondere Untergrundsituation am AKW Standort Esenshamm, die zu unerwarteten Problemen führen kann, verschärft.

Laut BMU-Studie sind die externen elektrischen Anlagen (Trafos, usw.) am wenigsten geschützt und fallen daher zuerst aus. In diesem Fall hängt die Nachwärmeabfuhr vom Funktionieren der Notstromversorgung und vom Hochwasserschutz der wichtigen, für die Nachkühlung erforderlichen Pumpenantriebe ab. Eine externe Überflutung führt also sehr rasch zum gefährlichen „Notstromfall“ [BMU 1997].

Für ein AKW ist grundsätzlich eine ununterbrochene Stromversorgung dringend erforderlich. Im „Notstromfall“ soll diese durch die Dieselaggregate gewährleistet werden. Die Notstromdiesel sind jedoch störungsanfällig. Im Jahr 2003 traten in

Deutschland z.B. 24 Störungen (34 % der gemeldeten Ereignisse) im Notstromsystem auf, davon betrafen die Hälfte die Notstromdiesel [BFS 2004b].

Im Notstromdieselgebäude des Atomkraftwerks Esenshamm sind die Lufteinlassöffnungen und Kraftstoffzuleitungen so hoch angeordnet, dass ein Ausfall der Motoren als ausgeschlossen gilt, allerdings ist das Nachfüllen der Dieseltanks ab einer gewissen Höhe nicht mehr möglich [BMU 1997]. Zudem ist generell nur die Vorratshaltung von Dieselkraftstoff für 72 Stunden vorgeschrieben.

Wenn aber auch die Notstromdiesel versagen bzw. der Treibstoff ausgeht, ist ein schwerer Unfall schwer aufzuhalten. Ohne Stromversorgung kann die Betriebsmannschaft den Reaktorkern weder überwachen noch kühlen. Eine Kernschmelze droht. Auch der Brennstoff im Lagerbecken des Reaktorgebäudes wird im Laufe der Zeit überhitzt. Dadurch kann es zusätzlich zu radioaktiven Freisetzungen kommen.

Von dem Gelingen der Notfallmaßnahmen hängt ab, wie der Unfall verlaufen wird. Entscheidend ist insbesondere, ob die Betriebsmannschaft einen Kernschmelzunfall mit offenem Containment verhindern kann. Davon ist angesichts der in Kapitel 2 beschriebenen Schwächen in der Betriebsführung und der Auslegung, sowie der Verringerung der Sicherheitsmargen durch Alterung und Leistungserhöhung (s. Kapitel 3.1 und 3.2) und aufgrund der Situation auf dem AKW-Gelände durch eine Überschwemmung nicht sicher auszugehen.

Das die Überschwemmung verursachende Unwetter kann auch einen länger andauernden Netzausfall in der Umgebung bewirken. In diesem Fall ist mit einer Beeinträchtigung bei Verkehr und Kommunikation zu rechnen, die die erforderlichen Maßnahmen des Katastrophenschutzes erschweren.

Der Schutz deutscher Atomkraftwerke gegen Hochwasser (KTA 2207) geht seit 2004 für die Auslegung gegen Hochwasserereignisse nicht mehr von einem 1000-jährigen Hochwasser, sondern von einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10.000 pro Jahr aus [KTA 2004]. Aufgrund des Vergleichs der Angaben aus der o. g. Studie [MAI 2002] und der PSÜ 2001 [RICHEI 2002] ist anzuzweifeln, dass die neue Anforderung für das AKW Esenshamm erfüllt wird.

Die Abschätzung der Häufigkeit von Gefährdungszuständen durch Hochwasser durch Extrapolation von den in einem Zeitraum von 100 Jahren beobachteten Hochwasserständen auf Hochwasserstände, die mit einer Jährlichkeit von 10.000 auftreten, ist aber auch generell problematisch. Die Schwankungsbreite der extrapolierten Hochwasserstände kann bis zu 2 Meter betragen [RICHEI 2002].

Vor allem Extremereignisse bedingt durch die Klimaänderung sind kein lineares Problem, das sich statistisch neu berechnen lässt. Die letzten Jahre haben zudem mehrfach gezeigt, dass unerwartete Ereignisse auftreten.

Als Grundlage für die Einschätzung der Hochwassergefahren kann zwar einerseits nur die breite Datenbasis des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) dienen. Allerdings stützten sich die Berechnungen immer auf eine bereits veraltete Datenbasis⁴.

Anschließend müssen die Erkenntnisse in neue atomrechtliche Anforderungen und dann von den Betreibern in Maßnahmen umgesetzt werden. Ein jahrelanger Prozess, der in der Zwischenzeit ein gefährliches Sicherheitsvakuum schafft. Es ist zudem zu befürchten, dass Nachrüstmaßnahmen nur halbherzig ausgeführt werden und vor allen Dingen nur, wenn sie nicht zu kostenintensiv sind.

Zudem wird in der Umgebung des AKW Esenshamm eine Erhöhung des Deiches nicht überall uneingeschränkt möglich sein, da damit eine Vergrößerung des Deichgrundes erforderlich wird, die sich nicht überall realisieren lässt.

Laut wissenschaftlicher Erkenntnisse besteht für das AKW Esenshamm ein nicht zu vernachlässigendes Risiko einer Überschwemmung des Anlagengeländes [MAI 2002]. Die Gefahr steigt aufgrund des Klimawandels an. Aufgrund der großen Gefahr, die von einer Überflutung ausgeht – ein Kernschmelzunfall mit offenem Containment droht –, ist ein Weiterbetrieb des AKW Esenshamm schon allein aus diesem Grund mit großen Risiken verbunden.

⁴ Das IPCC bewertet seit 1998 Informationen hinsichtlich eines Klimawandels und dessen möglicher Folgen. Der dritte Report wurde 2001 veröffentlicht [IPCC 2001]

4. Terror-Angriffe

Auch schon lange vor dem 11. September 2001 haben Terrorgruppen Entschlossenheit und Fähigkeit demonstriert, Anschläge auf exponierte Ziele zu verüben. Aufgrund der derzeitigen globalen Situation erscheint die Terror-Gefährdung als besonders groß⁵.

Potenzielle Ziele für terroristische Angriffe gibt es viele. Ein Atomkraftwerk könnte jedoch aus folgenden Gründen als Angriffsziel attraktiv erscheinen:

- Wegen des Symbolcharakters – Atomenergie wird als Inbegriff technologischer Entwicklung gesehen. Es handelt sich darüber hinaus um eine Technik mit zivil/militärischem Doppelcharakter.
- Wegen der langfristigen Wirkung – ein Angriff kann zu weiträumigen radioaktiven Kontaminationen führen. Dem angegriffenen Staat wird über Jahrzehnte ein wirtschaftlicher Schaden zugefügt.
- Wegen der unmittelbaren Wirkung auf die Elektrizitätserzeugung – Atomkraftwerke sind, wo immer sie betrieben werden, wichtige Bestandteile der Stromversorgung.
- Wegen der weltweiten Aufmerksamkeit – ein erfolgreicher Angriff auf ein Atomkraftwerk in einem Land ist gleichzeitig ein Angriff auf alle Atomkraftwerke der Welt [BRAUN 2002].

Seit dem 11. September 2001 konzentriert sich die öffentliche Diskussion der Terrorgefahr weitgehend auf Selbstmordangriffe mit einem Verkehrsflugzeug. Tatsächlich ist die Bedrohung jedoch erheblich vielfältiger. In der vorliegenden Studie werden einige Beispiele aufgelistet, um die Bandbreite der Bedrohung zu illustrieren.

⁵ Diese Situation soll hier weder diskutiert noch bewertet werden. Ein Hinweis erscheint allerdings wichtig: Wenn auch zurzeit vor allem die Bedrohung aus einer bestimmten Richtung (islamistischer Fundamentalismus) im Mittelpunkt des medialen Interesses steht, existieren weltweit eine Vielzahl von weltanschaulichen Richtungen und Organisationen, aus denen sich potenzielle Tätergruppen rekrutieren können.

Nicht behandelt wird hier der Einsatz von Kernwaffen und von neuen Waffensystemen, die in absehbarer Zukunft das Spektrum denkbarer Terroranschläge vergrößern⁶.

Bei Diskussionen über die Gefahr von möglichen Terroranschlägen ist es von großer Bedeutung, keine Hinweise zu geben oder Überlegungen anzustellen, die Anleitungskarakter haben und bei der Planung und Durchführung eines Attentats „hilfreich“ sein könnten. Daher sind die Überlegungen und Szenarien der vorliegenden Studie bewusst sehr zurückhaltend formuliert, sensitive Details wurden vermieden. Alle Informationen, die hier verwendet wurden, sind öffentlich zugänglich oder ohne großen Aufwand erhältlich. Eine Gruppe von Terroristen, die von ihren Fähigkeiten, Kenntnissen und Ressourcen her grundsätzlich dazu in der Lage wäre, wirksame Anschläge durchzuführen, wird hier keine „nützlichen“ Anhaltspunkte oder Ratschläge finden.

4.1 Angriffe aus der Luft

Nach dem 11. September 2001 wurden von der Bundesregierung verschiedene Studien zu den Folgen von terroristischen Flugzeugangriffen auf Atomkraftwerke in Auftrag gegeben. Diese Untersuchungen unterliegen der Geheimhaltung. Die Zusammenfassung einer Studie (von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, GRS) wurde dennoch von dem deutschen Umweltverband B.U.N.D. veröffentlicht [BMU 2002].

In der GRS-Studie werden exemplarisch fünf Referenzanlagen behandelt, die die in Deutschland betriebenen Typen der Atomkraftwerke abdecken. Nach Aussage der Autoren kann diese Studie jedoch anlagenspezifische Analysen nicht ersetzen. Diese sind bisher nicht erfolgt. Es werden die drei bei derartigen Flugzeugabstürzen wichtigen Einwirkungen betrachtet: Aufprall des Flugzeugs, Trümmerflug und Kerosin-Brand. Dabei werden mehrere Lastfälle unterschieden, zwei Absturzgeschwindigkeiten: 175 m/s und 100 m/s und drei Flugzeugtypen: groß, z. B. Boeing 747; mittel; klein.

⁶ Als Beispiel sei hier das Luft/Boden-Lenkflugköpersystem Taurus genannt, das für die Bekämpfung von Bunkern entwickelt wurde. Es besitzt einen Sprengkopf mit mehreren Ladungen, um nicht nur in ein Ziel einzudringen, sondern auch in dessen Inneren zu explodieren [SUT 2001].

Laut GRS-Studie ist für das AKW Esenshamm (wie für die anderen DWR der 2. Generation: Biblis A und B, Neckarwestheim 1) eine Kernschmelze mit großen Freisetzen auch bei Absturz der kleineren Flugzeugtypen und auch bei der geringeren Geschwindigkeit möglich. Schon die Zerstörung der Warte mit anschließendem Brand kann für Esenshamm (wie für Biblis A und Neckar 1) zu einem schweren Unfall führen.

Bei den neueren DWR wird eine Durchdringung der wesentlich dickeren Betonhülle des Reaktorgebäudes ausgeschlossen. Zu einer Kernschmelze kann es dort aber dennoch, bei Zerstörung der Warte mit Folgebrand, kommen. Zu den Lastfällen der GRS-Studie ist anzumerken, dass diese nicht konservativ-abdeckend sind. Der in nächster Zeit zum Einsatz gelangende Airbus 380 wurde z. B. nicht betrachtet.

Für einen Terror-Angriff aus der Luft ist außer einem Angriff mit einem Verkehrsflugzeug eine Reihe weiterer Angriffsszenarien denkbar: Insbesondere zu erwähnen ist:

- der gezielte Absturz eines mit Sprengstoff und/oder brennbaren Stoffen beladenen Frachtflugzeuges,
- der gezielte Absturz eines mit Sprengstoff beladenen Privatflugzeuges,
- der gezielte Absturz eines mit Sprengstoff beladenen unbemannten Luftfahrzeugs (Drohne),
- der gezielte Absturz eines mit Sprengstoff beladenen Helikopters,
- der gezielte Absturz eines Kampfflugzeuges mit Bombenlast.
- der Abwurf einer Bombe aus einem Helikopter
- der Abwurf einer Bombe aus einem privaten Flugzeug.

Vorstellbar ist auch der Einsatz mehrerer der genannten Flugobjekte.

Aufgrund der geringen Wandstärke der Reaktorkuppel und der anderen sicherheitstechnisch relevanten Gebäude ist die Gefährdung durch einen Terrorangriff aus der Luft für das AKW Esenshamm besonders hoch.

Angriffsziel eines derartigen Terror-Angriffs wird vor allem das Reaktorgebäude sein. Dabei kommt es mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer Kernschmelze bei offenem Containment; erhebliche Folgen kann auch die gleichzeitige Zerstörung mehrerer wichtiger Nebenanlagen (z. B. Warte, Notstromanlagen, Netzanbindung) haben.

Es steht außer Frage, dass große Passagierflugzeuge bzw. alle der genannten Flugobjekte als „Instrumente“ des Angriffes zur Verfügung stehen und eingesetzt werden könnten. Das AKW Esenshamm liegt nur ca. 46 km vom internationalen Flughafen Bremen entfernt. Im Umkreis von 30 km befinden sich weiterhin zwei Sportflugplätze und in Abständen von 40 bis 55 km drei Bundeswehr-Fliegerhorste.

4.2 Beschuss von außerhalb des Anlagengeländes

Ein Beschuss eines Atomkraftwerks mit einem Artilleriegeschütz (Feldhaubitze) ist mit einem vergleichbaren logistischen Aufwand durchführbar wie ein Terror-Angriff mit einem Verkehrsflugzeug und könnte Auswirkungen im gleichen Umfang nach sich ziehen.

Die von einem Fahrzeug gezogenen Geschütze gehören in nahezu allen Staaten zur Ausrüstung der Armee. Sie platzieren Treffer, auch wenn sich die Zielobjekte hinter einem Objekt befinden (indirekter Beschuss). Standardkaliber der Feldhaubitze sind 155 mm (Westen), bzw. 152 mm (Osten). Im letzten Jahrzehnt wurden leistungsstarke Feldhaubitzen entwickelt, die sich durch ein geringeres Gewicht (ca. 4 t) auszeichnen [FOSS 2001; O'MALLEY 1996; MILTECH 7/2000].

Ein einfacher Transport sowie ein schneller Übergang von Transport- in Feuerstellung gehören zu den wesentlichen Leistungsanforderungen im militärischen Einsatz. Zum Transport wird das Kanonenrohr in Fahrtrichtung geschwenkt. Die Ausmaße in Höhe (ca. 3 m), Länge (ca. 7 m) und Breite (ca. 2,5 m) und somit auch die Rangierbarkeit entsprechen in etwa einem LKW-Anhänger. Transportgeschwindigkeiten bis 80 km/h sind möglich [FOSS 2001; O'MALLEY 1996].

Für einen unerkannten Transport ist eine Tarnung der Haubitze erforderlich. Diese kann in Form eines selbstgebauten Gerüsts um das Geschütz oder auch einfach durch eine Plane erfolgen. Geht man davon aus, dass die so getarnte Waffe nicht über eine lange

Strecke transportiert wird, sondern von einem verborgenen Stützpunkt aus (zu dem sie in zerlegter Form verbracht wurde) in die Nähe des Atomkraftwerks gelangt, erscheint ein unerkanntes – oder zumindest ein nicht rechtzeitig gestopptes – Annähern als möglich.

Auch wenn nach Entfernen der Tarnung Geschütz sowie Absicht der Attentäter erkennbar werden, ist aufgrund der kurzen Zeitdauer des potenziellen Terroranschlags (wenige Minuten) die Durchführbarkeit zweifellos gegeben. In diesem Zeitraum könnte nur ein geringes Aufgebot an Sicherheits- oder Polizeikräften die Attentäter erreichen und von diesen gegebenenfalls mit Hilfe von Schusswaffen abgewehrt werden.

Artilleriegeschütze sind für eine schnelle Schussfolge ausgelegt. In einem so genannten Feuerschlag können sie bei hoher Zielgenauigkeit bis zu 10 Geschosse in einer Minute abfeuern. Für eine gravierende Auswirkung ist insofern eine Beschussdauer von einer Minute ausreichend. Ein längerer Beschuss erhöht das Ausmaß der potenziellen Folgen.

Haubitzen können eine große Anzahl verschiedenster Munitionstypen verschießen. Der meist verwendete Typ ist das HE-(high explosive) oder Spreng-Geschoss. Es besteht aus einer mit Sprengstoff gefüllten Stahlhülle und einem Zünder. Nachdem der Zünder die Explosion ausgelöst hat, zerschlägt die Sprengladung die Munitionshülle und versprengt spitze Stahlsplitter mit hoher Energie. Zusätzlich entsteht eine starke Druckwelle.

Für das hier betrachtete Terrorszenario wird angenommen, dass die Reaktorkuppel des AKW Esenshamm mit drei bis fünf HE-Granaten in einem Bereich von etwa zehn mal zehn Meter getroffen wird. Es ist davon auszugehen, dass zumindest der getroffene Bereich vollständig zerstört wird. Das bedeutet, dass Betontrümmer mit einem Gewicht von jeweils mehreren Tonnen in das Reaktorgebäude fallen. Der Beschuss bewirkt also insgesamt vier Schadensmechanismen: Druckwelle, Splitterflug, Erschütterungen und Herabstürzen von Trümmern.

Die Sicherheitshülle (Containment) befindet sich im oberen Teil des Reaktorgebäudes in geringem Abstand hinter der Betonhülle. Das Containment ist aus Stahl und hat nur eine geringe Wandstärke (bis zu 29 mm [BMU 2004]). Es kann den beim Beschuss auftretenden Belastungen nicht standhalten. Im Inneren des Gebäudes können die Trümmer Rohrleitungen, Komponenten (wie z. B. Dampferzeuger, Sicherheitssysteme,

das Brennelement-Lagerbecken, Kabel) und sonstige Einrichtungen zerstören bzw. beschädigen – u. U. bis hin zum tiefer liegenden Reaktordruckbehälter.

Es kommt mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem nicht mehr beherrschbaren Kühlmittelverluststörfall und damit zu einer Kernschmelze. Dabei handelt es sich um die gefährlichste und folgenschwerste Variante eines Kernschmelz-Unfalls – einer Kernschmelze mit offenem Containment.

Durch einen zusätzlichen Beschuss des gesamten Anlagengeländes mit Nebel- und/oder Brandgranaten (ebenfalls gebräuchliche Geschosse für Haubitzen) könnten sämtliche Notfall- und Gegenmaßnahmen gravierend beeinträchtigt werden.

4.3 Angriff vom Boden

Für einen Sprengstoffanschlag vom Boden aus gibt es zwei grundsätzliche Varianten: Eine große Menge (mehr als 1 Tonne) wird außerhalb der Gebäude oder eine kleinere Menge (einige Kilogramm) an sensitiven Stellen innerhalb der Gebäude zur Detonation gebracht.

Für einen derartigen Anschlag ist das Eindringen einer Angreifergruppe unter Mitführung von Sprengmitteln auf das Gelände des AKW Esenshamm erforderlich. Auf dieses können die Täter entweder durch Überwinden oder Durchbrechen des Anlagenzaunes mit Hilfe eines Fahrzeugs gelangen, möglich wäre auch ein Eindringen aus der Luft, z. B. mittels Helikopter. An welcher Stelle und mit welchen Hilfsmitteln der Geländezutritt am einfachsten möglich ist, wird hier nicht dargelegt. Es sollen lediglich einige grundsätzliche Überlegungen angestellt werden.

Atomanlagen sind nicht umfassend gegen unbemerktes oder gewaltsames Eindringen gesichert. Aktivisten der Umweltschutzorganisation Greenpeace haben in mehreren Aktionen im In- und Ausland demonstriert, wie leicht ein Zutritt möglich ist: Im Jahr 2003 gelang es ihnen gleich zweimal innerhalb von drei Monaten, auf das Gelände des britischen AKW Sizewell B vorzudringen. Sie schnitten dazu ein Loch in den doppelten Drahtzaun. Erst nach fünf Minuten waren drei unbewaffnete private Sicherheitsleute zur Stelle. In diesem Zeitraum wäre die Anbringung und Zündung von Sprengladungen problemlos möglich gewesen [WIRTSCHAFT 2003].

Es muss generell bezweifelt werden, dass die Wachmannschaft eines Atomkraftwerks in der Lage ist, einen bewaffneten und gut vorbereitenden Angriff zu verhindern. Denn ihre Aufgabe besteht weniger in einer direkten Bekämpfung von Angreifern, als in einer Alarmierung von Polizeikräften und in einer Abwehr bzw. einem Hinhalten von Angreifern, bis diese eintreffen. Bei einem Terror-Angriff ist jedoch damit zu rechnen, dass er innerhalb weniger Minuten „erfolgreich“ abgeschlossen ist und nicht zwangsläufig sofort entdeckt wird. Dagegen ist anzunehmen, dass Hilfe von außen mindestens eine Stunde braucht, um zum AKW zu gelangen. Allenfalls lokale Polizeikräfte könnten innerhalb von 20 bis 30 Minuten vor Ort eintreffen.

Bei privaten Wachdiensten stellt sich ohnehin die Frage nach einer ausreichenden Qualitätskontrolle. In Deutschland sind zu diesem Thema bisher keine Untersuchungen bekannt. Berichte aus den USA geben jedoch Hinweise auf (potenzielle) Probleme im Zusammenhang mit privaten Wachdiensten [SEIU 2004]. Überdies könnten Mitarbeiter einer Wachmannschaft von Terroristen erpresst oder bestochen werden und Angriffe unterstützen. Für den Werksschutz in Esenshamm ist die Firma Securitas zuständig, mit rund 200 Beschäftigten nach E.ON der zweitgrößte Arbeitgeber im AKW.

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten am AKW Esenshamm ist ein „unauffälliges“ Annähern an die äußere Umschließung, d.h. ein Annähern ohne als potenzielle Attentäter erkannt zu werden, möglich.

Im Westen führt eine Landstraße (L 893) unmittelbar an der Geländeumschließung vorbei. An dieser Straße befinden sich auch im nördlichen Teil des Geländes zwei Zufahrtstore, eines für Straßenfahrzeuge und das andere für Schienenfahrzeuge. Die Hauptzufahrt des AKW liegt am südwestlichen Geländerand. Im Norden verläuft die Landstraße nicht direkt am Zaun vorbei, eine kleine, begehbare Wiese liegt unmittelbar am Gelände [BFS 2003].

Ein Landesschutzdeich begrenzt das Gelände nach Osten und Süden. Die nordöstliche Geländecke ist über einen öffentlich zugänglichen Privatweg auf und neben dem Deich erreichbar. An der Ostseite des Geländes befindet sich an der Weser auch ein privater Yachthafen für die Mitarbeiter des Atomkraftwerks. Auf diesem Teil der Weser gibt es einen starken Sportbootverkehr. Zusätzlich passieren viele Schiffe, im Jahr 1998 waren es z.B. mehr als 13.000, den Standort [BFS 2003].

Die örtlichen Gegebenheiten lassen weiterhin einen beabsichtigten Zutritt, sogar einen „unbemerkt“ Zutritt, auf das Anlagengelände möglich erscheinen. „Unbemerkt“ bezieht sich hier nicht auf einen beliebigen Zeitraum, sondern auf die Zeitspanne, die zur erfolgreichen Ausführung eines Angriffs erforderlich ist, d.h. auf einen Zeitraum von einigen Minuten.

Zwei Beispiele, die bereits öffentlich bekannt sind: Eine Fußgängertür an der Bahn-Zufahrt war für einen langen Zeitraum nur provisorisch verschlossen. Da die Zufahrt unmittelbar an einer öffentlichen Straße liegt, war diese Schwachstelle leicht zu bemerken. Auch der private Yachthafen des Atomkraftwerks könnte ein Eindringen erleichtern. Beide Beispiele weisen auf eine mangelnde Sicherheitskultur auch bei der Sicherung der Anlage hin.

Denkbar ist auch, dass sich die Angreifer mit Hilfe von Innentätern (s. Kapitel 4.4) Zutritt verschaffen. In jedem Fall wird ein gewaltsames Eindringen auf das Gelände kaum zu verhindern sein.

Es ist insgesamt zu befürchten, dass es einer bewaffneten, gut ausgebildeten und fanatischen Angreifergruppe gelingen kann, zum Reaktorgebäude vorzustößen, in dieses einzudringen und dort einen folgenschweren Sprengstoffanschlag zu verüben.

Eine andere Variante für einen Sprengstoffanschlag ist die Platzierung einer oder mehrerer Autobombe(n) auf dem Anlagengelände. Als Tatmittel kommt z. B. ein mit mehr als einer Tonne Sprengstoff beladener LKW in Frage. Eine besondere Verwundbarkeit gegenüber dem Einsatz von Autobomben besteht immer dann, wenn auf dem Gelände des Atomkraftwerks gerade Bautätigkeiten durchgeführt werden. Dies eröffnet Terroristen die „Chance“, ein mit Sprengstoff beladenes Fahrzeug als Baufahrzeug zu tarnen. Der Einsatz von Bulldozern und ähnlichen Baufahrzeugen könnte dabei hilfreich bei der Überwindung von Hindernissen sein.

Gefährdet durch einen massiven Sprengstoffanschlag ist vor allem das Reaktorgebäude, es muss lediglich gegen einen Überdruck aus einer Explosionswelle von 0,45 bar ausgelegt sein. Dieser Wert wird bereits bei der Detonation von etwa eineinhalb Tonnen Sprengstoff in fünf Metern Entfernung erreicht [COOPER 1996; JUNGCLAUS 1975]. Kommen die mit Sprengstoff beladenen Fahrzeuge dichter heran, ist die Wirkung erheblich stärker.

Massive Folgen kann auch die Zerstörung der Warte oder die gleichzeitige Zerstörung mehrerer wichtiger Nebenanlagen (z. B. der Notstromanlagen) haben. Auch Angriffe auf außen gelegene Anlagenteile, wie Sprengung der Anbindung ans Stromnetz, können erhebliche Schäden verursachen.

4.4 Innentäter

Innentäter stellen für Atomkraftwerke möglicherweise eine noch größere Bedrohung dar als Angriffe von außen. Die Innentäter-Problematik wird daher in der Fachdiskussion sehr beachtet. Auf einer internationalen Konferenz zu Fragen der Sicherung von Atomanlagen im Sommer 2005 wurde darauf hingewiesen, dass es grundsätzlich zwar keineswegs einfach sei, ein Atomkraftwerk zu sabotieren. Es sei mit Insider-Wissen jedoch möglich [HONNELLIO 2005].

Beispielsweise stelle die Stromversorgung von wichtigen Komponenten einen sensitiven Punkt dar. Eine besonders verwundbare Situation könne entstehen, wenn der Betrieb für eine begrenzte Zeit mit einer verringerten Zahl von redundanten Strängen abläuft – etwa, weil an einem Teilsystem Wartungsarbeiten oder Prüfungen vorgenommen werden. Bereits kleine Sprengstoffmengen könnten, an kritischen Stellen angebracht, Schaden hervorrufen.

Das Gefährlichste an Innentätern sei aber ihr Wissen – dieses hätten sie stets bei sich, es gäbe keine Kontrolle darüber. Letztlich sei ein Schutz gegen Innentäter nicht möglich [HONNELLIO 2005].

Strenge Überprüfungen und Durchleuchtung des Vorlebens von Bewerbern soll die Einstellung von Innentätern verhindern. Ist es jedoch einem potenziellen Attentäter erst einmal gelungen, einen Arbeitsplatz im Atomkraftwerk zu erhalten, kann dieser u. U. weitere Innentäter anwerben – sei es durch ideologische Überzeugung, Bestechung, Verführung oder Erpressung.

Die „Anfälligkeit“ von AKW-Personal gegenüber Rekrutierungsversuchen hängt nicht zuletzt davon ab, wie sorgfältig die Mitarbeiter/innen vor der Anstellung überprüft und ausgewählt werden. Durch die zurzeit herrschende Knappheit an qualifiziertem Personal und den extensiven Einsatz von Fremdfirmen werden die Rekrutierungs-“Chancen“

möglicherweise erhöht. Die Möglichkeiten, die sich nach erfolgter Rekrutierung Innentätern bieten, hängen wiederum wesentlich von der internen Arbeitsorganisation und von den konkreten Maßnahmen ab, die zur laufenden Überwachung und Kontrolle der Mitarbeiter/innen gesetzt werden.

Die Innentäter-Problematik ist insofern eng mit der Sicherheitskultur verbunden. Eine schlechte Sicherheitskultur erhöht die Möglichkeiten für Innentäter, unbemerkt einzugreifen signifikant.

Eine sehr wichtige Schutzmaßnahme gegen Innentäter ist das Vier-Augen-Prinzip. Darauf wird sich aber auch im Wesentlichen verlassen. Es kann jedoch durch Unachtsamkeit und Schlamperei oder allgemein durch eine schlechte Sicherheitskultur unterlaufen und damit unwirksam werden. Es kann auch dann unwirksam werden, wenn es mehrere Innentäter gibt.

Eine schlechte Sicherheitskultur kann natürlich auch ohne böse Absicht zu Unfällen führen. Dabei gibt es eine Grau-Zone; frustrierte Mitarbeiter, denen „schon alles egal ist“, nehmen bei ihrer Arbeit u. U. Fehler in Kauf, ohne ausdrücklich einen Unfall auslösen zu wollen.

So berichtete der frühere Leiter von Block 2 des Atomkraftwerks Neckarwestheim, Eberhard Grauf, „... dass der Frust und Götz-von-Berlichingen-Standpunkt zwischenzeitlich in einem für den sicheren Betrieb eines Kernkraftwerkes bedenklichem Maße um sich gegriffen haben.“ Er wies darauf hin, dass grundlegende Aspekte der Sicherheitskultur zunehmend ignoriert würden. Zur Gefahr böswilligen Eingreifens erklärte Grauf, „schon ein Schichtleiter hätte allein mit einem Schraubenzieher erhebliche Eingriffsmöglichkeiten“ [TAGESSPIEGEL 2005].

Handlungsmöglichkeiten für Innentäter:

Die wichtigsten Handlungsmöglichkeiten für Innentäter sind:

1. Direktes Eingreifen in den Betrieb – die Auslösung eines schweren Unfalls ist aufgrund der automatischen Reaktorschutzsysteme schwierig, aber nicht unmöglich.
2. Sabotagehandlungen bei Reparatur- und Wartungsarbeiten, z. B. an sicherheitsrelevanten Ventilen oder an Mess- und Überwachungsgeräten.

3. Einsatz von Sprengladungen - der erforderliche Sprengstoff, um einen schweren Unfall auszulösen, könnte über einen längeren Zeitraum peu à peu in die Anlage geschmuggelt werden.
4. Unterstützung beim Eindringen einer Terrorgruppe und beim Auslösen eines schweren Unfalls.

Bezüglich der Handlungsoptionen unter Punkt 2 bis 4 ist zu beachten, dass während der Revisionszeiten ca. 1000 Personen von den verschiedensten Firmen im AKW tätig sind.

Grundsätzlich kommen auch Mitglieder der Wachmannschaft als Innentäter in Frage. Denkbar ist beispielsweise, dass diese Waffen bzw. Sprengmittel in Gebäude schmuggeln oder beim Einschmuggeln helfen. Auf die potenziellen Probleme, die im Zusammenhang mit privaten Wachleuten bestehen, wurde bereits in Kapitel 4.3 hingewiesen.

Besondere Verwundbarkeiten im Atomkraftwerk Esenshamm:

Die in Esenshamm bestehenden Mängel der Sicherheitskultur begünstigen die Aktivität etwaiger Innentäter, sei es durch Eingreifen in den Betrieb oder durch Sabotage bei Reparatur und Wartung. Mängel bei Qualitätssicherung und insb. bei Wareneingangskontrollen, wie sie 2002 deutlich wurden, erleichtern weiterhin das Einschmuggeln von Gegenständen oder Sprengstoff in die Anlage.

Die gegenüber neueren Anlagen geringere Wandstärke des Sicherheitsbehälters (Containments) bedeutet, dass geringere Sprengstoffmengen erforderlich sind, um von innen eine großflächige Öffnung im Sicherheitsbehälter zu erzeugen. Die geringere Zahl an Redundanzen bei der Notstromversorgung erhöht die Erfolgsaussichten für Innentäter, die Stromversorgung der Anlage lahm zu legen.

Ein denkbare Beispiel für ein Innentäter-Szenario in AKW Esenshamm könnte darin bestehen, dass eine Gruppe von Innentätern – evtl. unterstützt von weiteren Personen, denen sie den Zugang von außen ermöglicht haben – für einige Minuten die Kontrolle des Reaktorgebäudes übernimmt und dort einen folgenschweren Sprengstoffanschlag verübt. Die für eine solche Aktion erforderliche Sprengstoffmenge liegt in der Größenordnung von mehreren Kilogramm. Das Ergebnis eines derartigen Sprengstoffangriffes wäre ein Kernschmelzunfall mit offenem Containment – ein

Unfallszenario, das zu besonders hohen Freisetzungen führt. Der Ablauf eines solchen Unfalles und die dadurch hervorgerufenen radioaktiven Freisetzungen werden in Kapitel 5 dargestellt, die Folgen in Kapitel 6.

4.5 Gegen- und Schutzmaßnahmen

Verschiedene Maßnahmen zum Schutz der Atomkraftwerke gegen Terror-Angriffe sind denkbar, jedoch sind diesen Grenzen gesetzt. Die wichtigsten sind:

1) Das vorbeugende Abschalten eines Atomkraftwerks im Bedrohungsfall kann bei Angriffen aller Art Sicherheitsmargen erhöhen und insbesondere die Zeitspanne verlängern, die nach einem Angriff für Gegenmaßnahmen zur Verfügung steht.

Die thermische Leistung der Brennelemente (Zerfallswärme) nimmt jedoch im abgeschalteten Reaktor relativ langsam ab. Um einen nennenswerten Sicherheitsgewinn zu erzielen und im Ernstfall (auch bei Intaktbleiben des Einschlusses des Brennstoffs) Interventionszeiten von ca. einem Tag zur Verfügung zu haben, müsste ein Atomkraftwerk Monate vor einem Angriff abgeschaltet werden.

Für den Fall, dass Reaktordruckbehälter und/oder Kühlkreislauf beschädigt werden und es zu einem Kühlmittelverlust kommt, kann auch vorbeugendes Abschalten keine angemessen langen Interventionszeiten gewährleisten. Allerdings bestehen auch in diesem Falle gewisse Vorteile; die Kernschmelze wird etwas später eintreten.

2) Bauliche Schutzstrukturen könnten vor Angriffen aus der Luft oder vom Boden schützen. Schutzbauwerke gegen Angriffe aus der Luft werden von den Betreibern aufgrund der hohen Kosten abgelehnt. Darüber hinaus würden die Bauwerke schwerwiegenden Problemen nachsichziehen: die Bauwerke müssten in einem größeren Abstand um das Reaktorgebäude aufgestellt werden, sehr ausgedehnte und hohe Bauten wären notwendig. Diese müssten z.B. bei Abständen von über 200 m auch mindestens 200 m Höhe haben. Die Zerstörung einer solchen Struktur bei einem Flugzeugangriff wird zur Bildung von schweren Betontrümmern führen, die ihrerseits auf dem Anlagen-gelände Schäden bewirken können.

Wirksame Absperrungen können den Einsatz von Autobomben gegen ein Atomwerk wesentlich erschweren. Jedoch sind durch das relativ hohe Verkehrsaufkommen an und teilweise auch auf dem Anlagengelände auch der Wirksamkeit dieser Schutzmaßnahme Grenzen gesetzt.

3) Eine Vernebelung der Atomkraftwerke gilt in Deutschland als Schutz gegen gezielten Flugzeugabsturz. Dabei ist die Adaptation eines militärischen Konzeptes vorgesehen. Dies ist problematisch, da bei der militärischen Vernebelung die Voraussetzungen völlig andere sind als beim Schutz eines Atomkraftwerks. Eine militärische Nebelhaube soll beispielsweise ein Kriegsschiff kurzfristig vor dem Angriff mit automatisch zielsuchenden Flugkörpern schützen, worauf das Schiff im Schutz des Nebels das Weite sucht. Bei einem AKW dagegen handelt es sich um ein ortsfestes Ziel. Der Terrorpilot kann und wird den Angriff mit Hilfe eines Flugsimulators so lange trainieren, bis er das AKW „blind“ – also auch im Nebel– ansteuern kann.

Ein weiteres Problem liegt in der rechtzeitigen Auslösung der Maßnahme. Da Luftverkehrsstraßen in der Nähe des Atomkraftwerks verlaufen, ist eine Angriffsabsicht u. U. erst sehr spät erkennbar. Diese Unzulänglichkeiten des Vernebelungs-Schutzes wurden vom BMU niemals bestritten, es wurde allerdings darauf verwiesen, dass die Vernebelung nur als Teil eines Gesamtkonzeptes gedacht ist. Im Februar 2006 entschied jedoch das Bundesverfassungsgericht in Karlsruhe, dass der Abschuss eines gekaperten Verkehrsflugzeugs – als allerletztes Mittel ein wesentlicher Teil des Gesamtkonzeptes – gegen das Grundgesetz verstößt. Die geplante Störung des GPS- Systems einer potenziellen Terrormaschine wird von der Pilotenvereinigung Cockpit als problematisch für den Luftverkehr kritisiert. Zudem kann jedes Flugzeug auch ohne GPS-System navigieren [HAZ 2005]. Damit fällt das gesamte Schutzkonzept in sich zusammen.

4) Eine Verstärkung der Wachmannschaft könnte zwar wirkungsvoll bei einem leicht bewaffneten Terror-Angriff vom Boden her sein, sie bringt gegen eine mit schweren Waffen bewaffnete Gruppe aber wenig Nutzen. Eine Verstärkung der Wachmannschaft könnte zudem ihrerseits zu Risiken führen, falls nicht ausreichende Überprüfungen bei der Einstellung erfolgen: Es existieren mehr mögliche Innentäter, die „freiwillig“, oder da sie von Terroristen erpresst oder bestochen werden, Angriffe unterstützen.

5) Der Einsatz des Militärs zur Sicherung von Atomkraftwerken könnte ebenfalls selbst zu Risiken führen. Auch Militärpersonal könnte durch Erpressung, Bestechung, Verführung o. a. von Terroristen rekrutiert werden. Weiterhin könnten militärische Einrichtungen auf oder am Gelände von Terroristen übernommen werden. In diesem Zusammenhang ist auch darauf hinzuweisen, dass manche Experten bei verstärktem militärischem Schutz von Atomanlagen eine Eskalation der Gewalt befürchten. Ein derartiger Schutz könnte als Reaktion dazu führen, dass Terroristen zum Einsatz von Massenvernichtungswaffen übergehen [BRAUN 2002].

5. Möglicher Ablauf eines schweren Unfalls

5.1 Das Unfallszenario

Das durch einen Terror-Angriff auf ein Atomkraftwerk ausgelöste Unfallszenario hängt von Angriffsart, Angriffsziel und Treffgenauigkeit der Einwirkung ab. Abläufe und Folgen können sehr unterschiedlich sein.

Es ist anzunehmen, dass das Reaktorgebäude, das den hochradioaktiven Kernbrennstoff enthält, das primäre Angriffsziel darstellen würde. Kommt es zu einer Unterbrechung der Kühlung, kann eine Kernschmelze in sehr kurzer Zeit (Größenordnung eine Stunde) eintreten. Auch bei abgeschaltetem Reaktor ist die Nachzerfallswärme erheblich, so dass der Brennstoff, wenn auch langsamer, zum Schmelzen kommen kann.

Bei einer Zerstörung des Reaktorgebäudes mit Ausfall der Kühlsysteme resultiert der gefährlichste Kernschmelzunfall: Rasche Kernschmelze bei offenem Containment. In dieser Studie sollen die Folgen dieses Unfallszenarios betrachtet werden.

Die radioaktiven Freisetzungen sind in diesem Fall besonders hoch. Bei einer längeren Verzögerungszeit schlägt sich ein Teil der Radionuklide, die aus dem geschmolzenen Brennstoff freigesetzt wurden, an kälteren Flächen im Gebäude nieder. Dieser die Freisetzung nach außen reduzierende Faktor fällt bei von Anfang an offenem Containment weg.

Da keine auch nur zeitweilige Rückhaltung durch die Sicherheitshülle gegeben ist, erfolgen die Freisetzungen außerdem besonders schnell (innerhalb weniger Stunden). Für Maßnahmen des Katastrophenschutzes steht damit sehr wenig Zeit zur Verfügung.

Ausgelöst werden kann dieses Szenario durch einen Angriff von außen, der zu einer Zerstörung des Containments sowie schweren Schäden am Primärkreislauf führt und bei dem aufgrund nicht mehr beherrschbarer Leckgrößen und/oder schwerer Beschädigungen von Sicherheitssystemen eine Kernschmelze nicht verhindert werden kann. Dies könnte beispielsweise im Falle des gezielten Absturzes eines Verkehrsflugzeugs auf das Reaktorgebäude, oder bei Beschuss desselben mit Hochexplosiv-Geschossen eintreten.

Ein derartiges Szenario könnte auch durch Sprengungen im Reaktorgebäude ausgelöst werden. Der Angriff könnte von Innentätern oder einer eingedrungenen Terrorgruppe verübt werden.

Zu ähnlichen Abläufen kann es auch ohne böswilliges Eingreifen kommen, also im Rahmen von Unfällen aufgrund von technischem und/oder menschlichem Versagen. So ist bei einem Kernschmelzunfall bei hohem Druck im Primärkreislauf mit einem Versagen des Containments zu rechnen. Auch bei einer Kernschmelze bei niedrigem Druck kann z. B. eine Wasserstoffexplosion zur Beschädigung des Containments führen. Sollte der Reaktordruckbehälter bersten, ist z.B. durch Auftreffen von Bruchstücken ebenfalls eine Beschädigung des Containments zu erwarten.

Auch bei Kernschmelzunfällen, bei denen der Abschluss des Containments versagt oder das Containment umgangen wird (sogen. Containment Bypass, z. B. bei einem Leck von Dampferzeuger-Heizrohren), sind hohe Freisetzungen zu erwarten.

5.2 Der Quellterm

Die Höhe der radioaktiven Freisetzungen hängt von den Details des Unfallablaufes ab und kann daher nur anhand der vorliegenden Studien grob abgeschätzt werden.

Bei einem Reaktorunfall wird eine Vielzahl von Radionukliden mit den unterschiedlichsten Eigenschaften im Hinblick auf Halbwertszeit, abgegebene Strahlung und Flüchtigkeit freigesetzt. Eine genaue Analyse ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Daher wird hier vor allem das Nuklid Cäsium-137 betrachtet. Wegen der relativ großen Flüchtigkeit, der Aussendung der energiereichen Gamma-Strahlung und der langen Halbwertszeit (30,2 Jahre) handelt es sich um eines der wichtigeren Nuklide. Es wird häufig bei Studien als Leitnuklid heran gezogen.

In der folgenden Tabelle sind Cs-137- Freisetzungsanteile, welche in Untersuchungen zu Unfällen, die mit dem hier betrachteten Szenario vergleichbar sind, zusammengestellt:

Studie	Unfallszenario	Freisetzungs- anteil Cs-137
--------	----------------	--------------------------------

		anteil Cs-137
Zusammenstellung neun verschiedener Studien 1989 – 1997 [RISKMAP 2000]	„schwere Unfälle“ (soweit angegeben, mit Versagen des Containment bzw. Containment Bypass)	10 – 80 %
Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B [GRS 1989]	Unfall mit frühzeitigem, großflächigem Containment-Versagen (z. B. nach Flugzeugabsturz)	50 – 90 %
	Containment Bypass – Bruch einer Nachkühlleitung im Ringraum	37 %
	Containment Bypass – Dampferzeuger-Heizrohrversagen	15 %
Probabilistische Sicherheitsanalyse zu GKN-2 [GRS 2001]	Containment-Versagen durch Hochdruckversagen des Reaktordruckbehälters	> 50 %
	Containment Bypass – durch unbedecktes Dampferzeuger-Heizrohrleck	> 50 %
	Versagen des Containment-Abschlusses oder Leck im Containment	13 – 24 %

Tab.1: Ergebnisse von Studien zu den Freisetzungsteilen von Cs-137 bei schweren Unfällen

Für die Bestimmung der Unfallfolgen wird im Weiteren ein Freisetzungsteil von 40 % angesetzt. Dieser Wert wurde auch im Rahmen der Riskmap-Studie [RISKMAP 2000] auf Grundlage der ausgewerteten internationalen Literatur ausgewählt. Er entspricht einem sehr schweren Unfall, ohne jedoch den schlimmsten denkbaren Fall darzustellen.

Für einen Angriff mit einem Verkehrsflugzeug kann der hier angenommene Freisetzunganteil aufgrund der großflächigen Zerstörung des Containments vor Einsetzen der Kernschmelze einerseits und dem die Freisetzung leicht flüchtiger Stoffe (wie Cäsium) stark fördernden Treibstoffbrand andererseits eher unterschätzend sein.

Im Reaktorkern des AKW Esenshamm befinden sich 193 Brennelemente. Bei einem mittleren Abbrand gegen Zyklusende von 30 GWd/t bis 35 GWd/t ergibt sich ein Cs-137 Inventar von $4 \cdot 10^{17}$ Bq [KFK 1983; KIRCHNER 1985; SSK 2004].

Der Quellterm, der hier für eine Freisetzung infolge eines Kernschmelzunfalls mit offenem Containment angenommen wird, beträgt insofern $1,6 \cdot 10^{17}$ Bq Cs-137. Das ist deutlich mehr als die in Tschernobyl freigesetzte Menge an Cs-137 ($0,85-1,1 \cdot 10^{17}$ Bq).

Die effektive Freisetzungshöhe wird von den genauen Umständen des Unfalls, insbesondere von dem Auftreten eines Brandes bestimmt. Für das in der Folge betrachtete Unfallszenario ist eine Freisetzungshöhe im Bereich von 50 bis 150 m zu erwarten. Als effektive Emissionshöhe wird hier 100 Meter, als Freisetzungsdauer 1 Stunde angenommen.

5.3 Freisetzung aus dem Brennelement-Lagerbecken

Eine weitere verwundbare Stelle im Reaktorgebäude stellt das Brennelement-Lagerbecken dar. Das Lagerbecken im AKW Esenshamm ist für die Aufnahme von insgesamt 615 Brennelementen ausgelegt. Ein Teil der Positionen (193) muss jederzeit für eine unplanmäßige Kernentladung frei gehalten werden. Insofern ist im Normalbetrieb eine maximale Beladung von 422 Brennelementen vorgesehen. Es kann also mehr als doppelt so viel Brennstoff enthalten als der Reaktor selbst.

Ein terroristischer Angriff, der zu schweren Schäden am Brennelement-Lagerbecken führt, kann ein Ausfließen des Kühlmittels (Wasser) verursachen. Dadurch kommt es – aufgrund der Nachzerfallswärme – zu einem Aufheizen des darin gelagerten Brennstoffs. Brennstoff, der noch nicht lange aus dem Reaktor entladen ist und somit noch eine relativ hohe Wärmeproduktion aufweist, wird sich innerhalb weniger Stunden auf eine Temperatur von 900° C aufheizen. Bei dieser Temperatur beginnen die Brennelement-Hüllen, die aus Zircaloy bestehen, in Luft zu brennen. Das entstehende

Feuer ist sehr heiß und mit Wasser nicht zu löschen. Es kann im Becken auf ältere Brennelemente übergreifen. Somit kann das gesamte Inventar des Lagerbeckens schmelzen [ALVAREZ 2003].

Die Entzündung von Zircaloy an Luft wird gefördert, wenn bei einem Terror-Angriff auch die Brennelemente im Becken beschädigt werden, etwa durch fallende Trümmer oder Splitter. Kleine Zircaloy-Späne können sich bereits bei Temperaturen um 200° C entzünden.

Interventionen sind nahezu unmöglich. Sobald das Wasser aus dem Becken ausgeflossen ist, fällt nicht nur die Kühl-, sondern auch die Abschirmwirkung des Wassers weg. Der Strahlenpegel in der Umgebung des Beckens, aber auch in anderen Bereichen des Gebäudes, steigt drastisch an. Am Rande des Beckens werden Dosisleistungen von ca. 100 Sv/h erreicht. Noch in 10 m Entfernung sind Dosisleistungen im Bereich von 1 Sv/h möglich [ALVAREZ 2003]. In der Nähe des Beckens kann bereits eine Verweildauer von Minuten tödlich sein.

In einer US-Untersuchung wurde nach vollständigem Verlust des Kühlmittels angenommen, dass 10 % bis 100 % des Cäsium-Inventars des Brennelement-Lagerbeckens eines Reaktors aus dem Gebäude freigesetzt werden. Bei der Untergrenze (10 %) wurde davon ausgegangen, dass ein Teil der Brennelement-Hüllrohre nicht in die Verbrennung einbezogen wird und dass sich weiterhin ein Teil des im Gebäude freigesetzten Cäsiums an kühleren Oberflächen niederschlägt und damit nicht nach außen gelangt [ALVAREZ 2003].

Hier wird eine Freisetzung aus dem Gebäude von 10 % des Cs-137-Inventars des Lagerbeckens angesetzt. Diese Annahme ist jedoch nicht als konservativ anzusehen.

Eine Beladung mit 422 Brennelementen entspricht einem Gesamtgewicht von 227,2 t_{SM}. Der mittlere Endladeabbrand betrug 2002 noch 34 GWd/t, für die Brennelemente mit höheren Anreicherungen, die seit 2005 zum Einsatz kommen, sind Zielabbrände von 60 GWd/t angestrebt. Bei einer Erhöhung des Abbrands von 34 GWd/t auf 60 GWd/t steigt das Cs-137 Inventar von etwa $9 \cdot 10^{17}$ Bq auf etwa $16 \cdot 10^{17}$ Bq. In dieser Studie wird von einem voll belegten Lager mit einem mittleren Endladeabbrand von etwa 50 GWd/t ausgegangen. So ergibt sich ein Cs-137 Inventar in Höhe von ca. $13 \cdot 10^{17}$ Bq.

Der Quellterm aus dem Lagerbecken beträgt insofern $1,3 \cdot 10^{17}$ Bq Cs-137. Das entspricht in etwa 80% der aus dem Reaktorkern freigesetzten Menge.

In Kapitel 6 werden allerdings nur die Auswirkungen einer Freisetzung aus dem Reaktorkern ermittelt.

6. Folgen eines schweren Unfalls

In dieser Studie werden die Folgen eines schweren Unfalls im AKW Esenshamm für die Bevölkerung der Orte Rodenkirchen, Brake und Bremen ermittelt. Rodenkirchen befindet sich 3,5 km vom AKW entfernt. Die kleine Stadt Brake liegt in einer Entfernung von 8,5 bis 15 km, das Stadtzentrum ist ca. 12 km entfernt. Das Bremer Stadtgebiet erstreckt in einer Entfernung von 24 bis 55 km, das Stadtzentrum liegt ca. 44 km entfernt.

Sollte es zu radioaktiven Freisetzungen aus dem AKW Esenshamm kommen, führen Winde aus nördlicher Richtung zu Kontaminationen der Orte Rodenkirchen (NNO), Brake (N) und Bremen (NNW).

Am Standort des AKW Esenshamm dominieren Winde aus westlichen bis südwestlichen Richtungen [EON 2000]. Bei einer Einteilung der Windrichtungen in 30°-Kreissektoren zeigt sich, dass in den Jahren 1996-1998 der Wind zu etwa 16 % aus nördlicher Richtung wehte (siehe Abbildung 5.1). Es ist also durchaus wahrscheinlich, dass eine aus dem AKW Esenshamm freigesetzte radioaktive Wolke diese Orte erreicht. Für die Ermittlung der Bodenbelastung und der daraus resultierenden Folgen wurden jeweils entsprechende Winde vorausgesetzt.

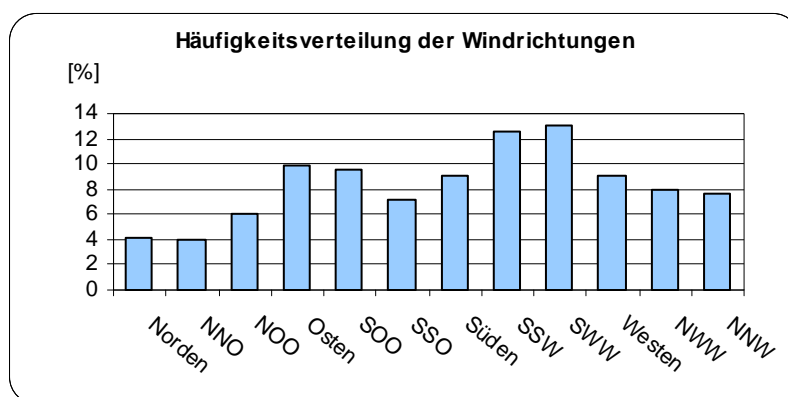


Abb.4 Häufigkeitsverteilung der Windrichtung am in den Jahren 1996-1998 [EON 2000]

6.1 Ausbreitungsrechnung

Für die Berechnung der Bodendepositionen wurde das Ausbreitungsprogramm HOTSPOT (Version 2.05) verwendet. Dieses Programm wurde im renommierten amerikanischen *Lawrence Livermore National Laboratory* entwickelt und dient zur Ermittlung abschätzender Werte [LLNL 2004]. Die Berechnung des Programms beruht auf dem Modell, mit dem auch gemäß der deutschen Störfallberechnungsgrundlagen die Ausbreitung radioaktiver Stoffe aus einem Atomkraftwerk zu ermitteln ist [SSK 2003].

Am AKW Esenshamm treten am häufigsten atmosphärische Ausbreitungsbedingungen (Luftturbulenzen) auf, die mit der neutralen Wetterdiffusionsklasse D (41 %) beschrieben werden können [BFS 2003]. D ist eine Diffusionsklasse mit mittleren Luftturbulenzen. Diffusionsklassen mit höheren Luftturbulenzen (A, B, C) führen zu einer größeren räumlichen Ausdehnung der Wolke, dadurch ist das kontaminierte Gebiet größer, die Belastung aber geringer. Diffusionsklassen mit geringeren Luftturbulenzen (E, F) führen zu einer geringeren Ausdehnung der radioaktiven Wolke, daher ist das kontaminierte Gebiet kleiner, die Belastung aber höher.

Die verschiedenen Windgeschwindigkeiten treten mit unterschiedlicher prozentualer Häufigkeit auf (siehe Abbildung 5.2). Die mittlere Windgeschwindigkeit in der Region beträgt 4 m/s.

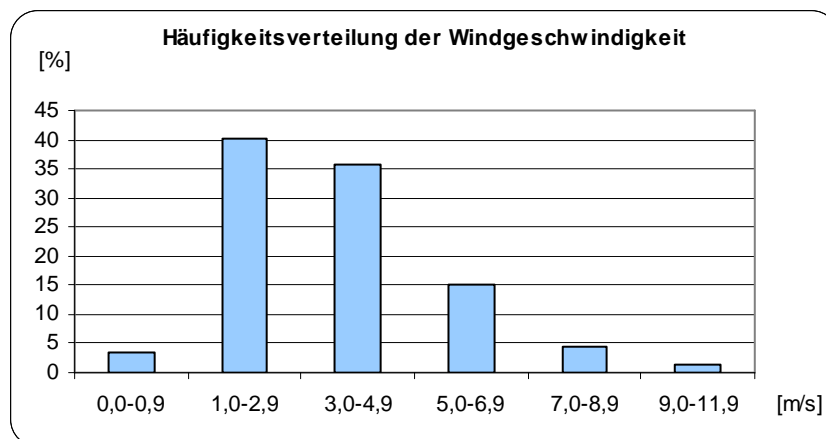


Abb.5: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort Esenshamm in den Jahren 1996-1998 [EON 2000]

Die Berechnungen wurden hier für die mittlere Windgeschwindigkeit durchgeführt, weil dadurch eine Aussage über die am wahrscheinlichsten auftretenden Belastungen getroffen werden kann. Laut Störfallberechnungsgrundlagen (SBG) ist konservativ eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s anzunehmen, da diese in der Nähe der Anlage zu den höchsten Belastungen führt [BFS 2003]. Um das Gefahrenpotential insgesamt einschätzen zu können, wurde die Bodenkontaminationen auch für diese niedrige sowie für eine hohe Windgeschwindigkeit (7 m/s) ermittelt.

Die Ausbreitungsrechnungen wurden für meteorologische Szenarien ohne Niederschlag und mit kontinuierlichem Niederschlag durchgeführt. Laut Störfallberechnungsgrundlagen (SBG) ist konservativ ein Niederschlag mit einer Intensität von 5mm/h anzunehmen [SSK 2003]. Da ein kontinuierlicher Niederschlag mit dieser hohen Intensität in größerer Distanz zu geringeren Bodenbelastungen führt, werden hier zusätzlich Szenarien mit einem leichten Niederschlag (Intensität von 0,5 mm/h) berechnet⁷.

Hypothetische Niederschlagsszenarien, die an den Orten zu größeren Belastungen führen könnten, wurden nicht berücksichtigt. Durch Regen werden die radioaktiven Stoffe aus der radioaktiven Wolke ausgewaschen und in einem deutlich höheren Umfang auf den Boden abgelagert als bei einer trockenen Deposition. Sollte der Regen erst dann einsetzen, wenn die Wolke einen der Orte erreicht hat, würden die Belastungen deutlich über den ermittelten Werten liegen. Eine höhere Niederschlagsintensität würde diesen Effekt noch verstärken.

Die folgende Übersicht stellt die gewählten Parameter der Ausbreitungsrechnung zusammen:

Diffusionsklasse	D
Niederschlag	ohne; 0,5mm/h; 5 mm/h

⁷ Niederschlagsintensitäten bis 0,5 mm/h entsprechen einem leichten Niederschlag, von 0,5 bis 4,0 mm/h einem mittleren Niederschlag und ab 4,1 mm/h einem starken Niederschlag

Windgeschwindigkeit	1 m/s; 4 m/s; 7 m/s
Emissionshöhe	100 m
Freisetzungsdauer	1 h
Quellterm	$1,6 * 10^{17}$ Bq Cs-137

Tab.2: Parameter der Ausbreitungsrechnung

6.2 Cs-137 Bodenkontaminationen

In dieser Studie wird nur die Bodenkontamination ermittelt, die durch eine Freisetzung des Radionuklids Cäsium-137 entsteht. Im Falle einer Freisetzung sind aufgrund der Beiträge anderer Radionuklide insgesamt höhere Bodenkontaminationen zu erwarten.

In der folgenden Tabelle sind die ermittelten Cs-137 Bodenkontaminationen bei mittlerer Windstärke für die drei Orte zusammengestellt:

Cs-137 Bodenkontaminationen [kBq/m²]			
	Ohne Niederschlag	Leichter Niederschlag (0,5mm/h)	Starker Niederschlag (5 mm/h)
Rodenkirchen	330.000	4.700.000	20.000.000
Brake Stadtzentrum 12km (Stadtgebiet 15-8,5km)	100.000 (81.000-150.000)	1.500.000 (1.200.000-2.000.000)	2.900.000 (1.800.000-5.500.000)
Bremen Stadtzentrum 44km (Stadtgebiet 55-24 km)	25.000 (19.000-48.000)	330.000 (230.000-710.000)	390.000 (11.000-490.000)

Tab.3: Ermittelte Cs-137 Bodenkontamination bei mittlerer Windstärke

Im Anhang sind alle in dieser Studie ermittelten Cs-137 Bodenkontaminationen aufgeführt. Bei Betrachtung der Werte zeigen sich qualitativ folgende Tendenzen:

- Für Szenarien ohne Niederschlag sind an allen drei Orten die Bodenkontaminationen für niedrige Windgeschwindigkeit am höchsten. Das gilt für Rodenkirchen auch für die Szenarien mit Niederschlag.
- Für Szenarien mit Niederschlag sind in Brake und Bremen die Kontaminationen bei niedrigen Windgeschwindigkeiten am geringsten.

Die höchste Kontamination (25.000.000 kBq/m²) in Rodenkirchen errechnete sich bei niedriger Windgeschwindigkeit und starkem Niederschlag. Für Brake (Stadtzentrum) errechneten sich die maximalen Kontaminationen (2.900.000 kBq/m²) sowohl niedriger Windstärke und geringem Niederschlag als auch bei mittlerer und hoher Windstärke und starkem Niederschlag. Für Bremen (Stadtzentrum) ergaben sich die höchsten Kontaminationen (390.000 kBq/m²) bei mittlerer – und damit wahrscheinlichster - Windstärke und starkem Niederschlag.

Aus aktuellem Anlass wurden die ermittelten Kontaminationen mit den Folgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl verglichen. Dazu zunächst einige einleitende Bemerkungen.

Der Reaktorunfall in Tschernobyl

In dem in der Ukraine gelegenen AKW Tschernobyl ereignete sich am 26. April 1986 der bisher folgenschwerste Reaktorunfall. Durch eine Explosion und einen anschließenden Brand wurden in einem erheblichen Umfang radioaktive Stoffe in die Umwelt freigesetzt. Trotz vorhandener Unsicherheiten und unterschiedlichen Expertenmeinungen⁸ lässt sich hinsichtlich der leicht flüchtigen radioaktiven Stoffe vermuten, dass 100 % der radioaktiven Edelgase, 50 % des Radiojodids und 33 % bis 43 % des radioaktiven Cäsiums freigesetzt wurden. Das entspricht einer freigesetzten Aktivität an Cs-137 von ca. $0,85-1,1 \cdot 10^{17}$ Bq [HAHN 1999; FAIRLIE 2006; EU 1998].

Bei der Freisetzung trugen zwei Besonderheiten entscheidend zu einer großräumigen Verteilung der Radionuklide bei: In Folge des thermischen Auftriebs durch den Brand wurde der Hauptteil der radioaktiven Stoffe in Höhen zwischen 1000 und 2000 Meter getragen; die Freisetzung dauerte zehn Tage an, in dieser Zeit änderte sich die Wettersituation mehrfach.

Die Freisetzungen führten aus diesen beiden Gründen in weiten Teilen Europas in Entfernungen von bis zu einigen Tausend Kilometern zu nennenswerten Kontaminationen. Ein Teil der Wolke wurde zuerst nach Skandinavien und später nach Westen in Richtung Deutschland getrieben.

Andere Unfall- und Wetterbedingungen hätten weit höhere Dosen bei der Bevölkerung in den benachbarten Großstädten verursachen können [GSF 1998]. Die radioaktiven Belastungen führten so bei der Bevölkerung nicht zu Strahlendosen, die akute Strahlenschäden zur Folge hatten. (Akute Strahlenschäden traten jedoch bei den

⁸ Verschiedene Untersuchungen gehen davon aus, dass ein Großteil des Kernbrennstoffs in unterschiedlicher Modifikation im Reaktorgebäude verblieb [GRS 2004]. Andere Experten sind davon überzeugt, dass ein Großteil des Brennstoffs in die Umwelt freigesetzt wurde.

Personen auf, die an der Beseitigung der Unfallschäden (Liquidatoren) beteiligt waren). Dennoch waren die Strahlenbelastungen so hoch, dass gesundheitliche Schäden erwartet wurden. Diese sind inzwischen nachweislich eingetreten, ihr Ausmaß ist noch nicht endgültig abzusehen. Die Zahl der Menschen, die bisher aufgrund der Katastrophe von Tschernobyl starben oder gesundheitlich geschädigt wurden, geht vermutlich in die Hunderttausende [BECKER 2004]. Ein Ende der Katastrophe zeichnet sich auch 20 Jahre nach dem Unfall nicht ab, von den bisherigen Opfern wurde bis heute nur ein Teil erfasst.

Durch den Reaktorunfall wurden große Flächen der Ukraine, Weißrusslands und Russlands radioaktiv belastet. Lokale Regenschauer verteilten die Radioaktivität sehr ungleichmäßig. So wurde das Gebiet um das weißrussische Gomel, im Nordosten von Tschernobyl, zum Teil so stark belastet wie Landstriche in unmittelbarer Umgebung des Reaktors. Hoch belastete Gebiete liegen oft dicht neben nur gering belasteten Flächen.

Vom Gesichtspunkt der Strahlenbelastung war Jod, mit einer Halbwertszeit von 8 Tagen, das größte Gefahrenpotenzial der ersten Wochen. In der Umgebung von Tschernobyl war die J-131-Flächenaktivität bis zu 30mal so hoch wie die Cs-137-Flächenaktivität. Eine langfristige radioaktive Belastung droht neben Cs-137 außerdem durch Strontium (Sr-90) mit einer Halbwertszeit von 29 Jahren, sowie durch die verschiedenen Plutonium-Isotope. Eines davon (Pu-239) wird in 24.000 Jahren erst zur Hälfte zerfallen sein.

Messwerte und Karten der kontaminierten Gebiete in Weißrussland, Russland und der Ukraine sowie in anderen betroffenen Ländern beziehen sich auf das Radionuklid Cs-137.

Ein 30-km Radius um den zerborstenen Reaktor wurde zur „Verbotenen Zone“ ernannt. Zusätzlich wurden die betroffenen Gebiete je nach Belastung in verschiedene Zonen eingeteilt. Die Cs-137-Bodenkontamination der „Verbotenen Zone“ werden mit größer als 18.500 kBq /m² angegeben [EU 1998]. In Weißrussland, Russland und der Ukraine gilt der Boden als radioaktiv kontaminiert, wenn dieser mit mehr als 37 kBq/m² Cs-137 belastet ist. In Gebieten, deren Cs-137-Aktivität höher als 1.480 kBq/m² liegt, wurde die Bevölkerung langfristig umgesiedelt [DEZA 2004]. Ausschlaggebend für eine Um-

siedlung war eine auf Grundlage der Cs-137 Bodenkontaminationen abgeschätzte potenzielle Lebenszeitdosis.

Der in Deutschland geltende Eingreifrichtwert von 100 mSv für die Maßnahme „langfristige Umsiedlung“ wäre bei einer ausschließlichen Berücksichtigung der Strahlenbelastung durch Cs-137 Bodenkontamination ab einer Höhe 6.000 kBq/m² überschritten. Die von dem Unfall in Tschernobyl betroffene Bevölkerung wurde also aus Gebieten, in denen die Kontamination nur 25 % dieses Wertes betrug, langfristig umgesiedelt.

Eine quantitative Übertragbarkeit der Abschätzungen der Lebenszeitdosis von Tschernobyl auf die Auswirkung von Unfällen in deutschen Atomkraftwerken ist nicht vollständig gegeben. Das Nuklidspektrum der freigesetzten Schadstoffe hängt vom verwendeten Kernbrennstoff sowie vom Unfallablauf ab. Außerdem sind in Deutschland die Beiträge der einzelnen Expositionspfade anders anzunehmen. Eine weitere Behandlung dieses Punktes ist im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich. Es ist jedoch sicher davon auszugehen, dass eine Abschätzung der Folgen, die nur auf einer Betrachtung der Cs-137 Bodenkontaminationen beruht, diese Folgen weit unterschätzt.

Vergleich mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl

Die untersuchten Freisetzungsszenarien für das AKW Esenshamm ergaben um viele Größenordnungen höhere Cs-137 Kontaminationen als in Folge des Tschernobylunfalls in Deutschland auftraten. (Der Mittelwert der Bodenbelastung durch Cs-137 betrug in Bayern 10,65 kBq/m² und in Norddeutschland 4 kBq/m².)

Die ermittelten Cs-137 Kontaminationen an den drei Orten sind auch im Vergleich zu den vom Reaktorunfall in Tschernobyl stark betroffenen Gebieten hoch. Sie sind zum Teil sogar erheblich höher (25.000.000 kBq/m²) als die Kontaminationen in der entsiedelten 30 km-Zone um den Reaktor in Tschernobyl (18.500 kBq /m²).

In Anbetracht der besonderen Bedingungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl sind die vergleichsweise hohen Bodenkontaminationen in Folge eines schweren Unfalls im AKW Esenshamm nicht überraschend. Während in Tschernobyl eine lang andauernde

Freisetzung bei großer Emissionshöhe und wechselnden Wetterlagen zu einer großräumigen Verteilung der radioaktiven Stoffe führte und somit die Bodenkontamination bis auf einige Ausnahmen verhältnismäßig „gering“ blieb, kommt es in dem hier untersuchten Freisetzungsszenario (Freisetzungsdauer 1 Stunde, Emissionshöhe ca.100 Meter, konstante Wetterbedingungen) zu räumlich begrenzten und damit wesentlich höheren Bodenkontaminationen.

6.3 Ermittlung der Strahlenbelastungen

Die bei einem Reaktorunfall im AKW Esenshamm freigesetzten radioaktiven Stoffe können auf mehreren Pfaden zu einer Strahlenbelastung der Bevölkerung führen. Die wichtigsten sind:

- Strahlung aus der radioaktiven Wolke,
- Strahlung aufgrund der Bodenkontamination,
- Strahlung aufgrund der Kontamination von Haut, Kleidung oder Gegenständen,
- Direktstrahlung aus dem Reaktor (nur in unmittelbarer Nähe),
- Inhalation der radioaktiven Stoffe aus der radioaktiven Wolke oder der von Böden und Oberflächen aufgewirbelten Radionuklide,
- Ingestion (Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung) durch kontaminierte Lebensmittel.

Im Folgenden wird zur Berechnung einer potenziellen Strahlenbelastung der Bevölkerung nur die Bodenstrahlung aufgrund der ermittelten Cäsium Depositionen berücksichtigt.

Eine Betrachtung der resultierenden Strahlenbelastungen aus allen denkbaren Expositionspfaden und der sich daraus möglicherweise ergebenden Gesundheitsfolgen kann im Rahmen dieser Studie nicht erfolgen.

Vielmehr soll in dieser Studie in erster Linie geprüft werden, ob schon die aus den Cäsium Depositionen resultierenden Strahlenbelastungen Dosiswerte erreichen, die Maßnahmen des Katastrophenschutzes erforderlich machen [BFS 1999].

Dazu werden die ermittelten Strahlenbelastungen mit den Eingreifrichtwerten der Katastrophenschutzmaßnahmen⁹ „Evakuierung“ und „Langfristige Umsiedlung“ verglichen.

6.4 Mögliche Strahlenbelastungen nach 7 Tagen

In dieser Studie wurden die Strahlenbelastungen, die nach einem Zeitraum von sieben Tagen an den Orten Rodenkirchen, Brake und Bremen aus Bodenstrahlung der Nuklide Cs-134 und Cs-137 resultieren, ermittelt. Die Cs-134 Kontaminationen wurden aus den ermittelten Cs-137 Kontaminationen abgeschätzt¹⁰.

Die Berechnung erfolgte, wie in den Störfallberechnungsgrundlagen gefordert, mit Hilfe der Dosisleistungskoeffizienten [BFS 2004; SSK 2003].

Die Ergebnisse aller berechneten Szenarien sind im Anhang aufgeführt. Die folgende Tabelle fasst die ermittelten Strahlenbelastungen, die bei mittlerer Windgeschwindigkeit auftreten, zusammen:

Effektive Dosis nach 7 Tagen [mSv]			
	Ohne Niederschlag	Leichter Niederschlag (0,5mm/h)	Starker Niederschlag (5mm/h)

⁹ In den „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ werden Eingreifrichtwerte für Maßnahmen des Katastrophenschutzes vorgegeben. Handlungsbedarf besteht, wenn eine für die Bevölkerung resultierende Strahlendosis die Höhe eines Eingreifrichtwerts erreicht. Weitere Katastrophenschutzmaßnahmen sind die „Einnahme von Jodtabletten“ und eine „Temporäre Umsiedlung“. Da die Freisetzungen der entsprechen Radionuklide nicht ermittelt wurden, ist ein Vergleich der Ergebnisse mit diesen Eingreifrichtwerten nicht möglich [BFS 1999].

¹⁰ Die freigesetzte Cs-134 Aktivität beträgt ungefähr das 1,5-fache der freigesetzten Cs-137 Aktivität.

Rodenkirchen 3,5 km	550	7.834	33.337
Brake Stadtzentrum 12 km (Stadtgebiet 15-8,5 km)	167 (135-250)	2.500 (2.000-3.334)	4.834 (3.000-9.168)
Bremen Stadtzentrum 44 km (Stadtgebiet 55-24 km)	42 (32-80)	550 (383-1.183)	650 (18-817)

Tab.5: Strahlendosis nach 7 Tagen durch Bodenstrahlung der Nuklide Cs-137 und Cs-134 bei mittlerer Windgeschwindigkeit

Die ermittelten Werte wurden dem Eingreifrichtwert für die Katastrophenschutzmaßnahme „Evakuierung“ (100 mSv) gegenübergestellt.

Die Maßnahme „Evakuierung“ wird eingeleitet, wenn im Falle eines Reaktorunfalls die berechnete Dosis nach einem Zeitraum von sieben Tagen 100 mSv überschreitet¹¹. Zu berücksichtigen Expositionspfade sind Bodenstrahlung, Strahlung aus der radioaktiven Wolke und Inhalation.

Da in dieser Studie lediglich Dosiswerte ermittelt wurden, die auf der Bodenstrahlung der Nuklide Cs-137 und Cs-134 beruhen, sind die berechneten Werte nur sehr eingeschränkt mit diesem Eingreifrichtwert vergleichbar. Gerade in diesem verhältnismäßig kurzen Zeitraum nach der Freisetzung tragen die Bodenstrahlung kurzlebiger Radionuklide und andere Expositionspfade (Inhalation) stark zur Strahlenbelastung bei.

Die ermittelten Werte unterschätzen daher die potenziellen Strahlenbelastungen stark (mindestens um einen Faktor 10).

Dennoch errechnen sich für Rodenkirchen und Brake bei allen (für Bremen bei fast allen) meteorologischen Szenarien Strahlendosen, die deutlich über dem Eingreifrichtwert für die Maßnahme „Evakuierung“ liegen.

Bei allen hier berechneten meteorologischen Szenarien ergeben sich Werte, bei denen die Bevölkerung aus **Rodenkirchen** evakuiert werden müsste. Die Strahlendosen liegen

¹¹ Sobald die berechnete Dosis 10 mSv überschreitet, wird die Bevölkerung aufgefordert, sich in schützenden Räume aufzuhalten (Maßnahme: „Aufenthalt in Gebäuden“).

weit über dem Eingreifrichtwert, die maximale Strahlenbelastung beträgt mehr als das 400-Fache des Eingreifrichtwerts.

Auf Grundlage der hier betrachteten meteorologischen Szenarien müsste auch die Bevölkerung aus **Brake** immer evakuiert werden. Auch hier liegen die meisten Werte weit über dem Einreifrichtwert, maximal betragen sie das 50-Fache.

Selbst die Bevölkerung **Bremens** müsste bei den meisten meteorologischen Bedingungen evakuiert werden. Ausnahmen bilden Szenarien ohne Niederschlag bei mittlerer und hoher Windstärke und Szenarien mit starkem Niederschlag bei geringer Windstärke.

6.5 Mögliche Strahlenbelastungen nach einem Jahr

Aus den ermittelten Cs-137 Kontaminationen wurden die potenziellen Strahlenbelastungen berechnet, die nach einem Jahr durch Bodenstrahlung an den Orten Rodenkirchen, Brake und Bremen hervorgerufen werden. Die Berechnung erfolgte auch hier mit Hilfe des Dosisleistungskoeffizienten [BFS 2004; SSK 2003].

Die Ergebnisse aller berechneten Szenarien sind im Anhang aufgeführt. Die folgende Tabelle fasst die ermittelten Strahlenbelastungen, die bei mittlerer Windgeschwindigkeit auftreten, zusammen:

Effektive Dosis nach 1 Jahr [mSv]			
	Ohne Niederschlag	Leichter Niederschlag (0,5mm/h)	Starker Niederschlag (5mm/h)
Rodenkirchen 3,5 km	5.516	78.556	334.282

Brake	Stadtzentrum	12km	1.671 (1.354-2.507)	25.071 (20.057-33.428)	48.471 (30.085-91.927)
	(Stadtgebiet 15-8,5km)				
Bremen	Stadtzentrum	44km	418 (318-802)	5.516 (3.844-11.867)	6.518 (184-8.190)
	(Stadtgebiet 55-24 km)				

Tab.4 Strahlendosis nach einem Jahr durch Bodenstrahlung des Nuklids Cs-137, mittlere Windgeschwindigkeit

Die errechneten Jahresdosen wurden mit dem Eingreifrichtwert (100 mSv) für die Katastrophenschutzmaßnahme „langfristige Umsiedlung“ verglichen.

Diese Maßnahme wird durchgeführt, wenn innerhalb eines Jahres eine Strahlendosis von 100 mSv erreicht wird [BFS 1999]. Die mit dem Eingreifrichtwert zu vergleichende Dosis wird aus Bodenstrahlung der Cäsium-Isotope ermittelt.

In dieser Studie wurden nur die aus der Cs-137-Bodenstrahlung resultierenden Dosiswerte errechnet. Das entspricht etwa 25% der Bodenstrahlung aller Cs-Isotope, d.h. die ermittelten Jahresdosen unterschätzen die Vergleichsdosis um einen Faktor 4.

Es wurde hier bewusst auf die geforderte Berücksichtigung aller Cäsium-Isotope verzichtet, um nicht nur ein Maß für die Höhe, sondern auch für die Langfristigkeit der Bodenkontamination zu bekommen. Während Cs-137 eine Halbwertszeit von ca. 30 Jahren hat, beträgt jene von Cs-134 „nur“ ca. 2 Jahre.

Bei Überschreiten des Eingreifrichtwertes für die Maßnahme „langfristige Umsiedlung“ durch Jahresdosen, die durch eine Bodenstrahlung aller Cs-Nuklide hervorgerufen werden, wäre also nicht auszuschließen, dass die Bevölkerung nach einigen Jahren an ihre Wohnorte zurückkehren kann.

Bei einer Überschreitung des Eingreifrichtwertes durch die hier ermittelten Jahresdosen muss dagegen davon ausgegangen werden, dass für die Bevölkerung in Rodenkirchen, Brake und Bremen eine Rückkehr über Jahrzehnte nicht möglich wird. Vermutlich könne die Orte über Jahrhunderte nicht bewohnt werden.

In dieser Studie errechnen sich trotz der gewählten Vorgehensweise für alle drei Orte Jahresdosen, die deutlich über dem Eingreifrichtwert (100 mSv) liegen.

In **Rodenkirchen** wird bei allen hier berechneten Ausbreitungsszenarien der Eingreifrichtwert weit überschritten. Die maximalen Jahresdosen betragen mehr als das 4000-Fache des Eingreifrichtwerts.

Auch in **Brake** wird bei allen hier berechneten Ausbreitungsszenarien der Eingreifrichtwert deutlich überschritten. Die Jahresdosen für **Brake** überschreiten den Eingreifrichtwert maximal um das 500-Fache.

In **Bremen** wird bei fast allen hier berechneten Ausbreitungsszenarien der Eingreifrichtwert überschritten, lediglich die Kombination aus niedriger Windgeschwindigkeit und starkem Niederschlag bildet eine Ausnahme¹².

6.6 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse

Ergebnis dieser Studie ist, dass ein schwerer Unfall im AKW Esenshamm gravierende Folgen für die Bevölkerung haben wird. Für die Berechnungen wurde eine Freisetzung von 40 % des Cs-Inventars aus dem Reaktorkern angenommen. Dieser Cs-Quellterm entspricht aus mehreren Gründen nicht dem schlimmsten Fall:

Unterschätzung des Cs-Quellterms:

- Laut der deutschen Risikostudie ist bei einer Kernschmelze mit offenem Containment eine Freisetzung von bis 90 % des Cs-Inventars denkbar [GRS 1989]. Gerade bei einem Terror-Angriff sind eine große Öffnung im Containment und Feuer, das die Freisetzung ebenfalls unterstützt, möglich und damit auch der o. g. größte anzunehmende Quellterm¹³.
- Auch eine zusätzliche Freisetzung aus dem Lagerbecken wurde hier nicht berücksichtigt. Sollte es zusätzlich zur Freisetzung aus dem Reaktorkern und zu einer Freisetzung aus dem Lagerbecken kommen, erhöht sich der Cs-137 Quellterm um 80 % und der Cs-134 Quellterm um 50 %.

¹² Die radioaktiven Stoffe sind in dem Fall aus der Wolke ausgewaschen, bevor diese Bremen erreicht.

¹³ Aber selbst wenn das Containment intakt bleiben sollte und „nur“ der Lüftungsabschluss (Containment-Bypass) versagt, sind die Strahlenbelastungen immer noch etwa halb so hoch, wie die hier ermittelten. Damit wären die potenziellen Folgen immer noch gravierend

Aber auch unabhängig von der Höhe des angenommenen Cs-Quellterms unterschätzen die ermittelten Werte die potenziellen Strahlendosen erheblich, da in dieser Studie lediglich die Strahlenbelastungen durch Bodenstrahlung von Cs-137 (und teilweise von Cs-134) berücksichtigt wurden¹⁴. Nach einem Reaktorunfall tragen weitere Expositionspfade und andere Nuklide zu einer Strahlenbelastung bei.

Unterschätzung der Strahlendosis aufgrund anderer Belastungspfade:

- In einem anderen Gutachten wurde ermittelt, dass in Szenarien ohne Niederschlag Bodenstrahlung zu etwa 15 %, Inhalation zu etwa 85 % zur potenziellen Strahlendosis beitragen¹⁵. Bei den Szenarien mit Niederschlag liegt der Anteil der Strahlendosis durch Bodenstrahlung zwischen 84 % und 100 % [KÜPPERS 1990]. Zudem treten die höchsten Belastungen in den Niederschlagsszenarien auf.
- Diese Ergebnisse können zu einer groben Orientierung dienen. Daraus folgt, dass die in der vorliegenden Studie ermittelten Strahlendosen für die niederschlagsfreien Szenarien aus Bodenstrahlung wenig repräsentativ sind. Über die Höhe der potenziellen Inhalationsdosen können hier keine Angaben gemacht werden, zu hohen Strahlenbelastungen führt insbesondere die Inhalation von Jod 131.
- Hingegen ist bei den Niederschlagsszenarien, die hier ausschließlich berücksichtigte Bodenstrahlung der relevante Belastungspfad. Allerdings müssen noch die Bodenstrahlung weiterer Nuklide berücksichtigt werden.

Unterschätzung der Strahlendosis durch Bodenstrahlung weiterer Nuklide:

- Ein Jahr nach einer massiven radioaktiven Freisetzung wird die Bodenstrahlung durch die Cs-Nuklide dominiert. Nach einem Zeitraum von 7 Tagen tragen hingegen eine ganze Reihe weiterer (kurzlebiger) Nuklide zu einer Strahlenbelastung bei. Da in dieser Studie die potenziellen Strahlenbelastungen

¹⁴ Denn Ziel dieser Studie war ein Vergleich mit den Bodenkontaminationen, die nach dem Unfall in Tschernobyl auftraten und diese beziehen sich auf das Nuklid Cs-137.

¹⁵ Im Einzelfall können auch Expositionen über weitere Belastungspfade erheblich zu einer Strahlendosis beitragen.

nur aus Bodenstrahlung der Cs-Nuklide berechnet wurden, wird die Strahlendosis nach 7 Tagen um mindestens einen Faktor 10 unterschätzt.

Im Folgenden wird zu einigen speziellen Aspekten der Ergebnisse ergänzend und bewertend Stellung genommen.

Schwierigkeiten einer Evakuierung

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass im Falle eines schweren Reaktorunfalls (entsprechende Windrichtung vorausgesetzt) für annähernd alle meteorologische Bedingungen von einer sofortigen Evakuierung der drei hier betrachteten Orte ausgegangen werden muss¹⁶.

In einer anderen Studie zu den Folgen eines schweren Unfalls¹⁷ wurden als Größe der Gebiete, die unter bestimmten Wetterbedingungen kurzfristig evakuiert werden müssen, Flächen von bis zu 10.000 km² ermittelt [HAHN 1999].

Ob eine Evakuierung einer derartig großen Menschenmenge in kurzer Zeit überhaupt gelingen wird, wird von vielen Experten bezweifelt. Logistisch ist diese in jedem Fall ein riesiges Problem.

Verschärft wird dieses Problem noch durch die Tatsache, dass Katastrophenschutzpläne nur bis in eine Entfernung von 25 km um das Atomkraftwerk bestehen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, ebenso wie jene früherer Studien [z. B. KÜPPERS 1990], dass Gebiete in deutlich größerer Entfernung evakuiert werden müssen.

Kritische Würdigung des "Ratgebers"

Angesichts der Ergebnisse der vorliegenden Studie klingen die Aussagen des von E.ON herausgegebenen „*Ratgebers für die Bevölkerung in der Umgebung des KKW*“

¹⁶ Aufgrund der hier fehlenden Berücksichtigung kurzlebiger Nuklide einerseits und weiterer Expositionspfade andererseits ist eine deutlich höhere potenzielle Strahlendosis zu erwarten, als hier ermittelt wurde.

¹⁷ bei Verwendung des laut deutscher Risikostudie möglichen Quellterms und bei Berücksichtigung der Strahlenbelastung durch alle Nuklide und über alle Expositionspfade

verwunderlich [EON 2003]. Diese Broschüre wurde Anfang 2003 an alle Haushalte im Umkreis von zehn Kilometern um das Atomkraftwerk Esenshamm verschickt. Darin wird die Auffassung vertreten, dass ein Unfall, gegen den das AKW nicht ausgelegt ist, nach menschlichem Ermessen ausgeschlossen werden kann [KW 2604/2003].

Sollte es dennoch zu einem schweren Unfall kommen, heißt es im Ratgeber weiter, sollen die Menschen im Haus bleiben, Fenster und Türen schließen und sich möglichst im Keller aufhalten, um so weitgehend zu verhindern, dass radioaktive Stoffe inhaliert werden. Sollte es nötig werden, die Region zu evakuieren, sollte das gefährdete Gebiet in jedem Fall mit einem Pkw über gut ausgebaute Straßen verlassen werden. Wer nicht motorisiert ist, sollte sich zu den Sammelstellen begeben. Wenn dazu keine Möglichkeit besteht, soll ein weißes Tuch oder Bettlaken aus dem Fenster gehängt werden. Dadurch werde den Helfern des Katastrophenschutzes signalisiert, dass man abgeholt werden müsse.

Im Ratgeber wird auch darauf hingewiesen, dass die Bevölkerung durch einen auf- und abschwellender Heulton von einer Minute Dauer aufgefordert wird, die Rundfunkgeräte einzuschalten und auf Durchsagen zu achten. Ein Hinweis, der unsinnig ist, da es eine flächendeckende Versorgung mit Sirenen nicht mehr gibt. In der Gemeinde Stadland z.B. standen früher 50 Sirenen auf den Dächern, heute sind es nur noch neun. In Kleinensiel, in unmittelbarer Nachbarschaft des Atomkraftwerks, gibt es überhaupt keine Sirene mehr. In Rodenkirchen sind die Anlagen darüber hinaus so ungleichmäßig verteilt, dass das Signal in mehreren Ortsteilen nicht gehört werden kann [KW 1203/2005].

Im Ratgeber wird unterstellt, dass die Menschen während des schweren Unfalls in ihren Häusern sind, und nur dort zu verbleiben haben. Was aber, wenn diese erst nach Hause gelangen müssen - wie soll gewährleistet werden, dass die Menschen sich dabei nicht der Strahlenexposition der radioaktiven Wolke unmittelbar aussetzen? Und was wenn der Unfall nachts eintritt, die Menschen sich zwar in ihren Häusern befinden, aber schlafend und möglicherweise mit offenen Fenstern? Wie sollen sie dann rechtzeitig gewarnt werden?

Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei einem Kernschmelzunfall mit offenem Containment vom Eintritt des Unfalls bis zur massiven radioaktiven Freisetzung nur ein

Zeitraum von maximal 2 bis 3 Stunden verbleibt. Sollte die Betriebsmannschaft den Zustand des Reaktors falsch einschätzen, wie es z. B. die Betriebsmannschaft in Brunsbüttel nach dem Unfall 2001 tat [BMU 2002a], kann sich diese Zeitspanne noch verkürzen.

Die Wolke benötigt bei mittlerer Windstärke (4m/s) nur 10 Minuten bis Rodenkirchen, 25 Minuten bis Brake und 70 Minuten bis Bremen, bei Windstärken von 7m/s sogar nur 5, 10 bzw. 40 Minuten. Die Zeit zur Warnung der Bevölkerung ist also insgesamt sehr knapp. Eine rechtzeitige Warnung wäre dringend erforderlich, um die Bevölkerung zu einem Aufenthalt in Gebäuden zu bewegen, bevor sie die radioaktive Wolke erreicht. Andererseits muss vermieden werden, dass eine Massenflucht einsetzt und sich die Bevölkerung genau während der Zeit der stärksten Strahlenbelastung im Freien aufhält [KÜPPERS 1990].

Verharmlosend heißt es im Ratgeber Tiere, die bei einer Evakuierung nicht mitgenommen werden können, sollen mit ausreichend Futter und Wasser versorgt und Nutzvieh in Ställen untergebracht werden. Von den Landwirten wird darauf hingewiesen, dass es Stunden, wenn nicht Tage braucht, um die Kühe in die Ställe zu bringen¹⁸ [KW 0705/2003; Nordsee-Zeitung 2604/2003].

Insgesamt werden die widersprüchlichen oder nicht einzuhaltenden Informationen des „Ratgebers“ das Chaos und die Panik, die nach einem schweren Unfall ausbrechen werden, nicht aufhalten, sondern eher noch verstärken.

Gerade für die Bevölkerung im näheren Umkreis ist eine Entscheidung zwischen Flucht oder Rückzug in Gebäude schwer zu fällen. Einerseits können Gebäude zwar einen gewissen Schutz bieten, jedoch hängt die erreichbare Abschirmwirkung stark vom Gebäudetyp, den Baumaterialien und der Umgebungsbebauung ab. Variationsbreiten von mehreren Zehnerpotenzen sind möglich [BFS 1999]. Insofern ist es nicht in jedem Fall das Mittel der Wahl, über einen längeren Zeitraum Schutz in einem Haus zu suchen.

Andererseits kann die erhaltene Strahlendosis bei einer Flucht, insbesondere da diese vermutlich aufgrund eines Verkehrschaos nur sehr langsam erfolgen kann, sehr hoch

¹⁸ Zudem müssen die Tiere laut Tierschutzgesetz morgens und abends gemolken werden.

sein. Anhand der ermittelten Werte ist davon auszugehen, dass die potenziellen Strahlendosen im Freien zur Strahlenkrankheit oder gar zum Tod führen.

Gesundheitliche Folgen für die Bevölkerung

Im Rahmen dieser Studie wurde nicht systematisch ermittelt, welche gesundheitlichen Folgen eine massive radioaktive Freisetzung aus dem AKW Esenshamm für die Bevölkerung haben kann. Die Strahlenexpositionen hängen von der genauen Situation nach einem derartigen Unfall ab, und vor allem davon, wann die eingeleiteten Katastrophenschutzmaßnahmen greifen. Entscheidend ist insbesondere, wie rasch eine Evakuierung erfolgt.

Bei derartig massiven radioaktiven Freisetzungen können bereits vor dem Durchführen der Katastrophenschutzmaßnahmen Strahlenexpositionen auftreten, die zu gravierenden gesundheitlichen Folgen oder gar zum Tod führen.

Eine quantitative Ermittlung der gesundheitlichen Folgen ist in jedem Fall mit großen Unsicherheiten behaftet, die vor allem in der Abschätzung der erhaltenden Strahlendosis, aber auch in die Beurteilung der stochastischen Wirkung dieser Strahlendosis begründet sind. Im Anhang befinden sich einige Anmerkungen zur biologischen Wirkung ionisierender Strahlung.

Weniger Unsicherheiten bestehen hinsichtlich der Folgen von kurzzeitig auf den Menschen einwirkender Strahlung mit hohen Dosen. Diese sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

effektive Dosis [mSv]	Auswirkung auf den Menschen
Bis 500	Ohne größeren diagnostischen Aufwand keine unmittelbar nachteiligen Wirkungen feststellbar, aber Schwächung des Immunsystems
500-1000	Veränderungen des Blutbilds, Hautrötungen, vereinzelt Übelkeit, Erbrechen, sehr selten Todesfälle
1000 bis 2000	Nachteilige Wirkungen auf das Knochenmark, Erbrechen, Übelkeit, schlechtes Allgemeinbefinden, etwa 20%ige Sterblichkeit
ab 4000	Schwere Einschränkungen des Allgemeinbefindens sowie schwere Störungen der Blutbildung, Infektionsbereitschaft stark erhöht, 50%ige Sterblichkeit
ab 6000	Überlebensrate nur noch sehr gering
über 7000	Nahezu 100%ige Sterblichkeit

Exemplarisch werden auf Grundlage der ermittelten Strahlendosen einige Aspekte zu den potenziellen Gesundheitsfolgen diskutiert.

Für eine sehr grobe Abschätzung wird hier angenommen, dass sich die Bevölkerung aufgrund der angeordneten Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ in Häusern aufhält. Es

wird konservativ angenommen, dass die Schutzfunktion der Gebäude gering ist (Schutzfaktor: 1,2 [BFS 1999]).

In **Rodenkirchen** errechnete sich im Fall von Niederschlag während Durchzug der Wolke bereits nach einem Tag eine (mit über 50%iger Wahrscheinlichkeit tödliche) Dosis von fast 5000 mSv und bereits nach weniger als 5 Stunden eine Dosis oberhalb von 1000 mSv.

Es ist an dieser Stelle nochmals darauf hinzuweisen, dass in dieser Studie nur die Strahlenbelastung durch Cs-Bodenstrahlung berücksichtigt wurde. Damit wird die Bodenstrahlung mindestens um einen Faktor 10 unterschätzt.

Das bedeutet, dass in Rodenkirchen bei einem Aufenthalt im Freien von weniger als 2 Stunden tödliche Strahlenbelastungen (5000 mSv) auftreten können. Nach maximal 25 Minuten errechnen sich bereits Strahlenbelastungen (1000 mSv), die akute Strahlenkrankheit und die ersten Todesfälle verursachen.

Im Falle einer trockenen Deposition (kein Niederschlag bei Durchzug der Wolke) dominiert die Strahlenbelastung durch Inhalation. Diese führt ebenfalls zu hoher Strahlenbelastung mit gravierenden Folgen.

Die ermittelten Strahlenbelastungen sind als grobe Abschätzungen zu verstehen. Aus den Abschätzungen wird aber insgesamt deutlich, dass in Rodenkirchen die resultierenden Strahlenbelastungen nach einem schweren Unfall im AKW Esenshamm lebensbedrohlich hoch sein werden.

Für die EinwohnerInnen **Bremens** wird hier das Risiko einer tödlichen Krebserkrankung mit dem Risikofaktor laut UNSCEAR (Anmerkungen zum Risikofaktor im Anhang) grob abgeschätzt. Es wird angenommen, dass sich die Bevölkerung Bremens aufgrund der angeordneten Katastrophenschutzmaßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ für eine Dauer von sieben Tagen¹⁹ in Häusern aufhält. Konservativ wird angenommen, dass die Schutzfunktion der Gebäude gering ist²⁰.

¹⁹ Dies entspricht zum einen der maximalen für diese Maßnahme angegebenen Dauer und zum anderen wird davon ausgegangen, dass eine Evakuierung spätestens nach sieben Tagen erfolgt.

²⁰ Sehr vereinfacht wurde hier angenommen, dass die Gesamtbevölkerung Bremens eine über das gesamte Stadtgebiet gemittelte Strahlenbelastung erhält.

Für die Bevölkerung in Bremen errechnet sich so aus den ermittelten Strahlendosen ein statistisches Risiko von ca. 40.000 zusätzlichen Krebsfällen mit tödlichem Ausgang. Hinzu kommen in etwa 80.000 zusätzliche nicht-tödliche Krebserkrankungen [BFS 2004a]²¹. Zur richtigen Einordnung dieser Zahlen muss allerdings berücksichtigt werden, dass statistisch gesehen innerhalb von 30 Jahren etwa 40.000 EinwohnerInnen Bremens „natürlicherweise“ an Krebs versterben.

Die ermittelten Zahlen sind, wie bereits erwähnt, mit großen Unsicherheiten behaftet und können nur zur Orientierung dienen. Eines lässt sich aber in jedem Fall sagen: Nach einem schweren Unfall im AKW Esenshamm besteht bei entsprechender Windrichtung für die betroffene Bevölkerung in Bremen ein deutlich erhöhtes Risiko, eine tödliche Krebserkrankung zu erleiden.

Aus medizinischen Kreisen wird darauf aufmerksam gemacht, dass die gesundheitlichen Folgen des Tschernobylunfalls weniger durch die Krebstoten, sondern viel mehr an der Erkrankung von Hunderttausenden deutlich werden. In den besonders stark belasteten Regionen kam es zu einem steilen Anstieg verschiedenster somatischer und psychischer Erkrankungen. Laut Angaben des ukrainischen Tschernobylministeriums sank von 1987 bis 1996 unter den Evakuierten der Anteil der gesunden Menschen von 59 % auf 18 %, unter den Einwohnern in den belasteten Gebieten von 52 % auf 21 % und unter den Kindern betroffener Eltern von 81 % auf 30 %. Nach Meinung des IPPNW ist von den gesundheitlichen Folgen der Tschernobylkatastrophe, insbesondere angesichts der letztgenannten Zahlen, heutzutage erst die Spitze des Eisbergs zu sehen [IPPNW 2006].

Im Fall einer massiven Freisetzung aus dem AKW Esenshamm sind für die Bevölkerung der weiteren Umgebung gravierende gesundheitliche Folgen zu erwarten. Aufgrund der höheren Strahlenbelastungen sind diese im Vergleich zum Unfall in Tschernobyl vermutlich dramatischer. Zudem wird aufgrund der größeren Bevölkerungsdichte in Deutschland und den benachbarten europäischen Ländern die Zahl der betroffenen Menschen größer sein.

²¹ Hier wurden nur die Strahlenbelastungen aus Cs-Bodenstrahlung berücksichtigt, dadurch wird die Strahlenbelastung durch Bodenstrahlung um mindesten einen Faktor 10 unterschätzen. Zudem wurden keine Expositionen durch Inhalation berücksichtigt. Andererseits wurde angenommen, dass die Schutzfunktion der Gebäude gering ist. Das wird sicher nicht auf alle Gebäude zutreffen. Jedoch werden sich auch nicht alle Menschen über die 7 Tage in Gebäuden aufhalten. Insofern geben insgesamt die berechneten Strahlenbelastungen aus der Cs-Bodenstrahlung in Gebäuden mit geringer Schutzfunktion grob orientierende Werte. Diese sind allerdings nicht konservativ.

Die Anzahl der insgesamt betroffenen Menschen hängt von vielen Faktoren ab, insbesondere von den Wetterbedingungen und davon, ob die radioaktive Wolke Großstädte erreicht und in welchem Umfang Evakuierungen erfolgreich durchgeführt werden können. Laut einer anderen Studie²² ist nach einem schweren Unfalls in Deutschland mit bis zu 15.000 akuten Strahlentoten, mit bis zu 1 Million Krebstoten und mit unzähligen Erbschäden zu rechnen [HAHN 1999].

Folgen einer langfristige Umsiedlung

Bei Winden in Richtung der drei Orte kommt es für die hier berechneten Freisetzungsszenarien zu einer erheblichen Bodenkontamination. Von den dadurch resultierenden Strahlenbelastungen kann die Bevölkerung nur durch eine langfristige Umsiedlung bewahrt werden.

Eine langfristige Umsiedlung kann für die betroffenen Menschen jedoch auch negative Folgen haben. Eine Studie, die im Auftrag der Vereinten Nationen die Auswirkungen der Umsiedlung auf die Menschen nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl untersuchte, hob die psychosozialen Effekte auf die betroffenen Menschen hervor. Diese spielen in Wechselwirkung mit den direkten Auswirkungen auf die Gesundheit eine sehr wichtige Rolle. Zweifellos kann durch Umsiedlung die Strahlenbelastung deutlich reduziert werden, aber es können andere, ebenfalls gravierende Probleme auftreten.

In der vorliegenden Studie errechneten sich große Gebiete, aus denen die Bevölkerung langfristig umgesiedelt werden muss. Bei der hier gewählten Vorgehensweise (s. Kapitel 6.5) für die Ermittlung der Strahlenbelastungen muss davon ausgegangen werden, dass diese Gebiete über Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte nicht wieder besiedelt werden können.

²² allerdings für die Umgebung eines anderen Atomkraftwerks berechnet

Szenarien	max. Länge	max. Breite	Fläche
Niederschlag 5mm/h	60km	6-7km	290km ²
Niederschlag 0,5mm/h	200km	12km	2000km ²
Ohne Niederschlag	160km	5km	650km ²

Tab. 6: Belastungen größer als 6000 kBq/m² durch Cs-137 Bodenstrahlung nach einem Jahr

Bei einer Ermittlung der Jahresdosis aus der Bodenstrahlung aller Cs-Nuklide wie für den Eingreifrichtwert gefordert, errechnen sich deutlich größere Gebiete aus denen die Bevölkerung umgesiedelt werden müsste²³.

In einer anderen Untersuchung zu den Folgen eines schweren Unfalls wurde ermittelt, dass (unter Berücksichtigung des laut deutscher Risikostudie möglichen Quellterms aller Nuklide) die Flächen, die so verseucht sind, dass die Bevölkerung langfristig umgesiedelt werden muss, größer als Portugal sein könnten. Die Flächen könnten sich auf bis zu 100.000 km² belaufen [HAHN 1999].

²³ Diese können teilweise nach einigen Jahren oder Jahrzehnten wieder bewohnt werden.

7. Literatur

ALVAREZ 2003 R. Alvarez et al.: Reducing the Hazards from Stored Power-Reactor Fuel in the United States, Science & Global Security, Vol. 11, No. 1 (2003), S. 1-60

BECKER 2004 Oda Becker, Helmut Hirsch: 18 Jahre nach Tschernobyl, Sanierung des Sarkophags – Wettlauf mit der Zeit; erstellt im Auftrag von Greenpeace e.V.; Hannover, April 2004

BFK 1993 Bewertung der Ergebnisse der besonderen Sicherheitsanalyse des TÜV Norddeutschland für das Kernkraftwerk Unterweser vom Juni 1990; Beirat für Fragen des Kernenergieausstiegs (BfK), Untersuchung im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums, Hannover, August 1993

BFS 1999 Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz: Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen; Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden; Stand 12/99

BFS 2003 Bundesamt für Strahlenschutz: Genehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen im Standort-Zwischenlager in Rodenkirchen der E.ON Kernkraft GmbH, Az.: GZ-V2 - 8521 510, Salzgitter, 22.09.2003

BFS 2004 Bundesamt für Strahlenschutz: Dosiskoeffizienten bei äußerer und innerer Strahlenexposition; Teil 1: Dosisleistungskoeffizienten bei äußerer Strahlenexposition; www.bfs.de, eingesehen im Juli 2004

BFS 2004a Bundesamt für Strahlenschutz: Internetseite unter www.bfs.de, eingesehen im Oktober 2004

BFS 2004b Bundesamt für Strahlenschutz (BFS): Jahresbericht 2003 zu Meldepflichtigen Ereignissen in Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen in der Bundesrepublik Deutschland; 2004 (www.bfs.de)

BMU 1997 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Vorgehensvorschlag zur Durchführung einer probabilistischen Sicherheitsanalyse für das Ereignis „Externe Überflutung“; Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1998-497; Juni 1997

BMU 2002 Schutz der deutschen Kernkraftwerke vor dem Hintergrund der terroristischen Anschläge in den USA vom 11. September 2001; Zusammenfassung der GRS-Studie durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn, 27.11.2002

BMU 2002a Bericht über das Vorkommnis mit Abriss einer Kühlleitung im Atomkraftwerk Brunsbüttel; Bonn 25. Februar 2002

BMU 2004 Übereinkommen über nukleare Sicherheit – Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland für die Dritte Überprüfungstagung im April 2005; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn 2004

BRAUN 2002 Ch. Braun, F. Steinhäusler u. Lyudmila Zaitseva: International Terrorists' Threat to Nuclear Facilities; Presentation at the American Nuclear Society 2002 Winter Meeting, Washington D.C., November 19, 2002

COEYTAUX 2004 Xavier COEYTAUX, Yves MARIGNAC: Vorschläge für die Entwicklung von Abschaltkriterien für Atomkraftwerke; ein Beitrag zur schweizerischen Debatte; Juni 2004

COOPER 1996 P. W. Cooper: Explosives Engineering; Wiley VCH, New York 1996

DEZA 2004 Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA): Tschernobyl Info, www.chernobyl.info/de, eingesehen im März 2004

EON 2000 E.ON Kernkraft GmbH: Sicherheitsbericht für das Zwischenlager-Kernkraftwerk Unterweser (ZL-KKU) am Kernkraftwerk Unterweser, Stand 9/2000

EON 2003 Ratgebers für die Bevölkerung in der Umgebung des Kernkraftwerks Unterweser; E.ON Kernkraftwerk GmbH, Hannover, April 2003

EU 1998 Office for Official Publications of the European Communities: Atlas of Caesium Deposition on Europe after the Chernobyl Accident, Catalog Nr. CG-NA-16-733-29-C; Luxemburg, 1998

FAIRLIE 2006 I. Fairlie, D. Sumner: Der andere Bericht über Tschernobyl; im Auftrag von Rebecca Harms, MEP, April 2006

FOSS 2001 Ch. F. Foss u. David Miller: Moderne Gefechtswaffen – Technik, Taktik und Einsatz; Zürich, Vierte Auflage 2001

GRS 1989 Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Phase B – Eine Zusammenfassende Darstellung; Gesellschaft für Reaktorsicherheit mbH, Köln, Juni 1989

**GRS 2001 Bewertung des Unfallrisikos fortschrittlicher Druckwasserreaktoren in Deutschland (Entwurf zur Kommentierung); GRS-175, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Köln, Oktober 2001
(zitiert nach [SSK 2004])**

GRS 2004 Gesellschaft für Reaktorsicherheit, Internetseite unter www.grs.de, eingesehen im Oktober 2004

GREENPEACE 2005 Risiko Restlaufzeit – Die Probleme und Schwachstellen der vier ältesten deutschen Atomkraftwerke (Serie von vier Publikationen mit den Schwerpunkten Biblis A, Biblis B, Brunsbüttel und Neckarwestheim-1); Greenpeace Deutschland, Hamburg 2005

GSF 1998 A.M. Kellerer: Reaktorkatastrophe und Säuglingssterblichkeit; GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, Institut für Strahlenbiologie; Neuherberg, 1998

HAHN 1999 L. Hahn: Kernkraftwerke der Welt – Bestand, Funktionsweise, Sicherheitsprobleme; in: Gefahren der Atomkraft; Ministerium für Finanzen und Energie des Landes Schleswig-Holstein;; 2. aktualisierte Auflage, Kiel, Mai 1999

HAZ 2005 Hannoversche Allgemeine Zeitung: Piloten zweifeln an geplanten Störsendern; Hannover 21.09.2005

HEINZE 1993 H. Heinze (federf. Autor): Sprengtechnik – Anwendungsgebiete und Verfahren; 2. überarbeitete Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig/Stuttgart 1993

HIRSCH 2005 H. Hirsch, O. Becker, M. Schneider, A. Froggatt: Nuclear Reactor Hazards, Ongoing Dangers of Operating Nuclear Technology in the 21st Century, im Auftrag von Greenpeace International, April 2005

HONNELLIO 2005 A. L. Honnellio u. S. Rydell: Sabotage vulnerability of nuclear power plants; Vortrag auf der Konferenz

„Nuclear Energy and Security (NUSEC)“, Universität Salzburg, 20. – 23. Juli 2005

HOPFE 2001 M. Hopfe: Sprengung von Stahlkonstruktionen unter Einsatz von Schneidladungen; Thüringer Sprenggesellschaft mbH, 2001

<http://www.spreng.de/luzern/img0.htm>

IAEA 1991 Safety Culture – a Report by the International Nuclear Safety Advisory Group; International Atomic Energy Agency, Safety Series No. 75-INSAG-4, Vienna 1991

IAEA 2004 Implications of power uprates on safety margins of nuclear power plants; IAEA-TECDOC-1418; Report of a technical meeting organized in cooperation with the OECD/NEA held in Vienna, 13–15 October 2003

IPCC 2001 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Third Assessment Report - Climate Change 2001; Cambridge University Press, 2001

IPPNW 2006 Kurzfassung der Studie "Gesundheitliche Folgen von Tschernobyl - 20 Jahre nach der Reaktorkatastrophe" IPPNW und Gesellschaft für Strahlenschutz; 2006

JUNGCLAUS 1975 D. Jungclaus: Optimierung des Schutzes gegen äußere Einwirkungen als konzeptbeeinflussender Faktor bei der Planung kerntechnischer Anlagen; in: Tagungsbericht „Schutz von Kernkraftwerken gegen äußere Einwirkungen“, 10. IRS-Fachgespräch in Köln, 30. u. 31.10.1974

KFK 1983 U. Fischer u. H. W. Wiese: Verbesserte konsistente Berechnung des nuklearen Inventars abgebrannter DWR-Brennstoffe auf der Basis von Zell-Abbrand-Verfahren mit KORIGEN; KfK 3014, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Januar 1983

KIRCHNER 1985 Gerald Kirchner, Rüdiger Schäfer: Veränderungen des Inventars radioaktiver Stoffe in Reaktorbrandstoff aus Uran beim Übergang zu höheren Abbränden und Bestimmungen wichtiger Auswirkungen; Universität Bremen, Hrsg.: Öko-Institut, Darmstadt; 1985

KTA 2004 Kerntechnische Ausschuss (KTA): Schutz von Kernkraftwerken gegen Hochwasser, KTA 2207; 2004, (www.kta-gs.de)

KÜPPERS 1990 Christian Küppers, Michael Sailer, Karin Weyrich: Umsetzung der ERkenntnisse aus der Phase B der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke auf ausgewählte Belange des Katastrophenschutzes; Gutachten im Auftrag des Ministers für Soziales, Gesundheit und Energie des Landes Schleswig-Holstein; Kiel; 1990

KW Datum Kreiszeitung Wesermarsch; unter www.uwe-stratmann.de, eingesehen im März 2006

LLNL 2004 Lawrence Livermore National Laboratory; arbeitet für das U.S. Department of Energy an der University of California; Livermore (Kalifornien), www.llnl.gov, eingesehen im Oktober 2004

MAI 2002 S. Mai et al.: Nuclear Power Plant against Flooding; in Proc. of the 6th. Int. Symposium "Littoral - The Changing Coast"; Porto (Portugal) 2002

MILTECH 7/2000 E. Po: Lightweight and High Power, Development Trends For Towed Artillery, Military Technology Heft 7, 2000

MUNICH 2004 Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft; Topics Geo Annual review: Natural Catastrophes 2003; München; 2004

MUNICH 2005 Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft: Topics Geo Annual review: Natural Catastrophes 2004; München; 2005

NLT 2002 Protokoll des Niedersächsischen Landtages, 14. WP, 137. Sitzung am 6. Dezember 2002, S. 6-15: Tagesordnungspunkt 3 (Unterrichtung durch den Umweltminister über die Vorkommnisse im Atomkraftwerk Unterweser)

NMU 2004 Schreiben des Niedersächsischen Umweltministeriums an den Oberkreisdirektor des Landkreises Wesermarsch vom 05. Februar 2004, betr. Kernkraftwerk Unterweser

NZ Datum Nordsee-Zeitung; unter www.uwe-stratmann.de, eingesehen im März 2006

NUCWEEK XX_YY Nucleonics Week (Newsletter, hrsg. von Platts) mit Nummer der Ausgabe und Erscheinungsjahr

O'MALLEY 1996 T.J. O'Malley: Moderne Artilleriesysteme; Waffen und Geräte, Band 2; Motorbuch Verlag, Stuttgart 1996

OSTERKAMP 2000 S. Osterkamp; M. Schirmer: **Projekt Klimaänderung und Unterweserregion (KLIMU) Fallstudie Weserästuar des Bund-Länderprogramms; Studie im Auftrag des BMBF; Universität Bremen; Dezember 2000**

RECK 2003 H. Reck, U. Jendrich, H. Schulz: **Ausgewählte Ereignisse mit druckführenden Komponenten in Kernkraftwerken, Vorgehensweise der GRS; 29.MPA- Seminar, Stuttgart 9. und 10. Oktober 2003**

RICHEI 2002 A. Richei, Th. Oehngen, S. Ressel: **Probabilistische Sicherheitsanalyse für das Kernkraftwerk Unterweser; atw 47/5; Mai 2002**

RIEDEL 1985 R. Riedel (Leiter d. Autorenkollektivs): **Militärische Sprengtechnik – Lehrbuch; 4. Auflage, Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik, Berlin 1985**

RISKMAP 2000 Überblick über das Projekt RISKMAP: I. Andreev et al.: **Risks Due to Severe Accidents of Nuclear Power Plants in Europe – the Methodology of RISKMAP; Vortrag auf ESEE 2000, 3rd International Conference of the European Society for Ecological Economics.**

Detaillierte Information, insb. auch zu den Quelltermen:

<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/kernenergie/Riskmap/Deutsch/Ebene2/Risikoindikator/Leitnuklid.htm>

RÖWEKAMP 2004 M. Röwekamp: **Bewertung von Brandmodellen und Rechenprogrammen im Hinblick auf ihren Einsatz für Regulatorische Entscheidungen; Jahrestagung Kerntechnik 2004, Proceedings, Mai 2004**

RSK 1981 **RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren; Reaktor-Sicherheitskommission, 3. Ausgabe vom 14. Oktober 1981, zuletzt geändert 1996**

RSK 2003 **Reaktor-Sicherheitskommission: Erhöhung der thermischen Reaktorleistung des Kernkraftwerks Grafenrheinfeld (KKG); Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK), 18.09.2003**

SEIU 2004 **Service Employees International Union: Homeland Insecurity – How the Wackenhut Corporation is Compromising America's Nuclear Security; Washington, April 2004**

SOMMER 2004 F. Sommer, D. Wolf: Vorgehensweise und Nachweisführung bei thermischen Leistungserhöhungen und Effizienzsteigerungen in deutschen Druckwasserreaktoren, VDI-Bereiche Nr. 1862, 2004

SSK 2003 Strahlenschutzkommission: Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV, Neufassung des Kapitel 4: Berechnung der Strahlenexposition, verabschiedet auf der 186. Sitzung der SSK am 11.9.2003

SSK 2004 Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen; Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 37, Köln 2004

SUT 2001 Soldat und Technik: Zeitschrift, Report Verlag GmbH, Frankfurt, Heft 9/2001, September 2001.

TAGESSPIEGEL 2005 Wie unsicher sind Deutschlands alternde Kernkraftwerke heute; Bericht im Tagesspiegel, Berlin, 14.08.2005

TÜV 1990 Kernkraftwerk Unterweser – Besondere Sicherheitsanalyse, Teil 1, Kap. 1,2; Technischer Überwachungs-Verein Norddeutschland e.V., erstellt im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministers, Nr. 26-89-001, Hamburg, Juni 1990

VOLKE 2005 Der Nordpol wird eisfrei; Hannoversche Allgemeine Zeitung; 1. Oktober 2005

WIRTSCHAFT 2003 Wirtschaftsblatt: Greenpeace Aktivisten stürmen britisches AKW; Artikel im Wirtschaftsblatt, Wien, 13.01.2003

Anhang

Der Betriebsindikator (BI)

Die Gefahren, die von einem Atomkraftwerk ausgehen, hängen nicht nur von der Auslegung der Sicherheitssysteme, dem Schutz gegen Einwirkungen von außen und anderen konstruktiven Faktoren ab, sondern auch von der Art, in der es betrieben wird.

Details über den Betrieb, die beispielsweise die interne Organisation der Betriebsabläufe, die Qualität der Wartung, den Ausbildungsstandard des Personals und die Auswirkungen der wirtschaftlichen Faktoren betreffen, sind im Allgemeinen nicht zugänglich. Es können jedoch aus veröffentlichten Zahlen Indikatoren abgeleitet werden, die Hinweise auf das Ausmaß der betrieblichen Gefährdung geben.

Im Auftrag von Greenpeace Deutschland haben NuklearexpertInnen einen Satz Indikatoren entwickelt, der wichtige Aspekte der betrieblichen Sicherheit abdeckt. In den BI gehen die folgenden Aspekte mit der angegebenen Gewichtung ein:

- Ungeplante Stillstandszeiten (15%)
- Häufigkeit meldepflichtiger Ereignisse (40%) (unter Berücksichtigung ihrer Bedeutung)
- Strahlenbelastung der in der Anlage Beschäftigten (20%)
- Radioaktive Emissionen mit der Abluft (12,5%)
- Radioaktive Emissionen mit dem Abwasser (12,5%)

Diese Teilindikatoren können spezifisch für jedes AKW und jedes Jahr ermittelt werden.

Für Vergleiche zwischen Anlagen und zur Trendbestimmung über die Jahre wurde weiterhin eine Methodik entwickelt, um die Teilindikatoren zu einer einzigen Zahl zu kombinieren. Zu diesem Zweck werden sie normiert (d. h. auf eine gemeinsame Skala gebracht); dies kann etwa durch Division mit dem jeweiligen Mittelwert für das Jahr

1999 geschehen. Dann werden sie gewichtet, wobei dem Teilindikator für die Ereignisse die größte Bedeutung zugeordnet wird.

Durch Addition der normierten, gewichteten Teilindikatoren wird schließlich AKW- und jahresspezifisch der Betriebsindikator (BI) ermittelt.

Biologische Strahlenwirkung

Die biologische Strahlenwirkung wird unterteilt:

Deterministische Wirkung bezeichnet die biologische Strahlenwirkung, die innerhalb kurzer Zeit charakteristische Krankheitsbilder erzeugt. Die Schwere der Erkrankung hängt von der Dosis ab. Nach der Überschreitung eines bestimmten Schwellenwertes ist eine gesundheitliche Veränderung, die von der Trübung der Augenlinsen bis zum Tod durch akutes Strahlensyndrom reicht, feststellbar. Der Schwellenwert für die ersten erkennbaren Strahlenerkrankungen beträgt ca. 250 mSv.

Stochastische Wirkung bezeichnet die biologische Strahlenwirkung, bei der die Strahlendosis die Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadens – jedoch nicht seinen Schweregrad – bestimmt. Für diese Wirkung ist keine Schwellendosis bekannt, eine extrem geringe Strahlendosis kann theoretisch schon zu Schäden führen. Die stochastischen Auswirkungen sind erst nach einer Latenzzeit von Jahren erkennbar, z.B. als Krebserkrankung.

Eine quantitative Erfassung der stochastischen Wirkung ist schwierig, da sich bei dem heutigen Kenntnisstand nicht erkennen lässt, ob sich eine Krebserkrankung aufgrund ionisierender Strahlung oder aus einem anderen Grund entwickelt hat. Daher wird mit Hilfe epidemiologischer Untersuchungen der Atombombenopfer von Hiroshima und Nagasaki, die Zahl von Krebstodesfällen ermittelt, um die die Zahl auch ohne Strahlung auftretender Krebstodesfälle überschritten wird. Diese Zahl der zusätzlichen Fälle kann in Beziehung zu der Dosis einer vorausgegangenen Strahlenexposition gesetzt werden. Aus beiden Daten lässt sich das Strahlenrisiko als Eintrittswahrscheinlichkeit pro Doseinheit mathematisch-statistisch ausdrücken. Die so berechneten Risikofaktoren stellen keine unveränderliche Größe dar. Veränderungen in der Datenbasis können eine Änderung des berechneten Risikos bewirken [BFS 1999].

Auf offizieller Ebene wird, international abgestimmt, das individuelle tödliche Krebsrisiko auf der Grundlage des ICRP-Reports Nr. 60 aus dem Jahr 1991 angenommen. In diesem Report wird von einer Wahrscheinlichkeit einer tödlichen Krebserkrankung von 5 % pro 1000 mSv erhaltene Strahlendosis ausgegangen. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang auch, wie stark sich der angenommene Risikofaktor bisher verändert hat: Während 1977 (IRCP 26) das Risiko an Krebs zu

sterben mit 1% pro 1000 mSv angegeben wurde, hat sich die Einschätzung dieses Risikos 1991 (IRCP 60) 14 Jahre später verfünffacht.

Der Risikofaktor der ICRP 60 gilt mittlerweile auch schon veraltet und zu niedrig. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BFS) weist auf seiner Homepage statt auf den Risikofaktor der IRCP 60 (1991) auf einen Bericht des Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen für die Wirkung der Atomstrahlung (UNSCEAR) aus dem Jahr 2000 hin. Auf der Grundlage der epidemiologischen Daten wird in dem UNSCEAR-Bericht die Wahrscheinlichkeit, nach einer akuten Dosis von 1000 mSv an Krebs zu sterben, gemittelt über alle Altersgruppen, für Männer mit 9 % und für Frauen mit 13 % abgeschätzt [BFS 2004a].

Cs-137 Bodenkontamination in Rodenkirchen, Brake und Bremen

zum Vergleich: die vom Tschernobyl Unfall betroffene Bevölkerung wurde ab einer Kontamination von 1480 kBq/m² umgesiedelt

Cs-137 Bodenkontamination [kBq/m²] in Rodenkirchen			
Windgeschwindigkeit in [m/s]	3,5 km		
	ohne	0,5mm/h	5mm/h
1	1.300.000	15.000.000	25.000.000
4	330.000	4.700.000	20.000.000
7	190.000	2.800.000	13.000.000

Cs-137 Bodenkontamination [kBq/m²] in Brake									
Windgeschwindigkeit in [m/s]	12 km (Stadtmitte)			8,5km			15km		
	ohne	0,5mm/h	5mm/h	ohne	0,5mm/h	5mm/h	ohne	0,5mm/h	5mm/h
1	380.000	2.900.000	240.000	570.000	4.900.000	1.400.000	290.000	1.900.000	55.000
4	100.000	1.500.000	2.900.000	150.000	2.000.000	5.500.000	81.000	1.200.000	1.800.000
7	59.000	920.000	2.900.000	85.000	1.300.000	4.600.000	47.000	760.000	2.000.000

Cs-137 Bodenkontamination [kBq/m²] in Bremen									
Windgeschwindigkeit in [m/s]	44 km (Stadtmitte)			24 km			55 km		
	ohne	0,5mm/h	5mm/h	ohne	0,5mm/h	5mm/h	ohne	0,5mm/h	5mm/h
1	79.000	100.000	0	170.000	700.000	820	60.000	39.000	0
4	25.000	330.000	390.000	48.000	710.000	490.000	19.000	230.000	11.000
7	14.000	270.000	170.000	28.000	500.000	850.000	11.000	210.000	76.000

Strahlenbelastungen nach einem Jahr aus Cs-137 Bodenstrahlung

zum Vergleich: Der Eingreifrichtwert für eine langfristige Umsiedlung der Bevölkerung beträgt 100mSv

Jahresdosen [mSv] in Rodenkirchen			
Windgeschwindigkeit in [m/s]	3,5 km		
	ohne	0,5mm/h	5mm/h
1	21.728	250.711	417.852
4	5.516	78.556	334.282
7	3.176	46.799	217.283

Jahresdosen [mSv] in Brake									
Windgeschwindigkeit in [m/s]	12 km (Stadtmitte)			8,5 km			15 km		
	ohne	0,5mm/h	5mm/h	ohne	0,5mm/h	5mm/h	ohne	0,5mm/h	5mm/h
1	6.351	48.471	4.011	9.527	81.899	23.400	4.847	31.757	919
4	1.671	25.071	48.471	2.507	33.428	91.927	1.354	20.057	30.085
7	986	15.377	48.471	1.421	21.728	76.885	786	12.703	33.428

Jahresdosen [mSv] in Bremen									
Windgeschwindigkeit in [m/s]	44 km (Stadtmitte)			24 km			55 km		
	ohne	0,5mm/h	5mm/h	ohne	0,5mm/h	5mm/h	ohne	0,5mm/h	5mm/h
1	1.320	1.671	0	2.841	11.700	14	1.003	652	0
4	418	5.516	6.518	802	11.867	8.190	318	3.844	184
7	234	4.513	2.841	468	8.357	14.207	184	3.510	1.270

Strahlenbelastungen nach 7 Tagen aus Cs-137 und Cs-134 Bodenstrahlung

zum Vergleich: Der Eingreifrichtwert für eine sofortige Evakuierung der Bevölkerung beträgt 100mSv

7-Tagedosen [mSv] in Rodenkirchen			
Windgeschwindigkeit in [m/s]	3,5 km		
	ohne	0,5mm/h	5mm/h
1	2.167	25.002	41.671
4	550	7.834	33.337
7	317	4.667	21.669

7-Tagedosen [mSv] in Brake									
Windgeschwindigkeit in [m/s]	12 km (Stadtgebiet)			8,5 km			15 km		
	ohne	0,5mm/h	5mm/h	ohne	0,5mm/h	5mm/h	ohne	0,5mm/h	5mm/h
1	633	4.834	400	950	8.167	2.334	483	3.167	92
4	167	2.500	4.834	250	3.334	9.168	135	2.000	3.000
7	98	1.533	4.834	142	2.167	7.667	78	1.267	3.334

7-Tagedosen [mSv] in Bremen									
Windgeschwindigkeit in [m/s]	44 km (Stadtgebiet)			24 km (Stadtgebiet)			55 km (Stadtgebiet)		
	ohne	0,5mm/h	5mm/h	ohne	0,5mm/h	5mm/h	ohne	0,5mm/h	5mm/h
1	132	167	0	283	1.167	1	100	65	0
4	42	550	650	80	1.183	817	32	383	18
7	23	450	283	47	833	1.417	18	350	127