

@@

TRANSPORTSTUDIE KONRAD:

SICHERHEITSANALYSE DES TRANSPORTS RADIOAKTIVER ABFAELLE ZUM ENDLAGER  
KONRAD  
(Hauptband)

GRS - 84 (Juli 1991)

F. Lange

D. Gruendler

G. Schwarzs

Anmerkung:

Die Studie wurde im Auftrag des Bundesministers fuer Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) erstellt.

Wir danken an dieser Stelle einer Vielzahl von Personen, die uns bei der Erarbeitung der Ergebnisse der Studie unterstuetzt haben. Dazu zaehlen insbesondere Mitarbeiter der Deutschen Bundesbahn in Mainz, Hannover, Braunschweig, Minden und Koeln, Mitarbeiter der Verkehrsbetriebe Peine-Salzgitter, des Bundesamtes fuer Strahlenschutz, der Deutschen Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern in Karlsruhe. Dem Deutschen

Wetterdienst danken wir fuer die Bereitstellung von standortbezogenen Wetterstatistiken.

@@

INHALT

	Seite
KURZFASSUNG	
1. AUFGABENSTELLUNG	1
2. ZUR METHODIK	4
2.1 Bestimmungsgemaesser Transport	5
2.2 Transportunfaelle	6
3. ART UND MENGE DER ENDZULAGERNDEN RADIOAKTIVEN ABFAELLE	9
3.1 Datenbasis	10
3.2 Abfall- und Transportbehaelertypen	12
3.3 Abfallmengen- und Befoerderungsaufkommen	15
4. RADIOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG DER ABFALL- UND TRANSPORTBEHAELTER	18
4.1 Vorschriften	18
4.2 Ortsdosisleistung (ODL) der Abfall- und und Transportbehaelter	19

4.3	Aktivitaetsinventar der Abfalltransportbehaelter	22
5.	ABFALLBEFOERDERUNG: BEFOERDERUNGSSZENARIEN UND BEFOERDERUNGSMODALITAETEN	24
5.1	Befoerderungsszenarien	24
5.2	Befoerderungsmodalitaeten	25
5.3	Verkehrsaufkommen	29
5.4	Streckenfuehrung	32
6.	STRAHLENSCHUTZVORSCHRIFTEN	36
@@		
7.	RADIOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN BEIM BESTIMMUNGSGEMAESSEN (UNFALLFREIEN) ABFALLTRANSPORT	38
7.1	Kollektivdosen	39
7.2	Individualdosen	41
8.	TRANSPORTUNFALLRISIKO	49
8.1	Generelle Vorgehensweise	49
8.2	Behaelterversagen und Freisetzungsverhalten	52
8.2.1	Definition der Belastungsklassen	52
8.2.2	Freisetzungsanteile	57
8.3	Unfallhaeufigkeiten	61
8.3.1	Unfallablaeufer und Unfallhaeufigkeiten im Gueterzugverkehr	62
8.3.2	Betriebsablaeufer und Unfallhaeufigkeiten im Rangierbahnhof Braunschweig	77
8.3.3	Unfallhaeufigkeiten beim Strassentransport	82
8.3.4	Uebertragbarkeit der Unfalldaten auf den Standortbereich	84
8.4	Transportunfallsimulation - Quelltermbestimmung	87
8.4.1	Abfalltransport im Gueterzugverkehr	89
8.4.2	Abfalltransport mit LKW	95
8.4.3	Rangierbahnhof Braunschweig	95
8.4.4	Bildung von Quelltermgruppen	96
8.4.5	Freisetzungsklassen	98

8.5	Erwartete Unfallhaeufigkeiten mit Freisetzung	101
8.5.1	Schienentransport	105
8.5.2	Strassentransport	109
8.5.3	Rangierbahnhof Braunschweig	110
8.6	Ergebnisse zum Transportunfallrisiko	112
8.6.1	Berechnung radiologischer Unfallfolgen	112
8.6.2	Referenzszenarium: 100 % Schienentransport	115
8.6.3	Referenzszenarium: 80 % Schienen-, 20 % Strassentransport	129
8.6.4	Rangierbahnhof Braunschweig	131
8.7	Bewertung des Transportunfallrisikos	135
9.	LITERATUR	139
@I		

#### KURZFASSUNG

Die durchgefuehrte Sicherheitsanalyse des Transports radioaktiver Abfaelle zum geplanten Endlager KONRAD hat zwei Zielsetzungen:

- Die Ermittlung von Strahlenexpositionen, die sich insbesondere in der Endlagerregion, wo alle Abfalltransporte zusammenlaufen, aus dem bestimmungsgemaessen Transport ergeben koennen.
- Die Bestimmung des Transportunfallrisikos in der Endlagerregion, d.h. die Quantifizierung der Haeufigkeit, mit der mit Unfaellen und daraus moeglicherweise resultierenden Strahlenexpositionen oder Kontaminationen zu rechnen ist.

Zur Bearbeitung dieser Fragestellungen sind detaillierte Analysen zum erwarteten Transportaufkommen und zu dessen Charakterisierung durchgefuehrt worden. Diese umfassen u.a. Angaben zu verwendeten Transportbehaeltern, Abfallprodukteigenschaften, Aktivitaetsinventaren und Ortsdosisleistungen der zu befoerdernden Abfallgebinde. Auch die voraussichtliche Abwicklung des Transports, d.h. die Transportmodalitaeten einschliesslich der Rangiervorgaenge im Rangierbahnhof Braunschweig und im Uebergabebahnhof Beddingen zaehlen dazu.

Zwei reale Bedingungen voraussichtlich eingrenzende Anlieferungsszenarien wurden analysiert:

- 100 % Schienentransport
- 80 % Schienentransport, 20 % Strassentransport.

Die einschlaegigen Befoerderungsvorschriften enthalten die Anforderungen, denen die Befoerderung der Transporteinheiten mit radioaktiven Abfaellen genuegen muessen. Zusaetzlich enthalten die "Vorlaeufigen Endlagerungsbedingungen KONRAD" Aktivitaetsbegrenzungen fuer endzulagernde

Abfallgebinde in Verbindung mit weiteren Anforderungen an die Eigenschaften

der Abfallprodukte und Abfallbehaelter. Hierdurch sind sicherheitstechnische Rahmenbedingungen festgelegt, innerhalb derer sich die Abfallgebinde bewegen duerfen. Sie lassen aber keine Schluesse zu ueber

Art, Menge und Eigenschaften der tatsaechlich anfallenden und endzulagernden radioaktiven Abfaelle. Daher ist es fuer die Transportsicherheitsanalyse von grundlegender Bedeutung, dass eine umfangreiche

@II

und detaillierte Abfalldatenerhebung des Bundesamtes fuer Strahlenschutz (BfS) zur Verfuegung stand.

Diese im Sommer 1990 abgeschlossene Erhebung bei den Verursachern und Ablieferern radioaktiver Abfaelle ist mit der Massgabe erstellt worden, abdeckende Angaben ueber die in der Bundesrepublik Deutschland (ohne die fuenf neuen Bundeslaender) anfallenden

und in absehbarer Zeit zu erwartenden radioaktiven Abfaelle zu erhalten. Diese Angaben beziehen sich insbesondere auch auf Aktivitaetsinhalte und daraus abgeleitete Ortsdosisleistungen von Abfallgebinden. Insgesamt ist das Abfallaufkommen durch 217 Referenzabfaelle und deren mittleres jaehrliches Aufkommen charakterisiert.

Aufgrund der vom BfS jaehrlich durchgefuehrten Erhebungen und Analysen zum

vorhandenen Abfallbestand, zum neu hinzugekommenen Abfallaufkommen und der

auf die naehere Zukunft ausgerichteten Abfalldatenerhebung wird ein einschichtiger Betrieb des Endlagers KONRAD als die wahrscheinlichste Betriebsweise angesehen. Dies laeuft auf den jaehrlichen Transport von 3400

Transporteinheiten hinaus.

Unterstellt man, dass bei einem Betrieb des Endlagers KONRAD auch radioaktive Abfaelle aus den fuenf neuen Bundeslaendern angeliefert wuerden, so ist nicht damit zu rechnen, dass dadurch die Ergebnisse dieser

Studie merklich beeinflusst werden:

- Das bisherige Abfallaufkommen ist vergleichsweise gering. Zum in der ehemaligen DDR betriebenen Endlager Morsleben wurden im langjaehrigen

Mittel ca. 200 Transporteinheiten pro Jahr befoerdert.

- Die Aktivitaetsinhalte und -konzentrationen der uebrigen Abfaelle duerften sich im Rahmen der auch in der bisherigen Bundesrepublik Deutschland anfallenden Abfaelle bewegen und muessten in jedem Fall den Annahmebedingungen des Endlagers KONRAD genuegen.

Strahlenexpositionen beim bestimmungsgemaessen Transport

Die Hoehe der jaehrlichen Strahlendosis einer Person durch in der Naehe vorbeifahrende oder haltende Abfalltransporte ergibt sich aus der

Ortsdosisleistung am jeweiligen Aufenthaltsort der Person und der Zeitdauer, waehrend der sie sich insgesamt ueber ein Jahr summiert an diesen Orten aufhaelt. Dabei hat sich die Studie auf die Erfassung von Expositionssituationen

@III

konzentriert, bei denen Personengruppen aufgrund ihrer Lebensfuehrung oder funktionsbedingt dem Strahlungsfeld der Abfallgebinde in besonderem Masse ausgesetzt sind.

Das entspricht der im Strahlenschutz ueblichen Vorgehensweise, die potentiellen Dosen der "kritischen Personengruppen" zu ermitteln. Fuer Personen, die nicht zu den kritischen Personengruppen zaehlen, kann man dann erwarten, dass deren durch den Abfalltransport verursachte Strahlenexposition niedriger, meist sogar sehr viel niedriger liegt als die der kritischen Personengruppe.

Bevoelkerung

Die fuer die kritischen Personengruppen in der Endlagerregion ermittelten Dosen liegen zwischen etwa 0.02 bis 0.1 mSv/a. Ueberwiegend bewegen sie sich im unteren Bereich von 0.02 mSv. Dies ist auf im Mittel nur kurze Aufenthaltsdauern im Nahbereich der Abfalltransporte zurueckzufuehren, da diese ueberwiegend nur kurze Zeit vorbeifahren oder anhalten, oder auf einen groesseren Abstand des Aufenthaltsortes zu den Abfalltransporten. Unguenstigere Gegebenheiten von Expositionsdauer und raeumlichem Abstand koennen zu Strahlenexpositionen oberhalb von 0.02 mSv/a fuehren. Dabei ergaben sich die unguenstigsten Bedingungen fuer die Bewohner der unmittelbar an das Rangierbahnhofsgelaende Braunschweig angrenzenden Gebaeude im Bereich Alte Salzdahlumer Strasse. Hier kommen ein verhaeltnismaessig geringer Abstand zu auf Gleisen der Einfahrgruppe abgestellten Gueterzuegen mit Abfallwaggonen und laengere Standzeiten und damit Expositionsdauern zusammen. Diese Gegebenheiten stellen eine lokale Ausnahmesituation dar, die nur hier, nicht aber an anderen Orten im Rangierbahnhofsbereich oder in der Endlagerregion vorliegen. Fuer die kritische Personengruppe im Bereich Alte Salzdahlumer Strasse ergeben sich

effektive Dosen bis zu 0.1 mSv/a beidem Befoerderungsszenarium 80 % Bahn/ 20 % Strasse. Im Grenzfall von 100 % Bahntransport und der Annahme, dass alle Regelgueterzuege ueber den Rangierbahnhof Braunschweig gefuehrt werden, kann die jaehrliche Strahlenexposition dieser Personengruppe Werte

bis zu 0.2 mSv/a erreichen.

Die potentielle Strahlenexposition von kritischen Personengruppen der Bevoelkerung durch Abfalltransporte liegen weit unterhalb des in den internationalen Transportvorschriften der IAEA angegebenen Richtwertes

@IV

von 1 mSv/a.

Zur Einordnung der fuer kritische Personengruppen ermittelten jaehrlichen Strahlendosen kann die natuerliche Strahlenexposition herangezogen werden, der jede Person ausgesetzt ist. Diese betraegt in der

Bundesrepublik Deutschland im Mittel 2 mSv/a, weist aber einen grossen Variationsbereich abhaengig vom Wohnort und anderen Lebensbedingungen auf.

Auf Abfalltransporte zurueckgehende zusaetzliche Strahlenexpositionen der

kritischen Personengruppen liegen hoechstens im Bereich weniger Prozent der natuerlichen Strahlenexposition. Die Strahlenexposition dieser Personengruppen und damit umso mehr derjenigen Bewohner der Endlagerregion, die nicht zu den anzahlmaessig kleinen kritischen Personengruppen zaehlen, wird somit durch die Abfalltransporte praktisch nicht veraendert.

#### Transport- und Abfertigungspersonal

Von den beruflich mit der Abfallbefoerderung befassten Personen, also den Bediensteten der Deutschen Bundesbahn und der Verkehrsbetriebe Peine-Salzgitter, sind die Abfertiger und Rangierer im Rangierbahnhof Braunschweig und im Uebergabebahnhof Beddingen, die sich vorzugsweise mit dem Rangieren/Abfertigen der Abfallwaggons befassen, als kritische Personengruppe anzusehen. Fuer diese zahlenmaessig kleine Personengruppe ergeben sich je nach Funktion Dosishoechstwerte von etwa 0.3-0.7 mSv/a; bei dem uebrigen Rangierpersonal werden diese Werte deutlich unterschritten.

Damit liegt die Strahlenexposition des mit der Abfallbefoerderung befassten Rangier- und Abfertigungspersonals in einem Dosisbereich, der in Einzelfaellen auch in anderen Bahnbereichen mit hohem Aufkommen an Radioaktiv-Sendungen beobachtet wurde. Die einschlaegigen auf diese Personengruppe anwendbaren Dosisrichtwerte von 5 mSv/a werden deutlich unterschritten.

#### Transportunfallrisiko

Das Risiko durch Transportunfaelle ist bestimmt durch die Haeufigkeit, mit der Unfaelle auftreten, die zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe fuehren, und die daraus resultierenden radiologischen Auswirkungen wie Strahlenexpositionen von Personen und Kontaminationen der @V

#### Biosphaere.

Die Ermittlung des mit Transportunfaellen verbundenen Risikos bezieht sich auf den Nahbereich des geplanten Endlagers KONRAD, definiert als Umkreis mit einem Radius von 25 km um die Anlage. Die Groesse des Nahbereichs, fuer den das Unfallrisiko des Abfalltransportinsgesamt ermittelt wird, ist dadurch begruendet, dass in jedem Fall alle in der Endlagerregion zusammenlaufenden Abfalltransporte und die fuer dieses Gebiet repraesentativen Schienen- und Strassentransportstrecken erfasst werden. Dazu gehoert auch der Rangierbahnhof Braunschweig, ueber den voraussichtlich ein grosser Teil der Abfalltransporte gefuehrt wird.

Die Haeufigkeit, mit der fuer das Abfalltransportaufkommen radiologische Auswirkungen unterschiedlichen Ausmasses zu erwarten sind, haengt von mehreren Einflussgroessen ab, zu denen insbesondere zaehlen:

- Die Haeufigkeiten, mit der Unfallbelastungen auf Abfallgebinde einwirken;
- Eigenschaften der Abfallbehaelter und des darin befindlichen Abfallproduktes, die das Freisetzungsverhalten bestimmen;
- Der Inhalt an radioaktiven Stoffen (Aktivitaetsinventar);

- Die Haeufigkeit, mit der unterschiedliche atmosphaeerische Ausbreitungsbedingungen vorliegen, die ihrerseits die luftgetragenen und abgelagerten Schadstoffkonzentrationen und damit radiologische Auswirkungen in groesserem Masse beeinflussen koennen.

Um diese Einflussgroessen zu erfassen, sind moegliche Unfallbelastungen von Transportfahrzeugen und Transportbehaeltern in 9 Belastungsklassen eingeteilt worden, deren relative Eintrittshaeufigkeiten durch Auswertung von Unfallstatistiken des Gueterzugverkehrs, des LKW-Verkehrs und des Rangierbahnhofs Braunschweig bestimmt wurden. Wegen des sehr unterschiedlichen Verhaltens verschiedener Behaeltertypen (Beton-, Guss-, Stahlblechbehaelter) und ggf. verschiedener Abfallprodukte (z.B. Zement/Beton, Bitumen) bei Unfallbelastungen wurde das Transportaufkommen in verschiedene Abfallgebindergruppen unterteilt. Bei dieser Klassifizierung ist das Freisetzungsverhalten das entscheidende Kriterium. Fuer die vorab definierten Belastungsklassen und Abfallgebindergruppen ist dann jeweils bestimmt worden, welcher Anteil des Aktivitaetsinventars

@VI

dabei aus Abfallgebinder als freigesetzt angenommen wird.

Das Aktivitaetsinventar vom Unfall betroffener Transporteinheiten bestimmt dann die freigesetzten Aktivitaeten einzelner Radionuklide, den Quellterm.

Die Berechnung potentieller radiologischer Unfallfolgen wie Strahlenexpositionen von Personen und Kontamination auf Bewuchs und Boden erfolgt mit dem Unfallfolgenprogramm UFOMOD.

Bei der Berechnung von Strahlenexpositionen werden folgende Expositionswege beruecksichtigt:

- Wolkenstrahlung
- Bodenstrahlung
- Inhalation (Aktivitaetsaufnahme mit der Atemluft)
- Ingestion (Aktivitaetsaufnahme mit der Nahrung)
- Resuspension mit nachfolgender Inhalation (Wiederaufwirbelung von am Boden abgelagerten Radionukliden)

Die Berechnungen beruecksichtigen die relative Haeufigkeit der atmosphaeerischen Ausbreitungsbedingungen in der Endlagerregion. Dazu standen die vom Deutschen Wetterdienst (DWD), Offenbach, bereitgestellten Wetterdaten der nordwestlich des Braunschweiger Stadtgebietes gelegenen Wetterstation Braunschweig-Voelkenrode zur Verfuegung.

Um das Spektrum moeglicher Unfallablaeufer bis hin zu den dabei moeglichen Freisetzungen radioaktiver Stoffe und unter Beruecksichtigung der zu erwartenden Haeufigkeit der Ereignisse zu erfassen, wurde ein Unfallsimulationsprogramm eingesetzt. Dieses Programm beruecksichtigt das betrachtete Transportaufkommen (217 Referenzabfaelle und deren relative Haeufigkeit), unterschiedliche Transportkonstellationen wie Anzahl der Abfallwaggons im Gueterzug und deren Beladung, die moeglichen Unfallbelastungen (9 Belastungsklassen) und erzeugt darauf basierend eine

Vielzahl von Quelltermen, die fuer moegliche unfallbedingte Freisetzen von Radionuklidrepraesentativ sind. Gleichzeitig wird die Haeufigkeit, mit der das Auftreten solcher Freisetzenereignisse zu erwarten ist, erfasst.

@VII

Die Simulationen moeglicher Transportunfaelle bei den Abfalltransportenzum Endlager KONRAD fuehren nach geeigneter Zusammenfassung einer Vielzahl von Quelltermen zu Freisetzenklassen, die bezueglich der Radionuklidzusammensetzung und der freigesetzten Aktivitaeten einzelner Radionuklide fuer die Berechnung radiologischer Auswirkungen repraesentativ sind. Fuer Unfaelle beim Transport mit Gueterzuegen, mit LKW und im Rangierbahnhof Braunschweig sind jeweils 10 solcher Freisetzenklassen vom Unfallsimulationsprogramm erzeugt worden. Dabei resultieren jeweils 5 Freisetzenklassen aus Unfaellen mit rein mechanischer Einwirkung auf Transporteinheiten und 5 Freisetzenklassen aus Unfaellen mit mechanischer Einwirkung und nachfolgendem Brand. Fuer jede dieser Freisetzenklassen ist die erwartete Eintrittshaeufigkeit bestimmt worden. Diese gibt an, mit welcher Haeufigkeit bezogen auf die Abfalltransporte eines Jahres in der Endlagerregion mit unfallbedingten Freisetzen zu rechnen ist, die durch eine Freisetzenklasse repraesentiert werden.

Bei der Analyse zum Unfallrisiko sind Festlegungen durchgehend so getroffen worden, dass reale Bedingungen abdeckend erfasst werden. Das bezieht sich insbesondere auf die Definition der Belastungsklassen, die Zuordnung von Unfallereignissen zu den Belastungsklassen und die Ableitung der Haeufigkeit, mit der Unfaelle einer bestimmten Belastungsklasse auftreten. Das Zusammenwirken dieser konservativen Annahmen im Rahmen der Unfallrisikoanalyse wirkt sich dahingehend aus, dass sowohl die ermittelten Haeufigkeiten von Unfaellen mit Freisetzen als auch ueberwiegend die Hoehe der Freisetzen (Quellterm) deutlich ueberschaetzt werden.

Die Ergebnisse der probabilistischen Risikoanalyse von Transportunfaellen in der Endlagerregion bei Befoerderung

- ausschliesslich mit Gueterzuegen (100 % Schiene)
- teils mit Gueterzuegen und teils mit LKW (80 % Schiene/ 20 % Strasse)
- und im Rangierbahnhof Braunschweig

werden in Form von kumulativen komplementaeren Haeufigkeitsverteilungen dargestellt. Diese erhaelt man jeweils durch Ueberlagerung der Ergebnisse fuer die 10 Freisetzenklassen. Bei der Ueberlagerung zu einer zusammenfassenden Haeufigkeitsverteilung werden jeweils die erwarteten

@VIII

Eintrittshaeufigkeiten der Freisetzenklassen aufgrund von

Transportunfaellen innerhalb des 25 km-Umkreises beruecksichtigt.

Aus den Kurvenverlaeufen der komplementaeren Haeufigkeitsverteilungen sind die Haeufigkeiten ablesbar, mit denen in der Endlagerregion aufgrund von Transportunfaellen bestimmte radiologische Auswirkungen in unterschiedlichen Entfernungen vom Unfallort auftreten koennen. Radiologische Auswirkungen sind dabei in verschiedener Weise dargestellt:

- Als Strahlenexposition in Form der effektiven Dosen, die in der naeheren Umgebung eines Unfallortes in Richtung der Schadstoffausbreitung auftreten koennen.
- Als Cs 137-aequivalente Bodenkontamination, um einen Vergleich mit dem Cs 137-Fallout in der Bundesrepublik Deutschland aufgrund der Kernwaffenversuche und des Reaktorunfalls in Tschernobyl zu ermoeglichen.

Bei den Berechnungen von potentiellen Strahlenexpositionen sind fuer Entfernungen ab 250 m vom Unfallort keine Gegenmassnahmen unterstellt worden, d.h. insbesondere, dass ein Beseitigen nach einem Unfall von auf Bewuchs und anderen Flaechen abgelagerten radioaktiven Stoffen oder andere Massnahmen zur Reduktion moeglicher Strahlenexpositionen nicht angenommen wurden. Es sind jedoch zur Orientierung auch gesonderte Rechnungen fuer kuerzere Entfernungen und fuer 250 m vom Unfallort durchgefuehrt worden, bei denen allein die potentielle Strahlenexposition durch Inhalation berechnet wurde. Dadurch ist ein Vergleich moeglich, aus dem der Beitrag der langfristigen Expositionspfade Bodenstrahlung, Ingestion und Resuspension zur Gesamtdosis ersichtlich wird. Damit wird erkennbar, in welchem Umfang Massnahmen nach einem Unfall zur Reduktion von Strahlenexpositionen beitragen koennen.

Aus den verschiedenen komplementaeren Haeufigkeitsverteilungen lassen sich die erwarteten Haeufigkeiten ablesen, mit denen mit Transportunfaellen in der Endlagerregion zu rechnen ist, die zu bestimmten radiologischen Auswirkungen in der naeheren Umgebung eines Unfallortesfuehren koennen. Die erwarteten Haeufigkeiten beziehen sich auf den Umkreis des Endlagers mit einem Radius von 25 km, d.h. sie geben die Haeufigkeiten pro Jahr an, mit denen irgendwo in diesem Gebiet solche Ereignisse auftreten koennen.  
@IX

Die Ergebnisse der Transportrisikoanalyse lassen sich wie folgtzusammenfassen:

- Es ist unwahrscheinlich, dass es waehrend einer Betriebszeit des Endlagers von etwa 40 Jahren ueberhaupt zu einem Transportunfall in der Endlagerregion kommt, der mit einer Freisetzung radioaktiver Stoffe verbunden ist.
- Wegen des geringeren Unfallrisikos beim Gueterzugtransport im Vergleich zum LKW-Transport wirkt sich ein hoher Bahnanteil am Transportaufkommen guenstig aus.
- Kommt es zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe, so nehmen radiologische Auswirkungen wie potentielle Strahlenexpositionen oder Kontaminationen mit groesserem Abstand vom Unfallort stark ab:

ausgehend von ca. 250 m um einen Faktor 10 bei ca. 1200 m und um einen weiteren Faktor 10 bei ca. 6200 m.

- Haeufig sind mit Unfaellen so geringe Freisetzungen verbunden, dass potentielle Strahlenexpositionen auch ohne Annahme von Gegenmassnahmen

unterhalb der natuerlichen Strahlenexposition eines Jahres liegen: Beim Bahnunfall bleiben in 9 von 10 Unfaellen mit Freisetzungradioaktiver Stoffe, beim LKW-Unfall bei 19 von 20 Unfaellen potentielle Strahlenexpositionen in 250 m Entfernung vom Unfallort unterhalb der natuerlichen Strahlenexposition eines Jahres.

- Eine effektive Dosis von 50 mSv wuerde bei einem hypothetischen kontinuierlichen Betrieb des Endlagers in 250 m vom Unfallort im Mittel einmal in 500 000 Jahren beim Szenarium 100 %

Bahnbeφοerderung

und einmal in 400 000 Jahren beim Szenarium 80 % Bahn-/ 20 % Strassenbeφοerderung auftreten. Dabei wurden keine Massnahmen zur Reduktion von Strahlenexpositionen nach Unfalleintritt unterstellt.

50

mSv entspricht dem Stoerfallplanungswert des Para. 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung und dem Dosisgrenzwert fuer beruflich strahlenexponierte Personen im Kalenderjahr.

- Im Rangierbahnhof Braunschweig liegen die erwarteten Haeufigkeitenentsprechender Unfallauswirkungen noch erheblich niedriger.

@X

Die angegebenen Haeufigkeiten von moeglichen Unfallauswirkungen sind Ergebnisse der Transportrisikoanalyse. Hierbei ist noch zu beruecksichtigen, dass diese Zahlenwerte aufgrund des Zusammenwirkens konservativer Annahmen im Rahmen der Analyse mit Sicherheit eine deutliche

Ueberschaetzung darstellen. Umso mehr kann die Aussage getroffen werden, dass die Abfalltransporte fuer die Endlagerregion insgesamt kein ins Gewicht fallendes zusaetzliches Risiko bedeuten. Bezogen auf das persoenliche Risiko durch Transportunfaelle einer Person, die in der Naeh

einer Transportstrecke wohnt, bewegt sich dieses in noch viel niedrigeren Bereichen. Das hat u.a. folgende Gruende:

- Ein Unfall muesste sich in der Naeh

- Im allgemeinen werden nicht alle Transporte diesen Streckenbereich passieren, da noch auf anderen Transportwegen beφοerdert wird.

- Die Person muesste sich bei einem Unfall gerade in Ausbreitungsrichtung vom Unfallort aufhalten, was sich ebenfalls in einer geringeren Wahrscheinlichkeit ausdrueckt, betroffen zu sein.

Die Ergebnisse der Transportstudie zeigen insgesamt, dass in der Standortregion durch die dort zusammenlaufenden Abfalltransporte zum Endlager KONRAD keine ins Gewicht fallenden zusaetzlichen Risiken verbunden

waeren. Das gilt sowohl fuer den bestimmungsgemaessen Transport als auch fuer Transportunfaelle.

@1

## 1. AUFGABENSTELLUNG

Die Befoerderung von radioaktiven Abfaellen auf oeffentlichen oder der Oeffentlichkeit zugaenglichen Verkehrswegen (z.B. Bahn/Strasse) ist wie alle zivilisatorischen Aktivitaeten mit Risiken - seien sie konventioneller oder radiologischer Natur fuer den Menschen und seine Umwelt behaftet. Diese Risiken der Abfallbefoerderung bestehen zum einen in einer Strahlenexposition der Bevoelkerung und des Transportpersonals beim normalen unfallfreien Transport und zum anderen in moeglichen Transport oder Handhabungsunfaellen mit der Moeglichkeit einer daraus erwachsenden Strahlenexposition von Personen und Kontamination der Umgebung.

Zur eingehenderen Untersuchung dieses Sachverhaltes hat der Bundesminister fuer Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bonn, die Gesellschaft fuer Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Koeln, mit der Durchfuehrung einer Studie beauftragt. Deren Zielsetzung ist, Art und Ausmass der mit den Abfalltransporten zum Endlager KONRAD einhergehenden Risiken zu quantifizieren. Bei dem Endlager KONRAD handelt es sich um eine ehemalige Eisenerzgrube, die zum Stadtgebiet Salzgitter im suedlichen Niedersachsen gehoert und die zur Endlagerung von Abfaellen mit vernachlaessigbarer Waermeentwicklung genutzt werden soll. Die vorliegende Studie soll - ausserhalb des anlagenbezogenen Planfeststellungsverfahrens - fuer das Endlager KONRAD einen ergaenzenden Beitrag zur sicherheitstechnischen Beurteilung des Gesamtkomplexes der Entsorgung radioaktiver Abfaelle leisten.

Die Studie bezieht sich aber auch auf die in der Oeffentlichkeit der Standortregion des Endlagers artikulierte Besorgnis, die in den zu erwartenden Abfalltransporten eine unangemessene Beeintraechtigung der persoenlichen Sicherheit und damit ein Gefahrenpotential fuer den Menschen und seine Umwelt sieht. Die vorliegende Untersuchung ist insoweit auch ein Beitrag, die oeffentliche Diskussion ueber die Transportproblematik, insbesondere im Standortgebiet des Endlagers KONRAD, auf eine sachliche Grundlage zu stellen.

Abfalltransporte zum Endlager unterliegen den gesetzlichen Regelungen zur Befoerderung von Gefahrguetern, wie sie insbesondere in der Gefahrgutverordnung

@2

Strasse (GGVS) /GGV 90/ und in der Gefahrgutverordnung Eisenbahn (GGVE) /GGE 85/ festgelegt sind.

Diese Befoerderungsvorschriften

beruecksichtigen die Eigenschaften unterschiedlicher Gefahrgueter, indem nach verschiedenen Gefahrklassen unterschieden wird. Die Vorschriften fuer die Befoerderung radioaktiver Stoffe (Gefahrklasse 7) basieren auf den von der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) veroeffentlichten und

regelmässig fortgeschriebenen Regelungen fuer die sichere Befoerderung von radioaktiven Stoffen /IAE 85/. Sie enthalten die Anforderungen, denen die Befoerderung von Versandstuecken mit radioaktivem Inhalt genuegen muss. Dabei handelt es sich bezueglich der erforderlichen Verpackungseigenschaften um ein sicherheitsmaessig gestaffeltes System. Darin steigen die Anforderungen an die Verpackung mit ansteigendem Aktivitaetsinhalt und in Abhaengigkeit von weiteren fuer eine moegliche Freisetzung relevanten Eigenschaften der radioaktiven Stoffe bis hin zu sogenannten Typ B-Verpackungen, die in hohem Masse mechanischen oder brandbedingten Unfallbelastungen standhalten muessen.

Es entspricht Empfehlungen der IAEA-Transportvorschriften /IAE 85/ eine Analyse durchzufuehren, die fuer ein konkretes, wenn auch erst in der Zukunft zu erwartendes Befoerderungsaufkommen mit sicherheitsanalytischen Methoden Ergebnisse zu moeglichen Strahlenexpositionen beim bestimmungsgemaessen Transport und zu moeglichen Unfallauswirkungen und deren Haeufigkeiten erarbeitet. In Para. 203 wird gefordert, dass die zustaeundige Behoerde periodische Bestandsaufnahmen veranlasst, um die durch den Transport radioaktiver Stoffe resultierenden Strahlenexpositionen von Transportpersonal und der Bevoelkerung zu ermitteln, insbesondere auch um zu ueberpruefen, ob erforderliche Massnahmen getroffen sind, Strahlenexpositionen so niedrig zu halten wie es mit angemessenen Mitteln erreichbar ist. Als ein besonderer Aspekt bei den Abfalltransporten zum geplanten Endlager KONRAD ist anzusehen, dass sich diese in der naeheren Region des Endlagerstandortes konzentrieren. Damit ist zu pruefen, ob in dieser Region fuer die Bevoelkerung oder das Transportpersonal beim bestimmungsgemaessen Transport oder bei Unfaellen ein zusaetzliches ins Gewicht fallendes Risiko auftritt. Die vorliegende Transportstudie konzentriert sich folglich auf den naeheren Bereich des Endlagers, fuer den hier ein Umkreis von 25 km um den Standort betrachtet wird.

@3

Dieser Bericht stellt zunaechst die generelle Vorgehensweise und die Datenbasis dar. Die angewandten Methoden werden in Anhaengen ausfuehrlicher behandelt, um die Arbeitsgrundlagen besser verstaendlich und nachvollziehbar zu machen. Folgende mit der Abfallbefoerderung zusammenhaengenden Fragen sind fuer die Studie von besonderem Interesse und werden eingehend behandelt:

1. Welche Arten und Mengen an radioaktiven Abfaellen sollen befoerdert werden ?
2. Was sind die radiologisch relevanten, d.h. die Strahlenexposition beeinflussenden Merkmale der Abfall- und Transportbehaelter, z.B. ihr Aktivitaetsinhalt und die Ortsdosisleistung?
3. Wie und auf welchen Verkehrswegen erfolgt die Befoerderung?
4. Wie gross ist das zusaetzliche Verkehrsaufkommen?
5. Welcher Art und wie gross sind die potentiellen radiologischen Auswirkungen beim bestimmungsgemaessen (unfallfreien) Transport?
6. Welcher Art und wie gross sind die potentiellen radiologischen

Auswirkungen bei Transportunfaellen und wie hoch ist deren Eintrittshaeufigkeit?

Die wesentlichen Ergebnisse der Studie werden als potentielle Strahlenexposition in Form der effektiven Dosis (gewichtete Ganzkoerperdosis) dargestellt. Strahlenexpositionen aus dem bestimmungsgemaessen Transport werden als Individualdosen und als Kollektivdosen angegeben. Individualdosen beziehen sich dabei auf Personengruppen, die aufgrund ihrer Lebensumstaende oder berufsbedingt den Abfalltransporten besonders ausgesetzt sind. Als Vergleichsgroessen werden die natuerliche Strahlenexposition sowie in Transportvorschriften aufgefuehrte Grenzwerte herangezogen. Kollektivdosen geben die ueber ein Personenkollektiv wie z.B. Anwohner an Transportstrecken oder Befoerderungspersonal aufsummierten Strahlendosen an. Als Vergleichsgroesse wird die natuerliche Strahlenexposition des betrachteten Kollektivs genommen.  
@4

Ergebnisse zum Unfallrisiko werden in Diagrammen dargestellt, in denen potentielle Strahlenexpositionen in Form der effektiven Individualdosis mit den erwarteten Eintrittshaeufigkeiten in Beziehung gesetzt werden. Aus den Diagrammen wird fuer das betrachtete Transportaufkommen zum Endlager der Zusammenhang zwischen moeglichen unfallbedingten Strahlenexpositionen und der Haeufigkeit, mit der solche Auswirkungen zu erwarten sind, ersichtlich. Als Vergleichsgroesse werden die Hoehe der natuerlichen Strahlenexposition und eine effektive Dosis von 50 mSv herangezogen. 50 mSv entspricht dem Stoerfallplanungswert des Para. 28 Abs. 3 der Stralenschutzverordnung fuer Kernkraftwerke und andere Anlagen, die nach Para. 7 AtG genehmigungspflichtig sind und dem Dosisgrenzwert fuer beruflich strahlenexponierte Personen im Kalenderjahr.

## 2. ZUR METHODIK

Der Untersuchungsgegenstand dieser Studie umfasst die Bestimmung der potentiellen radiologischen Auswirkungen beim bestimmungsgemaessen (unfallfreien) Abfalltransport und des Transportunfallrisikos.

Die vorliegende Untersuchung stuetzt sich auf den bis zum Herbst 1990 erreichten Bearbeitungsstand der Planungs- und Genehmigungsunterlagen des Endlagers KONRAD. Dies gilt insbesondere in bezug auf:

- die vorgesehenen Abfall- und Transportbehaelter
- die Ortsdosisleistungen und Radioaktivitaetsinventare der Abfallgebinde
- geplante Betriebsablaeufer der Einlagerung

Die Bedingungen und Modalitaeten eines typischen Befoerderungsablaufes vom Ablieferer zum Endlager wurden in enger Abstimmung mit Transportunternehmen

und anderen einschlaegig taetigen Unternehmen ermittelt und festgelegt. Dazu zaehlen insbesondere die Deutsche Bundesbahn (DB) und die Verkehrsbetriebe Peine-Salzgitter (VPS).

Weiterhin wurde fuer die Untersuchung unterstellt, dass alle fuer die Befoerderung von radioaktiven Stoffen einschlaegigen Vorschriften und

Bestimmungen uneingeschraenkt gueltig sind und eingehalten werden.

Dies gilt insbesondere fuer die in der Gefahrgutverordnung Eisenbahn (GGVE) und der Gefahrgutverordnung Strasse (GGVS) festgelegten Ortsdosisleistungen fuer die Gebinde und die Schutzvorschriften fuer die Bevoelkerung und das Transportpersonal.

## 2.1 Bestimmungsgemaesser Transport

Die mit der normalen, unfallfreien Befoerderung verbundene Strahlenexposition ist auf den Umstand zurueckzufuehren, dass Personen, die sich entweder zufaellig oder regelmaessig im unmittelbaren Umfeld von vorbeifahrenden oder stehenden Abfalltransporten aufhalten oder aber funktionsbedingt, z.B. als Rangierer, mit ihnen befasst sind, dem von den Abfallbehaeltern ausgehenden Strahlungsfeld ausgesetzt sein koennen. Die Erfassung solcher moeglichen Expositionssituationen (z.B. Dauer der Exposition, Art und Groesse des Strahlungsfeldes) und die Bestimmung der daraus resultierenden Strahlenexposition - sei es in Form von Individual- oder Kollektivdosen - ist eine zentrale Aufgabenstellung dieser Untersuchung. Die Hoehe der jaehrlichen Strahlendosis von Personen ergibt sich dann aus der Ortsdosisleistung an deren Aufenthaltsorten und der Zeitdauer, waehrend der sie sich insgesamt ueber ein Jahr summiert an diesen Orten aufhalten.

Bezueglich der Individualdosisabschaetzung ist dabei zu beachten, dass von der Vielzahl der moeglichen Expositionssituationen insbesondere solche von Interesse sind, bei denen einzelne Personen oder Personengruppen aufgrund ihrer Lebensfuehrung oder funktionsbedingt dem Strahlungsfeld der Abfallgebinde in besonderem Masse ausgesetzt sind. Die Studie konzentriert sich insoweit auf eine Abschaetzung der potentiellen Dosen dieser Personen oder Personengruppen, die auch als "kritische Personengruppen" bezeichnet werden. Das entspricht einer im Strahlenschutz ueblichen Vorgehensweise. Fuer Personen, die nicht zu den kritischen Personengruppen zaehlen, kann man dann erwarten, dass deren durch die Abfalltransporte verursachte Strahlenexposition niedriger, meist sogar sehr viel niedriger liegt als die der kritischen Personengruppe.

@6

## 2.2 Transportunfaelle

Transportunfallanalysen oder Transportrisikountersuchungen verfolgen gemeinhin das Ziel, Unfallsituationen hinsichtlich ihres Ablaufes, ihrer Folgen und ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit in ihrer Gesamtheit zu erfassen und quantitativ zu beschreiben. Dabei sind insbesondere auch

solche Unfallabläufe zu berücksichtigen, bei denen die auslegungsgemässen mechanischen und/oder thermischen Belastungsgrenzen der Transportbehälter überschritten werden und es zu einem Behälterversagen kommen kann.

An die Behälterauslegung, die Form, in der radioaktive Stoffe darin vorliegen, und an den zulässigen Aktivitätsinhalt werden in folgenden Vorschriften Anforderungen definiert:

- den auf den IAEA-Empfehlungen /IAE 85/ für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe basierenden Transportvorschriften /GG 90, GG 85/
- den aus der Sicherheitsanalysen für das geplante Endlager KONRAD abgeleiteten "Vorläufigen Endlagerungsbedingungen" /BFS 90/.

Abfallgebinde müssen diesen beiden Anforderungsbereichen genügen, denen trotz gewisser Unterschiede in der modellmässigen Ableitung von Anforderungen eine vergleichbare Sicherheitskonzeption zugrundeliegt:

Auch

für hohe Behälterbelastungen bei Transportunfällen oder durch Störfälle im Endlager sollen mögliche radiologische Auswirkungen vermieden oder begrenzt werden. Um dies zu erreichen, wird der zulässige Aktivitätsinhalt von Transportbehältern in Abhängigkeit von den Behältereigenschaften und der Form, in der die radioaktiven Stoffe vorliegen, begrenzt. Massgeblich ist hierfür die Begrenzung möglicher Freisetzungen radioaktiver Stoffe bei mechanischen oder thermischen (Brand)

Belastungen. So sind beispielsweise zulässige Aktivitätsinhalte bei Abfällen, die in bituminierte Form vorliegen, wegen der höheren Freisetzung bei Brandbelastung deutlich niedriger als bei Zement/Beton fixierten Abfällen, es sei denn, das unterschiedliche Freisetzungsverhalten wird durch einen Transportbehälter mit entsprechend hoher Belastbarkeit ausgeglichen.

@7

Die Analysen zum Unfallrisiko berücksichtigen

- das zu erwartende Transportaufkommen zum Endlager KONRAD
- die unterschiedlichen Eigenschaften der Transportbehälter, der Form, in der die Abfälle vorliegen, (Abfallprodukteigenschaften) und die verschiedenen Aktivitätsinhalte,
- das Spektrum möglicher mechanischer und/oder thermischer Unfallbelastungen,
- die sich daraus ergebenden unterschiedlichen Freisetzungen (Quellterme) bei Unfallbelastungen,
- das Spektrum daraus resultierender potentieller Strahlenexpositionen unter Berücksichtigung unterschiedlicher atmosphärischer Ausbreitungsbedingungen und
- die Häufigkeit, mit der mit Unfällen und ihren jeweiligen

radiologischen Auswirkungen (Strahlenexpositionen, Kontaminationen) zu rechnen ist.

Bestandteil der eingesetzten Methodik ist es, auch sehr selten auftretende Unfallbelastungen zu erfassen und die damit verbundenen moeglichen radiologischen Auswirkungen und die Eintrittshaeufigkeit solcher Ereignisse zu quantifizieren.

Die Methodik wird als probabilistische Risikoanalyse bezeichnet und ist dadurch ausgezeichnet, dass als Beurteilungs- und Bewertungskriterium z.B. nicht nur das Schadensausmass angegeben wird, sondern auch dessen Eintrittswahrscheinlichkeit. Dabei ist es fuer eine Beurteilung des Unfallrisikos wichtig, dass beide Groessen gleichzeitig betrachtet werden.

Die Komplexitaet von Unfallablaeufen macht Vereinfachungen bei der modellmaessigen Erfassung und der Kategorisierung von Unfallereignissen und deren moeglichen Auswirkungen unvermeidbar. Bei der hier durchgefuehrten Transportrisikoanalyse sind Festlegungen und Annahmen praktisch durchgehend so getroffen worden, dass sie sich auf der sicheren Seite bewegen und somit insgesamt zu einer deutlichen Ueberschaetzung des Risikos durch moegliche Transportunfaelle fuehren. Diese Aussage wird in den folgenden detaillierteren Ausfuehrungen belegt.

@9

Die wesentlichen Bestandteile der Analyse zu Strahlenexpositionen beim bestimmungsgemaessen Transport und zum Unfallrisiko sind in Bild 2.1 schematisch dargestellt. Auf die einzelnen Bearbeitungsschritte wird im folgenden naeher eingegangen.

### 3. ART UND MENGE DER ENZZULAGERNDEN RADIOAKTIVEN ABFAELLE

Nach dem derzeitigen Planungsstand sollen in der Schachtanlage KONRAD radioaktive Abfaelle mit vernachlaessigbarer Waermeentwicklung nach Massgabe der "Vorlaeufigen Endlagerungsbedingungen" /BFS 90/ eingelagert werden. Solche Abfaelle fallen in den Bereichen des Kernbrennstoffkreislaufes, der Forschung, Medizin und Technik an. Sie liegen urspruenglich in verschiedenen Arten von Rohabfaellen vor wie z.B.:

- Fluessigkeiten, Konzentrate, Schlaemme
- Ionenaustauscherharze
- kompaktierbare und/oder brennbare Feststoffe
- formbestaendige Feststoffe, z.B. Bau- und Anlagenteile
- Filter, Filterkerzen
- sonstige Abfallarten

Erst nach geeigneter Konditionierung und Verpackung werden die radioaktiven Abfälle zum Endlager befördert. Zur Erfüllung der in den Endlagerungsbedingungen spezifizierten Grundanforderungen sind die Rohabfälle, soweit sie nicht bereits in fester Form vorliegen, verfestigt, wobei als Verfestigungsmittel vornehmlich Zement und Beton, aber auch Bitumen und Kunststoffe Verwendung finden. Abfallprodukte, die in faulender, gärender oder flüssiger Form vorliegen oder nennenswerte Anteile in dieser Form beinhalten, werden grundsätzlich nicht eingelagert.

Zur Sicherstellung der Einhaltung der in den Endlagerungsbedingungen festgelegten Anforderungen unterliegen die radioaktiven Abfälle vor der Anlieferung zum Endlager Überprüfungen im Rahmen der Produktkontrolle.  
@10

Entsprechend ihren Produkteigenschaften werden die radioaktiven Abfälle in sechs Abfallproduktgruppen eingeteilt:

- Gruppe 01: z.B. Bitumen- und Kunststoffprodukte
- Gruppe 02: z.B. Feststoffe
- Gruppe 03: z.B. Metallische Feststoffe
- Gruppe 04: z.B. Presslinge
- Gruppe 05: z.B. zementierte/betonierte Abfälle
- Gruppe 06: z.B. Konzentrate in fester Form

Diese Unterteilung ist insbesondere in Bezug auf das Freisetzungsverhalten bei Störfällen und Unfällen von Bedeutung.

### 3.1 Datenbasis

Die "Vorläufigen Endlagerungsbedingungen KONRAD" enthalten Aktivitätsbegrenzungen für endzulagernde Abfallgebände in Verbindung mit weiteren Anforderungen an die Eigenschaften der Abfallprodukte und Abfallbehälter. Sie stellen somit sicherheitstechnische Rahmenbedingungen dar, innerhalb derer sich die Abfallgebände bewegen dürfen. Sie lassen aber keine Schlüsse zu über Art, Menge und Eigenschaften der tatsächlich aus den verschiedenen Bereichen anfallenden und endzulagernden radioaktiven Abfälle. Hierzu sind in den letzten Jahren vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), früher von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), im Rahmen der Projektierungs- und Planungsarbeiten für die in der Bundesrepublik Deutschland laufenden Endlagerungsprojekte (KONRAD und Gorleben) bei den potentiellen Verursachern und Ablieferern radioaktiver Abfälle umfangreiche und detaillierte Erhebungen durchgeführt und im Sommer 1990 abgeschlossen worden. Für die Zwecke dieser Transportstudie sind der GRS diese Daten zur Verfügung gestellt worden. Im Rahmen der durchgeführten Abfalldatenerhebung mussten die Abfallverursacher die zur Ablieferung an ein Endlager vorgesehenen

Abfallgebinde charakterisieren, d.h. sie mussten die fuer Planungsarbeiten erforderlichen endlagerrelevanten Abfalleigenschaften angeben. Entsprechend den Vorgaben der Physikalisch - Technischen - Bundesanstalt (PTB) bzw. des Bundesamtes fuer Strahlenschutz (BfS) sollten die erforderlichen Angaben abdeckende @11

Werte darstellen, so dass dadurch auch unguenstige Betriebszustaende oder z.B.

durch das Alter einer kerntechnischen Anlage bedingte Veraenderungen erfasst sind. Um die abdeckenden Angaben ueber die zur Endlagerung vorgesehenen Abfallgebinde in ueberschaubarer Form zusammenstellen zu koennen, wurde auf der Basis der Merkmale

- Herkunft
- Behaelter
- Fixierung und
- Abfallart

ein Kategorisierungsschema entwickelt und zur systematischen Erfassung der Abfallgebindedaten verwendet. Mit Hilfe dieses Schemas wurden die in der Bundesrepublik Deutschland anfallenden und in absehbarer Zeit zu erwartenden radioaktiven Abfaelle erfasst und kategorisiert, und zwar einschliesslich der aus dem europaeischen Ausland zurueckzunehmenden Abfaelle, die bei der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen aus deutschen Kernkraftwerken anfallen. Jeder Abfallstrom wird in einem Datenblatt detailliert beschrieben.

Im einzelnen wird gemaess der Abfallerhebung das Spektrum der radioaktiven Abfaelle, die als nicht waermeentwickelnde Abfaelle fuer eine Einlagerung im Endlager KONRAD in Frage kommen, in 217 Referenzabfaelle unterteilt, wobei jeder Referenzabfall eine bestimmte Abfallkategorie und deren spezifische Verpackungsform repraesentiert. Fuer jeden Referenzabfall sind folgende Einzelangaben verfuegbar:

- Herkunft/Verursacher
- Abfallart
- Konditionierungs-/Fixierungsart
- Verpackungsart
- Aktivitaetsart und -menge
- Ortsdosisleistung des Abfallgebindes
- mittleres jaehrliches Abfallaufkommen

Die wesentlichen befoerderungsrelevanten Merkmale der Abfalldatenbasis werden nachfolgend kurz skizziert.

@12

### 3.2 Abfall- und Transportbehältertypen

Handhabung und Einlagerungsablauf setzen ein auf die sicherheitstechnischen und betrieblichen Belange des Endlagers abgestimmtes Systemstandardisierter Abfall- und Transportbehälter voraus. Zu diesem Zweck wurden insgesamt 11 Behältertypen entwickelt, die sich nach ihrer Bauart in 3 Grundtypen einteilen lassen:

- zylindrische Betonbehälter
- zylindrische Gussbehälter
- Container (Stahlblech, Guss, Beton)

Hierbei handelt es sich ausnahmslos um nicht wiederverwendbare Abfallbehälter, die sich hinsichtlich ihrer Konstruktionen, Größen, Wandstärken und Massen unterscheiden. Ausführungsbeispiele der einzelnen Behältertypen sind exemplarisch in Bild 3.1a-c dargestellt.

Zylindrische Betonbehälter bestehen im allgemeinen aus einem stahlarmierten Betonkörper aus Normal- oder Schwerbeton, in den meist ein mit fixiertem radioaktiven Abfall gefüllter Behälter, z.B. ein 200 l- oder 400 l-Blechfass, eingesetzt wird. Der verbleibende Ringspalt und der Kopfbereich des Behälters werden zum Verschließen mit Beton vergossen.

Bei Gussbehältern in zylindrischer Ausführung handelt es sich um dickwandige Gebinde aus Gusswerkstoff, die u.a. für die Verpackung von unfixierten radioaktiven Abfällen mit vergleichsweise hoher Aktivität eingesetzt werden und hinsichtlich ihrer Wandstärke und deren Abschirmwirkung dem endzulagernden Abfallprodukt angepasst sind. Diese Gebinde werden mit einem Deckel aus dem gleichen Material verschlossen, der mit dem Behälterkörper entweder verschraubt oder verschweisst wird.

Container sind quaderförmige Behälter, die aus mindestens 3 mm dickem Stahlblech, armiertem Beton oder Gusswerkstoff gefertigt werden. Sie werden vornehmlich zur Aufnahme von 200 l oder 400 l Rollreifenfassern oder von kontaminierten Bauteilen und Komponenten aus der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen eingesetzt. Die größten Container,

wie der Container Typ V, sind konstruktiv so gestaltet, dass sie bis zu 28 Faesser a 200 l bzw.

14 Faesser a 400 l aufnehmen können. Die Container werden mit einem Deckel aus dem gleichen Material verschlossen, der entweder mit dem Grundkörper verschraubt oder mittels Zuganker arretiert wird. Das Gewicht eines Abfallcontainers darf 20 Mg (Tonnen) nicht überschreiten.

Tabelle 3.1 vermittelt eine Übersicht über die Abmessungen und Gewichte

der standardisierten Abfall- und Transportbehältertypen. Die an sie gestellten Qualitätsanforderungen sind in der "Vorläufigen Endlagerungsbedingungen" /BFS 90/ spezifiziert.

@15

Tab. 3.1:

Standardisierte Behältertypen (Einlagerungsbehälterklassen) fuer die Verpackung radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung

/BFS 90/

@#

#### Aussenbemessungen

Nr.	Bezeichnung	Laenge/ Durchm. (mm)	Breite (mm)	Hoehe (mm)	Brutto -volumen (m3)	Gebinde -gewicht (Mg)
1	Betonbehälter Typ I	1060	-	1370	1.2	ca. 3...4
2	Betonbehälter Typ II	1060	-	1510	1.3	ca. 3...4
3	Gussbehälter Typ I	900	-	1150	0.7	ca. 3...6
4	Gussbehälter Typ II	1060	-	1500	1.3	ca.
5	Gussbehälter Typ III	1000	-	1240	1.0	ca. 3...6
6	Container Typ I	1600	1700	1450	3.9	max. 20
7	Container Typ II	1600	1700	1700	4.6	max. 20
8	Container Typ III	3000	1700	1700	8.7	max. 20
9	Container Typ IV	3000	1700	1450	7.4	max. 20
10	Container Typ V	3200	2000	1700	10.9	max. 20
11	Container Typ VI	1600	2000	1700	5.4	max. 20

@\$

### 3.3 Abfallmengen- und Beförderungsaufkommen

Die Betriebsabläufe des geplanten Endlagers KONRAD lassen die Einlagerung von 17 Transporteinheiten bei einschichtigem Betrieb zu. Eine Transporteinheit (TE) ist dabei entweder ein quaderförmiger Container oder eine Tauschpalette mit einem oder zwei Rundbehältern aus Beton oder Gusswerkstoff. Bei einschichtigem Betrieb werden somit bei 200 Arbeitstagen pro Jahr jährlich 3400 Transporteinheiten eingelagert.

Aufgrund der vom Bundesamt fuer Strahlenschutz jaehrlich durchgefuehrten Erhebungen und Analysen zum vorhandenen Abfallbestand, zum

neu

@16

hinzugekommenen Abfallaufkommen und der auf die naehere Zukunft ausgerichteten Abfalldatenerhebung wird ein einschichtiger Betrieb des Endlagers KONRAD als die wahrscheinlichste Betriebsweise angesehen und hier auch fuer diese Studie fuer das zu erwartende jaehrliche Transportaufkommen unterstellt.

Gestuetzt wird diese Annahme gemaess /BRE 90/ durch die in den vergangenen Jahren festgestellten erheblichen Reduktionen bei den jaehrlich neu anfallenden konditionierten radioaktiven Abfaellen, die zu einer fortschreitenden Reduktion des prognostizierten Abfallaufkommen gefuehrt haben. Diese Entwicklung wird einerseits auf die Anwendung moderner Konditionierungstechniken wie Hochdruckverpressung, Trocknung und Verpackung in dickwandigen Gussbehaeltern im Bereich der Kernkraftwerke, aber auch auf einen verringerten Anfall radioaktiver Abfaelle aufgrund anlagentechnischer und verfahrenstechnischer Verbesserungen bei solchen Anlagen zurueckgefuehrt. Insgesamt erfolgt nach heutigen Prognosen schon bei einschichtigem Betrieb ein allmaehlicher Abbau des fuer das Endlager KONRAD geeigneten Abfallbestandes, so dass dies als wahrscheinlichste Planungsvariante anzusehen ist. Diese Betriebsweise laeuft auf den jaehrlichen Transport von 3400 Transporteinheiten hinaus.

Aus der bereits angesprochenen Abfalldatenerhebung ueber Art und Menge der in der Bundesrepublik (ohne die fuenf neuen Bundeslaender) anfallenden oder in naher Zukunft zu erwartenden radioaktiven Abfaelle ergibt sich die in Bild 3.2 dargestellte anteilige Aufschluesselung des Abfallbefoerderungsaufkommens (Transporteinheiten) nach dem Herkunftsbereich. Danach entfaellt der groesste Anteil (ca. 50 %) des Befoerderungsaufkommen auf Wiederaufarbeitungsabfaelle, die nach 1995 aus dem Ausland (Frankreich und England) zurueckgenommen werden muessen.

Das sich aus der Erhebung ergebende anteilige Aufkommen der verschiedenen Abfallbehaelertypen ist aus Bild 3.3 ersichtlich. Danach werden mit einem Anteil von 50 Prozent vorwiegend zylindrische Betonbehaelter oder sogenannte Faserzementbehaelter eingesetzt werden. Die Gussbehaelter machen weitere 15 Prozent des Befoerderungsaufkommens aus, der Restanteil von 35 Prozent entfaellt auf Container der verschiedenen Baugroessen.

@18

#### 4. RADIOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG DER ABFALL- UND TRANSPORTBEHAELTER

##### 4.1 Vorschriften

Die auf oeffentlichen oder der Oeffentlichkeit zugaeenglichen Verkehrswegen, z.B. Bahn oder Strasse, befoerderten Abfallbehaelter unterliegen unabhaengig vom Ablieferer, der Abfallart oder dem Verkehrsweg uneingeschraenkt den Sicherheitsvorschriften der einschlaegigen Verordnungen und Richtlinien wie der Gefahrgutverordnung Strasse (GGVS) oder Gefahrgutverordnung Eisenbahn (GGVE). Darueber hinaus muessen die Abfallgebinde die "Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfaelle" gemaess den Vorlaeufigen Endlagerungsbedingungen der Schachanlage KONRAD erfuellen /BFS 90/. Nach diesen Bestimmungen ist die Ortsdosisleistung

(ODL) der Abfallgebinde begrenzt, wobei folgende Hoechstwerte nicht ueberschritten werden duerfen:

@#

	Hoechstzulaessige Ortsdosisleistung		
der	Abfallgebinde fuer verschiedene		
	Abstaende von der Oberflaeche (mSv/h)		
	Oberflaeche	1 m	2 m

Endlagerungsbedingungen

- Zylindr. Behaelter	2 a)	0.1	
- Container	2 a)	-	0.1

Gefahrgutverordnung

(GGVE/GGVS)	2 b)	0.1 b)	
-------------	------	--------	--

a) lokal auch bis 10 mSv/h

b) Bei Befoerderung unter ausschliesslicher Verwendung, d.h. wenn der Zugang zur Ladung durch eine Umhuellung verwehrt ist und zwischen Beginn und Ende der Befoerderung keine Be- und Entladearbeiten vorgenommen werden, koennen diese Grenzwerte ueberschritten werden. Unabhaengig von der Gebinde-Ortsdosisleistung ist die hoechstzulaessige Ortsdosisleistung am Transportmittel jedoch auf 0.1 mSv/h in 2 m Abstand beschraenkt (GGVS Anl. A., Rn 2712).

@\$

In jedem Einzelfalle der Befoerderung greift von den konkurrierend anzuwendenden Bestimmungen die jeweils restriktivere.

@19

#### 4.2 Ortsdosisleistung (ODL) der Abfall- und Transportbehaelter

Die von dem radioaktiven Abfallprodukt ausgehende gamma-Strahlung kann durch das Behaelter-, Fixierungs- und evtl. Abschirmmaterial im allgemeinen

nicht vollstaendig zurueckgehalten werden und fuehrt zu einem ueber den Abfallbehaelter hinausreichenden Strahlungsfeld. Die Groesse dieses Strahlungsfeldes und die damit verbundene Ortsdosisleistung (ODL) ist von verschiedenen Faktoren abhaengig. Sie wird entscheidend durch die Aktivitaetsmenge, Strahlungsart und -energie und die Abschirmwirkung des Fixierungs- und Behaeltermaterials bestimmt.

Der prinzipielle raeumliche Verlauf der Ortsdosisleistung - hier fuer den Container Typ V - ist exemplarisch in Bild 4.1 dargestellt. Der Kurvenverlauf entspricht der maximal zulaessigen Ortsdosisleistung von 0.1

mSv/h in 2 m Abstand von der Behaelteroberflaeche. Der Kurvenzug illustriert anschaulich, dass die Ortsdosisleistung mit wachsendem Abstand sehr rasch abfaellt und bereits in 15 - 25 m Entfernung ein Niveau erreicht, wie es z.B. in gaengigen Flughoehen aufgrund kosmischer Strahlung

anzutreffen ist. In 60 - 80 m Entfernung vom Gebinde ist die Ortsdosisleistung dann soweit abgeklungen, dass sie im Groessenbereich der Ortsdosisleistung unserer natuerlichen Umwelt liegt.

Im Rahmen der sicherheitstechnischen Untersuchungen zur Eignung der Schachtanlage KONRAD sind umfangreiche Strahlenfeld- und Ortsdosisleistungsrechnungen fuer alle Abfallkategorien durchgefuehrt worden.

Die Ergebnisse dieser Rechnungen sind in Bild 4.2 dargestellt. Die Abbildung zeigt die Verteilung der Anzahl der Transporteinheiten, die eine bestimmte Ortsdosisleistung aufweisen. Danach hat etwas mehr als die Haelfte (ca. 60 %) der zu befoerdernden Transporteinheiten Ortsdosisleistungen in einem Wertebereich von etwa 0.01 - 0.1 mSv/h in 2 m

Abstand von der Behaelteroberflaeche bzw. der Transporteinheit. Die uebrigen 40 Prozent der Transporteinheiten liegen in der Dosisleistung unterhalb dieses Wertebereiches. Im Mittel betraegt die Ortsdosisleistung aller zu befoerdernden Transporteinheiten in 2 m Abstand bei etwa 0.03 mSv/h. Bezogen auf die durch die Transportvorschriften festgelegte Begrenzung der Dosisleistung auf 0.1 m Sv/h in 2 m Abstand vom Fahrzeug bedeutet dies eine Unterschreitung dieses zulaessigen Grenzwertes @22

um mindestens einen Faktor 3.

Die Einhaltung der hoechstzulaessigen Ortsdosisleistung wird in jedem Einzelfall durch entsprechende Auslegung und Anordnung geeigneter Abschirmmengen sichergestellt.

Das Bild 4.2 zeigt fuer das Abfallaufkommen, das aus unterschiedlichen Abfallarten besteht und aus verschiedenen Herkunftsbereichen resultiert, dass die Ortsdosisleistungen in 2 m Abstand von der Aussenflaeche der Transporteinheiten ueber einen groesseren Wertebereich verteilt sind.

Auch

wenn man unterstellt, dass die Abfallverursacher und -konditionierer die zulaessigen Grenzwerte ausschöpfen moechten, so sind dem aufgrund der Eigenschaften der auftretenden radioaktiven Abfaelle (z.B. Einschränkungen

bei moeglichen Volumenreduktionen bei der Abfallaufbereitung und -konditionierung) Grenzen gesetzt. Insofern duerfte der sich aus der Abfalldatenerhebung des Bundesamtes fuer Strahlenschutz (mit der Massgabe,

abdeckende Werte anzugeben) ergebende Mittelwert der Ortsdosisleistung der

Transporteinheiten von 0.03 mSv/h in 2 m Abstand auch laengerfristig eine angemessene Grundlage fuer Dosisabschaetzungen sein. Dieser Abstand zum Grenzwert ist zum Teil auch darauf zurueckzufuehren, dass die Annahmebedingungen des Endlagers hinsichtlich der Ortsdosisleistung der Abfallgebinde restriktiver sind als die Transportvorschriften. So steht z.B. der Begrenzung der Ortsdosisleistung seitens der Transportvorschriften von 0.1 mSv/h in 2 m Abstand vom Fahrzeug eine Begrenzung der Ortsdosisleistung in 1 m Abstand von der Oberflaeche eines Rundbehalters als engere Anforderung seitens der Vorlaeufigen Endlagerungsbedingungen gegenueber.

#### 4.3 Aktivitaetsinventar der Abfalltransportbehaelter

Aufgrund der vom Bundesamt fuer Strahlenschutz durchgefuehrten Abfalldatenerhebungen liegen umfassende Angaben ueber die Art und Menge der in den Abfaellen enthaltenen Aktivitaet vor. Bild 4.3 zeigt, wie sich die Gesamtaktivitaet in einzelnen Transporteinheiten auf diese aufteilt. Danach weist die Gesamtaktivitaet pro Transporteinheit, die aber nur eine begrenzte Aussagekraft hat wegen der grossen Unterschiede in der radiologischen Bedeutung verschiedener Radionuklide, einen grossen Variationsbereich von ca. 7 Zehnerpotenzen auf. Dabei ueberwiegen in der Mehrzahl Werte zwischen  $1E9$  und  $1E13$  Becquerel (Bq) pro Transporteinheit.

In den Abfaellen treten etwa 135 verschiedene Radionuklide mit unterschiedlichen Halbwertszeiten auf. Viele davon sind z.T. nur in Spuren Mengen in den Abfaellen enthalten. Einige Abfallnuklide, die in Bezug auf die in Abfaellen enthaltene Aktivitaet oder radiologisch wichtig sind, sind nachfolgend aufgelistet.

@# Radionuklid	Halbwertszeit	Strahlungsart
H 3	12,3 a	beta
Co 60	5.3 a	beta/gamma
Sr 90	28,5 a	beta
Cs 137	30,1 a	beta/gamma
Pu 238	87,7 a	alfa
Pu 239	24390 a	alfa
Pu 241	14,9 a	beta/gamma
Am 241	433 a	alfa

@\$

## 5. ABFALLBEFOERDERUNG: BEFOERDERUNGSSZENARIEN UND BEFOERDERUNGSMODALITAETEN

Die potentiellen radiologischen Auswirkungen der Abfalltransporte zum Endlager KONRAD haengen von der Art und Anzahl der Befoerderungsvorgaenge und der jeweiligen Streckenfuehrung der Abfalltransporte ab.

### 5.1 Befoerderungsszenarien

Die im Rahmen der Neustrukturierung der deutschen Kernenergiewirtschaft vorgenommenen Massnahmen verfolgen u.a. das Ziel, alle genehmigungspflichtigen Nukleartransporte unter der unternehmerischen Verantwortung der Deutschen Bundesbahn (DB) durchzufuehren. Darueber hinaus sind entsprechend dem hohen Sicherheitsstandard schienengebundener Transporte Massnahmen eingeleitet worden, Gefahrguttransporte generell verstaerkt auf den Schienenweg zu verlagern. Es ist daher zu erwarten, dass

auch die Abfalltransporte zum Endlager KONRAD kuenftig zum groessten Teil auf dem Schienenwege abgewickelt werden.

@25

Unter dieser Massgabe durchgefuehrte Abschaetzungen des Bundesministeriums fuer Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) haben zu dem Ergebnis gefuehrt, dass eine Aufteilung des Befoerderungsaufkommens zur Schachtanlage von etwa 80 % mit der Bahn und 20 % auf der Strasse als angemessenes Transportszenarium (Referenzfall) anzusehen ist. Dieser Abschaetzung liegt die Feststellung zugrunde, dass alle vom Mengenaufkommen her wichtigen Ablieferer von radioaktiven Abfaellen wie auch das Endlager KONRAD ueber Gleisanschluesse verfuegen bzw. verfuegen werden. Soweit diese Voraussetzung nicht erfuellt ist oder die Bahnbefoerderung nicht zweckmaessig erscheint (z.B. bei kleinen Abfallmengen oder kuerzeren Befoerderungswegen), wird eine Abfallbefoerderung auf dem Strassenwege in Betracht gezogen. Dieser Sachverhalt wird durch den 20 %-igen Strassentransportanteil im Referenzszenarium beruecksichtigt.

Eine Befoerderung von radioaktiven Abfaellen auf anderen Verkehrswegen, insbesondere eine Anlieferung auf dem Wasserwege, gilt als ausgeschlossen und wird deshalb in dieser Studie nicht betrachtet.

Zusaetzlich zum Referenzszenarium wird ergaenzend ein Befoerderungsszenarium betrachtet, das von einer ausschliesslichen Abfallbefoerderung auf dem Bahnwege (100 % Bahn) ausgeht. Dadurch soll erreicht werden, dass Unsicherheiten in der Prognose, wie sich die Transporte auf Schiene und Strasse aufteilen, durch zwei Grenzszenarien erfasst werden: Eines (20 % Strasse, 80 % Schiene), das den Strassentransportanteil wahrscheinlich ueberschaetzt, eines (100 % Schiene), das den Anteil der Bahntransporte ueberschaetzt. Diese Vorgehensweise hat darueber hinaus den Vorteil, dass der Einfluss der verschiedenen Befoerderungsvarianten erkennbar wird.

## 5.2 Befoerderungsmodalitaeten

Die fuer die Endlagerung bestimmten Abfaelle werden beim Ablieferer gezielt abgerufen, um einen geordneten und reibungslosen Einlagerungsverlauf zu gewaehrleisten. Fuer die termingerechte Anlieferung der Abfaelle am Endlager ist generell der Ablieferer verantwortlich. Als Befoerderungsmittel kommen im allgemeinen nur geschlossene Transportmittel zum Einsatz, da die Abfallbehaelter gemaess den vorlaeufigen Endlagerungsbedingungen

@26

trocken angeliefert werden muessen.

Das Gewicht der Transporteinheiten (beladene Tauschpaletten und Container) darf 20 Mg (20 t) nicht ueberschreiten.

Die einzelnen Rahmenbedingungen des Befoerderungsverlaufes stellen sich nach derzeitigem Kenntnisstand wie folgt dar:

Strassengebundene Befoerderung

Bei der Abfallbefoerderung auf dem Strassenwege kann bezueglich des Transportverlaufes als Regelfall davon ausgegangen werden, dass die Abfaelle auf unmittelbarem Wege vom Ablieferer zum Endlager - und zwar vorwiegend auf Fernstrassen und Autobahnen - befoerdert werden.

Abmessungen

und Gewicht der Abfallgebinde machen im allgemeinen den Einsatz von Sattelzuegen erforderlich. Die dabei zu beachtenden

Gewichtsbeschraenkungen

(maximal zulaessiges Gesamtgewicht 38 Mg) legen es nahe, dass die Transportfahrzeuge vorwiegend jeweils nur eine Transporteinheit (TE) befoerdern.

#### Schienengebundene Befoerderung

Die schienengebundene Befoerderung von Abfallsendungen zum Endlager erfolgt

generell ohne Umladung in zwei Befoerderungsabschnitten. Der erste Abschnitt umfasst den Transport auf dem Streckennetz der Deutschen Bundesbahn (DB) bis zum wenige Kilometer noerdlich der Schachanlage KONRAD

gelegenen Uebergabebahnhof Beddingen. Dort uebernehmen die Verkehrsbetriebe

Peine-Salzgitter GmbH (VPS) die Weiterbefoerderung der Abfallwaggons im Anschlussverkehr bis zum Uebergabegleis des Endlagers. Das nicht-bundesbahneigene Streckennetz der VPS ist als gesichertes Schienennetz mit Hauptsignalsteuerung konzipiert und entspricht damit dem sicherheitstechnischen Standard der DB. Im Zustaendigkeitsbereich der DB ist in bezug auf den Befoerderungsablauf grundsatzlich zwischen einem Transport im Rahmen des fahrplanmaessig verkehrenden Regelgueterverkehrs oder mittels Ganzzuegen zu unterscheiden.

@27

Eine Befoerderung im Rahmen des Regelgueterverkehrs ist dadurch charakterisiert, dass eine Abfallsendung auf den netzfoermig ausgebildeten

Schienenstrecken fahrplanmaessig von Knoten zu Knoten (oder ueber mehrere)

befoerdert wird und an den Knotenpunkten Fahrtunterbrechungen zwecks Umstellung und Zugbildung vorgesehen sind. Dadurch erstreckt sich die Reisezeit einer Abfallsendung typischerweise ueber eine Zeitdauer von etwa

1 bis 3 Tagen, wobei die Waggons im allgemeinen 3 bis 5 Umstellungen (Rangiervorgaenge) unterworfen sind. Der Laufweg der im Regelgueterverkehr

befoerderten Abfallwaggons fuehrt dabei im allgemeinen - von wenigen Ausnahmen abgesehen - ueber die Rangierbahnhoeft in Hannover/Seelze und Braunschweig.

Eine Befoerderung der Abfallwaggons mittels Ganzzuegen ist demgegenueber dadurch gekennzeichnet, dass der Zuglauf ohne Umstellungen und laengere zeitliche Unterbrechungen - von betriebsbedingten Haltezeiten abgesehen - unmittelbar vom Ablieferer zum Endlager bzw. Uebergabebahnhof Beddingen fuehrt. Der Rangierbahnhof in Braunschweig wird dabei im allgemeinen nicht

beruehrt. Die Abfallbefoerderung mittels Ganzzuegen setzt jedoch aufgrund betrieblicher Festlegungen des Endlagers voraus, dass der jeweilige Ablieferer auf Abruf hinreichende Mengen von Abfallgebinden einer Abfallbehaelterklasse bereitstellen kann. In der vorliegenden Studie wird in dieser Hinsicht unterstellt, dass diese Voraussetzungen insbesondere bei

dem Abfallkontingent aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Kernbrennstoffe aus deutschen Leichtwasserreaktoren im Ausland gegeben sind. Bei den anderen Ablieferungspflichtigen wird fuer den Untersuchungszweck dagegen eine Befoerderung im Rahmen des Regelgueterverkehrs unterstellt.

Nach der Anlieferung auf dem Uebergabebahnhof Beddingen sollen die Abfallwaggons durch die VPS nach derzeitigem Planungsstand unter dem Gesichtspunkt der Standzeitminimierung schnellstmoeglich weiterbefoerdert werden. Bei einer Anlieferung der Abfallwaggons in einem "Buntzug", d.h. mit Waggons, die fuer unterschiedliche Empfaenger vorgesehen sind, muss der Weiterbefoerderung in Beddingen jedoch eine erneute Umstellung bzw. rangierdienstliche Behandlung vorangehen.

Als Transportmittel wird entsprechend dem derzeitigem Planungsstand von leicht modifizierten Waggons des Typs Shimms 708 und Sahimms 900 ausgegangen, die je nach Gebindetyp ueber eine Beladekapazitaet von @28

wenigstens 2 Transporteinheiten pro Waggon verfuegen.

Dabei handelt es

sich

um vier- bzw. sechssachsige Drehgestell-Flachwagen in Sonderbauart, die vorzugsweise fuer naesseempfindliche Gueter mit hohem Stueckgewicht eingesetzt werden. Abbildung 5.1 zeigt in schematischer Darstellung die Abmessungen eines Waggons vom Typ Sahimms 900.

Die Reise- und Handhabungszeiten der Abfallsendungen und der Personalbedarf

beim Bahntransport wurden in Abstimmung mit Dienststellen der DB (Mainz, Hannover, Braunschweig), der Verkehrsbetriebe Peine-Salzgitter GmbH (VPS) sowie durch Arbeitsablaufstudien auf dem Rangierbahnhof Braunschweig und dem Uebergabebahnhof Beddingen festgelegt. Die nachfolgenden Dosisberechnungen beruecksichtigen insoweit insbesondere die Gegebenheiten dieser Umschlagplaetze.

Die hoechstzulaessigen Fahrgeschwindigkeiten beim schienengebundenen Guetertransport sind in den Fahrdienstvorschriften festgelegt und betragen fuer Gueterwaggons, die nicht fuer Hoechstgeschwindigkeiten vorgesehen sind, beim

@#

- Fahrbetrieb 80 - 100 km/h,
- Rangierbetrieb 25 km/h.

@\$

@29

### 5.3 Verkehrsaufkommen

Die Abschaetzung des mit der Abfallbefoerderung verbundenen strassen- und schienengebundenen Verkehrsaufkommens basiert einerseits auf den Angaben ueber das Abfallaufkommen der einzelnen Abfallablieferer. Andererseits ist die Einlagerungskapazitaet, die nach derzeitiger Planung 17

Transporteinheiten (TE) pro Tag bzw. 3400 TE pro Jahr bei einschichtigem Betrieb betraegt, und die Pufferlager-Kapazitaet der obertaegigen Endlagereinrichtungen zu beruecksichtigen. Dementsprechend wurde der Umfang der einzelnen Abfallsendungen, die vom Abfalllieferer angeliefert werden und bei Bahntransporten aus mehreren Waggonen bestehen koennen, wie folgt festgelegt:

@#

Befoerderungsart	TE pro Sendung
LKW	1
Regelgueterzug	2 - 17
Ganzzug	40

@\$

Die auf dieser Grundlage ermittelte Anzahl der jaehrlichen Abfallsendungen ist fuer die beiden in dieser Studie betrachteten Befoerderungsszenarien in Tab. 5.1 angegeben. Die Zahlen sind als orientierende Anhaltswerte zu verstehen.

Tab. 5.1:

Anzahl der prognostizierten Abfallsendungen zum Endlager KONRAD bei einschichtigem Einlagerungsbetrieb (3400 Transporteinheiten pro Jahr)

@#

Befoerderungsart	Mittlere Anzahl der Sendungen pro Jahr	
	80 % Bahn/20 % Strasse	100 % Bahn
Bahn		
- Regelguetersendungen	ca. 200	ca. 345
- Ganzzugsendungen	ca. 45	ca. 45
LKW	ca. 680	

@\$

@30

Nach Tab.

5.1 belaeuft sich das abfallbezogene Verkehrsaufkommen fuer das aus heutiger Sicht wahrscheinlichste Befoerderungsszenarium, dass von einer Aufteilung von 80 %-igen Bahn- und 20 %-igen Strassenbefoerderung ausgeht, auf etwa 200 Regelgueterzug-, etwa 45 Ganzzug- und ca. 680 LKW-Sendungen pro Jahr. Die 45 Ganzzugsendungen entsprechen dem Abfallaufkommen von ca. 1785 TE, die aufgrund der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus

deutschen Reaktoren ab Mitte dieses Jahrzehnts aus dem Ausland zurueckgefuehrt werden muessen. Die ca. 200 Regelgueterzugsendungen umfassen das Abfallaufkommen diverser Ablieferer in der Bundesrepublik von etwa 935 TE. Eine im Regelgueterverkehr befoerderte Abfallsendung besteht damit im Durchschnitt aus etwa 5 TE, bzw. bei einer Beladepazitaet von 2 TE pro Waggon aus 2-3 Wagenladungen.

Bei einer ausschliesslichen Abfallbefoerderung auf dem Schienenwege (100 % Bahn-Szenarium) erhoehrt sich die Anzahl der Regelguetersendungen von etwa 200 auf ca. 345. Diese Erhoehung entspricht dem Aequivalent des Abfallaufkommens von 680 TE pro Jahr, die als Grenzfall von der Strasse auf die Schiene zu verlagern waeren.

In Bezug auf das abfallbezogene Verkehrsaufkommen in der Enlagerregion stellen die vorgenannten Zahlenwerte obere Richtwerte dar, da Abfallsendungen unterschiedlicher Herkunft durch Zugneubildungen teilweise gemeinsam im gleichen Zugverband befoerdert werden. Bei der Analyse des Unfallrisikos wird diesem Sachverhalt entsprechend Rechnung getragen.

Die das abfallbedingte Verkehrsaufkommen charakterisierenden Zahlenwerte in Tab. 5.1 muessen vor dem Hintergrund des gesamten Gueterverkehrsaufkommens in der Endlagerregion gesehen werden. Fuer die Endlagerregion (siehe Bild 5.1) liegen hierzu folgende von der Bundesbahndirektion Hannover bereitgestellten Angaben bzgl. des taeglichen Gueterzugaufkommens fuer 1989 vor (Tab. 5.2).  
@31

Tab. 5.2:

Taegliches Gueterzugverkehrsaufkommen in der Endlagerregion

@#

Streckenabschnitt	Anzahl pro Tag
Lehrte - Gross Gleidingen	108
Hildesheim - Gross Gleidingen	18
Gross Gleidingen - Braunsch. Rbf.	82
Gross Gleidingen - Beddingen	61

@\$

Bzgl. des Strassen-Verkehrsaufkommens in der Standortregion kann als grobe vorlaeufige Orientierungshilfe von der "durchschnittlichen werктаeglichen Verkehrsstaerke (DTV-W)" gemaess der Strassenverkehrszaehlung des Jahres 1985 in Tab. 5.3 ausgegangen werden /BAS 86/. Soweit die Zahlenwerte die Autobahn Hannover-Berlin (A2) betreffen, sind zwischenzeitlich erhebliche Veraenderungen eingetreten.

Tab. 5.3:

Verkehrsaufkommen in der Standortregion gemaess Strassenverkehrszaehlung 1985

@#

Streckenabschnitt	Gueterverkehr	Personenverkehr
	(Kfz pro Tag)	
Landstrassen	183	2103
Bundesstrassen	547	5058
Autobahn A39/A391 (Salzlg.-Braunschw.)	2122	16140
Autobahn A2 (Hannover-Berlin)	4423	15194
Autobahn A7 (Kassel-Hannover)	6401	26238

@\$

Die Zahlen zeigen, dass das mit der Abfallbefoerderung verbundene Verkehrsaufkommen auf der Strasse und Schiene zu keiner merklichen Veraenderung der Verkehrssituation und Fahrzeugdichte fuehrt.

@32

#### 5.4 Streckenfuehrung

Die Streckenfuehrung bzw. der Laufweg der Abfalltransporte ergibt sich im wesentlichen aus der geographischen Zuordnung der verschiedenen Versandorte zum Standort des Endlagers (Bild 5.1).

Die im Streckenplan Strasse (Bild 5.2a) ausgewiesenen Laufwege entsprechen den verkehrsguenstigsten Streckenfuehrungen und decken sich in wesentlichen Teilen mit dem Autobahnnetz und den Bundesfernstrassen.

Der Streckenplan Schiene (Bild 5.2b) basiert dagegen auf Angaben der Deutschen Bundesbahn, die fuer diese Untersuchung Streckenlaufplaene fuer jeden einzelnen Ablieferer bereitstellte. Zur Klarstellung ist jedoch hervorzuheben, dass diese Angaben nur exemplarischen Charakter haben und davon abweichende Streckenfuehrungen nicht ausgeschlossen sind.

@36

## 6. STRAHLENSCHUTZVORSCHRIFTEN

Grundlage der bei der Befoerderung radioaktiver Stoffe einzuhaltenden Strahlenschutzbestimmungen sind die atomrechtlichen Vorschriften der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und die verkehrsrechtlichen Vorschriften der Gefahrgutverordnungen. Der Anwendungsbereich der StrlSchV

ist jedoch insoweit eingeschaenkt, als nach der Gesetzeslage mit Ausnahme

der Strahlenschutzgrundsaeetze des Para. 28 (z.B. Minimierungsgebot) die Schutzvorschriften (Para. 29 bis 80) nicht auf die Befoerderung radioaktiver Stoffe anwendbar sind.

Die relevanten Strahlenschutzbestimmungen stuetzen sich daher auf die verkehrstraegerspezifischen Vorschriften wie die Gefahrgutverordnung Strasse (GGVS) und die Gefahrgutverordnung Eisenbahn (GGVE). Grundlage dieser nationalen verkehrsrechtlichen Vorschriften zur Befoerderung radioaktiver Stoffe sind die Regelungen der Internationalen Atomenergie Organisation (IAEO) ueber die sichere Befoerderung radioaktiver Stoffe (Safety Series No. 6), die letztmalig im Jahre 1985 in ueberarbeiteter Fassung veroeffentlicht wurden /IAE 85/.

Nach diesen Vorschriften wird das Schutzziel der Dosisbegrenzung durch ein System von Dosis- und Dosisleistungsgrenzwerten sichergestellt. Die Strahlenexposition des Transportpersonals ist im allgemeinen auf 5 mSv/a pro Jahr beschraenkt. Dieser Grenzwert darf nur dann ueberschritten werden  
- und zwar bis zu einer Hoechst dosis von 50 mSv/a -, wenn die Personen als beruflich strahlenexponierte Personen eingestuft sind und dementsprechend der regulaeren Strahlenschutzueberwachung unterliegen.

Im Zustaendigkeitsbereich der DB wird seit Jahren durch innerbetriebliche Vorsorgemassnahmen gewaehrleistet, dass der vorgenannte Dosisgrenzwert von 5 mSv/a nicht ueberschritten wird.

Fuer die Bevoelkerung wird in den IAEO-Regelungen eine hoechstzulaessige Dosis von 1 mSv/a angegeben mit der Massgabe, diesen Richtwert fuer die kritische Personengruppe zugrunde zu legen. Laesst sich zeigen, dass die Einhaltung dieses Richtwertes fuer diese Personengruppe gewaehrleistet ist, so liegt die Strahlenexposition fuer die uebrige Bevoelkerung im allgemeinen weit unterhalb dieses Richtwertes.  
@37

Neben den Ortsdosisleistungsgrenzwerten fuer die Abfallbehaelter (vgl. Kap. 4) sind in den verkehrsrechtlichen Vorschriften ergaenzend Ortsdosisleistungshoechstwerte fuer das Transportmittel festgelegt. So darf insbesondere unabhaengig von der Art und Menge der Radioaktivbeladung eines Transportmittels die Ortsdosisleistung (ODL) ausserhalb des Fahrzeuges folgende Werte nicht uebersteigen:

@#

	Hoechstzulaessige
Ortsdosisleistung	
- Aussenflaeche des Fahrzeuges:	2.0 mSv/h
- in 2 m Abstand vom Fahrzeug:	0.1 mSv/h

@\$

Diese Grenzwerte gelten gleichermassen fuer die Verkehrstraeger Strasse und Schiene. Bei Strassentransportfahrzeugen ist weiterhin zu beachten, dass die ODL am Fahrer und Beifahrersitz den Wert von 0.02 mSv/h nicht

uebersteigt, es sei denn, das Personal unterliegt der Strahlenschutzueberwachung.

Eine zusammenfassende Uebersicht ueber die gesetzlich festgelegtenhoechstzulaessigen Koerperdosen und Ortsdosisleistungen gibt Tabelle 6.1.

Tab. 6.1:

Strahlenschutzrelevante Bestimmungen fuer die Befoerderung von radioaktiven Abfallstoffen

@#

Vorschrift		Zulaessige Hoechstdosen bzw. Orstdosisleistungen	
GGVS/GGVE	Transportfahrzeug	Aussenflaeche	2.0 mSv/h
		in 2 m Abstand	0.1 mSv/h
		Fuehrerhaus a)	0.02 mSv/h
	Transportpersonal		5 mSv/h

a) Nur fuer strassengebundene Transporte spezifiziert (GGVS)

@\$

@38

7.

#### RADIOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN BEIM BESTIMMUNGSGEMAESSEN (UNFALLFREIEN) ABFALLTRANSPORT

Ausgehend vom Abfallbefoerderungsaufkommen, den radiologischen Merkmalen der Abfall- und Transportbehaelter und den Befoerderungsmodalitaeten wurden fuer die beiden in dieser Studie betrachteten Befoerderungsszenarien (80 % Bahn/20 % Strasse und 100 % Bahn) Dosisabschaetzungen fuer verschiedene Personengruppen durchgefuehrt. Zur Beurteilung von Strahlenexpositionen beim unfallfreien Transport werden die Kollektivdosis und die Individualdosis jeweils auf der Basis der effektiven Aequivalentdosis herangezogen.

Die Kollektivdosis kann im vorliegenden Zusammenhang als eine Beurteilungsgroesse angesehen werden, die insbesondere Auskunft darueber gibt, in welchem Ausmass das Transportpersonal und die Bevoelkerung befoerderungsbedingt insgesamt, also kollektiv, einer Strahlenexposition ausgesetzt wird. Diese radiologische Kenngroesse eignet sich als Vergleichszahl zu der Strahlenexposition, die sich z.B. fuer dasselbe Kollektiv aus der natuerlichen Strahlenexposition oder aus Anwendungen ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe in anderen Lebensbereichen ergibt.

Die Individualdosis bzw. effektive Aequivalentdosis eignet sich ebenfalls als Vergleichsgroesse, z.B. mit der natuerlichen Strahlenexposition und ihrer Schwankungsbreite. Sie dient zum anderen als Nachweis dafuer, dass die einschlaegigen Strahlenschutzvorschriften eingehalten werden koennen.

Die befoerederungsbedingt zu erwartende Kollektivdosis wurde mit dem von der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO), Wien, bereitgestellten Rechenprogramm INTERTRAN /IAE 83/ ermittelt. Dabei handelt es sich um ein Programmsystem, mit dem die Kollektivdosis fuer verschiedene Personengruppen unter Beruecksichtigung der relevanten verkehrstechnischen, streckenspezifischen und radiologischen Basisdaten ermittelt werden kann. Im vorliegenden Fall werden drei Personengruppen unterschieden:  
 @39

- Transportpersonal, z.B. Fahrzeugfuehrer, Begleiter
- Abfertigungs- und Rangierpersonal
- Bevoelkerung

Der letztgenannte Personenkreis umfasst summarisch die Anwohner/Passanten, die innerhalb eines beidseitig verlaufenden Korridors von 800 m Tiefe entlang der Befoederungsstrecke leben, und die Personen in Fahrzeugen des entgegenkommenden bzw. ueberholenden Verkehrs sowie eventuell exponierte Personen auf Halteplaetzen der Strassentransportfahrzeuge (z.B. Raststaetten). Abschirmeffekte durch bauliche Strukturen wurden nur bei der Personengruppe der Anwohner in Gebieten mit urbaner Siedlungsstruktur beruecksichtigt.

Die Individualdosisabschaetzungen beruhen auf einer Analyse der Expositionsbedingungen, denen Personen oder Personengruppen auf dem Befoederungsweg der radioaktiven Abfaelle ausgesetzt sein koennen. Die Dosis ergibt sich dann aus der entfernungsabhaengigen Ortsdosisleistung, dem ortstypischen Befoederungsaufkommen und dem Aufenthaltsort und der Expositionsdauer der betrachteten Person.

## 7.1 Kollektivdosen

Die Befoederung der radioaktiven Abfaelle fuehrt bei einschichtigem Einlagerungsbetrieb des Endlagers und einer Einlagerungskapazitaet von 3400 Transporteinheiten (TE) pro Jahr fuer die beiden in dieser Studie betrachteten Befoederungsszenarien zu den in Tabelle 7.1 angegebenen Kollektivdosen.  
 @40

Tab. 7.1:

Jaehrliche Kollektivdosen verschiedener Bevoelkerungsgruppen

@#

Personengruppe (Personen/Sv/a)	Jaehrliche Kollektivdosis	
	80% Bahn/20% Strasse	100% Strasse
Transportpersonal	ca. 0.1	ca. 0.03
Rangier- und		

Abfertigungspersonal	ca. 0.1	ca. 0.14
Bevoelkerung	ca. 0.1	ca. 0.03
Gesamt a)	ca. 0.3	ca. 0.2

a) Die anteilig auf die Standortregion (25 km Umkreis) entfallende Kollektivdosis betraegt etwa 30 % des Gesamtwertes

Die angegebenen Abschaetzungen der Kollektivdosen beziehen sich auf die gesamte Bundesrepublik (ohne vormalige DDR) als Folge der bundesweit anfallenden und durchzufuehrenden Abfalltransporte. Der Kollektivdosisanteil der unmittelbar mit dem Befoerderungsvorgang befassten

Personen, wie des Transport-, Rangier- und Abfertigungspersonals, belaeuft

sich je nach Transportszenarium auf Werte von etwa 0.17 - 0.2 Personen-Sv pro Jahr und macht damit mehr als zwei Drittel der gesamten befoerederungsbedingt zu erwartenden Kollektivdosis aus. Der auf die Bevoelkerung entfallende Kollektivdosisbeitrag ist demgegenueber - und obwohl diese Personengruppe anzahlmaessig die der funktionsbedingt exponierten Personen weit uebersteigt - mit etwa 15 - 30 Prozent der gesamten Kollektivdosis relativ gering. Diese Feststellung ist insbesondere

auf den Umstand zurueckzufuehren, dass die Anwohner entlang der Befoerederungsstrecke dem von den Abfallbehaeltern ausgehenden Strahlungsfeld im allgemeinen nur sehr kurzzeitig ausgesetzt sind.

Die Zahlenwerte zeigen weiterhin, dass eine vorwiegend schienengebundene Abfallbefoerderung zu etwas guenstigeren Kollektivdosiswerten fuehrt als das Befoerederungsszenarium mit einem 20%-igen Strassentransportanteil.

@41

Zur Beurteilung und Einordnung der befoerederungsbedingt zu erwartenden Kollektivdosis kann vergleichsweise die Kollektivdosis infolge der natuerlichen Strahlenexposition herangezogen werden, der die Personengruppe

der Anwohner/Passanten ausgesetzt ist. So betraegt alleine die terrestrische Komponente der natuerlichen Strahlenexposition (also ohne kosmischen und internen Anteil) durch natuerlicherweise in Boeden und Baustoffen vorhandene Radionuklide in der Bundesrepublik etwa 0.5 mSv/a, wobei regionale Abweichungen bis zum 2- bis 3-fachen dieses Wertes zu beobachten sind /BON 90/. Die daraus resultierende Kollektivdosis der entlang der angenommenen Befoerederungswege lebenden Anwohner/Anrainer belaeuft sich schaetzungsweise auf 800 Personen-Sv/a, wenn man von einer mittleren Bevoelkerungsdichte von 250 Personen/km, einer Streckennetzlaenge

von etwa 4000 km und einer beidseitig verlaufenden Korridortiefe (entsprechend dem INTERTRAN-Programm) entlang der Befoerederungsstrecke von 800 m ausgeht.

Der Vergleich dieses Zahlenwertes mit der befoerederungsbedingt zu erwartenden Kollektivdosis (Tab. 7.1) verdeutlicht, dass die kollektiven radiologischen Auswirkungen der Abfallbefoerderung nur Bruchteile der natuerlichen Exposition ausmachen. Aufgrund des geringen Absolutbetrages der befoerederungsbedingten Kollektivdosis einerseits und der geringen Unterschiedsbetraege zwischen den beiden Befoerederungsszenarien andererseits lassen sich aus den Kollektivdosisbetrachtungen keine eindeutigen Praeferenzen in bezug auf eine bestimmte Befoerederungsart

ableiten.

## 7.2 Individualdosen

Die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgefuehrten Individualdosisabschaetzungen wurden in Form von Einzelbetrachtungen fuer solche Orte und Funktionsbereiche durchgefuehrt, die aufgrund ihres hohen Befoerderungsaufkommens, der Befoerderungsmodalitaeten u.a. und der damit verbundenen potentiellen Strahlenexposition in besonderer Weise ausgezeichnet sind. Dabei wurden generell solche Personen bzw. Personengruppen betrachtet, die aufgrund ihrer Lebensumstaende oder funktionsbedingt dem von den Abfallbehaeltern ausgehenden Strahlungsfeld in besonderem Masse ausgesetzt sein koennten. Diese Personen oder Personengruppen werden ueblicherweise auch als "kritische Personengruppe" @42

bezeichnet.

Dazu gehoeren z.B. ganzjaehrig anwesende Anwohner der vorgesehenen Transportwege oder unmittelbar mit der Abfallbefoerderung befasstes Bahnpersonal wie z.B. Abfertiger und Rangierer der entsprechenden Umschlagplaetze. Die Strahlenexposition anderer Personen liegt unterhalb, meist sogar weit unterhalb der fuer die kritische Personengruppe berechneten Dosiswerte.

Bei der Abschaetzung der Strahlenexposition der Streckenanwohner/Passanten wurden im einzelnen folgende Expositions- bzw. Dosisbeitraege beruecksichtigt:

- Erstens, der Expositionsbeitrag durch alle ueber den jeweiligen Streckenabschnitt befoerderten Abfallsendungen waehrend des Vorbeifahrens/Passierens des Transportfahrzeuges in 5 m (Strasse) bzw. 10 m (Bahn) Abstand.
- Zweitens, ein zusaetzlicher Expositionsanteil durch jede 20. Abfallsendung (bzw. 5 Prozent des streckenspezifischen Befoerderungsaufkommens) waehrend zufaelliger verkehrsbedingter Haltezeiten (Dauer 2-5 Minuten) des Transportfahrzeuges auf der Strecke, z.B. an Verkehrsampeln oder an Bahnsignalen.

Die Personendosen an den ausgewiesenen Umschlagplaetzen, wie dem Rangierbahnhof Braunschweig, dem Uebergabebahnhof Beddingen und dem Uebergabegleis der Schachanlage KONRAD, wurden unter Beachtung der aktuellen oertlichen Gegebenheiten und der Arbeitsbedingungen, z.B. Schichtdienst, berechnet. Dazu zaehlen insbesondere die raeumlichen Abstaende zwischen Abfallwaggon und dem Aufenthaltsort exponierter Personen sowie die Expositionsdauer. Dazu wurden eingehendere Analysen der Betriebsablaeufer auf den Rangierbahnhoefen in Braunschweig und Beddingen durchgefuehrt. Desweiteren wurde unterstellt, dass die betrachteten Personen oder Personengruppen ausschliesslich einem bestimmten Funktionsbereich, z.B. der Einfahrgruppe oder im Rbf. Braunschweig dem Richtungsgleis Beddingen zugeordnet und auch dort taetig sind.

Eine Abschirmung durch Gebaeudestrukturen (mittlerer Schwaechungsfaktor DRF

= 10) wurde zeitanteilig (75 % Aufenthalt im Gebaeude/ 25 % im Freien)  
nur  
bei der Gruppe der Anwohner der Rangierbahnhoeefe beruecksichtigt.  
@43

Die auf dieser Grundlage berechneten Dosen der kritischen Personengruppen sind obere Dosisabschaetzungen. Sie werden unter normalen Transportverhaeltnissen und der Beachtung der allgemeinen Randbedingungen (z.B. einschichtiger Einlagerungsbetrieb) auch in der Region mit dem hoechsten lokalen Abfallbefoerderungsaufkommen, naemlich der Standortregion, praktisch nicht ueberschritten. Ausserhalb der Standortregion werden die angegebenen Dosiswerte entsprechend dem verminderten streckenspezifischen Befoerderungsaufkommen im Regelfall weit unterschritten.

Die berechneten Individualdosen sind zusammenfassend in den Tabellen 7.1 bis 7.3 dargestellt. Tabelle 7.1 zeigt die Individualdosiswerte fuer Anwohner und Passanten der Transportstrecke (Strasse) gemaess dem Befoerderungsszenarium, dem ein 20 %-iger Strassenbefoerungsanteil zugrunde liegt. Die Strahlenexposition der Bevoelkerung und des Transport-/Abfertigungspersonals im Falle einer ausschliesslichen Abfallbefoerderung auf dem Schienenwege (100 % Bahn) ist fuer ausgewaehlte Orte und Umschlagplaetze in Uebersichtform in Tabelle 7.2 und Tabelle 7.3 dargestellt. Die Dosiswerte sind somit auch fuer das 80 % Bahn/20 % Strasse Befoerderungsszenarium abdeckend.

Die Ergebnisse zeigen (Tab. 7.1-7.2), dass die prognostizierte potentielle Strahlenexposition der Bevoelkerung (kritische Personengruppe) infolge der Abfallbefoerderung auf dem Bahnwege im allgemeinen im Wertbereich von 0,02 bis 0,1 mSv/a liegt. Hoehere, aber ebenfalls nur Bruchteile der natuerlichen Strahlenexposition betragende Dosiswerte ergeben sich fuer die Bewohner der unmittelbar an das Rangierbahnhofsgeelaende angrenzenden Gebaeude im Bereich Alte Salzdahlumer Strasse (Mindestabstand 20-30 m vom Gleiskoerper), deren potentielle Strahlenexposition - entsprechend den getroffenen Annahmen (100 % Bahntransport und sofern ganzjaehrig ununterbrochen anwesend) - Hoechstwerte bis zu etwa 0.2 mSv/a erreichen koennte.

Beruecksichtigt man realistischerweise, dass nach derzeitiger Kenntnis ein Teil (bis zu 20 Prozent) der Abfaelle auf dem Strassenweg befoerdert wird, so liegt die prognostizierte Strahlenexposition auch im Bereich Alte Salzdahlumer Strasse fuer die kritische Personengruppe bei Werten von etwa 0.1 mSv/a. Diese Reduzierung der potentiellen Strahlenexposition (von 0.2 auf 0.1) entspricht der prognostizierten  
@44

Minderung des Abfallbefoerderungsaufkommens des Rangierbahnhofes in Braunschweig, das bei 100%-iger Bahnbefoerderung jaehrlich etwa 345 Sendungen betraegt und infolge der Verlagerung von bis zu 20 Prozent des Abfallaufkommens (= 680 Transporteinheiten) auf die Strasse nur noch etwa

200 Sendungen betragen wuerde.

Die beschriebene Expositionssituation im Rangierbahnhofsbereich - und darauf ist besonders hinzuweisen - ist auf die Bewohner der unmittelbar an den Bahndamm angrenzenden Gebaeude in der Alte Salzdahlumer Strasse beschraenkt. Sie gilt keinesfalls fuer andere Orte im Rangierbahnhofsbereich. Sie haengt damit zusammen, dass die Bewohner dieser Haeuser aufgrund des Rangierablaufes und der damit verbundenen Waggonstandzeiten dem Strahlungsfeld, das von Abfallbehaeltern ausgeht, staerker ausgesetzt sind als irgendeine andere Bevoelkerungsgruppe im Rbf-Bereich. Das Ganzzugbefoerderungsaufkommen hat dagegen auf Strahlenexposition der Rangierbahnhof-Anwohner keinen Einfluss, da Ganzzuege unmittelbar zum Uebergabebahnhof Beddingen gefuehrt und dort abgefertigt werden.

Im hypothetischen Falle einer ausschliesslichen Abfallbefoerderung im Regelgueterverkehr (keine Ganzzuege) und der Annahme, dass alle Transporte (ueber 3400 Transporteinheiten) ueber den Rangierbahnhof Braunschweig gefuehrt werden, koennte die Strahlenexposition dieser Rbf.- Anwohner (kritische Personengruppe) bis auf 0.4 mSv/a ansteigen.

Der Einsatz und Anteil der Ganzzuege zur Befoerderung der radioaktiven Abfaelle hat damit erkennbaren Einfluss auf die potentielle Strahlenexposition der unmittelbaren Anwohner und das Transportpersonal des Rangierbahnhofes in Braunschweig. Im Rahmen dieser Studie wurde diese Befoerderungsart wegen des hohen Aufkommens nur fuer das Kontingent der Abfaelle aus der Wiederaufarbeitung im Ausland unterstellt. Der Einsatz von Ganzzuegen zur Befoerderung der Abfaelle von Ablieferern in der BRD, die ueber ein hohes Aufkommen verfuegen, koennte zu einer weiteren Reduktion der Strahlenexposition fuehren.

Von den beruflich mit der Abfallbefoerderung befassten Personen, also den Bediensteten der Deutschen Bundesbahn und der Verkehrsbetriebe Peine-Salzgitter, sind die Abfertiger und Rangierer im Rangierbahnhof Braunschweig und im Uebergabebahnhof Beddingen, die sich vorzugsweise

@45

mit dem Rangieren/Abfertigen der Abfallwaggon befassen, als kritische Personengruppe anzusehen.

Fuer diese zahlenmaessig kleine Personengruppe ergeben sich je nach Funktion Dosishoechstwerte von etwa 0.3-0.7 mSv/a; bei dem uebrigen Rangierpersonal werden diese Werte deutlich unterschritten.

Damit liegt die Strahlenexposition des mit der Abfallbefoerderung befassten

Rangier- und Abfertigungspersonals in einem Dosisbereich, der in Einzelfaellen auch in anderen Bahnbereichen mit hohem Aufkommen an Radioaktiv-Sendungen beobachtet wurde /BZA 90/. Die einschlaegigen auf diese Personengruppe anwendbaren Dosisrichtwerte von 5 mSv/a koennen in jedem Falle eingehalten werden.

Dosisabschaetzungen fuer beruflich exponierte Personen durch Abfalltransporte auf der Strasse lassen sich auf der Basis des derzeitigen

Kenntnisstandes nicht ohne weiteres durchfuehren. Solche Betrachtungen setzen voraus, dass insbesondere Angaben in Bezug auf den Befoerungsverlauf, den Fahrzeugtyp, die Transportpersonaleinsatzplanung etc. mit hinreichendem Detaillierungsgrad vorliegen. Im Gegensatz zu Bahntransporten liegen diesbeueglich Festlegungen zur Abschaetzung von Individualdosen des Transportpersonals beim Strassentransport der Abfaelle zur Zeit nicht vor. Generell ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Strahlenschutzgrundsaeetze und die Bestimmungen zur Dosis- und Dosisleistungsbegrenzung gemaess Kap. 6 fuer die Befoerderung auf der Strasse uneingeschraenkt gueltig sind. Soweit notwendig ist das Strassentransportpersonal als beruflich exponiertes Personal einzustufen und damit der regulaeren Strahlenschutzueberwachung unterworfen.  
 @46  
 @#

Tab. 7.1:

Abschaetzung der jaehrlichen Strahlenexposition der kritischen Bevoelkerungsgruppe durch Abfalltransporte auf der Strasse

Befoerderungsszenarium: 20 % Strasse / 80 % Schiene

Streckenabschnitt	Bevoelkerungsgruppe a)	Effektive Dosis (mSv/a)
Autobahn A 39	Anwohner/Passanten	< 0.02
Industriestrasse Nord (Salzgitter)	Anwohner/Passanten	< 0.02
Zufahrtstrasse Schachtanlage KONRAD	Beschaeftigte der Schlackenverwertung	< 0.03 b)
Natuerliche Strahlenexposition		2

a) Aufenthalt ausschliesslich im Freien

b) Fahrzeugstandzeit an der Eingangskontrolle keiner/gleich 20 min  
 @47

Tab. 7.2:

Abschaetzung der jaehrlichen Strahlenexposition der kritischen Bevoelkerungsgruppe durch Abfalltransporte auf der Schiene

Befoerderungsszenarium: 100 % Bahntransport mit Regelgueter- und Ganzzuegen

Streckenabschnitt	Bevoelkerungsgruppe	Effektive Dosis (mSv/a)
Hann./Braunschw./Schachtanlage	Anwohner a)	< 0.04
Hildesheim/G.-Gleidingen	Anwohner a)	- b)

Rangierbahnhof Braunschweig	Bewohner der gleisnaechsten Gebaeude, Alte Salzdahlumer Strasse	0.1 - 0.2 c)
	Anwohner im nord-oestlichen Rbf. Bereich	< 0.05
Uebergabebahnhof Beddingen	Anwohner	< 0.05
Uebergabegleis Schachtanlage	Beschaeftigte der Schlackenverwertung	< 0.01

Natuerliche Strahlenexposition 2.0

- a) Aufenthalt ausschliesslich im Freien
- b) Befoerderungsaufkommen nach derzeitiger Kenntnis klein im Vergleich zu anderen Streckenabschnitten
- c) Wertebereich der Individualdosis der kritischen Bevoelkerungsgruppe fuer
  - a) Befoerderungsszenarium 80 % Bahn/ 20 % Strasse (unterer Wert)
  - b) Befoerderungsszenarium 100 % Bahn (oberer Wert)

@48

Tab.  
7.3:

Abschaetzung der jaehrlichen Strahlenexposition des Transportpersonals durch Abfalltransporte auf der Schiene

Befoerderungsszenarium: 100 % Bahntransport mit Regelgueter- und Ganzzuegen

Streckenabschnitt/ Funktionsbereich	Funktion	Effektive Dosis (mSv/a)
Rangierbahnhof Braunschweig		
Einfahrgruppe	Eingangskontrolle	< 0.7
Richtungsgruppe	Rangierer a)	< 0.6
Ausfahrgruppe	Rangierer a)	< 0.4
Uebergabebahnhof Beddingen		
Einfahrgruppe	Eingangskontrolle	< 0.7
Richtungsgruppe	Rangierer	< 0.7
Ausfahrgruppe	Ueberfuehrungsfahrt	< 0.2
Natuerliche Strahlenexposition		2.0

- a) Dauerarbeitsplatz am Richtungsgleis Beddingen
- @§

@49

8.

## TRANSPORTUNFALLRISIKO

### 8.1 Generelle Vorgehensweise

Die Abfalltransporte koennen auf ihrem Weg zum Endlager in Unfaelle verwickelt werden, bei denen Abfallgebinde u. U. den dabei auftretenden Belastungen nicht standhalten, so dass es zu einer Freisetzung radioaktiver

Stoffe in die Umgebung kommen kann. Je nach dem Inhalt der betroffenen Abfallbehaelter an radioaktiven Stoffen und dem infolge der Unfallbelastung

in die Umgebung freigesetzten Anteil variieren die radiologischen Auswirkungen, wie Strahlenexpositionen von Personen und Kontaminationen der

Biosphaere, in einem weiten Bereich. Die Haeufigkeit, mit der fuer das betrachtete Transportaufkommen diese Auswirkungen zu erwarten sind, haengt

von mehreren Einflussgroessen ab, zu denen insbesondere zaehlen:

- Die Haeufigkeit, mit der Unfallbelastungen unterschiedlichen Ausmasses auf Abfallgebinde einwirken;
- Eigenschaften der Abfallbehaelter und des darin befindlichen Abfallproduktes, die das Freisetzungsverhalten bestimmen;
- Der Inhalt an radioaktiven Stoffen (Aktivitaetsinventar);
- Die Haeufigkeit, mit der unterschiedliche atmosphaerische Ausbreitungsbedingungen vorliegen, die ihrerseits die luftgetragenen und abgelagerten Schadstoffkonzentrationen und damit potentielle radiologische Auswirkungen in groesserem Masse beeinflussen koennen.

Um das Risiko durch Transportunfaelle fuer das Transportaufkommen zum Endlager KONRAD zu ermitteln, wird das Spektrum moeglicher Strahlenexpositionen von Personen erfasst und gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit quantifiziert, mit der mit solchen radiologischen Auswirkungen zu rechnen ist.

Die Abfallgebinde werden ueberwiegend auf der Schiene und zu einem geringen Anteil, der sich maximal auf 20 % der angelieferten Transporteinheiten belaeuft, auf der Strasse angeliefert. Die Ermittlungen des mit Transportunfaellen verbundenen Risikos beziehen sich auf den Nahbereich des

geplanten Endlagers. Der Nahbereich ist definiert als Umkreis

@50

mit einem Radius von 25 km um die Anlage, indem alle Abfalltransporte zum Endlager zusammenlaufen.

Dabei werden zwei Anlieferungszenarien zugrundegelegt:

- 100 % Schienentransport
- 80 % Schienentransport, 20 % Strassentransport.

Die Groesse des Nahbereichs, fuer den das Unfallrisiko der Abfalltransporte insgesamt ermittelt wird, wird dadurch begruendet, dass in jedem Fall alle in der Endlagerregion zusammenlaufenden Abfalltransporte und die fuer dieses Gebiet repraesentativen Schienen- und Strassentransportstrecken erfasst werden. Dazu gehoert auch der Rangierbahnhof Braunschweig, ueber den voraussichtlich ein grosser Teil der Abfalltransporte gefuehrt wird.

Grundlage fuer die Ermittlung von Unfallhaeufigkeiten sind Unfallstatistiken im Gueterzugverkehr und im Schwerlastverkehr auf Bundesautobahnen und vergleichbar ausgebauten Fernstrassen im gesamten Gebiet der bisherigen Bundesrepublik. Die Anwendung dieser umfassenden Statistik auf die Endlagerregion ist moeglich, da hier keine unguenstigeren Verkehrsbedingungen verglichen mit dem groesseren Gebiet, auf das sich die Unfallstatistik bezieht, anzunehmen sind. Diese Aussage bezieht sich nicht auf den Rangierbahnhof Braunschweig, dessen eigene Unfallstatistik herangezogen wurde.

Sowohl fuer Schienen- als auch Strassentransport wird angenommen, dass die Transporte innerhalb des 25 km-Umkreises jeweils 50 km Fahrstrecke zuruecklegen bis sie das Endlager erreichen. Hierfuer werden die Eintrittshaeufigkeiten von Transportunfaellen und die damit verbundenen radiologischen Auswirkungen ermittelt. Damit stellen die fuer das gesamte Gebiet von 25 km Umkreis ermittelten Unfallhaeufigkeiten fuer jeden kleineren Transportabschnitt, der bezueglich moeglicher Unfallrisiken in Betracht gezogen wird, abdeckende Werte dar. D.h. mit anderen Worten: Ist fuer eine Transportstrecke insgesamt mit einer bestimmten Haeufigkeit von Transportunfaellen zu rechnen, so kann fuer eine Teilstrecke davon die Haeufigkeit auf keinen Fall groesser sein sondern wird i.a. entsprechend geringer ausfallen. An keiner Stelle innerhalb des 25 km Umkreises koennen die zu erwartenden Haeufigkeiten von Transportunfaellen unguentiger sein als fuer den gesamten 25 km Umkreis.  
@51

Analoges gilt fuer andere betrachtete Transportstrecken von vergleichbarer Laenge (50 km) ohne ueberdurchschnittliche Gefahrenbereiche im uebrigen Bundesgebiet, da hier bestenfalls ein Bruchteil des gesamten Transportaufkommens radioaktiver Abfaelle entlangefuehrt wird, verglichen mit dem 25 km Umkreis um die Schachtanlage KONRAD.

Das jaehrliche Transportaufkommen bei einschichtigem Betrieb des Endlagers KONRAD entspricht einer Befoerderung von ca. 3400 Transporteinheiten (TE). Eine Transporteinheit ist dabei entweder ein quaderfoermiger Container oder eine sogenannte Tauschpalette, auf der sich ein oder zwei Rundbehaelter befinden. Beim Strassentransport wird aufgrund des Gewichtes der Transporteinheiten unterstellt, dass sich jeweils eine Transporteinheit auf einem Sattelzug befindet. Beim Schienentransport werden die Transporteinheiten ueberwiegend mit ueblichen Gueterzuegen im sogenannten

Regelgueterverkehr befoerdert, wobei sich zwei Transporteinheiten auf einem Gueterwaggon befinden. Nur im Falle von Abfaellen aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter deutscher Brennelemente im Ausland wird davon ausgegangen, dass hierfuer sogenannte Ganzzuege eingesetzt werden, die ausschliesslich Waggonen mit Abfallgebinden mit sich fuehren.

Es werden zunaechst diejenigen Bestandteile der Transportunfallanalysen behandelt, die zur Bestimmung der aus Transportbehaeltern freigesetzten Radioaktivitaet bei verschiedensten Unfallbelastungen beitragen. Dazu werden Unfallbelastungen von Transportfahrzeugen und Transportbehaeltern so in eine Anzahl von 9 Belastungsklassen eingeteilt, dass damit das Spektrum moeglicher Unfalleinwirkungen hinreichend erfasst wird. Daran schliesst sich wegen des sehr unterschiedlichen Verhaltens verschiedener Behaeltertypen (Beton-, Guss-, Stahlblechbehaelter) und ggf. verschiedener Abfallprodukte (z.B. Zement/Beton, Bitumen) bei Unfallbelastungen eine Unterteilung des Transportaufkommens in verschiedene Abfallgebindergruppen an. Bei dieser Klassifizierung ist das Freisetzungsverhalten das entscheidende Kriterium. Schliesslich werden dann in Abhaengigkeit von den vorab definierten Belastungsklassen und Abfallgebindergruppen Angaben zusammengestellt, welcher Anteil des Aktivitaetsinventars (Freisetzungsanteil) dabei aus Abfallgebinden als freigesetzt angenommen wird. Dabei wird einerseits wegen des unterschiedlichen Freisetzungsverhaltens zwischen Tritium (H 3), Kohlenstoff (C 14), Halogenen (z.B. Jod) und sonstigen Radionukliden unterschieden, @52

zum anderen werden freigesetzte Aerosolpartikel bzgl.

ihrer

Partikelgroesse

vier verschiedenen Groessenintervallen des aerodynamischen Durchmessers zugeordnet. Aus den Freisetzungsanteilen, die angeben, welcher Bruchteil des Aktivitaetsinventars eines vom Unfall betroffenen Abfallgebindes freigesetzt wird, und den im Abfallgebinde befindlichen nuklidspezifischen Aktivitaeten bestimmen sich dann die freigesetzten Aktivitaeten einzelner Radionuklide - der sog. Quellterm.

Im Anschluss an diese Strassen- und Schienenunfaellen gemeinsamen Bestandteile der Unfallrisikoanalysen werden dann zunaechst Unfallhaeufigkeiten behandelt.

## 8.2 Behaelterversagen und Freisetzungsverhalten

Unfallbelastungen koennen unterhalb der auslegungsgemaessen Belastungsgrenzen eines Transportbehaelters liegen oder diese ueberschreiten. Massgebend fuer die Auslegung der Abfall- und Transportbehaelter sind im vorliegenden Zusammenhang sowohl die in den "IAEO-Regelungen fuer die sichere Befoerderng radioaktiver Stoffe" spezifizierten Anforderungen als auch die aus Stoerfallanalysen fuer die Betriebsphase des Endlagers KONRAD abgeleiteten Auslegungsmerkmale gemaess den "Vorlaeufigen Endlagerungsbedingungen".

### 8.2.1 Definition der Belastungsklassen

In bezug auf moegliche Unfallauswirkungen sind die unfallbedingt auftretenden mechanischen und/oder thermischen Belastungen der Abfallgebinde wesentlich. Diese bestimmen in Verbindung mit den Eigenschaften des Abfallbehaelters und des darin befindlichen Abfallproduktes (z.B. Zement/Beton, Bitumen, Presslinge etc.) das Ausmass der Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung. Hier ist naturgemaess

ein sehr grosses Spektrum an Unfallbelastungen moeglich: Diese koennen von geringfuegigen bis zu sehr hohen mechanischen Beaufschlagungen der Abfallbehaelter reichen. Bei Brandereignissen, die allein oder auch in Verbindung mit mechanischen Behaelterbelastungen auftreten, kann der fuer die Aufheizung des Abfallprodukts und damit fuer die Freisetzung radioaktiver Stoffe massgebliche

thermische Energieeintrag ebenfalls in weiten Grenzen variieren.

Dieser thermische Energieeintrag haengt von der Dauer des Brandes, von der Art und Weise, wie das Abfallgebinde dem Brand ausgesetzt ist, und von der Flammentemperatur ab. Bei sog. Kombinationsereignissen bei denen zu einer mechanischen Einwirkung noch ein Brand auftritt, wird die Freisetzung radioaktiver Stoffe zusaetzlich durch das Ausmass der mechanischen Vorsaedigung beeinflusst.

Das Spektrum moeglicher Unfallbelastungen macht zur quantitativen Erfassung von Unfallrisiken eine Zusammenfassung in eine begrenzte Zahl von Belastungsklassen erforderlich, die jeweils einen breiten Bereich von moeglichen Unfalleinwirkungen auf Abfallgebinde zusammenfassen. Im Rahmen der vorliegenden Studie werden 9 Belastungsklassen mit Merkmalen gemaess Bild 8.1 spezifiziert. Die wesentlichen Bestimmungsgroessen des Schemas sind die "Aufprallgeschwindigkeit" und der den thermischen Energieeintrag bestimmende "Brandzeit-Temperatur-Verlauf". Die Belastungsklassen 1 (Aufprallgeschwindigkeit bis zu 35 km/h), 4 (Aufprallgeschwindigkeit zwischen 36 und 80 km/h) und 7 (Aufprallgeschwindigkeit > 80 km/h) repraesentieren hierbei die Ereignisablaeufer, bei denen die auftretenden Behaelterbelastungen ausschliesslich mechanischer Art sind. Die uebrigen Klassen umfassen dagegen Unfallsituationen, bei denen es zusaetzlich zu einem Brandereignis kommt. Um dabei die Zahl der erforderlichen Belastungsklassen moeglichst gering zu halten, werden Unfallereignisse, bei denen ausschliesslich ein Brand ohne zusaetzliche mechanische Beaufschlagung auftritt, in die kombiniert mechanisch-thermischen Belastungsklassen 2 oder 3 (Aufprallgeschwindigkeit < 35 km/h und nachfolgender Brand) eingeordnet.

@54  
@#

Aufprall- Minuten geschwindigkeit	ohne thermische Einwirkung	bei 30 Minuten thermischer Einwirkung, 800 Grad C	bei 60 thermischer Einwirkung, 800 Grad C
0 bis 35 km/h	BK 1	BK 2	BK 3
36 bis 80 km/h	BK 4	BK 5	BK 6

@\$

Bild 8.1:

Definitionsschema der 9 Belastungsklassen

Als Mass fuer die mechanische Belastung wird die Fahrgeschwindigkeit des Abfalltransports angegeben, bei der sich der Transportunfall ereignet. Dabei werden die drei Geschwindigkeitsbereiche

0 - 35 km/h

36 - 80 km/h und

> 80 km/h

unterschieden. Zur Bestimmung von Freisetzunganteilen wird unterstellt, dass die betroffenen Abfallgebinde mit der Obergrenze des jeweiligen Geschwindigkeitsintervalls auf eine harte, unnachgiebige Flaechen prallen. Fuer den Geschwindigkeitsbereich > 80 km/h wird dabei eine Geschwindigkeit

von 110 km/h angesetzt. In seltenen, besonders unguenstig gelagerten Einzelfaellen ist es moeglich, dass dieses Modell die tatsaechlichen Unfallbelastungen unterschaezt. Denkbar waere zum Beispiel, dass im Verlauf eines Unfalls im Geschwindigkeitsbereich 0 bis 35 km/h schwere Lasten (z.B. das Triebfahrzeug) auf den Transportbehaelter unguenstig trifft. In einem solchen Fall wuerde der Energieeintrag in das Abfallgebinde unter Umstaenden groesser sein als es einem Aufprall auf eine

unnachgiebige Flaechen mit 35 km/h entspricht. Auch im Bereich

@55

der obersten Geschwindigkeitskategorie (unterstellter Aufprall mit 110 km/h) sind solche Ueberschreitungen nicht auszuschliessen.

Im Rahmen der Risikoermittlung, bei der ein grosses Spektrum von Unfallkonstellationen betrachtet wird, ist die Vorgehensweise jedoch angemessen vorsichtig, da derartige Einzelereignisse durch nachfolgend aufgefuehrte, im hohen Masse abdeckende Annahmen kompensiert werden:

1. Die Verwendung der Intervallobergrenze und nicht z.B. des Mittelwertes fuehrt bei allen Ereignissen zu einer teilweisen erheblichen Ueberschaetzung der Unfallgeschwindigkeit.
2. Verringerung der Geschwindigkeit des Transportgutes vor dem Aufprall, z.B. beim Rutschen eines Waggons nach Entgleisung, werden nicht beruecksichtigt.
3. Die unterstellte harte, unnachgiebige Aufprallflaechen ist in realen Unfallsituationen nur in Ausnahmefaellen gegeben, z.B. massive Brueckenpfeiler, wohingegen im allgemeinen nachgiebige bzw. zerstoerbare Flaechen, wie Boeschungen und Gebaeude, vorhanden sind.

Die thermische Belastung wird durch den Brandzeit-Temperaturverlauf charakterisiert, wobei unterstellt wird, dass das Abfallgebinde dem Schadensfeuer allseitig ausgesetzt wird. Bei der Definition der Belastungsklassen werden folgende Bedingungen unterstellt:

kein Brand

30-minuetiger Brand bei 800 Grad C

60-minuetiger Brand bei 800 Grad C

Feuer, die einer solchen Konfiguration (Branddauer 30 oder 60 Minuten, Temperatur 800 Grad C, allseitige Umschliessung) entsprechen, sind gerade bei grossen Transportbehaeltern, wie sie fuer den Abfalltransport verwandt

werden, selbst in gezielten Experimenten nur mit speziellem Aufwand erreichbar. Insofern deckt schon eine so spezifizierete Brandbelastung von 30 Minuten Dauer einen hohen Prozentsatz real auftretender Brandbelastungen

ab, und die 60-minuetige Brandbeaufschlagung erfasst auch weitgehend extreme Brandsituationen. Ein 30-minuetiger Brand bei 800 Grad C entspricht

dem Referenzbrand, den die Pruefvorschriften der internationalen Transportvorschriften der IAEO/IAE 85/ im Rahmen der Qualifikation von unfallsicheren Typ B- Transportbehaeltern fordern.

@56

Laenger andauernde Braende bzw. Braende mit hoeheren Temperaturen werden durch diese Klassifizierung abgedeckt. So ergeben sich z.B. fuer den 60-minuetigen Brand bei 800 Grad C, dem das Abfallgebinde allseitig unterworfen ist, hoehere Temperaturen des Transportgutes als z.B. bei einem

mehrstuendigen Brand in geringer Entfernung vom Abfallgebinde, wie es z.B.

der Fall ist, wenn beim Unfall benachbarte Waggons oder Fahrzeuge mit grosser Brandlast (Heizuel, Kohle, etc.) abbrennen.

Bzgl. der Temperaturhoehe ist die Situation vergleichbar.

Flammentemperaturen in der heissen Temperaturzone liegen bei stoechiometrischer Verbrennung i.a. erheblich ueber den unterstellten 800 Grad C. Die Realisierung derartig hoher Flammentemperaturen ist jedoch nur

in speziellen Konfigurationen moeglich, z.B. Schweissbrenner.

Untersuchungen zur Brandtemperaturermittlung ergeben, dass im Freiland mittlere Brandtemperaturen deutlich unter 800 Grad C liegen. Lediglich in geschlossenen Raeumen mit unguenstiger Waermestrahlungsgeometrie koennen sich hoehere Temperaturen ergeben. Jedoch sind auch diese durch abdeckende

Annahmen bei der Waermeuebertragungsrechnung beruecksichtigt, so dass sich rechnerisch insgesamt hoehere Abfallprodukttemperaturen (und damit Freisetzungen) ergeben als bei entsprechenden Untersuchungen gemessen.

Als

konservative Annahmen bei den Aufheizrechnungen, die den Quelltermermittlungen zugrunde liegen, sind insbesondere zu nennen:

1. Wahl konservativer Waermeuebertragungsparameter wie Einstrahlzahlen, Emmissionskoeffizienten und Waermeuebergangskoeffizienten.
2. Vernachlaessigung abschirmender Strukturen.
3. Vernachlaessigung der Kuehl- und Isolierwirkung eventueller Loeschmittel beim Loeschangriff.

Die genannten Annahmen in Kombination mit den angenommenen

Brandzeit-Temperaturverlaeuften stellen sicher, dass die moegliche Aufheizung des Abfallgebundes bei Brandereignissen abdeckend ermittelt wird.

Insgesamt ist die angegebene Klasseneinteilung in Verbindung mit den angegebenen Randbedingungen (z.B. harte, unnachgiebige Aufprallflaeche, Brandzeit-Temperaturverlauf bei vollstaendiger Feuereinschliessung) als eine dem Untersuchungszweck entsprechende Vorgehensweise anzusehen, die das Spektrum moeglicher Unfallbelastungen beim Transport weitestgehend

@57

abdeckt.

Ausgenommen sind hiervon theoretisch konstruierbare Extremereignisse, denen dann aber eine so niedrige Eintrittswahrscheinlichkeit zuzuordnen ist, dass sie, wie weiter unten diskutiert, weit unterhalb von Eintrittshaeufigkeiten liegen, die noch sinnvoll zu beruecksichtigen sind.

### 8.2.2 Freisetzungsanteile

Unfallbedingte Aktivitaetsfreisetzungen haengen von Eigenschaften der Transportbehaelter und der darin befindlichen Abfallprodukte ab. Daher wurde das Spektrum der anfallenden Abfallgebunde in sogenannte Abfallgebundegruppen unterteilt mit der Zielsetzung, Abfallgebunde mit gleicher Freisetzungseharakteristik in einer Gruppe zusammenzufassen. Im folgenden werden 8 Abfallgebundegruppen (AGG) unterschieden:

@#

- AGG 1 Bituminierte Abfaelle in Stahlblechcontainern,
- AGG 2 Unfixierte und nicht kompaktierbare metallische und nicht metallische Abfaelle in Stahlblechcontainern,
- AGG 3 Metallische Abfaelle in Stahlblechcontainern,
- AGG 4 Kompaktierte Abfaelle in Stahlblechcontainern,
- AGG 5 Zementfixierte Abfaelle in Stahlblechcontainern,
- AGG 6 Bituminierte Abfaelle in Betonbehaeltern,
- AGG 7 Zementfixierte Abfaelle in Betonbehaeltern,
- AGG 8 Abfaelle in Gussbehaeltern.

@\$

Die fuer diese Abfallgebundegruppen ermittelten belastungsabhaengigen Freisetzungsanteile basieren auf experimentellen Untersuchungen und auf theoretischen Ableitungen. Die dieser Studie zugrundeliegenden Freisetzungsanteile sind in Uebersichtsform in Tabellen 8.2.1 und 8.2.2 dargestellt. Die Werte in Tabelle 8.2.1 repraesentieren die luftgetragenen, in Form von Aerosolpartikeln freigesetzten Aktivitaetsanteile fuer alle Radionuklide ausgenommen Tritium (H 3), radioaktiven Kohlenstoff (C 14) und Halogene (z.B. Jod), fuer die Werte in Tabelle 8.2.2 aufgefuehrt sind.

@58

Bei mechanischer Einwirkung auf Abfallgebinde koennen Aerosolpartikel luftgetragen freigesetzt werden, die einen groesseren Bereich aerodynamisch aequivalenter Durchmesser (AED) ueberstreichen. Ueblicherweise werden Partikel mit Durchmessern < 10 Mikrom AED als vollstaendig lungengaengig, Partikel mit Durchmessern oberhalb von 10 Mikrom AED als nicht lungengaengig eingestuft, so dass sie nicht zu einer Inhalationsbelastung beitragen, wohl aber zu einer Strahlenexposition ueber die Belastungspfade Bodenstrahlung und Nahrungsaufnahme (Ingestionspfad). Partikel oberhalb von 10 Mikrom weisen hoehere Ablagerungsgeschwindigkeiten auf, so dass sie insbesondere im Nahbereich des Unfallortes zu einer Kontamination von Bewuchs, Boden und anderen Oberflaechen fuehren koennen.

Die Bestimmung des bei Transportunfaellen freigesetzten Aktivitaetsanteils erfolgt fuer die oben definierten 8 Abfallgebindegruppen und 9 Belastungsklassen fuer Partikel der Groessenintervalle: 0 - 10 Mikrom, 10 - 20 Mikrom, 20 - 50 Mikrom und 50 - 70 Mikrom. Zur besseren Uebersicht sind in Tabelle 8.2.1 die Freisetzungssanteile fuer Partikel kleiner 10 Mikrom und zusammengefasst fuer den Partikelgroessenbereich 10 - 70 Mikrom aufgefuehrt. Die Werte geben den luftgetragenen, in Form von Aerosolpartikeln freigesetzten Aktivitaetsanteil an.

Man kann der Tabelle u.a. folgende Informationen entnehmen:

- Innerhalb der rein mechanischen Belastungsklassen 1, 4, und 7 verzeichnet man einen deutlichen Anstieg des freigesetzten Anteils des Aktivitaetsinventars von sehr niedrigen Werten bis zu Werten im Bereich von 1 %.
- Die Auslegungen von Beton- und Gussbehaeltern (Bild 3.1) fuehren dazu, dass es in einigen der unteren Belastungsklassen zu keiner Freisetzung des radioaktiven Inhalts kommt.
- Bei kleinen mechanischen Belastungen laesst sich durch Vergleich der rein mechanischen Belastungsklasse 1 mit den kombiniert mechanisch-thermischen Belastungsklassen 2 und 3 erkennen, dass die Freisetzung durch den thermischen Energieeintrag dominiert. Bei den Belastungsklassen mit Aufprallgeschwindigkeiten > 35 km/h und zusaetzlichen Brand betragen Freisetzungssanteile bis zu 10 % des Aktivitaetsinhaltes der Abfallbehaelter.

@61

- Bei der Abfallgebindegruppe 1, zu der z.B. in Bitumen fixierte Abfaelle in Stahlblechcontainern zaehlen, ist die durch Brand verursachte Freisetzung wesentlich hoeher als z.B. bei Fixierung in Zement/Beton (AGG 5).

Bei thermischen Lasteinwirkungen werden fuer die Radionuklide H 3 (Tritium), C 14 (Kohlenstoff) und die Gruppe der Halogene (z.B. Jod) deutlich hoehere Freisetzungssanteile angenommen, da diese im Brandfall in eine fluechtige Form uebergehen koennen. Aus Tabelle 8.2.2 ist zu

entnehmen, dass fuer die Belastungsklassen mit Brandeinwirkung (2, 3, 5, 6, 8, 9) meistens vollstaendige Freisetzung aus dem Abfallbehaelter unterstellt wird (Freisetzunganteil = 1).

### 8.3 Unfallhaeufigkeiten

Zur Ermittlung der Unfallhaeufigkeiten wurden umfangreiche Analysen von Unfalldaten und -statistiken durchgefuehrt, die in Anhaengen zu diesem Bericht ausfuehrlich dokumentiert werden. Beim Strassentransport wurde z.T.

auf fruehere Untersuchungen zu Unfallhaeufigkeiten und Schadensumfang zurueckgegriffen /PSE 85/, die durch neuere Daten aktualisiert worden sind.

Beim Strassen- und Schienentransport umfassen die Unfallstatistiken sowohl

Angaben, mit welcher Haeufigkeit pro gefahrenen Fahrzeugkilometer bzw. Gueterzugkilometer mit einem Unfall (ohne Bagatellschaeden) zu rechnen ist,

als auch wie sich Unfallereignisse anteilmaessig auf unterschiedlich schwere Unfalleinwirkungen (Belastungsklassen) aufteilen. Darueberhinaus wird bei Gueterzugunfaellen noch unterschieden, mit welcher Haeufigkeit bei

Unfaellen wieviele Waggons betroffen sind. Erst diese Zusatzinformation laesst eine sinnvolle Anwendung der Unfallstatistik auf ein zu betrachtendes Transportaufkommen zu, da die Unfallhaeufigkeit pro Gueterzug

- km allein noch nichts ueber die Unfallwahrscheinlichkeit von Gueterwaggons aussagt. Die Unfallstatistik beim Rangierbahnhof bezieht sich

auf die Anzahl der Unfaelle pro 1 Million rangierte Gueterwaggons, die relative Haeufigkeit unterschiedlich hoher Unfallbelastungen (Belastungsklassen) und ebenfalls auf die Angabe zur Anzahlverteilung der vom Unfall betroffenen Waggons.

@62

Im folgenden wird eine zusammenfassende Uebersicht zur statistischen Unfalldatenbasis gegeben, die der Analyse des Transportunfall-Risikos bei den Abfalltransporten zum Endlager zugrunde liegt. Die Darstellung erfolgt

getrennt fuer Transportunfaelle im Gueterzugverkehr, im Rangierbetrieb und

beim LKW-Transport.

#### 8.3.1 Unfallablaeufer und Unfallhaeufigkeiten im Gueterzugverkehr

Fuer die Ableitung statistisch abgesicherter Daten zu Unfallhaeufigkeiten ist das Befoerderungsaufkommen radioaktiver Stoffe oder gar nur radioaktiver Abfaelle auf der Schiene zu geringfuegig. Daher wurde zunaechst geprueft, ob der Bereich der Gefahrguttransporte mit der Eisenbahn eine geeignete Datenbasis darstellt. Zu diesem Zweck wurden die Berichte der Deutschen Bundesbahn (DB) ueber Unfaelle und Zwischenfaelle im

Zusammenhang mit der Befoerderung gefaehrlicher Gueter 1981 bis 1987 /DBB 87/ ausgewertet. Diese Berichte enthalten fuer jeden Unfall oder Zwischenfall eine Kurzbeschreibung des Hergangs sowie Angaben ueber die Art des betroffenen Gutes, den Schadenumfang und die Ursache fuer das Ereignis.

Die Auswertung zeigte, dass ein Grossteil der Vorkommnisse im Gefahrguttransport fuer das hier zu betrachtende Transportgut nicht repraesentativ ist. Zum Beispiel sind viele Ereignisse durch das undicht werden von Verschlüssen und den dadurch bedingten Austritt von fluessigem

Gefahrgut verursacht, was beim Transport radioaktiver Abfaelle durch die Art der Verpackung und die Konsistenz des Abfalls ausgeschlossen ist. Ausserdem war der statistische Datenumfang dieser Art von Transporten zu gering fuer eine solide Unfalldatenbasis. Daher wurde die Untersuchung auf den Bereich des gesamten Gueterverkehrs ausgedehnt, der Gefahrguttransporte als Untermenge miteinschliesst.

Die DB betreibt eine systematische Erfassung von Bahnbetriebsunfaellen auf ihrem gesamten Streckennetz (Unfaelle, an denen mindestens ein bewegtes Eisenbahnfahrzeug beteiligt ist). Die Erfassung der Unfaelle ist durch entsprechende Erfassungsregeln vereinheitlicht. Meldeblaetter und Anleitungen zu deren Ausfuellung stehen den unfallbearbeitenden Dienststellen zur Verfuegung. Die auf diese Weise erfassten Daten werden von der DB fuer die weitere statistische Auswertung nach unterschiedlichen Gesichtspunkten zusammengestellt und protokolliert.  
@63

Darueberhinaus wird fuer jeden Unfall eine Unfallakte bei dem zustaendigen Unfallbereichsbahnhof angelegt und fuer einen Zeitraum von fuenf Jahren dort aufbewahrt. Diese Akte enthaelt je nach Bedeutung des Unfallereignisses differenziertere Angaben ueber das Ereignis als in den Meldebogen einfliessen koennen.

Fuer die vorliegende Studie wurde die "Zusammenstellung der Gueterzugunfaelle mit Sachschaden an Schienenfahrzeugen ueber 3000 DM fuer den Zeitraum 1979 bis einschliesslich 1988" /DBB 88/ ausgewertet. Diese Datenbasis enthaelt fuer jeden Unfall das Datum und den zustaendigen Unfallbereichsbahnhof zur Identifizierung des Unfallereignisses, Schluesselzahlen fuer die Ereignisart und die Zuggattung, die Geschwindigkeit der Zuege vor dem Unfall (ausser bei Brand) und den geschaetzten Sachschaden an Schienenfahrzeugen.

Folgende uebergeordnete Arten von Bahnbetriebsunfaellen werden dabei unterschieden, wobei die Schluesselzahlen noch eine detailliertere Unterteilung beinhalten:

@#

- Entgleisung            Abgleiten oder Abheben eines Eisenbahnfahrzeuges von den Gleisen,
- Zusammenstoss        Auffahren auf ein Eisenbahnfahrzeug
- Aufprall                Auffahren auf ein Hindernis im lichten Raum der Fahrbahn, ausgenommen Eisenbahnfahrzeuge
- Zusammenprall        Unfall auf einem Bahnuebergang mit einem Strassenbenutzer,

- Brand/Explosion in einem oder durch ein bewegtes Eisenbahnfahrzeug

Ein Unfall wird in der Unfallzusammenstellung /DBB 88/ nach der Art des auslösenden Ereignisses zugeordnet. Die dort ausgewiesenen Brand- und Explosionsunfälle stellen folglich Primaereignisse dar. Brand und Explosion als Folge einer vorangehenden mechanischen Unfalleinwirkung sind

demnach aus dieser Zusammenstellung nicht identifizierbar. Weiterhin geht aus der Unfalldatenzusammenstellung die wesentliche Information nicht hervor, wieviele Güterwaggons vom Unfall betroffen waren.

@64

Weil die verfügbaren Unterlagen nicht ausreichten, um (a) Unfälle zu identifizieren, bei denen ein Brand infolge eines anderen primären Unfallereignisses eingetreten ist, und (b) keine Angaben über die Anzahl der vom Unfall betroffenen Waggons enthielten, hat die DB im Juni 1989 zu diesen Punkten eine spezielle Umfrage bei allen Unfallbereichsbahnhöfen durchgeführt, bei denen Güterzugunfälle mit Sachschäden oberhalb einer

Relevanzgrenze von 3000 DM an Schienenfahrzeugen im Zeitraum 1983 bis 1987

bearbeitet wurden /DBB 89/. Angaben für den Zeitraum vor 1983 waren zum Umfragezeitpunkt nicht mehr zugänglich, die Vorgänge aus dem Jahre 1988 zum Teil noch nicht abgeschlossen.

Ziel der Befragung war es, den Anteil der Unfälle zu ermitteln, bei denen

es nach einem Unfall mit mechanischen Einwirkungen zusätzlich zu einem Brand gekommen ist, und für alle dokumentierten Unfälle detaillierte Angaben über den Schadenumfang an den einzelnen Waggons zu erhalten. In dem Zeitraum, auf den sich die Umfrage bezog, sind insgesamt 292 Unfälle nach /DBB 88/ dokumentiert. Zu insgesamt 196 Ereignissen /DBB 89/ wurden erweiterte Angaben zur Verfügung gestellt. Diese waren allerdings nicht in

allen Fällen von der gewünschten Präzision, so dass manchmal bei der Bestimmung der Zahl betroffener Waggons konservativ Höchstgrenzen angesetzt werden mussten.

Die Unfalldatenzusammenstellung /DBB 88/ und die Ergebnisse der speziellen

Erhebung für den Zeitraum 1983 bis 1987 bilden die Primärdaten, die für

allgemeine Zwecke, insbesondere aber für diese Studie ausgewertet und aufbereitet worden sind. Das machte die Einordnung von Unfällen in die in

Kap. 8.2.1 definierten Belastungsklassen erforderlich. Güterzugunfälle werden in die drei Geschwindigkeitsbereiche (0-35 km/h, 36-80 km/h, > 80 km/h) anhand der vor der Unfalleinwirkung aufgezeichneten

Fahrtgeschwindigkeit eingeordnet. Dabei sind alle in der Unfallstatistik aufgeführten Unfälle, mit Sachschaden an Schienenfahrzeugen über 3000 DM

berücksichtigt worden. Unterhalb eines Schadens von 3000 DM an Schienenfahrzeugen kann praktisch immer ausgeschlossen werden, dass im Falle von mitgeführten Abfallgebänden eine Freisetzung erfolgt. Im Sinne einer abdeckenden Vorgehensweise wurde dabei in Kauf genommen, dass mit dieser Relevanzgrenze auch Unfallereignisse erfasst sind, die mit Unfallbelastungen verbunden sind, denen die Abfallbehälter ohne weiteres standhalten. In der gleichen Richtung wirkt sich aus, dass die Fahrgeschwindigkeit vor dem

@65

Unfall und die damit einhergehende Bewegungsenergie der  
Transporteinheiten  
i.a.

eine obere Grenze fuer die einwirkende Aufprallbelastung darstellt, insbesondere noch, wenn unterstellt wird, dass es sich dabei um den Aufprall auf eine unnachgiebige Flaechе handelt. Auch die Einordnung von Unfallereignissen in Belastungskategorien, die jeweils einen grossen Bereich von mechanischen und/oder thermischen Belastungen umfassen, wirkt sich im weiteren Verlauf der Unfallrisikoanalysen ueberschaetzend aus, da bei der Ermittlung von Unfallauswirkungen jeweils angenommen wird, dass die Unfallbelastung derjenigen der Intervallobergrenze entspricht. Ein Unfall bei 40 km/h z.B. wird in das Geschwindigkeitsintervall 36 - 80 km/h eingeordnet und fuer die Modellierung von Unfallauswirkungen wie ein Unfall mit 80 km/h behandelt, obwohl bei letzterem die Bewegungsenergie vier mal so gross ist.

Die Zuordnung von Gueterzugunfaellen mit Brand zu den in Kap. 8.2.1 definierten beiden Klassen von Brandbelastungen ist ohne umfangreiche Einzelanalysen schwierig. In der Unfallstatistik sind Brandereignisse enthalten, bei denen die Brandentstehung durch ein offenes, leicht entflammbares Transportgut erst ermoeeglicht oder beguenstigt wurde, z.B. Entzueendung durch Funkenflug, oder bei denen Selbstentzueendung vorlag. Derartige Bedingungen sind bei den Transportbehaeltern fuer radioaktive Abfaelle nicht gegeben. Dennoch werden auch diese in der Unfallstatistik enthaltenen Brandereignisse ausnahmslos beruecksichtigt und fuer die Zwecke der Unfallrisikoanalyse als Brandbelastung eingestuft, die entweder einem Brandzeit Temperaturverlauf von 30 Minuten oder 60 Minuten bei 800 Grad C und allseitiger Brandeinhuellung der Abfallbehaelter aequivalent ist. Als eine reale Gegebenheiten stark ueberschaetzende Einstufung wurde dabei angenommen, dass in zwei von drei Brandereignissen der 30 Minuten und in einem Fall der 60 Minuten Referenzbrand vorliegt.

Eine Uebersicht ueber die Unfallhaeufigkeit im Gueterzugverkehr in Abhaengigkeit von Unfallart und Geschwindigkeit vermitteln die in Tabelle 8.3.1 zusammengestellten Daten aus /DBB 88/. Der Tabelle kann entnommen werden, wie sich fuer die Jahre 1979 bis 1988 die Gueterzugunfaelle anzahlmaessig auf die verschiedenen Unfallarten und Geschwindigkeitsbereiche aufteilen. Angegeben sind fuer die aufgefuehrten Jahre ebenfalls die insgesamt gefahrenen Gueterzug-km, so dass daraus auch die fuer eine Unfallrisikoanalyse wichtige Gesamtunfallhaeufigkeit von @66

0,34 Gueterzugunfaellen pro eine Million gefahrene Kilometer ermittelt werden kann.

In dieser Statistik nicht enthalten sind sogenannte Uebergabezuege, mit denen Gueterwaggon zwischen Ablieferern oder Empfaengern mit Gleisanschluss und dem naechsten Rangierbahnhof befoerdert werden. Da die Uebergabezuege ueberwiegend in Bereichen mit einem vergleichsweise hohen Anteil von ungesicherten Bahnuebergangenen verkehren, ist ihre Unfallhaeufigkeit erhoehrt. Unter Beruecksichtigng der Uebergabezuege erhoehrt sich die Gesamtunfallhaeufigkeit im Gueterzugverkehr auf 0,5 Unfaelle pro eine Million Gueterzugkilometer.

Der Tabelle 8.3.1 kann weiterhin entnommen werden, dass Unfaelle mit Brand oder Explosion ohne vorangehende mechanische Einwirkung etwa 8 % des Unfallgeschehens ausmachen. Braende als Folge einer vorangehenden mechanischen Einwirkung sind demgegenueber viel seltener und insgesamt in dem Bezugszeitraum von zehn Jahren nur bei drei Gueterzuegen (zwei Unfaelle, bei denen in einem Fall zwei Zuege vom Brand betroffen waren) aufgetreten. Da man nicht ausschliessen kann, dass bei einer so kleinen Zahl von beobachteten Ereignissen, die aber vergleichsweise folgenschwer sein koennen, kann man nicht ausschliessen, dass eine statistische Schwankung vorliegt, die auf eine Unterschaeztung dieser Unfallhaeufigkeit hinauslaeuft. Fuer die Zwecke der Unfallrisikoanalyse der Abfalltransporte wurde daher der statistische Erwartungswert einer Wahrscheinlichkeitsverteilung bestimmt, die die beobachtete Unfallanzahl als untere Grenze des 95%-Vertrauensbereiches zulaesst. Im Ergebnis laeuft das auf etwa eine Verdopplung der Unfallhaeufigkeit von Gueterzuegen mit einem Brand als Folge vorangehender mechanischer Einwirkung hinaus.

Wie sich aus diesen Unfalldaten und den angefuehrten weiteren Annahmen Gueterzugunfaelle anteilmaessig auf die in dieser Studie eingefuehrten Belastungsklassen 1 bis 9 aufteilen, kann Bild 8.3.1 entnommen werden. Die angegebenen relativen Haeufigkeiten der Belastungsklassen addieren sich zu 1. Danach wird in ca. 85 % aller Gueterzugunfaelle mit rein mechanischen Unfalleinwirkungen (Belastungsklassen 1, 4 und 7) gerechnet. Die restlichen ca. 11 % teilen sich auf die sechs Belastungsklassen mit kombiniert mechanischer und thermischer Einwirkung auf. Braende ohne mechanische Unfalleinwirkungen wurden konservativ dem Geschwindigkeitsbereich < 35 km/h zugeordnet. Bei der Zuordnung des Gesamtanteils der Unfaelle mit kombinierter mechanischer und thermischer

Einwirkung zu den Geschwindigkeitsklassen wurde die gleiche Aufteilung unterstellt, wie sie aus den Unfaellen mit ausschliesslich mechanischer Einwirkung ermittelt wurde.

Es ist erkennbar, dass Brandereignisse, die einem Brandzeit - Temperaturverlauf von 30 Minuten bei 800 Grad C entsprechen, doppelt so haeufig angenommen wurden wie entsprechende Ereignisse von 60 Minuten.

@#

Aufprallge-  
schwindigkeit

Relative Haeufigkeit

Minuten	Relative Haeufigkeit		
	ohne thermische Einwirkung,	bei 30 Minuten thermischer Einwirkung, 800 Grad C	bei 60 thermischer Einwirkung, 800 Grad C
0 bis 35 km/h	0,36 (BK 1)	5,9E-02 (BK 2)	2,9E-02 (BK 3)

36 bis 80 km/h 6)	0,45 (BK 4)	9,5E-03 (BK 5)	4,7E-03 (BK 6)
ueber 80 km/h 9)	8,4E-02 (BK 7)	1,8E-03 (BK 8)	8,8E-04 (BK 9)

@\$

Bild 8.3.1:

Relative Haeufigkeit der neun Belastungsklassen bei Gueterzugunfaellen

Die Kenntnis der Haeufigkeiten von Zugunfaellen und der relativen Aufteilung auf Belastungsklassen liefert allein noch keine hinreichende Grundlage, um quantitative Aussagen ueber das Risiko aus Transportunfaellen

fuer ein betrachtetes Transportaufkommen machen zu koennen. Bei vielen Eisenbahnunfaellen kommt es, auch wenn die hier zugrunde gelegte Relevanzgrenze fuer den Schadenumfang ueberschritten wird, nur zu Schaeden

am Triebfahrzeug. Besonders beim Zusammenprall an Bahnuebergaengen haelt das bei Gueterzuegen an der Zugspitze fahrende Triebfahrzeug durch seine grosse Masse oft Unfallauswirkungen von den Waggons fern. Aber auch Unfallursachen wie Brand durch Fehler am elektrischen Antrieb sind ausschliesslich auf Triebfahrzeuge beschraenkt. Selbst bei schwersten Gueterzugunfaellen ist oft ein grosser Teil der Waggons wenig oder nicht beschaedigt.

@69

Anhand der Daten aus /DBB 89/ wurden quantitative Angaben ueber die Anzahl

betroffener Waggons bei Zugunfaellen in Abhaengigkeit von der Unfallart und

der Geschwindigkeitskategorie ermittelt. Hier wurde ein Waggon als betroffen eingestuft, wenn der Sachschaden an ihm 3000 DM ueberstieg. Da entsprechend detaillierte Angaben nicht fuer alle Ereignisse verfuegbar waren, mussten oft konservative Schaetzungen der Anzahl betroffener Waggons vorgenommen werden.

Hinsichtlich der Anzahl betroffener Waggons konnte in jedem Fall eindeutig

entschieden werden, ob ueberhaupt ein Waggon betroffen war oder nur das Triebfahrzeug. In allen ausgewerteten Faellen stand mindestens eine pauschale Angabe ueber die Anzahl betroffener Waggons zur Verfuegung.

Wenn

sonst keine Angabe ueber den Schadensumfang an einzelnen Waggons vorhanden

war, wurde eine Obergrenze fuer die Zahl betroffener Waggons so gesetzt, dass bei einem angenommenen Schaden von 3000 DM je betroffenem Waggon der angegebene Gesamtschaden nicht ueberschritten wurde. In diesen Faellen war

es nicht zu vermeiden, dass zum Teil auch Bagatellschaeden erfasst wurden.

Haeufig war der Schadenumfang an einzelnen Waggons qualitativ beschrieben.

In diesen Faellen wurden solche Waggons als betroffen gewertet, bei denen gravierende Schaeden an Aufbau oder Fahrwerk nicht auszuschliessen waren.

Wenn eine Auflistung der Sachschaden an den einzelnen Waggons zur Verfuegung stand, wurde die Relevanzgrenze von 3000 DM fuer den einzelnen

Waggon angewendet.

Die fuer diese Studie wesentlichen Ergebnisse dieser Auswertung bezueglich der Haeufigkeit, mit der eine bestimmte Anzahl vom Unfall betroffener Waggons vorliegt, sind in den Bildern 8.3.2 bis 8.3.5 dargestellt. Die Bilder zeigen fuer die Geschwindigkeitsbereiche 0-35 km/h, 36-80 km/h und > 80 km/h und fuer Brandereignisse ohne vorhergehende mechanische Einwirkung, mit welcher relativen Haeufigkeit wieviele Waggons vom Unfall betroffen sind. Bei Ereignissen mit "0" betroffenen Waggons beschraenkt sich der Schaden auf das Triebfahrzeug oder liegt fuer Waggons unterhalb der Relevanzgrenze. Man erkennt, dass solche Unfaelle mit einem hohen Prozentsatz, der 50 % z.T. deutlich uebersteigt, vorkommen. Das ist darauf zurueckzufuehren, dass bei Aufprallen (auf Hindernisse) in ueber 80 % der Faelle und bei Zusammenprallen (an Bahnuebergaengen) in ueber 90 % der Faelle Waggons nicht relevant betroffen sind.

@70

Bei Braenden ohne mechanische Unfalleinwirkung ist der Brand am Triebfahrzeug, meist verursacht durch die Starkstromanlage, das haeufigste Ereignis. Mehr als die Haelfte der Brandereignisse entfallen auf das Triebfahrzeug. Es zeigte sich darueberhinaus, dass bei dieser Unfallart selbst schwere Braende kaum auf andere Waggons im Zugverband uebergreifen.

Es wurde nur ein Brand (ohne mechanische Unfalleinwirkung) mit zwei betroffenen Waggons beobachtet. Dies laesst sich allerdings nicht auf Braende uebertragen, die als Folge eines Unfallereignisses mit mechanischer Einwirkung entstehen.

Bei Entgleisungen und Zusammenstoessen (zwischen Eisenbahnfahrzeugen) ist die Wahrscheinlichkeit groesser, dass mehrere Waggons betroffen sind. Entgleisung ist die einzige Unfallart, bei der ein Schaden nur am Triebfahrzeug nicht der haeufigste Fall ist.

Die Bilder 8.3.2 bis 8.3.5 zu den Haeufigkeitsverteilungen betroffener Waggons bei Gueterzugunfaellen geben die aus den Unfallauswertungen ermittelten Ergebnisse wieder. Danach weisen die empirischen Daten, bei denen Ereignisse mit bis zu 14 relevant betroffenen Waggons enthalten sind, zwar Luecken bei manchen Waggonzahlen wegen der begrenzten Datenbasis auf, lassen aber ueberwiegend einen systematischen Verlauf erkennen. Zur Verwendung bei der Transportrisikoanalyse wurden die empirischen Daten betroffener Waggons durch Verteilungen angepasst, die die empirischen Verteilungen gut beschreiben. Dabei wurden die Ereignisse, bei denen kein Waggon (nur Triebfahrzeug) betroffen war, nicht in die Anpassung einbezogen. Aus den ermittelten Verteilungen wurden Schaetzwerte der Haeufigkeit des Eintretens eines Unfalls mit jeweils einem bis neun, sowie fuer Unfaelle mit mehr als neun Waggons bestimmt. Bild 8.3.6 fasst fuer die rein mechanischen Unfalleinwirkungen und fuer Brandereignisse ohne vorangehende mechanische Belastung die an die empirischen Daten angepassten

Verteilungen zusammen.

Ereignisse, bei denen ein Unfall mit mechanischer Einwirkung einen Brand zur Folge hat, wurden so selten beobachtet (zwei Ereignisse mit drei vom Brand betroffenen Zugeinheiten), dass eine empirische Häufigkeitsverteilung fuer die Anzahl betroffener Waggons keine Aussagekraft besitzt. Bei dieser Ereignisart ist vor allem an Zusammenstoesse (zwischen Eisenbahnfahrzeugen) oder Entgleisungen unter Beteiligung  
@71

von Kesselwaggons mit leicht entzündlichen Stoffen zu denken.

Dabei muss unterstellt werden, dass alle Waggons vom Brand betroffen werden, bei denen es aufgrund mechanischer Einwirkungen zur Freisetzung von feuergefährlichen Stoffen kommt oder die unverpackte, leichtentflammbare Ladung fuehren. Diese Unfallarten tendieren auch zu einer hoeheren Anzahl betroffener Waggons, wobei sich die Brandeinwirkung allerdings ueberwiegend auf die Waggons mit den genannten Eigenschaften beziehen wird. Hier wurde fuer die Zwecke der Risikoanalyse eine Gleichverteilung der Häufigkeit fuer Unfaelle mit jeweils einem bis zehn betroffenen Waggons unterstellt. Insgesamt erschien hier die Annahme einer Gleichverteilung auf Faelle mit bis zu zehn betroffenen Waggons fuer jede Geschwindigkeitsklasse ausreichend konservativ.

Fasst man die in Bild 8.3.1 aufgefuehrten relativen Häufigkeiten, mit denen bei Gueterzugunfaellen die verschiedenen Belastungsklassen vorliegen, mit den vorangegangenen Angaben zu den Anzahl verteilungenbetroffener Waggons zusammen, so laesst sich das statistische Datenmaterial in einer Wahrscheinlichkeitsmatrix darstellen, die in Tabelle 8.3.2 wiedergegeben ist. Die Elemente der Matrix geben den prozentualen Anteil der Gueterzugunfaelle an, die mit Belastungen entsprechend der in der ersten Spalte genannten Belastungsklasse verbunden sind und bei denen die in der ersten Zeile genannte Anzahl von Waggons betroffen ist. Die Werte in der Spalte "0 betroffene Waggons" beziehen sich auf das Triebfahrzeug. Die Summe dieser Spalte addiert sich zu 58 %, d.h. insgesamt in 58 % aller Gueterzugunfaelle ist der Schaden oberhalb der Relevanzgrenze von 3000 DM nur auf das Triebfahrzeug beschaenkt. Die Spalte "10 betroffene Waggons" steht fuer 10 und mehr betroffene Waggons. In der letzten Spalte sind jeweils zeilenweise die Werte fuer die Anzahl betroffener Waggons aufaddiert worden. Dadurch werden die in Bild 8.3.1 bereits aufgefuehrten Anteile der verschiedenen Unfallbelastungen (Belastungsklassen) am Unfallgeschehen reproduziert. Unmittelbar ersichtlich an den Zahlenwerten der Wahrscheinlichkeitsmatrix ist, dass fuer die kombiniert mechanisch-thermischen Belastungsklassen 5 und 6 sowie 8 und 9 mangels ausreichender Datenbasis angenommen wurde, dass jede Konfiguration betroffener Waggons gleich wahrscheinlich ist. An den Summenwerten der einzelnen Spalten betroffener Waggons ist zu erkennen, dass hohe Anzahlen betroffener Waggons bei Unfallereignissen zunehmend unwahrscheinlicher werden: In ca. 11,7 % der Unfaelle ist nur 1 Waggon betroffen, in  
@75

ca.

7,3 % insgesamt 2 und in ca. 1,3 % insgesamt 10 oder mehr. Diese fuer die Zwecke dieser Transportrisikountersuchung zusammengestellten Daten sind dabei durchgehend so ermittelt worden, dass sie abdeckende Werte

darstellen.

Soweit die Transporte radioaktiver Abfalle zum Endlager in sog. Ganzzuegen

- wie fuer den Transport von Abfaellen aus der Wiederaufarbeitung deutscher

Brennelemente im Ausland angenommen - erfolgen, sind die Werte in Tab. 8.3.2 fuer die Zwecke der Unfallanalyse unmittelbar anwendbar: Kommt es zu

einem Unfall eines Zuges, der ausschliesslich Waggons mit radioaktiven Abfaellen mit sich fuehrt, so laesst sich aus der Tabelle sofort ablesen, mit welcher bedingten Wahrscheinlichkeit dann z.B. ein Unfall auftritt, der

in die Belastungsklasse 4 (mechanische Einwirkung, 36-80 km/h) einzuordnen

ist, und bei dem 5 Waggons vom Unfall betroffen sind. Mit diesem Unfallausgang ist in ca. 1,5 % aller Unfaelle zu rechnen.

Fuer alle uebrigen Abfalltransporte, die nicht aus der Wiederaufarbeitung im Ausland resultieren, wird, wie in Kap. 5.2 bereits erlaeutert, angenommen, dass die Abfalle mit Buntzuegen, d. h. im ueblichen Regelgueterverkehr befoerdert werden.

Bezogen auf die in dieser Studie betrachteten Abfalltransporte bedeutet dies, dass die Abfallwaggons vereinzelt oder auch in zusammenhaengenden Gruppen Bestandteil einer groesseren Zugeinheit sind. Bei einem Gueterzugunfall wirkt sich das auf die Wahrscheinlichkeit aus, dass Waggons

mit radioaktiven Abfallbehaeltern zu den vom Unfall betroffenen Waggons zaehlen. Bei einem Buntzug, der Waggons mit radioaktiven Abfaellen mit sich

fuehrt, ist zusaetzlich die Wahrscheinlichkeit zu ermitteln, mit der bei einem Unfall mit einer bestimmten Anzahl betroffener Waggons auch solche mit Ladungen radioaktiver Abfalle zaehlen. Mit Hilfe der kombinatorischen

Wahrscheinlichkeitsrechnung lassen sich solche Fragestellungen beantworten.

Auf der Basis von statistischen Daten wurde dabei als mittlere Zahl von mitgefuehrten Waggons fuer Gueterzuege 30 angesetzt. Im Anhang werden die hierfuer durchgefuehrten Analysen eingehend behandelt und u.a. dazu verwandt, um die Unfallwahrscheinlichkeit pro Gueterwaggon-km aus der Kenntnis der Unfallwahrscheinlichkeit pro Zug-km und der Verteilung der betroffenen Waggons zu berechnen.

@76

### 8.3.2 Betriebsablaeufer und Unfallhaeufigkeiten im Rangierbahnhof Braunschweig

Waggons mit radioaktiven Abfaellen fuer das Endlager KONRAD werden rangierdienstlich behandelt, soweit sie in Zuegen des Regelgueterverkehrs befoerdert werden. Die Beschaffung von statistischen Unfalldaten im Rangierbetrieb erforderte aufwendige Nachforschungen, die nicht auf eine groessere Zahl von Rangierbahnhoefen ausgedehnt werden konnten. Es wurden daher hauptsaechlich die Daten vom Rangierbahnhof Braunschweig ausgewertet,

weil dieser durch seine Lage in der Endlagerregion von besonderem Interesse

fuer die Risikoanalyse ist. Dieser Rangierbahnhof liegt hinsichtlich der Zahl der gemeldeten Rangierunfaelle, bezogen auf die Zahl der rangierdienstlich behandelten Waggons, ueber dem Durchschnitt anderer

grosser Rangierbahnhof. Deshalb ist die Verwendung dieser Daten fuer den Rangierbahnhof Braunschweig selbst erforderlich, fuer andere Rangierbahnhoeefe abdeckend.

Die Betriebsablaeufo im Rangierbahnhof Braunschweig unterscheiden sich von denen anderer Rangierbahnhoeefe dadurch, dass die Waggons weitgehend unter Ausnutzung des natuerlichen Gefaelles ohne Triebfahrzeugeinsatz bewegt werden. Dies gilt sowohl fuer den Ablaufberg, von dem die Waggons im allgemeinen einzeln (hoechstens 4 Achsen gleichzeitig) ablaufen, als auch fuer die nachfolgenden Schienenwege (Richtungsgruppe, Ordnungsgruppe), auf denen auch groessere Wagengruppen als sogenannte Nachlaesse unter Einsatz von Bremswagen bewegt werden. Festgelegt sind Geschwindigkeitsbegrenzungen von 5 km/h fuer das Abdruecken am Ablaufberg, 7,5 km/h bei Verlassen der ersten Talbremse, 15 km/h als Zulaufgeschwindigkeit fuer das Setzen von Hemmschuhen und 25 km/h fuer Rangierabteilungen, die mit Triebfahrzeugen bewegt werden.

Das Verkehrsaufkommen besteht fast ausschliesslich aus Gueterwaggons. Etwa 100 Waggons am Tag sind Gefahrgutwaggons, davon enthalten ungefaehr 70% entzuendbare oder explosionsgefaehrliche Gueter. Fuer besonders gekennzeichnete Gefahrgueter kann Ablaufverbot gelten oder das Ablaufen erfolgt unter besonderen Vorsichtsmassnahmen.

Typische Unfallursachen sind zum Beispiel unzureichende Abstimmung der Beteiligten untereinander, fehlerhafte Hemmschuhe oder Fehler beim Hemmschuhsetzen, hartes Auflaufen, unzureichende Bremskapazitaet @78

beim Nachlassen, ungesichertes Abstellen, Verletzung der Geschwindigkeitsvorgaben oder unguenstige Massenverteilung in Wagengruppen bei hohen Druckkreaften im Wagenverband.

Viele dieser Unfallursachen fuehren jedoch im allgemeinen nur zu geringen Schaeden.

Rangierunfaelle im Rangierbahnhof Braunschweig in den Jahren 1987 bis 1989 wurden unter Anwendung der gleichen Relevanzgrenze von 3000 DM Sachschaden an Schienenfahrzeugen wie fuer Gueterzugunfaelle ausgewertet. Dabei ergaben sich in den drei Jahren 17 relevante Unfaelle; bezogen auf 2.28 Millionen ueber den Ablaufberg rangierter Waggons somit 7.5 Unfallereignisse pro 1 Million rangierter Waggons. Diese Zahl enthaelt im Gegensatz zur Auswertung der Gueterzugunfaelle keine Faelle, bei denen nur das Triebfahrzeug betroffen war.

Hinsichtlich der Unfallarten ergab sich dabei ein ueberwiegender Anteil von Unfaellen durch Zusammenstoesse und hartes Auflaufen (13 Faelle). Entgleisung und andere Ursachen waren bei den relevanten Unfaellen deutlich geringer vertreten (4 Faelle). Relevante Brandschaeden wurden in den betrachteten drei Jahren nicht verzeichnet. Ein Unfall, bei dem es nach

einer mechanischen Einwirkung zu einem Folgebrand gekommen war, ist nach Auskunft des Personals im Rangierbahnhof Braunschweig auch ueber den Untersuchungszeitraum hinaus nicht bekannt.

Bei der Zuordnung zu den in Abschnitt 8.2.1 definierten Belastungsklassen wurden alle dokumentierten Unfaelle der Klasse fuer mechanische Einwirkung

im Geschwindigkeitsbereich < 35 km/h zugeordnet. Zwar sind nicht fuer alle

Unfaelle exakte Geschwindigkeitsangaben verfuegbar, weil nur bei Triebfahrzeugen eine Fahrtschreiberaufzeichnung vorliegt. Die detaillierten

Unfallbeschreibungen lassen jedoch darauf schliessen, dass die Obergrenze dieses Intervalls mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht oder hoechstens unwesentlich ueberschritten worden ist. Im Rahmen der Risikoanalyse werden

fuer die meisten dieser Unfaelle die Auswirkungen dadurch ganz erheblich ueberschaetzt werden, dass ein Aufprall auf ein unnachgiebiges Hindernis mit einer Geschwindigkeit entsprechend der Obergrenze des Geschwindigkeitsintervalls angenommen wird. Eine eventuelle geringe Unterschaeztung im Einzelfall wird durch diesen insgesamt konservativen Ansatz mehr als kompensiert.

@79

Unfaelle mit Brand sind auch im Rangierbetrieb nicht grundsaeztlich auszuschliessen, auch wenn sie im Rangierbahnhof Braunschweig im Untersuchungszeitraum nicht beobachtet wurden. Es ist davon auszugehen, dass die Haeufigkeit von Braenden wesentlich dadurch bestimmt wird, welcher

Anteil der transportierten Ladung entflammbar oder feuergefaehrlich ist. Weil die Ladung im Rangierbetrieb in gleicher Weise verteilt ist wie im Gueterzugverkehr, wurde fuer die Zwecke der Risikoanalyse angenommen, dass

Unfaelle mit Brand im Rangierbetrieb den gleichen Anteil an der Gesamtheit

der Unfaelle haben wie im Gueterzugverkehr. Diese Annahme ist konservativ,

weil im Rangierbetrieb einige Brandursachen entfallen oder sich nicht auswirken, die im Gueterzugverkehr eine Rolle spielen. Hierzu gehoeren zum

Beispiel heissgelaufene Achslager oder Bremsen oder Zusammenprall an Bahnuebergaengen mit (Strassen-)Fahrzeugen, die feuergefaehrliche Stoffe als Treibstoff oder Ladung mitfuehren. Die getroffene Annahme bedeutet, dass etwa ein Brandunfall auf 1.7 Millionen rangierte Waggons unterstellt wird. Entsprechend wurde auch die Zuordnung zu den Referenzbraenden von halb- beziehungsweise einstuendiger Dauer wie bei Gueterzugunfaellen im Verhaeltnis zwei (halbstuendig) zu eins (einstuendig) vorgenommen.

Im Hinblick auf Unfaelle mit mechanischer Einwirkung, die einen Brand zur Folge haben, war ebenfalls der Gesichtspunkt zu beruecksichtigen, dass im Rangierverkehr insgesamt nur geringe Geschwindigkeiten gefahren werden. Deshalb wurde auch hier angenommen, dass alle Unfaelle mit kombinierten mechanischen und thermischen Einwirkungen den Belastungsklassen 2 und 3, vgl. Bild 8.1 zuzuordnen sind.

Fuer die Zahl der bei Unfaellen betroffenen Waggons gilt, wie bei Gueterzugunfaellen, dass am haeufigsten nur ein Waggon betroffen ist. Die Haeufigkeit, mit der mehrere Waggons betroffen sind, nimmt aber beim Rangierbetrieb noch staerker ab als beim Gueterzugverkehr. Unfaelle mit mehr als fuenf betroffenen Waggons wurden nicht beobachtet. Damit sind im

Mittel weniger Waggons bei einem Unfall betroffen, als bei Gueterzugunfaellen im gleichen Geschwindigkeitsintervall (0-35 km/h). Dies

ist wohl hauptsaechlich darauf zurueckzufuehren, dass im Rangierbetrieb haeufiger kleinere Wagengruppen oder Einzelfahrzeuge in den Unfall verwickelt sind, ausserdem nicht so viele entgleiste Waggons bei den kleinen Geschwindigkeiten. Die empirische Verteilung

@80

der relativen Haeufigkeit einer bestimmten Zahl betroffener Waggons ist in Bild 8.3.7 graphisch dargestellt.

Fuer Brandunfaelle und mechanische Unfaelle mit Folgebrand wurde auch bezueglich der Zahl betroffener Waggons die fuer Gueterzugunfaelle verwendete Verteilung uebertragen. Insbesondere wurde auch hier konservativ eine Gleichverteilung der Anzahl betroffener Waggons fuer Unfaelle mit kombinierter mechanischer und thermischer Einwirkung angenommen. Allerdings geht diese Verteilung nur bis zu fuenf betroffenen Waggons, um die bei den Rangierunfaellen im Mittel geringere Anzahl betroffener Waggons zu beruecksichtigen.

Entsprechend der Vorgehensweise bei Gueterzugunfaellen wurden auch fuer die Rangierunfaelle die Ergebnisse in einer Matrix der Eintrittswahrscheinlichkeiten zusammengefasst, die in Tabelle 8.3.3 wiedergegeben ist. In der zuvor erlaeuterten Verteilung der Haeufigkeit betroffener Waggons sind ferner die Spalten fuer mehr als fuenf betroffene Waggons sowie die Geschwindigkeitsklassen 36 bis 80 km/h und mehr als 80 km/h unbesetzt. Fuer Unfaelle der Belastungsklasse 1 wurde unmittelbar die beobachtete Verteilung verwendet, ohne die Daten durch eine statistische Verteilungsfunktion anzupassen. Daher bleibt in dieser Belastungsklasse das Feld fuer drei betroffene Waggons leer.

Fuer die Risikoanalyse ist auch bei den Rangierunfaellen der Gesichtspunkt zu beruecksichtigen, dass bei Unfaellen mit mehreren betroffenen Waggons nicht alle radioaktiven Abfall transportieren. Die entsprechenden kombinatorischen Wahrscheinlichkeiten wurden daher auch fuer diesen Fall beruecksichtigt. Dazu war es erforderlich, ein Modell zugrundezulegen, das die Haeufigkeit des Auftretens von Waggons mit radioaktivem Abfall in einer angenommenen Unfallumgebung beschreibt. Aufgrund der betrieblichen Ablaeufe wurde als Unfallumgebung ein Zugverband angenommen, der zum weiteren Transport der Waggons in Richtung Uebergabebahnhof Beddingen zusammengestellt wird. Dieser ist entsprechend den Annahmen fuer den Gueterzugverkehr durch eine Zusammenstellung von durchschnittlich 30 Waggons, davon gleichverteilt bis zu neun Waggons mit radioaktiven Abfaellen, charakterisiert. Damit konnte die fuer den Gueterzugverkehr entwickelte Methodik sinnngemaess angewendet werden.

@82

### 8.3.3 Unfallhaeufigkeiten beim Strassentransport

Bei der Bestimmung der Unfallhaeufigkeiten fuer den Strassentransport aus statistischen Daten sind Bedingungen zugrunde zu legen, die mit den Bedingungen vergleichbar sind, unter denen die Transporte tatsaechlich durchgefuehrt werden. Dies betrifft die fuer eine potentielle Unfallumgebung relevanten Merkmale der verwendeten Transportfahrzeuge sowie der Transportstrecken. Als Transportfahrzeuge kommen aufgrund des Gewichts der vorgesehenen Transporteinheiten im allgemeinen nur Sattelzuege in Frage. Von der Streckenfuehrung her ist ein Transportauf Autobahnen und - im naeheren Bereich des Endlagers auf autobahnaehnlich ausgebauten Streckenabschnitten moeglich und wahrscheinlich. Die Bestimmung der zu erwartenden Unfallhaeufigkeiten gemaess Anhang III erfolgte daher unter diesen Randbedingungen.

Eine weitere Eingrenzung der ausgewerteten Datengrundlage besteht darin, dass keine Unfaelle von Sattelzuegen betrachtet wurden, an denen sonst nur leichte Fahrzeuge (Kraftraeder, PKW) beteiligt waren. Es konnte naemlich gezeigt werden, dass solche Unfaelle ueberwiegend nicht zu Einwirkungen auf Sattelzuege fuehren, bei denen die Ladung gefaehrdet ist. Auch Unfaelle mit Sachschaeden unter 3000 DM wurden nicht beider Bestimmung der Unfallhaeufigkeit mitgerechnet. Diese Grenze, die durch das verfuegbare Datenmaterial bestimmt wurde, erscheint im Vergleich zu den wirklich relevanten Einwirkungen sehr konservativ, so dass sicher auch viele Unfaelle erfasst wurden, bei denen tatsaechlich keine Gefaehrdung des Ladeguts gegeben war.

Eigene Auswertungen von Primaerdaten konnten aufgrund des damit verbundenen Aufwands nur begrenzt durchgefuehrt werden. Daher wurde hinsichtlich der relativen Haeufigkeit bestimmter Unfalleinwirkungen im wesentlichen auf Ergebnissen von /PSE 85/ aufgebaut, die durch eigene Auswertungen und andere Literaturergebnisse ergaenzt wurden. Diese Ergaenzungen betreffen vor allem die Annahmen zur Aufteilung der Brandereignisse auf die beiden Referenzbraende (800 Grad C/30 min bzw. 800 Grad C/60 min) und die Aufteilung in Alleinunfaelle und Unfaelle mit mehreren Beteiligten. Letztere wirkt sich in Verbindung mit der Haeufigkeit entflammbarer Ladung beim Unfallpartner auf die Haeufigkeit der Belastungsklassen mit thermischer Einwirkung (Brand) aus.

@83

Die Gesamtunfallrate fuer Sattelzuege auf Bundesautobahnen wurde mit  $3.5E-7$  pro km ermittelt. Dieses Ergebnis beruht auf Unfallzahlen aus dem Jahre 1987, wobei Angaben ueber den Anteil der Fahrleistung auf Autobahnen an der Gesamtleistung (53%) aus dem Jahre 1980 benutzt wurden. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Angaben die gegenwaertigen Verhaeltnisse noch gut beschreiben.

Die ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten fuer die einzelnen Belastungsklassen sind in Bild 8.3.8 zusammengefasst. Die angegebenen relativen Wahrscheinlichkeiten addieren sich zu 1 (d.h. es tritt irgendeine

der Belastungsklassen ein, wenn ein Unfall geschieht). Mit rein mechanischen Unfalleinwirkungen ist in fast 98% aller Unfaelle zu rechnen (Summe der Belastungsklassen 1, 4 und 7), wobei die Haelfte aller Unfaelle

in den Geschwindigkeitsbereich bis 35 km/h faellt. Bedingt durch die geltenden Geschwindigkeitsvorgaben fuer LKW liegen nur in knapp 5 % der Unfaelle Geschwindigkeiten von ueber 80 km/h vor.

In 2.3 % der Unfaelle kommt es zu einem Brand. Dabei sind etwa 7.4 % der Brandunfaelle durch den Referenzbrand mit 60 Minuten Branddauer zu beschreiben, waehrend die uebrigen durch den 30-Minuten-Brand abgedeckt sind. Im Vergleich zum Schienenverkehr ist dies ein Hinweis, dass dort aufgrund einer sehr kleinen Datenbasis die Aufteilung sehr konservativ abgeschaezt wurde, indem ein Drittel der Unfaelle dem Referenzbrand von 60

Minuten Dauer und zwei Drittel dem Referenzbrand von 30 Minuten Dauer zugeordnet wurden. Die Verteilung der Brandunfaelle auf die Geschwindigkeitsbereiche weicht wenig von der Verteilung bei den Unfaellen

mit nur mechanischer Einwirkung ab. Dies weist darauf hin, dass Unfaelle, bei denen es zu einem Brand gekommen ist, ohne dass eine mechanische Unfalleinwirkungen vorgelegen haette, im Gegensatz zum Schienenverkehr selten sind. Solche Unfaelle wuerden naemlich zu einer staerkeren Besetzung

des Geschwindigkeitsbereichs 0 bis 35 km/h beiden Brandunfaellen fuehren.

Beim Strassentransport entsprechen die Daten aus Bild 8.3.8 unmittelbar der

Matrix der Eintrittswahrscheinlichkeiten, wie sie fuer den Schienenverkehr

in Tabelle 8.3.2 bzw. 8.3.3 angegeben sind. Die

Eintrittswahrscheinlichkeiten aus Bild 8.3.8 werden als Eingangsdaten fuer

das in Abschnitt 8.4 beschriebene Unfallsimulationsprogramm verwendet.

@84

@#

Aufprallgeschwindigkeit Minuten	Relative Haeufigkeit		
	ohne thermische Einwirkung	bei 30 Minuten thermischer Einwirkung, 800 Grad C	bei 60 thermischer Einwirkung, 800 Grad C
0 bis 35 km/h 3)	0,4990 (BK 1)	1,05E-02(BK 2)	8,40E-04(BK 3)
36 bis 80 km/h 6)	0,4307 (BK 4)	9,45E-03(BK 5)	7,56E-04(BK 6)
ueber 80 km/h 9)	0,0476 (BK 7)	1,05E-03(BK 8)	8,40E-05(BK 9)

@\$

Bild 8.3.8:

Relative Haeufigkeit der neun Belastungsklassen bei Unfaellen im Strassentransport

#### 8.3.4 Uebertragbarkeit der Unfalldaten auf den Standortbereich

Grundsätzlich stellt sich die Frage, wie gut die bundesweit (alte Bundesländer) erhobenen Daten zur Unfallhäufigkeit auf die Standortregion, insbesondere den betrachteten Umkreis im Radius von 25 km um das Endlager uebertragbar sind. Das betrachtete Gebiet ist zu klein, um signifikante Abweichungen aus einer regionalen Unfallstatistik ableiten zu koennen. Dies gilt besonders fuer den Schienenverkehr. Daher ist man im wesentlichen auf eine qualitative Beurteilung regionaler Besonderheiten angewiesen, welche Abweichungen der Unfallhäufigkeiten in guentiger oder unguentiger Weise erwarten lassen.

Im Hinblick auf den Rangierbetrieb wurden fuer die Risikoabschaetzung unmittelbar die Unfalldaten fuer den Rangierbahnhof Braunschweig zugrunde gelegt, auf dem - abgesehen vom Uebergabebahnhof Beddingen - die in der Endlagerregion anfallende Rangiervorgaenge auch tatsaechlich abgewickelt werden. Damit eruebrigt sich eine Pruefung der Uebertragbarkeit. Die Unfallhäufigkeit in diesem Rangierbahnhof liegt unter anderem @85

aufgrund des Gefaelles im Bereich des Rangierbahnhofs ueber dem Durchschnitt anderer grosser Rangierbahnhoeefe.

Im Uebergangsbahnhof Beddingen sind bei Anlieferung der Abfallwaggons in Buntzuegen unter der Betriebsfuehrung der VPS weitere Rangiervorgaenge erforderlich. Diese finden, wie in Braunschweig, grundsatzlich am Ablaufberg statt. Es ist jedoch nicht die unfallbeguenstigende Situation eines Gefaelles im weiteren Bereich des Rangierbahnhofs gegeben. Mit Gefahrgutzetteln gekennzeichnete Waggons mit radioaktivem Abfall wuerden nach Angaben der VPS nicht am Ablaufberg rangiert. Dies gilt auch fuer Wagen, die bereits zu Gruppen zusammengefasst sind, was durch die vorhergehende rangierdienstliche Behandlung in Braunschweig bei den Abfallwaggons haeufig der Fall sein duerfte. Solche Wagen werden unter Umgehung des Ablaufbergs mit Triebfahrzeugeinsatz auf signaltechnisch gesicherten Fahrstrassen direkt dem Richtungsgleis zugefuehrt. Fuer solche Fahrten im Bereich des Rangierbahnhofs gilt eine Geschwindigkeitsbegranzung von 25 km/h. Das Gleissystem im Rangierbereich ist viel kleiner und uebersichtlicher als zum Beispiel in Braunschweig und die Kontrolle des insgesamt viel geringeren Rangieraufkommens durch wenige Personen reduziert die Moeglichkeiten von Unfaellen durch mangelnde Abstimmung innerhalb des Rangierpersonals betraechtlich. Viele Unfaelle sind auf diese Ursache zurueckzufuehren. Abstimmungsprobleme werden auch durch die Durchfuehrung der Rangierfahrt im Fernsteuerbetrieb vermieden, bei dem der Triebfahrzeugfuehrer unmittelbarer die Kontrolle ueber die uebrigen Betriebsvorgaenge wahrnehmen kann.

Auch von der technischen Ausruestung und der Betriebsfuehrung her sind die sicherheitsrelevanten Merkmale im Bereich der VPS denen bei der Deutschen Bundesbahn aequivalent. Dies wird durch Angaben der VPS gestuetzt, dass im Verlauf der letzten 10 Jahre bei Betriebsvorgaengen, wie sie hier zu erwarten sind, keine Unregelmaessigkeiten zu verzeichnen waren. Insgesamt

kann daher unterstellt werden, dass das Unfallrisiko bezogen auf die Zahl behandelter Waggons im Uebergabebahnhof Beddingen geringer sein wird als im Rangierbahnhof Braunschweig.

Beim Gueterzugverkehr wird nach derzeitiger Einschätzung in der Endlagerregion soweit es die Deutsche Bundesbahn betrifft, vor allem die @86

Strecke Hannover - Braunschweig von den abfalltransporten betroffen sein. Im Umkreis vom Radius 25 km um das Endlager liegt hier der Streckenabschnitt Voehrum Rangierbahnhof Braunschweig. Beansprucht werden eventuell auch die Strecken Braunschweig - Helmstedt (abhaengig vom kuenftigen Entsorgungskonzept fuer die neuen Bundeslaender) sowie geringem

Ausmass die Strecke Hildesheim - Braunschweig, die ab Grossgleidungen mit der Strecke Hannover - Braunschweig zusammenfaellt.

Weder die vorliegenden Unfalldaten, soweit sie sich auf die Region beziehen, noch die verfuegbaren Informationen ueber sicherheitsrelevante Merkmale der Streckenfuehrung bzw. des Streckenausbaus geben einen Hinweis, dass die Unfallgefaehrung auf diesen Strecken groesser sein koennte, als im Durchschnitt des Bundesgebietes. So liegt z.B. der Anteil eingleisiger Strecken, bei denen ein hoeheres Risikopotential vermutet werden kann, bei den im 25 km-Umkreis fuer die Abfalltransporte in Frage kommenden Strecken mit 34 % (18 km von Hoheneggelsen bis Grossgleidungen) deutlich unter dem Anteil von 54 % im alten Bundesgebiet (bezogen auf die Betriebslaenge). Hierzu kommt, dass dieser Streckenabschnitt voraussichtlich nur in geringem Umfang von den Abfalltransporten betroffen sein wird. Auch die Haeufigkeit hoehengleicher Bahnuebergaenge ist im 25 km Umkreis mit 0,57 Uebergaengen pro km Betriebslaenge im Bundesgebiet. Durch die topographischen Gegebenheiten der im wesentlichen ebenen Landschaft werden potentiell unfallbeguenstigende Streckenmerkmale (z.B. enge Kurvenradien) oder Merkmale, die Unfallfolgen verschaeerfen koennen (z.B. grosse Absturzhoehen) weitgehend vermieden.

Eventuelle Umschichtungen des Verkehrsaufkommens aufgrund des zunehmenden Verkehrs in die neuen Bundeslaender sind zur Zeit nur spekulativ zu beurteilen. Es spricht jedoch viel dafuer, dass es infolge dieser Entwicklung mittelfristig eher zu einem verbesserten Streckenausbau mit erhoelter Verkehrssicherheit kommen wird.

Fuer die Transporte durch die VPS vom Uebergabebahnhof Beddingen zum Endlager kann bezueglich der sicherheitstechnischen Ausstattung der Betriebsmittel sowie hinsichtlich der Betriebsfuehrung ein aequivalenter Sicherheitsstandard wie bei der Deutschen Bundesbahn unterstellt werden. Die Begrenzung der Zuggeschwindigkeit auf 40 km/h im gesamten @87

Netz der VPS fuehrt bei den meisten denkbaren Unfallsituationen zu einer erheblichen Reduzierung der moeglichen Unfallauswirkungen.

Daher wird das Risiko fuer diese Transportstrecke durch Verwendung der Daten aus dem Gueterzugverkehr der Deutschen Bundesbahn sicher ueberschaetzt.

Beim Strassentransport erlaubt die Lage des Endlagerstandortes den Antransport der Abfalle nahezu ausschliesslich auf Bundesautobahnen mit Ausnahme eines kurzen, autobahnaehnlich ausgebauten Streckenabschnitts in unmittelbarer Naehе der Anlage. Daher wurde zur Ermittlung des Transportrisikos die Unfallhaeufigkeit der in Frage kommenden Transportfahrzeuge auf Autobahnen zugrunde gelegt. Der Ausbauzustand dieser

Verkehrswege entspricht dem Standard, so dass fahwegbedingt keine unguenstigeren Bedingungen wie im Durchschnitt des Bundesgebiets zu erwarten sind. Die topographische Situation in der Region fuehrt im Gegenteil dazu, dass bestimmte risikobehaftete Streckenabschnitte wie starke Steigungen und kurvenreiche Strecken nicht vorkommen. Gleiches gilt

wie beim Schienenverkehr fuer Abschnitte, die Unfallfolgen verschaeerften koennen, z.B. durch grosse Absturzhoehen.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass es keine Hinweise gibt, die eine Uebertragbarkeit der zugrundegelegten Unfalldaten auf die Endlagerregion in

Frage stellen wuerden. In einigen Punkten kann davon ausgegangen werden, dass mit der Uebertragung der Unfalldaten auf die Endlagerregion eine Ueberschaetzung des Risikos verbunden ist.

#### 8.4 Transportunfallsimulation - Quelltermbestimmung

Bei einem Transportunfall bestimmen mehrere Einflussgroessen das Ausmass der dabei freigesetzten radioaktiven Stoffe:

- Die Hoehe der durch den Unfall auf Transporteinheiten mit radioaktiven Abfaellen einwirkenden mechanischen und thermischen Belastungen. Hierzu wurden 9 Belastungsklassen definiert.
- Die Anzahl der von den Unfalleinwirkungen betroffenen Transporteinheiten. Diese haengt sowohl von der Anzahl befoerderter Transporteinheiten pro Fahrzeug als auch im Fall des Guetertransports von der Anzahl betroffener Abfallwaggons ab.

@88

- Die Abfallbehaelter- und Abfallprodukteigenschaften (8 Abfallgebindegruppen) vom Unfall betroffener Transporteinheiten und deren jeweiliger Inhalt an radioaktiven Stoffen bestimmen, zu welcher freigesetzten Radioaktivitaet verschiedener Radionuklide es durch den Unfall kommen kann.

Um das Spektrum moeglicher Unfallablaeufo bis hin zu den dabei moeglichen Freisetzungen radioaktiver Stoffe und unter Beruecksichtigung der zu erwartenden Haeufigkeit der Ereignisse zu erfassen, wurde ein Unfallsimulationsprogramm eingesetzt. Dieses Programm beruecksichtigt das betrachtete Transportaufkommen (217 Referenzabfalle und deren relative Haeufigkeit), unterschiedliche Transportkonstellationen wie Anzahl der Abfallwaggons im Gueterzug und deren Beladung, die moeglichen Unfallbelastungen (9 Belastungsklassen) und erzeugt darauf basierend eine Vielzahl von Quelltermen, die fuer moegliche unfallbedingte Freisetzungen von Radionukliden repraesentativ sind. Gleichzeitig wird die Haeufigkeit, mit der das Auftreten solcher Freisetzungseignisse zu erwarten ist,

erfasst. Alle in vorangehenden Kapiteln aufgefuehrten abdeckenden Annahmen bei Festlegungen von Werten, die die Freisetzung aus Abfallbehaeltern und Haeufigkeiten von Unfallbelastungen bestimmen, sind Bestandteil des Simulationsprogramms.

Wie die einzelnen Anlieferungsmodelle fuer den Transport radioaktiver Abfaelle auf Schiene und Strasse im Simulationsprogramm realisiert werden und wie Transportunfaelle simuliert und dafuer eine so grosse Anzahl von Quelltermen ermittelt werden, dass das Transportaufkommen und Unfallspektrum repraesentativ erfasst wird, wird im folgenden kurz erlaeutert. Dazu werden fuer den Gueterzugverkehr, den Rangierbetrieb und fuer Strassentransporte die

- Beladung von Transportfahrzeugen
- Simulation von Transportunfaellen
- Bestimmung der freigesetzten Aktivitaet

behandelt.

@89

#### 8.4.1 Abfalltransport im Gueterzugverkehr

Beladung von Abfallwaggons

Fuer den Transport auf der Schiene werden folgende Annahmen zugrundegelegt:

- Jeweils zwei Transporteinheiten befinden sich auf einem Gueterwaggon.
- Abfaelle aus der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente im Ausland werden in Ganzzuegen aus 20 Waggons, die jeweils zwei Transporteinheiten fuehren, befoerdert.
- Abfaelle sonstiger Verursacher werden im Regelgueterzugverkehr, also in sog. Buntzuegen befoerdert. Dabei wird fuer die Endlagerregion, in der aufgrund von Rangiervorgaengen haeufiger Abfallwaggons verschiedener Verursacher in einem Gueterzug mitgefuehrt werden koennen, angenommen, dass der Zugverband mit gleicher Haeufigkeit 1, 2, 3 usw. bis maximal 9 solcher Waggons fuehrt. Die Obergrenze resultiert aus der Begrenzung der Einlagerungskapazitaet im Endlager auf maximal 17 bis 18 Transporteinheiten pro Tag bei einschichtigem Betrieb.
- Abfallgebinde werden im Endlager in Kampagnen von Behaeltern mit gleichen Aussenabmessungen (Einlagerungsbehaelterklassen gemass Tab. 3.1) eingelagert, so dass ein Gueterzug einheitliche Abfallbehaeltertypen mit sich fuehrt.

Mit diesen Festlegungen fuehren Regelgueterzuege mit Abfallwaggons im Mittel 5 solcher Waggons mit zusammen 10 Transporteinheiten mit sich, Ganzzuege 20 Waggons mit insgesamt 40 Transporteinheiten. Damit ist in der Endlagerregion bei Einlagerung von jaehrlich 3400 Transporteinheiten und

unter Beruecksichtigung, dass ca. 52 % davon (vgl. Bild 3.2) aus der Wiederaufarbeitung resultieren, bei 100 % Schienenbefoerderung folgendes Transportaufkommen zu erwarten:

- 44 Ganzzuege,
- 164 Regelgueterzuege.

Fuer die Regelgueterzuege wird auf der Basis von Bundesbahnstatistiken als mittlere Anzahl mitgefuehrter Gueterwaggon 30 genommen.

@90

Zugumstellungen wie im Rangierbahnhof Braunschweig fuehren dazu, dass Regelgueterzuege in der Endlagerregion haeufiger Abfallsendungen verschiedener Ablieferer mit sich fuehren. Das wirkt sich verglichen mit der bundesweiten Befoerderung in einer geringeren Anzahl von Regelgueterzuegen aus, die dafuer aber im Mittel mehr Abfallwaggon mit sich fuehren. Ausserhalb der Endlagerregion werden, wie bei der Ermittlung von Strahlenexpositionen aus dem bestimmungsgemaessen Transport angenommen, eine groessere Anzahl von Gueterzuegen im Mittel entsprechend weniger Waggon mit sich fuehren. Diese Annahmen beeinflussen die Ergebnisse der Studie wenn ueberhaupt nur unwesentlich.

Die in Tab. 8.3.2 zusammengestellten statischen Daten zur relativen Haeufigkeit verschiedener Unfallbelastungen und Anzahl betroffener Waggon erfassen auch Ereignisse, bei denen bis zu 10 Waggon von Unfall betroffen sind. Die obigen Randbedingungen zur Beladung von Ganzzuegen und Regelgueterzuegen fuehren dazu, dass vom Simulationsprogramm Unfaelle simuliert werden, bei denen 1, 2, .. bis maximal 10 Waggon mit radioaktiven Abfallgebinden betroffen sind. Dabei werden jeweils auch die erwarteten Eintrittshaeufigkeiten solcher Ereignisse beruecksichtigt, die fuer hohe Unfallbelastungen und grosse Anzahl betroffener Waggon entsprechend niedrig sind (vgl. Tab. 8.3.2).

Die Belegung der Zuege mit radioaktivem Abfallgebinde erfolgt mittels sog. Monte-Carlo Simulation, einem statistischen Verfahren um verschiedene Konstellationen unter Beruecksichtigung zugrundeliegender statischer Daten zu erzeugen. Das Verfahren ist in Bild 8.4.1 vereinfacht skizziert.

In einem ersten Schritt wird bestimmt, ob es sich bei dem simulierten Transport um einen Ganzzug oder Buntzug handelt.

Danach wird jeweils die Einlagerungsbehaelterklasse festgelegt. Dabei wird die Haeufigkeitsverteilung verschiedener Abfallbehaelertypen, wie in Bild 3.3 dargestellt, beruecksichtigt. Alle Abfallgebinde eines simulierten Transportes haben dieselbe Einlagerungsbehaelterklasse wegen kampagnenweiser Einlagerung.

@92

Fuer Ganzzuege ist die Anzahl der Waggon mit Transporteinheiten auf 20 festgelegt, fuer Buntzuege wird die Anzahl (nwag) mit einer aus dem

Wertebereich 1, 2, 3, ..., 9 ermittelten beliebigen Zufallszahl festgelegt.

Es folgt eine Schleife, die n mal (Buntzug) bzw. 20 mal (Ganzzug) durchlaufen wird, um die Beladung der Waggons mit Transporteinheiten zu erzeugen.

Dabei wird fuer jeden Waggon der Abfallverursacher festgelegt unter Beruecksichtigung seines Aufkommens an Transporteinheiten der ausgewaehlten Einlagerungsbehaelterklasse. D.h. ein Abfallverursacher ist bei diesem Verfahren umso haeufiger vertreten, je hoeher sein Anteil am Transportaufkommen der vorher festgelegten Einlagerungsbehaelterklasse ist. Fuer Ganzzuege kommen dabei nur als Verursacher COGEMA und BNFL, fuer Buntzuege alle uebrigen Abfalllieferer in Betracht.

Als letzter Schritt werden fuer die beiden Transporteinheiten eines jeden Waggons Abfallgebinde festgelegt. Aus den Prognosen der Abfallverursacher zum Abfallaufkommen, die vom Bundesamt fuer Strahlenschutz (BfS) bei den Abfallverursachern erhoben wurden, liegen dazu fuer jeden Abfallverursacher und jede Einlagerungsbehaelterklasse kumulative Haeufigkeitsverteilungen unterschiedlicher Referenzabfaelle vor.

#### Simulation von Transportunfaellen

Die Vorgehensweise bei der Simulation von Unfallablaeufen zur Ermittlung des gesamten Spektrums moeglicher Auswirkungen mit ihren Eintrittswahrscheinlichkeiten soll anhand des Bildes 8.4.2 fuer den Gueterzugverkehr erlaeutert werden. Das Verfahren laeuft darauf hinaus, dass getrennt fuer jede der 9 Belastungsklassen (vgl. Kap. 8.2.1) jeweils 500 verschiedene Beladungskonfigurationen von Gueterzuegen, wie oben anhand Bild 8.4.1 beschrieben, simuliert werden. Die Anzahl n<sub>wag</sub> der Waggons mit radioaktiven Abfallgebinden ist dabei fuer Ganzzuege auf 20 festgelegt, fuer Buntzuege nimmt n<sub>wag</sub> mit gleicher Wahrscheinlichkeit die Werte 1, 2, 3, usw. bis 9 ein. Zugunfaelle koennen dazu @93

fuehren, dass 1, 2, 3 etc.

Abfallwaggons dabei betroffen sind, wobei entsprechend Tabelle 8.3.2 Unfaelle mit bis zu 10 betroffenen Abfallwaggons beruecksichtigt werden. Allerdings treten diese Faelle mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit auf. Fuer Ganzzuege koennen, wie in Kapitel 8.3.1 erlaeutert, diese relativen Haeufigkeiten abhaengig von der Belastungsklasse unmittelbar aus Tabelle 8.3.2 abgelesen werden. Fuer Buntzuege haengen diese Wahrscheinlichkeiten zusaetzlich davon ab, wieviele (n<sub>wag</sub>) Abfallwaggons unter insgesamt 30 Gueterwaggons im Zugverband mitgefuehrt werden.

Das Verfahren der Belegung von Abfallwaggons mit jeweils zwei Transporteinheiten einer bestimmten Kategorie fuehrt zu einer durchnumerierten Anzahl von n<sub>wag</sub> (9 beim Buntzug, 20 beim Ganzzug) beladenen Abfallwaggons. Das Simulationsprogramm erzeugt jetzt Quellterme fuer Unfallereignisse, bei denen Abfallwaggon 1, Abfallwaggons 1 und 2, Abfallwaggons 1, 2 und 3, usw. von Unfaellen einer Belastungsklasse betroffen sind. Bei Ganzzuegen wird diese Reihe fortgesetzt, bis ein

Quellterm erzeugt ist, bei dem 10 Abfallwaggons betroffen sind. Bei Buntzuegen wird das Verfahren fortgesetzt, bis ein Quellterm fuer  $n_{wg}$  ( $\leq 9$ ) betroffene Abfallwaggons berechnet wurde. Gleichzeitig wird - ein Zugunfall unterstellt - die bedingte Wahrscheinlichkeit der jeweiligen Unfallkonstellation und damit des dazugehoerigen Quellterms abgespeichert.

Ebenfalls abgespeichert wird jeweils die Belastungsklasse, da bei den spaeter zu berechnenden potentiellen Strahlenexpositionen fuer die atmosphaerische Ausbreitung zu unterscheiden ist, ob die Freisetzung ohne oder mit Brand erfolgt ist. Insgesamt werden somit fuer jede simulierte Zugbelegung bei Ganzzuegen jeweils 10 und bei Buntzuegen jeweils eine Anzahl von  $n_{wg}$  (die Anzahl der vorher festgelegten Waggons mit radioaktiven Abfaellen) Quellterme erzeugt. Dabei werden auch die Unfallereignisse registriert, bei denen die Abfallbehaelter den Belastungen

standhalten (vgl. Tab. 8.2.1) und es zu keiner Freisetzung radioaktiver Stoffe kommt. Das in Bild 8.4.2 skizzierte Verfahren fuehrt bei jeweils 500

Beladungskonfigurationen fuer die 9 Belastungsklassen zu insgesamt ca. 27000 ( $9 \times 500 [0.21 \times 10 + 0.79 \times 5]$ ) generierten Quelltermen, die das Spektrum moeglicher Freisetzungen bei Gueterzugunfaellen repraesentieren.

@95

#### 8.4.2 Abfalltransport mit LKW

Beim Transport von radioaktiven Abfaellen auf der Strasse wird aufgrund der

Groesse und des Gewichts der Transporteinheiten angenommen, dass jeweils eine Transporteinheit auf einem Sattelzug befoerdert wird. Zur Simulation von Beladungen von LKW, von Unfallbelastungen und daraus resultierenden Quelltermen ist das Verfahren analog wie in Bild 8.4.1 und 8.4.2 mit der Vereinfachung, dass nur ein mit einer Transporteinheit beladenes Fahrzeug vom Unfall betroffen ist. Beim Festlegen der Beladung wird die Auswahl jeweils unter allen Abfalllieferern, unter Beruecksichtigung des jeweiligen

Aufkommens verschiedener Referenzabfaelle getroffen, mit Ausnahme der Abfaelle aus der Wiederaufarbeitung im Ausland, fuer die durchgehend angenommen wird, dass sie auf der Schiene transportiert werden.

Fuer jede der 9 Belastungsklassen werden wiederum, unabhaengig von ihrem relativen Anteil am Unfallspektrum, jeweils 500 Beladungen mit jeweils einer Transporteinheit erzeugt, dafuer die freigesetzte Aktivitaet einzelner Radionuklide (Quellterm) bestimmt und gleichzeitig die relative Haeufigkeit der jeweiligen Belastungsklasse (Unfall vorausgesetzt, vgl. Bild 8.3.3) miterfasst. Insgesamt wurden somit 4500 ( $9 \times 500$ ) Quellterme generiert, die das Spektrum moeglicher Freisetzungen bei Lkw-Unfaellen repraesentieren.

#### 8.4.3 Rangierbahnhof Braunschweig

Waggonbeladungen, Unfallbelastungen und daraus resultierende Quellterme bei

Rangierunfaellen werden ganz analog zu dem in Kapitel 8.4.1 dargestellten Vorgehen beim Gueterzugtransport simuliert mit folgenden Abweichungen:

- Fuer die Beladung von Gueterwaggons kommen alle Referenzabfaelle in Frage mit Ausnahme der aus dem Ausland zurueckgefuehrten Abfaelle aus der Wiederaufarbeitung, fuer deren Antransport der Einsatz von Ganzzuegen vorausgesetzt wird, die unmittelbar zum Endlager gefuehrt

werden ohne ueber den Rangierbahnhof Braunschweig zu laufen.

@96

- Entsprechend der in Kapitel 8.3.2 dargestellten Auswertung von Rangierunfaellen im Rangierbahnhof Braunschweig (vgl. Tab. 8.3.2) sind nur Unfallereignisse der Belastungsklassen 1 bis 3 mit bis zu 5 betroffenen Waggons in Betracht zu ziehen.

Vom Simulationsprogramm wurden wie bei Unfaellen im Gueterzugverkehr Gueterzugbeladungen mit bis zu 9 Abfallwaggons im Zugverband von 30 Waggons

erzeugt, fuer die Rangierunfaelle mit bis zu 5 betroffenen Abfallwaggons fuer 3 moegliche Belastungsklassen entsprechend Bild 8.4.2 simuliert werden. Das fuehrt insgesamt zu etwa 5800 ( $500 \times 3 \times 35 / 9$ ) Quelltermen mit ihren jeweiligen bedingten Eintrittswahrscheinlichkeiten (Rangierunfall vorausgesetzt), die das Spektrum moeglicher Freisetzungen bei Rangierunfaellen repraesentieren.

#### 8.4.4 Bildung von Quelltermgruppen

Ein vom Unfallsimulationsprogramm erzeugter Quellterm gibt die bei der simulierten Unfallkonfiguration freigesetzten Aktivitaeten einzelner Radionuklide an. Diese radionuklidspezifischen Aktivitaeten bestimmen sich

aus dem Aktivitaetsinhalt der vom Unfall betroffenen Abfallgebinde und dem

Anteil, der davon gemaess Tabellen 8.2.1 und 8.2.2 bei der jeweiligen Unfallbelastung (Belastungsklasse) und Abfallgebindegruppe als luftgetragen

freigesetzt angenommen wird. Dabei werden entsprechend Kapitel 8.2.2 und Anhaengen IV und V vier Partikelgroessenbereiche des aerodynamisch aequivalenten Partikeldurchmessers (AED) unterschieden (0-10 Mikrom, 10-20

Mikrom, 20-40 Mikrom, 40-70 Mikrom), auf die sich die freigesetzten Aktivitaeten einzelner Radionuklide aufteilen, so dass ein Quellterm aus vier Quelltermen besteht. Fuer die anschliessenden Analysen moeglicher radiologischer Unfallfolgen und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten sind den Quelltermen als zusaetzliche Angaben zugeordnet:

- die Belastungsklasse ( $k = 1, 2, \dots, 9$ )
- die bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit (Unfall vorausgesetzt)
- eine aus dem Quellterm berechnete radiologische Bewertungszahl, die eine naeherungsweise relative Einstufung verschiedener Quellterme bezueglich der Hoehe potentieller Strahlenexpositionen ermoeglicht.

@97

Die radiologische Bewertungszahl eines Quellterms berechnet sich als Summe

der mit nuklidspezifischen Wichtungsfaktoren multiplizierten Aktivitaeten der verschiedenen Radionuklide. Die verwendeten Wichtungsfaktoren sind ein

hinreichend gutes Mass fuer die relative radiologische Bedeutung der einzelnen Radionuklide unter Stoerfallaspekten.

Die grosse Zahl simulierter Quellterme macht fuer die weiterfuehrenden Rechnungen eine Zusammenfassung in eine begrenzte Zahl repraesentativer Quellterme erforderlich, die hier als Freisetzungsklassen bezeichnet

werden. Diese Zusammenfassung von Quelltermen zu repräsentativen Freisetzungsklassen erfolgt jeweils getrennt fuer Unfaelle im Gueterzugverkehr, im Rangierbahnhof und auf der Strasse.

Dazu werden - getrennt nach rein mechanischen und kombiniert mechanisch-thermischen Belastungsklassen - die Quellterme zunaechst nach aufsteigender radiologischer Bewertungszahl sortiert. Anschliessend werden

Quelltermgruppen gebildet, indem Quellterme von annaehernd gleicher radiologischer Bedeutung zusammengefasst werden. Unter Beruecksichtigung der bedingten Eintrittswahrscheinlichkeiten der Quellterme einer Quelltermgruppe wird dann ein gemittelter repraesentativer Quellterm gebildet - eine sog. Freisetzungsklasse. Fuer die Zusammenfassung von Quelltermen zu Quelltermgruppen werden zunaechst die Wahrscheinlichkeiten vorgegeben, die die einzelnen Quelltermgruppen an der Summenwahrscheinlichkeit entweder der simulierten Ereignisse mit mechanischer oder mit kombinierter mechanisch/thermischer Belastung haben.

Dabei werden die Werte der Gruppenwahrscheinlichkeit gemaess nachfolgender

Tabelle so abgestuft, dass gerade bei der Zusammenfassung von Quelltermen mit hohen radiologischen Bewertungszahlen die innerhalb einer Quelltermgruppe zusammengefassten Quellterme keine grosse Bandbreite der radiologischen Bewertungszahl aufweisen. Dadurch soll bei der weiteren Erfassung einer Quelltermgruppe durch einen stellvertretenden repraesentativen Quellterm (Freisetzungsklasse) erreicht werden, dass diese

Repraesentativitaet insbesondere bei Quelltermen, mit denen hoehere Strahlenexpositionen verbunden sind, sichergestellt ist.

@98

Quelltermgruppen	Gruppenwahrscheinlichkeit
1	0.5
2	0.4
3	0.095
4	0.0045
5	5.0E-04

Durch dieses Verfahren wird fuer jede Quelltermgruppe auch ihre jeweilige relative Eintrittshaeufigkeit - ein Transportunfall vorausgesetzt - erfasst.

Den Quelltermen, die aufgrund ihrer radiologischen Bewertungszahl zu einer Quelltermgruppe zusammengefasst sind, koennen sehr unterschiedliche bedingte Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet sein, je nachdem welches simulierte Unfallereignis (z.B. Belastungsklasse, Anzahl betroffener Waggonen) jeweils zugrunde liegt. Diese bedingten Eintrittswahrscheinlichkeiten einzelner Quellterme einer Quelltermgruppe werden bei der Zusammenfassung zu einer fuer die Quelltermgruppe repraesentativen Freisetzungsklasse durch entsprechende Wichtung beruecksichtigt. Dadurch wird eine repraesentative Zusammensetzung der radionuklidspezifischen Aktivitaeten der Freisetzungsklasse erreicht. D.h.,

fuer die Zusammensetzung der Radionuklide und deren freigesetzten Aktivitaeten einer Freisetzungsklasse sind diejenigen Quellterme einer Quelltermgruppe massgeblicher, deren Unfallkonstellation eine hoehere Eintrittswahrscheinlichkeit besitzt.

#### 8.4.5 Freisetzungsklassen

Die Simulationen moeglicher Transportunfaelle bei den Abfalltransporten zum Endlager KONRAD fuehren nach geeigneter Zusammenfassung einer Vielzahl von Quelltermen zu Freisetzungsklassen, die bezueglich der Radionuklidzusammensetzung und der freigesetzten Aktivitaeten einzelner Radionuklide fuer die Berechnung radiologischer Auswirkungen repraesentativ sind. Fuer Unfaelle beim Transport mit Gueterzuegen, mit LKW und im Rangierbahnhof Braunschweig sind jeweils 10 solcher Freisetzungsklassen vom Unfallsimulationsprogramm erzeugt worden. Dabei resultieren jeweils die Freisetzungsklassen 1 bis 5 aus Unfaellen mit rein

@99

mechanischer Einwirkung auf Transporteinheiten, die Freisetzungsklassen 6 bis 10 aus Unfaellen mit mechanischer Einwirkung und nachfolgendem Brand.

#### Gueterzugunfaelle

Bild 8.4.3 zeigt fuer die 10 fuer Gueterzugunfaelle repraesentativen Freisetzungsklassen (FK 1 bis FK 10) die freigesetzte Aktivitaet der Radionuklide H 3, Co 60, Sr 90, Cs 137, Pu 238, Pu 241. Diese Auswahl der in Bild 8.4.3 aufgefuehrten Radionuklide beruecksichtigt, dass diese Radionuklide wegen ihres Aktivitaetsinhaltes in den Abfaellen und/oder ihrer radiologischen Bedeutung besonders ausgezeichnet sind. Die Angaben zur freigesetzten Aktivitaet beziehen sich dabei auf die insgesamt im Partikelgroessenbereich von 0-70 Mikrom AED freigesetzte Aktivitaet der aufgefuehrten Radionuklide.

Man erkennt, dass sowohl bei den auf rein mechanische Unfallbelastungen (FK 1 bis FK 5) als auch bei den auf mechanisch-thermischen Unfallbelastungen (FK 6 bis FK 10) zurueckgehenden Freisetzungsklassen die freigesetzte Aktivitaet mit aufsteigender Numerierung stark ansteigt (logarithmischer Massstab!). Dem stehen die in dem Bild ebenfalls aufgefuehrten bedingten Eintrittswahrscheinlichkeiten gegenueber. Diese geben an, mit welcher relativen Haeufigkeit die einzelnen Freisetzungsklassen auftreten - ein Gueterzugunfall mit Freisetzung radioaktiver Stoffe vorausgesetzt. Die bedingten Wahrscheinlichkeiten der 10 Freisetzungsklassen addieren sich folglich zu 1. Beispielsweise treten der Freisetzungsklasse FK 1 entsprechende unfallbedingte Freisetzungsklassen mit einer bedingten Wahrscheinlichkeit von 0.38 auf, waehrend der Freisetzungskategorie FK 5 mit ihren vergleichsweise hohen Aktivitaetsfreisetzungsklassen eine dem gegenueber sehr niedrige bedingte Eintrittswahrscheinlichkeit von  $4.8 \times 10^{-7}$

zukommt. Die absoluten Eintrittswahrscheinlichkeiten dieser Freisetzungsklassen berechnen sich aus der Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Unfall mit Freisetzung radioaktiver Stoffe kommt, multipliziert mit der bedingten (Unfall mit Freisetzung vorausgesetzt) Wahrscheinlichkeit der jeweiligen Freisetzungsklasse.

@100

## Strassentransportunfaelle

Bild 8.4.4 zeigt fuer die 10 fuer Unfaelle beim Strassentransport von Abfallgebinden repraesentativen Freisetzungsklassen (FK 1 bis FK 10) die freigesetzte (0-70 Mikrom) Aktivitaet der ausgewaehlten Radionuklide H 3, Co 60, Sr 90, Cs 137, Pu 238 und Pu 241. Man erkennt, dass die freigesetzten Aktivitaeten sich bei den haeufiger zu erwartenden Quelltermen FK 1 (ohne Brandeinwirkung) und FK 6 (mit Brandeinwirkung) in einem vergleichsweise niedrigen Bereich bewegen. Solche unfallbedingten Freisetzungen sind in ca. 50 % (48 % + 1.9 %) aller LKW-Unfaelle zu erwarten, wie aus den ebenfalls aufgefuehrten bedingten Eintrittswahrscheinlichkeiten (Unfall vorausgesetzt) der Freisetzungsklassen ersichtlich ist. Um mehrere Zehnerpotenzen hoeher liegen demgegenueber die Aktivitaetsfreisetzungen der Freisetzungsklassen mit hoeherer Numerierung, beispielsweise FK 4, FK 5 (ohne Brandeinwirkung) und FK 9, FK 10 (mit Brandeinwirkung). Diese Quellterme resultieren aus seltener auftretenden hohen Unfallbelastungen und/oder Unfaellen, bei denen

Abfallgebinde mit sehr hohem Aktivitaetsinventar betroffen sind. Die sich aus der Unfallrisikoanalyse ergebenden bedingten Eintrittswahrscheinlichkeiten beispielsweise von  $4.1 \times 10^{-3}$  fuer die Freisetzungsklasse FK 4 oder  $1.6 \times 10^{-4}$  fuer die Freisetzungsklasse FK 9 bedeuten, dass etwa in einem von 250 Unfaellen bzw. in einem von ca. 6000 Unfaellen mit entsprechend hohen Freisetzungen gerechnet wird. In diesem Zusammenhang ist aber insbesondere auf die noch folgenden Ausfuehrungen am Ende von Kapitel 8.5.1 zu verweisen.

Ein Vergleich der Bilder 8.4.3 und 8.4.4 zeigt, dass die freigesetzten Aktivitaeten bei Gueterzugunfaellen im Mittel hoeher liegen als bei LKW-Unfaellen. Das ist auch zu erwarten, da ein LKW nur eine Transporteinheit, ein Gueterwaggon 2 Transporteinheiten transportiert. Ausserdem sind von der Unfallsimulation bei Gueterzuegen auch Ereignisse erfasst, wo bis zu 9 Abfallwaggons vom Unfall betroffen sind. Dass sich dieser Unterschied beim Vergleich der Freisetzungsklassen nur begrenzt bemerkbar macht, wird darauf zurueckgefuehrt, dass auch bei mehreren vom Unfall betroffenen Waggons sich die Tatsache auswirkt, dass Abfallgebinde sehr unterschiedliches Aktivitaetsinventar aufweisen (vgl. Bild 4.3). Das fuehrt dazu, dass nur wenige betroffene Transporteinheiten im wesentlichen

die Hoehe der Freisetzung bestimmen.

@101

## Rangierunfaelle

Bild 8.4.5 zeigt analog fuer ausgewaehlte Radionuklide die freigesetzten Aktivitaeten bei den fuer Unfaelle im Rangierbahnhof Braunschweig repraesentativen Freisetzungsklassen. Hier macht sich beim Vergleich mit Bildern 8.4.3 und 8.4.4 bemerkbar, dass Rangierunfaelle ohne und mit Brandeinwirkung sich in Geschwindigkeitsbereichen bewegen, die durch Annahme einer mechanischen Beaufschlagung entsprechend 35 km/h auf eine unnachgiebige Aufprallflaeche abdeckend erfasst werden. Das Fehlen der hoeheren Belastungsklassen macht sich insbesondere bei den hoeheren Freisetzungsklassen durch entsprechend geringere Aktivitaetsfreisetzungen bemerkbar.

## 8.5 Erwartete Unfallhaeufigkeiten mit Freisetzung

Die Simulation von Fahrzeugbeladungen mit Transporteinheiten und von moeglichen Unfallbelastungen, denen die Fahrzeuge mit ihrer Ladung unterworfen sein koennen, fuehrt zunaechst zu einer Vielzahl von Quelltermen und dann nach geeigneter Zusammenfassung zu Freisetzungsklassen, die fuer das betrachtete Transportaufkommen zum Endlager KONRAD repraesentative Freisetzungen bei Transportunfaellen darstellen. Unfallbedingte Freisetzungen beim Gueterzugverkehr, im Rangierbahnhof Braunschweig und beim Strassentransport sind jeweils durch 10 Freisetzungsklassen erfasst, davon 5 aufgrund mechanischer und 5 aufgrund kombiniert mechanisch/thermischer Einwirkung auf Transporteinheiten. Jeder dieser Freisetzungsklassen ist die bedingte Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens zugeordnet, wenn vorausgesetzt wird, dass es zu einem Unfall gekommen ist, bei dem Transporteinheiten mit radioaktiven Abfaellen betroffen sind und es zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe gekommen ist. Fuer eine Bewertung des mit den Transporten radioaktiver Abfaelle zum Endlager KONRAD verbundenen Risikos aus Transportunfaellen muessen noch die erwarteten Haeufigkeiten von Unfaellen mit Freisetzung angegeben werden, damit den einzelnen Freisetzungsklassen erwartete Haeufigkeiten zugeordnet werden koennen. Diese geben an, mit welcher Haeufigkeit bezogen auf die Abfalltransporte eines Jahres mit unfallbedingten Freisetzungen, die durch eine Freisetzungsklasse repraesentiert @105

werden, zu rechnen ist.

Diese erwarteten Haeufigkeiten werden in den folgenden Kapiteln fuer Unfaelle im Gueterzugverkehr, im Rangierbahnhof Braunschweig und beim Strassentransport angegeben.

#### 8.5.1 Schienentransport

Es ist die Haeufigkeit zu bestimmen, mit der in der Endlagerregion bei Antransport des jaehrlichen Aufkommens von 3400 Transporteinheiten mit Gueterzuegen (100 % Schienentransport) mit Unfaellen zu rechnen ist, bei denen es zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe aus Abfallbehaeltern kommt. Diese Haeufigkeit wird (vgl. Kap. 8.1) fuer einen Umkreis von 25 km um das geplante Endlager KONRAD angegeben. Wie in Kapitel 8.4.1 behandelt, ist unter den getroffenen Annahmen zur Abwicklung der Transporte bei 100 % Schienenbefoerderung mit folgendem jaehrlichen Transportaufkommen in der Endlagerregion zu rechnen:

- 44 Ganzzuege mit 20 Waggons mit jeweils 2 Transporteinheiten
- 164 Regelgueterzuege, die im Mittel 30 Waggons mit sich fuehren, darunter mit gleicher Haeufigkeit 1, 2, 3, ....., bis 9 Abfallwaggons mit jeweils 2 Transporteinheiten.

Diese Festlegungen beeinflussen die im folgenden angegebenen Unfallhaeufigkeiten nicht massgeblich, da die Unfallhaeufigkeit pro Abfallwaggon unabhengig davon ist, wie viele Abfallwaggons in einem Gueterzugverband mitgefuehrt werden. Um aber sicherzustellen, dass auch Unfallereignisse vom Simulationsprogramm erfasst werden, bei denen viele Abfallwaggons beim Zugunfall betroffen sind - mit entsprechend hoeheren Freisetzungen - werden die obigen insgesamt begruendeten und plausiblen Annahmen zugrundegelegt.

Es ergeben sich folgende Zahlenwerte:

Als mittlere Streckenlaenge innerhalb des 25 km-Umkreises um das Endlager wird sowohl fuer Regelgueterzuege als auch Ganzzuege 50 km angenommen. Gemaess Kapitel 8.3.1 ist im Gueterzugverkehr mit einer Gesamtunfallhaeufigkeit von 0.5 Zugunfaellen pro eine Million Kilometer zu rechnen. Damit ist die Haeufigkeit pro Jahr, mit der fuer 208 (164+64) @106

Gueterzuege, die Abfallwaggons mit sich fuehren, innerhalb des 25 km-Umkreises mit Zugunfaellen zu rechnen ist:

$208 \text{ Zuege/a} \times 50 \text{ km} \times 0.5 \times 1\text{E-}6 \text{ Unfaelle/Zugkm} = 5.2 \times 1\text{E-}3 \text{ Zugunfaelle/a}$

D.h., unterstellt man kontinuierlichen Betrieb des Endlagers, so waere im Mittel einmal in ca. 190 a damit zu rechnen, dass ein Gueterzug, der Waggons mit radioaktiven Abfallgebinden mit sich fuehrt, in einen Unfall verwickelt wird.

Wie in Kapitel 8.3.1 ausfuehrlich behandelt, bedeutet ein Zugunfall nicht unbedingt, dass dabei auch Waggons eines bestimmten Merkmals - hier Abfallwaggons - betroffen sind. Nur in einem Bruchteil von Zugunfaellen werden auch ein oder mehrere der mitgefuehrten Abfallwaggons betroffen sein. Bei Ganzzuegen, die ausschliesslich Abfallwaggon mit sich fuehren, ist nur bei solchen Zugunfaellen keiner der Abfallwaggons betroffen, bei denen allein das Triebfahrzeug betroffen ist. Das ist gemaess Tabelle 8.3.2

in rund 58 % der Gueterzugunfaelle der Fall. Folglich sind in 42 % der Zugunfaelle auch Abfallwaggons betroffen. Bei Buntzuegen ist dieser Anteil

kleiner, da auch Zugunfaelle auftreten, wo zwar Gueterwaggons betroffen sind, nicht aber unbedingt Abfallwaggons. Mit den Unfalldaten von Tabelle 8.3.2 und den Randbedingungen, dass die Buntzuege im Mittel 30 Waggons, darunter mit gleichverteilter Haeufigkeit 1, 2, 3, .... bis 9 Abfallwaggons

mitfuehren, errechnet sich, dass in rund 18 % aller Unfaelle solcher Buntzuege, ein oder auch mehrere Abfallwaggons betroffen sind. Mit diesen Angaben ergibt sich insgesamt folgender Anteil an Gueterzugunfaellen, bei denen mindestens ein Abfallwaggon betroffen ist:

$44/208 \times 0.42 + 164/208 \times 0.18 = 0.23$

D.h., vorausgesetzt es ereignet sich in der Endlagerregion ein Unfall eines

Zuges, der Abfallwaggons mit sich fuehrt, so ist in 23 % der Faelle damit zu rechnen, dass dabei ein Abfallwaggon betroffen wird. Damit ist bezogen auf das Abfallbefoerderungsaufkommen eines Jahres mit einer Haeufigkeit von

$1.2 \times 1\text{E-}3 \times 0.23$  (5.2x1E-3 Zugunfaelle/a x 0.23) irgendwo innerhalb des 25 km-Umkreises ein Zugunfall zu erwarten, bei dem ein oder mehrere Abfallwaggons betroffen sind. Anders ausgedrueckt:

@107

Ein solches Ereignis waere im hypothetischen Fall eines fort dauernden Betriebes des Endlagers im Mittel alle 830 Jahre zu erwarten.

Ist ein Abfallwaggon von einem Unfall betroffen, so dass Abfallgebinde einer Unfallbelastung entsprechend einer der 9 Belastungsklassen unterworfen sind, so kommt es nicht in jedem Fall zu einer Freisetzung

radioaktiver Stoffe. Anhand der in Tabelle 8.2.1 zusammengestellten Daten zu den Freisetzunganteilen bei Unfallbelastungen ist ersichtlich, dass Beton- und Gussbehälter bei einigen der unteren Belastungsklassen den Unfalleinwirkungen standhalten, so dass keine Freisetzung radioaktiver Stoffe unterstellt wird. Unter Berücksichtigung der relativen Häufigkeit verschiedener Abfallgebindegruppen am gesamten Transportaufkommen einerseits und der Belastungsklassen andererseits (vgl. Bild 8.3.1) ergibt sich daraus, dass es in 42 % aller Zugunfälle, bei denen mindestens ein Abfallwagen betroffen ist, zu keiner Freisetzung radioaktiver Stoffe kommt. Dieser Wert wird vom Unfallsimulationsprogramm errechnet, das bei der Simulation einer Vielzahl von Beladungs- und Unfallkonstellationen auch die Ereignisse registriert, bei denen es zu keiner Freisetzung radioaktiver Stoffe kommt. Zusammen mit den obigen Zahlenangaben bedeutet dies, dass bei dem Szenarium mit 100 % Schienentransport mit einer Häufigkeit von  $1.2 \times 10^{-3} \times (1 - 0.42) = 7.0 \times 10^{-4}$  pro Jahr mit Zugunfällen zu rechnen ist, die mit einer Freisetzung radioaktiver Stoffe verbunden sind. Bei einem hypothetischen kontinuierlichen Betrieb des Endlagers wäre im Mittel alle ca. 1400 Jahre ein Zugunfall zu erwarten, bei dem es zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe aus Abfallgebänden kommt. Dabei ist noch zu beachten, dass sowohl die freigesetzten Aktivitätsmengen als auch deren radiologische Bedeutung in weiten Grenzen variieren können.

Mehrere Bestandteile der Analyse zum Unfallrisiko wie Definition der Belastungsklassen, ermittelte Häufigkeit der Belastungsklassen und Bestimmung von Freisetzunganteilen bei verschiedenen Belastungsklassen ergeben im Resultat, dass es in grob der Hälfte (58 %) aller Zugunfälle, bei denen ein Abfallwagen betroffen ist, zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe kommt. Ohne jeden Zweifel ist dieser Prozentsatz viel zu hoch und ist auf das Zusammenwirken von einer ganzen

@108

Reihe pessimistischer Annahmen im Rahmen der hier durchgeführten Unfallrisikoanalyse zurückzuführen.

Dazu zählen:

- Bei der Auswertung der Unfallstatistik wird ein Güterwagen als betroffen eingestuft, wenn der Sachschaden 3000 DM übersteigt.
- Die Geschwindigkeit des Zuges vor dem Unfall bestimmt, in welchem Geschwindigkeitsintervall (0-35 km/h, 36-80 km/h, > 80 km/h) die Unfallbelastung betroffener Waggon eingestuft wird.
- Die Unfallbelastung der Güterwaggons wird mit der Unfallbelastung des Abfallbehälters gleichgesetzt.
- Für die Bestimmung des Abfallbehälterverhaltens und der resultierenden Freisetzung wird unterstellt, dass die Unfalleinwirkungen der Obergrenze der jeweiligen Belastungsklasse entsprechen. Beispielsweise werden Unfallbelastungen entsprechend

einem Aufprall mit 5 km/h wie ein Aufprall mit 35 km/h behandelt, bei dem die Energieeinwirkung das 50-fache betraegt. Ausserdem wird zusaetzlich angenommen, dass das Abfallgebinde dabei auf eine Oberflaechе auftrifft, die einem unnachgiebigen Fundament entspricht, was in der Realitaet selten der Fall ist. Auch wird jedes Brandereignis durchgaengig wie ein sehr schwerwiegender Brand mit besonders unguenstiger Einwirkung auf die grossen und schweren Abfallbehaelter eingestuft, indem vollstaendige Feuerumschliessung bei unguenstiger Kombination von Brandtemperatur (800 Grad C) und Branddauer (0.5 h, 1 h) angenommen wird.

- Es wird nicht beruecksichtigt, dass die Transporteinheiten in mehrachsigen, vergleichsweise stabilen Gueterwaggons befoerdert werden, die allseitig geschlossen sind.

Das Zusammenwirken dieser konservativen Annahmen im Rahmen der Unfallrisikoanalyse wirkt sich dahingehend aus, dass die ermittelten Haeufigkeiten von Unfaellen mit Freisetzung und die dafuer berechneten Auswirkungen deutlich ueberschaetzt werden.

@109

#### 8.5.2 Strassentransport

Bei dem Transportszenarium 20 % Strasse/ 80 % Schiene wird angenommen, dass 20 % der Transporteinheiten mit Sattelzuegen, die jeweils eine Transporteinheit befoerdern, zum Endlager gefahren werden. Dabei kommen, wie in Kapitel 8.4.2 ausgefuehrt, als Beladung alle Referenzabfaelle mit Ausnahme der Abfaelle aus der Wiederaufarbeitung im Ausland in Betracht. Bei insgesamt 3400 Transporteinheiten pro Jahr entsprechen 20 % der Anfahrt von 680 LKW pro Jahr. Gemaess Kapitel 8.3.3 betraegt die Unfallhaeufigkeit von Sattelzuegen auf Bundesautobahnen und autobahnaehnlich ausgebauten Fernstrassen 0.35 Unfaelle pro 1 Million km. Als mittlere Strecke, die innerhalb des 25 km-Umkreises bei der Anfahrt zum Endlager zurueckgelegt wird, wird 50 km angenommen. Damit errechnet sich fuer das mit LKW befoerderte Transportaufkommen eines Jahres eine Unfallhaeufigkeit von

$$680 \text{ LKW/a} \times 50 \text{ km} \times 0.35 \times 1\text{E-}6 \text{ Unfaelle/km} = 1.2 \times 1\text{E-}2 \text{ Unfaelle/a}$$

D.h. einmal in ca. 80 Jahren waere bei kontinuierlichem Betrieb des Endlagers mit einem LKW-Unfall irgendwo auf den zur Anfahrt benutzten Fernstrassen im 25 km-Umkreis vom Endlager zu rechnen, bei dem eine Transporteinheit betroffen ist. Da die vergleichsweise haeufig eingesetzten

Beton- und Gussbehaelter (vgl. Abfallgebindegruppen 6, 7, 8 in Tab. 8.2.1)

bei einigen der unteren Belastungsklassen den Unfalleinwirkungen standhalten, muss nur in 50 % der LKW-Unfaelle eine Freisetzung radioaktiver Stoffe unterstellt werden. Dieser vom Unfallsimulationsprogramm ermittelte Wert ergibt sich aus der relativen Haeufigkeit der 9 Belastungsklassen (vgl. Bild 8.3.8) an den Strassentransportunfaellen in Verbindung mit der relativen Haeufigkeit der

8 Abfallgebindegruppen am Transportaufkommen. Im Unterschied zum Schienentransport ist jeweils nur eine Transporteinheit vom Unfall

betroffen. Zu der Annahme im Rahmen der Unfallrisikoanalyse, dass im Mittel jeder zweite in der Unfallstatistik (vgl. Anhang III) beruecksichtigte Unfall eines Sattelzuges, der eine Transporteinheit mit sich fuehrt, mit einer Freisetzung radioaktiver Stoffe verbunden ist, wird auf die Ausfuehrungen im vorangegangenen Kapitel 8.5.1 verwiesen.  
@110

Die erwarteten Unfallhaeufigkeiten ohne oder mit Freisetzung innerhalb des 25 km-Umkreises fuer das Transportszenarium 20 % Strasse/ 80 % Schiene ergeben sich durch entsprechende Addition der obigen Unfallhaeufigkeiten und derjenigen fuer 80 % Schienentransport.

### 8.5.3 Rangierbahnhof Braunschweig

Die Auswertung einer Unfallstatistik des Rangierbahnhofs Braunschweig ergab 7.5 Unfallereignisse pro 1 Million rangierter Waggons. Zusaetzlich wurde die Haeufigkeit ermittelt (vgl. Tab. 8.3.3), mit der eine bestimmte Anzahl Waggons beim Unfallereignis betroffen ist. Um, wie in Kapitel 8.3.2 beschrieben, auch Unfallereignisse und deren Haeufigkeiten zu erfassen, bei denen mehrere Abfallwaggons vom Rangierunfall betroffen sind, wurde als Unfallumgebung ein Waggonverband angenommen, der zum weiteren Transport in Richtung Uebergabebahnhof Beddingen zusammengestellt wird. Fuer diesen Waggonverband wird wie beim Gueterzugverkehr angenommen, dass er durchschnittlich aus 30 Waggons, darunter mit gleichverteilter Haeufigkeit 1, 2, 3..., bis 9 Abfallwaggons, besteht. Mit diesem Modell laesst sich mit Hilfe von Tabelle 8.3.3 und kombinatorischer Wahrscheinlichkeiten (vgl. Anhang II) berechnen, dass bei einem Rangierunfall, bei dem mindestens ein Abfallwaggon beteiligt ist, im statistischen Mittel 1.07 Abfallwaggons betroffen sind. Damit ist insgesamt mit einer Unfallwahrscheinlichkeit pro rangierten Abfallwaggon von  $8.0 \times 1E-6$  ( $7.5 \times 1E-6 \times 1.07$ ) zu rechnen.

Bei Rangierunfaellen treten (gemaess Tabelle 8.3.3) Unfallbelastungen entsprechend den 3 untersten Belastungsklassen auf. Beton und Gussbehaelter (vgl. Abfallgebindegruppen 6, 7, 8 in Tab. 8.2.1 und 8.2.2) halten bei einigen der unteren Belastungsklassen den Unfalleinwirkungen stand, so dass keine Freisetzung radioaktiver Stoffe anzunehmen ist. Unter Beruecksichtigung der relativen Haeufigkeit verschiedener Abfallgebindegruppen am gesamten Transportaufkommen einerseits und der Belastungsklassen andererseits ist in 38 % der Rangierunfaelle, bei denen Waggons mit radioaktiven Abfallgebinden betroffen sind, mit einer Freisetzung radioaktiver Stoffe zu rechnen. Zu diesem im Rahmen der Unfallrisikoanalyse ermittelten Prozentsatz ist auf Ausfuehrungen am Ende von Kapitel 8.5.1 zu verweisen.  
@111

Die Haeufigkeit, mit der Rangierunfaelle im Rangierbahnhof Braunschweig fuer das Transportaufkommen radioaktiver Abfaelle eines Jahres zu erwarten

sind, berechnet sich damit wie folgt:

- Mit der Annahme, dass alle Abfallwaggons, die in Regelgueterzuegen befoerdert werden, ueber den Rangierbahnhof Braunschweig zum Endlager Braunschweig gefuehrt werden, werden dort jaehrlich 820 Abfallwaggons rangiert. Nicht ueber Braunschweig gehen allein die Ganzzuege mit radioaktiven Abfaellen aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen aus deutschen Leistungsreaktoren im Ausland.
- Somit betraegt die erwartete Haeufigkeit von Rangierunfaellen, bei denen ein oder mehrere Abfallwaggons betroffen sind:  
$$820 \text{ Abfallwaggons} / a \times 8.0 \times 10^{-6} \text{ Unfaelle/rang. Abfallwaggon} = 6.6 \times 10^{-3} \text{ Unfaelle/a}$$
- Da im Mittel in 38 % der Rangierunfaelle mit einer Freisetzung radioaktiver Stoffe gerechnet wird, betraegt die Eintrittswahrscheinlichkeit fuer einen Rangierunfall mit Freisetzung  
$$6.6 \times 10^{-3} \times 0.38 = 2.5 \times 10^{-3}$$

An dieser Stelle soll mit Hinweis auf Kapitel 8.2.1 und 8.2.2 und die Ausfuehrungen am Ende von Kapitel 8.5.1 noch einmal angemerkt werden, dass der erwartete Anteil von Unfallereignissen mit Freisetzung aus Abfallbehaeltern (hier 38 %) massgeblich von einer Reihe konservativer Annahmen beeinflusst wird. Das betrifft hier insbesondere die durchgehend getroffene Annahme, dass es bei Rangierunfaellen zu einer mechanischen Beaufschlagung von Abfallgebinden entsprechend einem Aufprall mit 35 km/h auf eine unnachgiebige Flaechen kommt und dass darueber hinaus auftretende Brandereignisse durchweg einer Konstellation entsprechen, bei der Abfallbehaelter allseitig von einem Feuer von 800 Grad C umgeben sind, das mit diesen Bedingungen eine halbe Stunde (Belastungsklasse 2) oder sogar eine Stunde (Belastungsklasse 3) einwirkt.

Die mit diesen sehr konservativen Annahmen erwartete Haeufigkeit von Rangierunfaellen mit Freisetzung radioaktiver Stoffe bedeutet, dass

bei hypothetischem Dauerbetrieb des Endlager KONRAD im Mittel alle 400 Jahre mit einem solchen Ereignis zu rechnen waere.

## 8.6 Ergebnisse zum Transportunfallrisiko

### 8.6.1 Berechnung radiologischer Unfallfolgen

Unfallbedingt in die Umgebung freigesetzte Stoffe koennen in der Atmosphaere in Richtung des vorherrschenden Windes transportiert und dabei durch die turbulente Luftbewegung weiter verteilt werden. Damit koennen in Ausbreitungsrichtung waehrend des Durchzuges der Schadstofffahne erhoehrte bodennahe Schadstoffkonzentrationen einhergehen. Ausserdem kann es durch trockene oder nasse (Regen) Deposition zu einer Ablagerung auf Bewuchs und anderen Flaechen kommen. Haelt sich eine Person in Bereichen auf, wo waehrend des atmosphaerischen Transports der Schadstofffahne erhoehrte

bodennahe Konzentrationen auftreten, kommt es zu einer Schadstoffaufnahme mit der Atemluft. Je nach Schadstoff koennen weitere Belastungen im Verlauf der Zeit aus der abgelagerten Schadstoffkonzentration auf Bewuchs und anderen Flaechen resultieren. Die waehrend der Freisetzung vorherrschenden atmosphaerischen Ausbreitungsbedingungen wie Diffusionskategorie, Windgeschwindigkeit, Niederschlagsintensitaet etc. beeinflussen in erheblichem Masse die luftgetragenen und abgelagerten Schadstoffkonzentrationen.

Die Berechnung potentieller radiologischer Unfallfolgen wie Kontamination auf Bewuchs oder Boden und Strahlenexpositionen von Personen erfolgte mit dem im Kernforschungszentrum Karlsruhe entwickelten Unfallfolgenprogramm UFOMOD (Version NL) /EHR 88/. Dabei handelt es sich um ein umfassendes und fortgeschrittenes Programmsystem zur probabilistischen Unfallfolgenanalyse.

Bei der Berechnung von Strahlenexpositionen werden folgende Expositionsprofile beruecksichtigt:

- Wolkenstrahlung
- Bodenstrahlung
- Inhalation (Aktivitaetsaufnahme mit der Atemluft)
- @113
- Ingestion (Aktivitaetsaufnahme mit der Nahrung)
- Resuspension mit nachfolgender Inhalation (Wiederaufwirbelung von am Boden abgelagerten Radionukliden)

Die Wolkenstrahlung und Resuspension sind jedoch im allgemeinen - so auch in dieser Studie - von untergeordneter Bedeutung.

Bei den Berechnungen wurde die relative Haeufigkeit der atmosphaerischen Ausbreitungsbedingungen des hier interessierenden Untersuchungsgebietes beruecksichtigt. Dazu standen die vom Deutschen Wetterdienst (DWD), Offenbach, bereitgestellten Wetterdaten der nordwestlich des Braunschweiger Stadtgebietes gelegenen Wetterstation Braunschweig-Voelkenrode zur Verfuegung.

Fuer jeden einzelnen der als Freisetzungsklasse berechneten Quellterme sind mit dem Rechenprogramm UFOMOD moegliche Strahlenexpositionen von Personen und Kontamination von Bewuchs und Boden bis zu einer Entfernung von 25 km vom Freisetzungsort berechnet worden. Da das Spektrum moeglicher unfallbedingter Aktivitaetsfreisetzungen bei Unfaellen im Gueterzugverkehr beim Strassentransport und im Rangierbahnhof Braunschweig jeweils durch 10 Freisetzungsklassen FK 01 bis FK 10 erfasst wird, sind somit fuer insgesamt 30 Freisetzungsklassen Rechnungendurchgefuehrt worden. Dabei sind jeweils noch folgende Festlegungen getroffen worden.

- Fuer die Freisetzungsklassen FK 1 bis FK 5, die jeweils fuer

Transportunfaelle mit rein mechanischer Belastung von Abfallgebinden repraesentativ sind, ist mit bodennaher Freisetzung gerechnet worden.

- Fuer die Freisetzungsklassen FK 6 bis FK 10, denen mechanische Gebindebelastungen mit anschliessendem Brand zugrunde liegen, ist fuer die Berechnung der Schadstoffausbreitung mit einer durch den Auftrieb der heissen Brandgase verursachten effektiven Freisetzungshoehe von 50 m gerechnet worden.

- Es sind jeweils fuer jede Freisetzungsklasse UFOMOD-Rechnungen fuer Partikel < 10 Mikrom und im Partikelgroessenbereich 10-70 Mikrom getrennt durchgefuehrt und anschliessend ueberlagert worden. Dadurch @114

kann zum einen beruecksichtigt werden, dass nur Partikel < 10 Mikrom ungenegaengig sind und zu einer Inhalationsbelastung beitragen, zum anderen wird fuer Partikel im Groessenbereich 10-70 Mikrom bei den Ausbreitungsrechnungen der erhoehten trockenen und nassen (bei Regen) Ablagerung groesserer Aerosolpartikel Rechnung getragen.

Brandereignisse sind im Rahmen der Unfallrisikoanalyse durchgehend als schwere Braende mit besonders unguenstiger Einwirkung auf die Abfallgebinde behandelt worden, indem fuer die Ermittlung der Freisetzung vollstaendige Feuerumschliessung der recht grossen Abfallbehaelter bei unguenstiger Kombination von Brandtemperatur (800 Grad C) und -dauer (0.5 h, 1 h) angenommen wird. Solche Ereignisse entsprechen Brandleistungen von 25 MW und mehr, die zu einem starken thermischen Auftrieb der Brandgase fuehren. Die den Ausbreitungsrechnungen zugrundegelegte effektive Freisetzungshoehe von 50 m ist konservativ deutlich niedriger angesetzt worden als mit einschlaegigen Rechenverfahren, z.B. /VDI 87/ berechnete Aufstiegshoehen der Brandgase.

Die UFOMOD-Rechnungen liefern fuer jede Freisetzungsklasse u.a.folgende Ergebnisse:

- Fuer eine sehr grosse Anzahl von Aufpunkten, die fuer verschiedene Entfernungen vom Unfallort und alle moeglichen Ausbreitungsrichtungen repraesentativ sind, werden jeweils statistische Verteilungen von luftgetragenen und abgelagerten Radionuklidkonzentrationen infolge der unfallbedingten Aktivitaetsfreisetzung berechnet. Diese statistischen Verteilungen resultieren aus den meteorologischen Haeufigkeitsverteilungen der vorherrschenden Diffusionskategorie, Windgeschwindigkeiten, Windrichtungen und Niederschlaege.

- Ausgehend von den statistischen Haeufigkeitsverteilungen der Aktivitaetskonzentrationen werden fuer jeden Aufpunkt Verteilungen der resultierenden potentiellen Strahlenexposition ermittelt. Die Strahlenexpositionen liegen als effektive Dosis sowohl fuer einzelne

Expositionspfade als auch summiert ueber alle Expositionspfade vor.

Die Ergebnisse der probabilistischen Risikoanalyse von Transportunfaellen in der Endlagerregion bei Befoerderung  
@115

- ausschliesslich mit Gueterzuegen (100 % Schiene)
- teils mit Gueterzuegen und teils mit LKW (80 % Schiene/20 % Strasse)
- und im Rangierbahnhof Braunschweig

werden in Form von kumulativ komplementaeren Haeufigkeitsverteilungen dargestellt.

Diese erhaelt man jeweils durch Ueberlagerung der Ergebnisse fuer die 10 Freisetzungsklassen FK 1 bis FK 10. Bei der Ueberlagerung zu einer zusammenfassenden Haeufigkeitsverteilung werden jeweils die erwarteten Eintrittshaeufigkeiten der Freisetzungsklassen aufgrund von Transportunfaellen innerhalb des 25 km-Umkreises beruecksichtigt. Diese sind in Tabelle 8.6.1 zusammengefasst.

Die erwarteten Eintrittshaeufigkeiten der Freisetzungsklassen ergeben sich aus den in Kap. 8.5 aufgefuehrten Haeufigkeiten von Transportunfaellen mit Freisetzung in der Endlagerregion, multipliziert mit den bedingten Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Freisetzungsklassen (vgl. Bilder 8.4.3, 8.4.4 und 8.4.5).

Erwartete Haeufigkeiten sind in den komplementaeren Haeufigkeitsverteilungen bis herab zu  $1E-7$  pro Jahr dargestellt. Die Angabe noch kleinerer Ereignishaeufigkeiten ist nicht sinnvoll, da dann schon andere Ereignisse, die in den ausgewerteten Unfallstatistiken garnicht enthalten sind, zum Risiko beitragen. So liegt fuer das insgesamt kleine Transportaufkommen in der Endlagerregion von 3400 Transporteinheiten pro Jahr die Haeufigkeit im Bereich von ca.  $3 \times 1E-8$  pro Jahr, mit der der Absturz einer schnellfliegenden Militaermaschine auf ein Abfalltransportfahrzeug zu erwarten ist.

#### 8.6.2 Referenzszenarium: 100 % Schienentransport

##### Strahlenexposition

Die Ergebnisse zum Risiko von Transportunfaellen bei ausschliesslicher Befoerderung mit Gueterzuegen sind in Bild 8.6.1 zusammengefasst. Die dargestellten Kurvenverlaeufe geben die Haeufigkeiten an, mit denen aufgrund von Transportunfaellen bestimmte potentielle Strahlenexpositionen in unterschiedlichen Entfernungen vom Unfallort auftreten koennen.

@116

Tab. 8.6.1:

Erwartete Eintrittshaeufigkeiten der Freisetzungsklassen im 25 km-Umkreis des Endlagers Konrad aufgrund von Transportunfaellen

@#

Gueterzugunfall      Strassentransportunfall      Rangierunfall

Freisetzungs- klasse	100% Schienen- transport [1/a]	20% Strassentransport [1/a]	100% Schienen- transport [1/a]
FK 1	2.7x1E-4	2.9x1E-3	1.0x1E-3
FK 2	2.1x1E-4	2.3x1E-3	8.1x1E-4
FK 3	5.1x1E-5	5.5x1E-4	2.0x1E-4
FK 4	2.6x1E-6	2.5x1E-5	4.1x1E-6
FK 5	3.4x1E-10	1.2x1E-6	1.1x1E-8
FK 6	8.3x1E-5	1.1x1E-4	2.8x1E-4
FK 7	6.6x1E-5	8.9x1E-5	2.0x1E-4
FK 8	1.6x1E-5	2.1x1E-5	4.8x1E-5
FK 9	8.1x1E-7	9.1x1E-7	2.3x1E-6
FK 10	1.4x1E-9	2.1x1E-9	3.0x1E-9
Summe	7.0x1E-4	6.0x1E-3	2.5x1E-3

@\$  
@118

Auf der vertikalen Achse ist die erwartete Haeufigkeit pro Jahr ablesbar, mit der auf der horizontalen Achse als effektive Dosen aufgefuehrte Strahlenexpositionen auftreten koennen.

Beide Achsen sind wegen der grossen Wertebereiche der erwarteten Eintrittshaeufigkeiten und der berechneten potentiellen Strahlenexposition im logarithmischen Massstab unterteilt.

Folgende Informationen sind zum Verstaendnis der in Bild 8.6.1 zusammengefassten Ergebnisse zum Unfallrisiko wichtig:

- Die auf der vertikalen Achse aufgefuehrten Haeufigkeiten beziehen sich auf den gesamten Nahbereich des Endlagers, also auf einen Umkreis von 25 km Radius um die Anlage.
- Die auf der horizontalen Achse aufgefuehrten effektiven Dosen geben die Hoehe der Strahlenexpositionen an, die in der naeheren Umgebungeines Unfallortes bei Aufenthalt in Richtung der Schadstoffausbreitung auftreten koennen.
- Bei den Berechnungen von potentiellen Strahlenexpositionen infolge unfallbedingter Freisetzungen radioaktiver Stoffe wurde angenommen, dass sich Personen in bestimmten Entfernungen - z.B. 250 m, 1150 m, 6250 m - vom Unfallort in der Richtung aufhalten, in die sich aufgrund des vorherrschenden Windes jeweils die Schadstofffahne ausbreitet.
- Dabei wird unterstellt, dass sich die Person an dem betreffenden Aufpunkt ueber die Dauer des Vorbeizugs der luftgetragenen

radioaktiven Stoffe im Freien aufhaelt (Inhalationspfad, Wolkenstrahlung). Ausserdem haelt sie sich in diesem Bereich waehrend der naechsten 70 Jahre auf (Bodenstrahlung) und bezieht von dort ihre Nahrungsmittel (Ingestionspfad).

- Die fuer ausgewaehlte Entfernungen aufgefuehrten Kurvenverlaeufe erfassen fuer das gesamte Spektrum moeglicher Freisetzung bei Transportunfaellen mit Abfallgebinden die potentiellen resultierenden Strahlenexpositionen von Personen. Sie geben gleichzeitig die Haeufigkeiten an, mit der solche Auswirkungen irgendwo innerhalb des 25 km-Umkreises um das Endlager auftreten koennen.

@119

- Bei den Berechnungen von potentiellen Strahlenexpositionen sind keine Gegenmassnahmen unterstellt worden. D.h. insbesondere, dass ein Beseitigen von auf Bewuchs und anderen Flaechen abgelagerten radioaktiven Stoffen nach einem Unfall oder andere Massnahmen zur Reduktion moeglicher Strahlenexpositionen nicht angenommen wurden.

- Die Kurvenverlaeufe der Haeufigkeitsverteilung beziehen sich auf potentielle Strahlenexpositionen in Richtung der Ausbreitung. Andere Bereiche ausserhalb eines Sektors von etwa 30 Grad in jeweiliger Windrichtung waeren nicht betroffen.

- Die kuerzeste Entfernung, fuer die in Bild 8.6.1 der Kurvenverlauf der Haeufigkeitsverteilung aufgezeigt wird, betraegt 250 m. Fuer geringere Entfernungen von einem Unfallort sind Berechnungen von potentiellen Strahlenexpositionen ohne Annahme irgendwelcher Gegenmassnahmen nach Unfalleintritt zunehmend unrealistischer. Zudem ist mit Brandereignissen, die zu deutlich hoeheren Freisetzung von Partikeln im lungengaengigen Groessenbereich fuehren als rein mechanische Einwirkungen auf Abfallgebinde, ein thermischer Aufstieg der Schadstofffahne verbunden. Dies fuehrt im Ergebnis dazu, dass bei Brandereignissen die maximalen bodennahen Schadstoffkonzentrationen erst in Entfernungsbereichen von einigen 100 m auftreten.

Aus den in Bild 8.6.1 zusammengefassten Ergebnissen zum Unfallrisiko beim Gueterzugtransport lassen sich u.a. folgende Aussagen ablesen:

- Bezogen auf das Abfalltransportaufkommen eines Jahres betraegt die erwartete Haeufigkeit, mit der es in der Endlagerregion zu einem Unfall mit Freisetzung radioaktiver Stoffe kommt,  $7 \times 10^{-4}$  pro Jahr.

- Da die Menge der dabei freigesetzten radioaktiven Stoffe haeufig gering ist, sind dann auch daraus resultierende potentielle Strahlenexpositionen entsprechend niedrig. So bewegen sich berechnete effektive Lebenszeitdosen bei 250 m Entfernung vom Unfallort in Ausbreitungsrichtung bei ca. 90 % der Unfaelle unterhalb von 2mSv.

Das

entspricht der effektiven Dosis, die eine Person im Mittel aufgrund der natuerlichen Strahlenexposition eines Jahres erhaelt. Dies laesst

sich aus dem Kurvenverlauf fuer 250 m Entfernung ablesen, wonach bezogen auf das Transportaufkommen eines Jahres mit einer erwarteten  
@120

Haeufigkeit von  $8 \times 10^{-5}$  pro Jahr effektive Dosen von 2mSv oder hoeher auftreten koennen.

- Bei groesseren Entfernungen vom Unfallort ist die erwartete Haeufigkeit entsprechend geringer, dass unfallbedingte Freisetzungen in Ausbreitungsrichtung zu Strahlenexpositionen fuehren koennen, die sich im Bereich der natuerlichen Strahlenexposition eines Jahres bewegen. Bei hypothetischem kontinuierlichem Betrieb des Endlagers waere mit einer Eintrittshaeufigkeit von ca.  $8 \times 10^{-6}$  pro Jahr, d.h. einmal in ca. 125000 Jahren mit einem Transportunfall in der Endlagerregion zu rechnen, der ohne Gegenmassnahmen in etwa 1000 m Entfernung vom Unfallort zu Strahlenexpositionen im Bereich der natuerlichen Strahlenexposition eines Jahres fuehren koennte.
- Entsprechend unwahrscheinlicher sind Unfaelle, bei denen potentielleeffektive Dosen im Bereich von 50 mSv liegen. 50mSv entspricht dem Stoerfallplanungswert des Para. 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung und dem Dosisgrenzwert fuer beruflich strahlenexponierte Personen im Kalenderjahr.
- Dieser Wert von 50 mSv tritt in groesseren Entfernungen vom Unfallort auch bei extrem niedrigen Eintrittshaeufigkeiten von  $10^{-7}$  pro Jahr nicht auf. Nur in der naeheren Umgebung vom Unfallort koennten mit sehr geringer erwarteter Eintrittshaeufigkeit ( $2 \times 10^{-6}$  pro a) solche Strahlenexpositionen auftreten (250 m, in Ausbreitungsrichtung, keine Gegenmassnahmen).

Die in Bild 8.6.1 aufgefuehrten Eintrittshaeufigkeiten beziehen sich auf die gesamte Endlagerregion (25 km-Umkreis). Fragt sich jemand, der in der Naehel einer Transportstrecke wohnt, wie gross sein persoenliches Risiko durch moegliche Transportunfaelle mit radioaktiven Abfaellen ist, so bewegt sich dieses in noch viel niedrigeren Bereichen. Das hat u.a. folgende Gruende:

- Ein Unfall muesste sich in der Naehel seines Aufenthaltsortes ereignen. Das ist in jedem Fall, auch wenn es sich um einen unfalltraechtigeren Streckenbereich handeln sollte, deutlich unwahrscheinlicher als sich insgesamt fuer die gesamte Endlagerregion ergibt.

@121

- Im allgemeinen werden nicht alle Transporte den kleineren hier interessierenden Streckenbereich passieren, da noch auf anderen Transportwegen befoerdert wird.
- Die Person muesste sich bei einem Unfall gerade in Ausbreitungsrichtung vom Unfallort aufhalten, was sich ebenfalls in einer geringeren Wahrscheinlichkeit ausdrueckt, betroffen zu sein.

Die kuerzeste Entfernung vom Unfallort, fuer die in Bild 8.6.1 die Haeufigkeitsverteilung der effektiven Dosis ausgewiesen ist, betraegt 250 m. Wie bereits gesagt, fuehrten hauptsaechlich zwei Gruende zu der

Festlegung dieser geringsten Entfernung:

- Es wird die ueber alle Expositionspfade summierte Gesamtdosis berechnet ohne Annahme von Gegenmassnahmen nach Unfalleintritt. Fuer kuerzere Entfernungen ist es unrealistisch anzunehmen, dass gar keine Massnahmen getroffen wuerden, um die Strahlenexpositionen durch die langfristigen Expositionspfade Bodenstrahlung, Ingestion und Resuspension zu begrenzen. Auch wird u.a. die Berechnungsannahme, dass saemtliche Nahrungsmittel einer Person ueber einen Zeitraum von 70 Jahren aus noch geringeren Entfernungen als 250 m vom Unfallortstammen, zunehmend fragwuerdiger.
- Brandereignisse fuehren zu deutlich hoeheren Freisetzen von Partikeln im lungengaengigen Partikelgroessenbereich als rein mechanische Einwirkungen auf Abfallgebinde. Die freigesetzten radioaktiven Stoffe erfahren aber durch die heissen Brandgase einen thermischen Auftrieb, so dass die maximalen bodennahen Schadstoffkonzentrationen erst in Entfernungsbereichen von einigen 100 m auftreten.

Es sind jedoch zur Orientierung gesonderte UFOMOD-Rechnungen fuer kuerzere Entfernungen von 50 m und 150 m sowie fuer 250 m vom Unfallort durchgefuehrt worden, bei denen die potentielle Strahlenexposition durch Inhalation berechnet wurde. Die entsprechenden komplementaeren Haeufigkeitsverteilungen sind in Bild 8.6.2 aufgefuehrt. Zum Vergleich ist zusaetzlich noch die Haeufigkeitsverteilung der effektiven Dosis summiert ueber alle Expositionspfade fuer 250 m Entfernung aus Bild 8.6.1 uebernommen worden. Dadurch ist ein Vergleich moeglich, aus dem der Beitrag der langfristigen Expositionspfade Bodenstrahlung, Ingestion @122

und Resuspension zur Gesamtdosis ersichtlich wird.

Damit wird erkennbar,

in welchem Umfang Massnahmen nach einem Unfall zur Reduktion von Strahlenexpositionen beitragen koennen. Man erkennt aus Bild 8.6.2, dass der Kurvenverlauf der komplementaeren Haeufigkeitsverteilung der effektiven Gesamtdosis bei 250 m die Kurvenverlaeufer der Inhalationsdosis bei kleineren Abstaenden vom Unfallort nahezu vollstaendig einhuellt. Daraus wird ersichtlich, dass potentielle effektive Dosen bei Beschraenkung auf den Inhalationspfad bei geringeren Entfernungen vom Unfallort durch die fuer 250 m ausgewiesene Gesamtdosis weitgehend abdeckend erfasst sind.

Um den moeglichen Einfluss von Massnahmen nach einem Unfall zur Reduktion von Strahlenexpositionen auch fuer groessere Entfernungen in Ausbreitungsrichtung beurteilen zu koennen, sind ergaenzend in Bild 8.6.3 und 8.6.1 uebernommenen Kurvenverlaeufer fuer die Gesamtdosis Kurvenverlaeufer gegenebergestellt, die den Beitrag der Inhalationsdosis angeben. Dabei zeigt jeweils der horizontale Abstand der Kurvenpaare bei 250 m, 1150 m und 6250 m, welcher Anteil der gesamten Strahlenexposition im Mittel aus den langfristigen Expositionspfaden Bodenstrahlung, Ingestion und Resuspension resultiert und damit durch Gegenmassnahmen wie Dekontamination oder Verzicht auf landwirtschaftliche Nutzung reduziert

werden kann. Da die Kurvenverlaeufer der Haeufigkeitsverteilungen ein grosses Spektrum von Unfallablaeuferen und Ausbreitungsbedingungen repraesentieren, lassen sich durch den Vergleich der Gesamtdosis ohne Gegenmassnahmen und der Inhalationsdosis nur generelle Aussagen treffen, welchen Einfluss Gegenmassnahmen haben koennen. Der einzelne Unfall kann hiervon in beiden Richtungen abweichen. Die relativen Beitraege der einzelnen Expositionspfade an der Gesamtdosis variieren je nachdem, welche Radionuklide im Einzelfall freigesetzt werden, und in Abhaengigkeit von dem Verhaeltnis von abgelagerter zu luftgetragener Radioaktivitaet. Die Ablagerung auf Bewuchs und Boden ist effizienter bei nasser Deposition aufgrund von Regen oder durch die schnellere trockene Ablagerung von Partikeln mit groesseren aerodynamischen Durchmesser. Bild 8.6.3 koennen folgende Informationen zum moeglichen Einfluss von Massnahmen nach einem Unfall entnommen werden:

- Der Unterschied zwischen der potentiellen Gesamtdosis und der Inhalationsdosis ist fuer kleinere Entfernungen vom Unfallort wie @123 250 m groesser als fuer weitere Entfernungen wie 1150 m und 6250 m. Dies ist ueberwiegend darauf zurueckzufuehren, dass im Nahbereich verstaerkt Partikel mit groesseren aerodynamischen Durchmesser abgelagert werden, die nicht lange luftgetragen bleiben.
- So koennen Massnahmen, die die langfristigen Expositionspfade beeinflussen, bei ca. 99 von 100 Unfaellen mit Freisetzung im Bereich um 250 m in Ausbreitungsrichtung eine Dosisreduktion typisch um den Faktor 10 und mehr bewirken. Im Entfernungsbereich um 1000 m bewegt sich die moegliche Reduktion potentieller Strahlenexpositionen durch Gegenmassnahmen etwa um einen Faktor 5. Hier liegen jedoch die berechneten Strahlenexpositionen auch ohne Gegenmassnahmen ueberwiegend unterhalb der natuerlichen Strahlenexposition eines Jahres und ueberschreiten diesen Wert nur bei erwarteten Haeufigkeiten unterhalb von  $1E-5$  pro Jahr.
- Der in allen Entfernungsbereichen zu beobachtende geringere Effekt von Gegenmassnahmen bei sehr kleinen erwarteten Eintrittshaeufigkeiten von  $1E-6$  oder gar  $1E-7$  pro Jahr ist u.a. darauf zurueckzufuehren, dass in diesem Haeufigkeitsbereich Unfaelle mit Brand zum Risiko beitragen. Bei Freisetzungen mit Brand (vgl. Tab. 8.2.1) ist der Anteil von kleineren Partikeln im lungengaengigen Bereich groesser, so dass der Inhalationspfad staerker zur Gesamtdosis beitraegt.
- Die bei Unfaellen moeglicherweise betroffenen Gebiete sind in der Breite (ca. 30 Grad Sektor) und Tiefe begrenzt. Nur bei einem von 10 Unfaellen mit Freisetzung koennten ohne Gegenmassnahmen potentielle Strahlenexpositionen in 250 m Entfernung die natuerliche Strahlenexposition uebersteigen. In 1150 m Entfernung waere das nur in einem von 100 Unfaellen mit Freisetzung der Fall, bei groesseren Entfernungen um 6000 m garnicht.
- Wie im folgenden noch diskutiert, ist der Beitrag der Bodenstrahlung

an der Gesamtdosis i.a. gering und liegt deutlich unter dem Betrag, der sich fuer den Ingestionspfad ergibt. Fuer beide Expositionspfade wird dabei die ueber einen Zeitraum von 70 Jahren resulterende potentielle Strahlenexposition berechnet, indem dauernder Aufenthalt im kontaminierten Bereich bzw. Bezug saemtlicher Nahrungsmittel aus landwirtschaftlicher Nutzung aus diesem Bereich unterstellt wird. Im Falle einer landwirtschaftlichen Nutzung eines hoeher kontaminierten

@124

Bereiches in der Naehe eines Unfallortes wuerden als zu erwaegende Gegenmassnahmen administrative Massnahmen in Frage kommen, die sich auf eine lokal begrenzten Nutzungseinschraenkung beziehen.

- Ganz ueberwiegend bewegen sich berechnete Strahlenexpositionen weit unterhalb von Dosiswerten, bei denen Notfallschutzmassnahmen erwogen werden muessten. Die hier diskutierten Gegenmassnahmen sollen den moeglichen Einfluss von Massnahmen verdeutlichen und sind im Sinne einer vorsorglichen Minimierung gemaess Strahlenschutzvorsorgegesetz zu verstehen.

#### Kontaminationen

Da mechanische Unfalleinwirkungen auch zu Freisetzung von groesseren Partikeln fuehren koennen, sind bei den Berechnungen potentieller Strahlenexpositionen Aerosolpartikel mit aerodynamisch aequivalenten Teilchendurchmessern bis zu 70 Mikrom beruecksichtigt worden. Diese koennen

bei der atmosphaerischen Ausbreitung luftgetragen transportiert werden, lagern sich aber deutlich schneller ab als Partikel im lungengaengigen Bereich (< 10 Mikrom). Die mit dem Unfallfolgenprogramm UFOMOD fuer die 10

Freisetzungsklassen FK 1 bis FK 10 durchgefuehrten Rechnungen ergaben, dass

von den berechneten potentiellen Strahlenexpositionen im Mittel etwa 5 % durch Bodenstrahlung zustande kommen. Dieser Wert kann verwandt werden, um

aus Bild 8.6.1 eine entsprechende Haeufigkeitsverteilung fuer Kontaminationen durch freigesetzte radioaktiven Stoffe abzuleiten. Sowohl bei Fallout von Kernwaffenversuchen als auch nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl war Cs 137 das dominierende Radionuklid bei der Bodenkontamination. Aus diesem Grund sind Bodenkontaminationen, bei denen sehr unterschiedliche Radionuklide auftreten koennen, so berechnet worden,

als resultiere die Bodenstrahlung ausschliesslich von Cs 137.

Damit laesst sich aus Bild 8.6.1 die in Bild 8.6.3 gezeigte Haeufigkeitsverteilung fuer Cs 137-aequivalente Bodenkontaminationen ableiten. Das Bild zeigt dieselben Kurvenverlaeufer. Nur kann jetzt daraus die erwartete Haeufigkeit von als Cs 137-aequivalent ausgedruckten Bodenkontaminationen infolge von Transportunfaellen abgelesen werden. Aus Bild 8.6.3 laesst sich beispielsweise ablesen:

@127

- Mit einer Haeufigkeit von  $< 7 \times 10^{-4}$  pro Jahr kommt es zu unfallbedingten Freisetzungen in der Endlagerregion, bei denen ein Kontaminationsniveau bei 250 m in Ausbreitungsrichtung vom Unfallort erreicht wird, das dem frueheren Cs 137-Kernwaffen-fallout in der Bundesrepublik Deutschland entspricht.

- In 1000 m Entfernung waere bei hypothetischem Dauerbetrieb des Endlagers einmal in etwa 1 Million Jahren mit einem solchen Kontaminationsniveau zu rechnen.
- Etwa einer von 100 Transportunfaellen fuehrt im statistischen Mittel in 250 m Entfernung vom Unfallort zu einer Cs 137-aequivalenten Kontamination, wie sie durch den Tschernobylunfall beispielsweise in Muenchen vorlag.

@129

### 8.6.3 Referenzszenarium: 80 % Schienen-, 20 % Strassentransport

Die Ergebnisse zum Risiko von Transportunfaellen bei einer Befoerderung von 80 % der Transporteinheiten mit Gueterzuegen und 20 % mit LKW sind in Bild

8.6.5 zusammengefasst. Die Kurvenverlaeufe resultieren aus der Ueberlagerung von UFOMOD-Rechnungen fuer insgesamt 20 repraesentative Freisetzungsklassen, jeweils 10 fuer Transportunfaelle beim Gueterzugtransport und beim Strassentransport. Die in Tabelle 8.6.1 aufgefuehrten erwarteten Eintrittshaeufigkeiten der einzelnen Freisetzungsklassen sind in den komplementaeren Haeufigkeitsverteilungen von Bild 8.6.5 beruecksichtigt. Dabei wurden die fuer 100 % Schienentransport in Tabelle 8.6.1 ausgewiesenen erwarteten Eintrittshaeufigkeiten der Freisetzungsklassen auf einen Schienentransportanteil von 80 % korrigiert. Die erwarteten Eintrittshaeufigkeiten der Freisetzungsklassen bei Strassentransportunfaellen liegen hoeher als bei Schienentransportunfaellen. Darin kommt die hoehere Eintrittshaeufigkeit von Unfaellen pro gefahrenen LKW-km beim Strassenverkehr im Vergleich zum Waggon-km beim Gueterzugverkehr zum Ausdruck. Dies ist auch an den in Tabelle 8.6.1 angegebenen erwarteten Haeufigkeiten fuer Unfaelle mit Freisetzung von  $7.0 \times 10^{-4}$  pro Jahr bei 100 % Schienentransport und  $6.0 \times 10^{-3}$  pro Jahr bei 20 % Strassentransport erkennbar.

Bild 8.6.4 koennen u.a. folgende Informationen entnommen werden:

- Im Vergleich zu den komplementaeren Haeufigkeitsverteilungen beim Szenarium 100 % Schiene in Bild 8.6.1 liegen die erwarteten Haeufigkeiten fuer Unfaelle mit Freisetzung und fuer effektive Gesamtdosen, die im Bereich der natuerlichen Strahlenexposition eines Jahres liegen oder die einen Wert von 50 mSv erreichen, hoeher.
- Mit einer Eintrittshaeufigkeit von ca.  $3 \times 10^{-4}$  pro Jahr, d.h. bei hypothetischem kontinuierlichem Betrieb des Endlagers im Mittel alle 3000 Jahre waere in der Endlagerregion mit einem Transportunfall zu rechnen, der ohne Gegenmassnahmen bei 250 m Entfernung zu Strahlenexpositionen im Bereich der natuerlichen Strahlenexposition eines Jahres fuehren koennte. Zum Vergleich: Bei 100% Bahnbefoerderung ergibt die Transportrisikoanalyse eine geringe erwartete Eintrittshaeufigkeit, demnach treten solche Auswirkungen im Mittel nur alle 12500 Jahre auf.

@131

- Waehrend einer Betriebsdauer des Endlagers von etwa 40 Jahren betraegt die Wahrscheinlichkeit 1 zu 10000, dass sich ein Transportunfall in

der Endlagerregion ereignet, bei dem in 250 m Entfernung die potentielle effektive Dosis ohne Gegenmassnahmen 50 mSv erreicht. Dieser Wert entspricht dem Stoeerfallplanungswert des Para. 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung und dem Dosisgrenzwert fuer beruflich strahlenexponierte Personen im Kalenderjahr.

- Die Abnahme der berechneten Strahlenexpositionen mit dem Abstand vom Unfallort betraegt etwa einen Faktor 10 bei ca. 1200 m Entfernung und einen weiteren Faktor 10 bei ca. 6200 m Entfernung.

#### 8.6.4 Rangierbahnhof Braunschweig

##### Strahlenexposition

Die Ergebnisse zum Risiko von Rangierunfaellen im Rangierbahnhof Braunschweig sind in Bild 8.6.6 zusammengefasst. Die komplementaeren Haeufigkeitsverteilungen basieren auf der Annahme, dass alle Abfalltransporte von Abfallablieferern in der Bundesrepublik (ohne die fuenf neuen Bundeslaender) mit Regelgueterzuegen erfolgen und ueber den Rangierbahnhof Braunschweig gefuehrt werden. Transporte aus der Rueckfuehrung von Abfaellen aus der Wiederaufarbeitung im Ausland erfolgen

in Ganzzuegen und gehen direkt zum Uebergabebahnhof Beddingen. Die in Bild

8.6.6 gezeigten erwarteten Haeufigkeiten von effektiven Lebenszeitdosen bei

Rangierunfaellen beziehen sich auf das 100 % Schienentransport Szenarium. Beim 80 % Schiene/ 20 % Strasse Szenarium reduzieren sich die Haeufigkeiten

um etwa 40 %. Sie gingen noch weiter zurueck, wenn zum Teil auch bei anderen Abfallablieferern mit hohem Abfallaufkommen Ganzzuege eingesetzt wuerden.

Aus den Kurvenverlaeufen in Bild 8.6.5 koennen u.a. folgende Informationen abgelesen werden:

- Waehrend einer Betriebsdauer des Endlagers von 40 Jahren ist ein Rangierunfall mit Freisetzung mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 zu 10 zu erwarten.

@133

- Die unfallbedingten Freisetzungen fuehren aber nur in ca. 1.3 % aller Unfaelle zu potentiellen Strahlenexpositionen, die in 250 m Entfernung ohne Gegenmassnahmen die mittlere natuerliche Strahlenexposition eines Jahres (2 mSv) uebersteigen.

- Bei hypothetischem kontinuierlichem Betrieb des Endlagers waere im statistischen Mittel einmal in 8 Millionen Jahren mit einem Rangierunfall zu rechnen, bei dem ohne nachtraegliche Massnahmen im Entfernungsbereich um 250 m eine effektive Lebenszeitdosis entsprechend dem Stoeerfallplanungswert des Para. 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung (50 mSv) auftreten koennte.

- Mit groesserem Abstand vom Unfallort in Ausbreitungsrichtung der

Schadstoffe nehmen potentielle Strahlenexpositionen stark ab: etwa um einen Faktor 10 im Bereich von 1 km (1150 m) und um einen Faktor 100 im Bereich von 6 km (6250 m).

#### Kontaminationen

Aus Bild 8.6.6 lässt sich die in Bild 8.6.7 gezeigte Häufigkeitsverteilung für Cs 137-äquivalente Bodenkontaminationen ableiten. Dabei wurde bei der Umrechnung von Bodenkontaminationen in als Cs 137-äquivalent ausgedruckte Bodenkontaminationen wie in Kap. 8.6.2 beschrieben verfahren. Kommt es überhaupt zu einem Rangierunfall mit Freisetzung, so ist es unwahrscheinlich, dass dadurch in Entfernungen um 250 m vom Unfallort Bodenkontaminationen auftreten, die der Bodenstrahlung durch den Cs 137-Kernwaffen-fallout oder durch die Cs 137-Kontamination, wie sie durch den Tschernobyl Reaktorunfall z.B. in München resultierte, äquivalent sind. In weniger als einem von 1000 Rangierunfällen würden Cs 137-äquivalente Bodenkontaminationen in 250 m Entfernung in einem Bereich liegen, wie er in München nach Tschernobyl vorlag. Ein Vergleich der Bodenkontaminationen in 250 m in Ausbreitungsrichtung und in 1150 m zeigt eine Abnahme um etwa eine Zehnerpotenz.

@135

Die Ergebnisse zum Transportunfallrisiko liegen in Form von Häufigkeitsverteilungen vor, aus denen der Zusammenhang zwischen der Höhe möglicher Strahlenexpositionen und der erwarteten Häufigkeit ihres Eintritts ersichtlich wird. Diese Art der Risikoermittlung erfasst sowohl vergleichsweise harmlose Transportunfälle, bei denen die Freisetzung radioaktiver Stoffe geringfügig ist, als auch besonders ungünstig gelagerte Unfallabläufe mit vergleichsweise hohen Freisetzungen und die damit verbundenen potentiellen Strahlenexpositionen. Erst aus der gleichzeitigen Information, mit welcher Häufigkeit bestimmte Unfallauswirkungen in der Endlagerregion zu erwarten sind, lassen sich Schlussfolgerungen zum Risiko von Transportunfällen ziehen. Wenn auch bei Entscheidungen im täglichen Leben häufig nicht explizit Eintrittswahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden, so doch häufig implizit. Es wäre z.B. schwer vorstellbar, dass sich Personenflugzeuge zu einem gängigen Verkehrsmittel etabliert hätten, wenn das Unfallrisiko etwa 1000 mal größer wäre. Expeditionen von bemannten Raumfahrzeugen sind detaillierte Risikoanalysen unter Einbeziehung probabilistischer Methoden vorangegangen, um die erfolgreiche Rückkehr bei solchen Missionen abschätzen zu können.

Erwartete Häufigkeiten sind in den Bildern 8.6.1 bis 8.6.7 bis herab zu  $1E-7$  pro Jahr ausgewiesen worden. Diese Zahl bedeutet, dass bezogen auf das Abfalltransportaufkommen eines Jahres die Wahrscheinlichkeit 1 zu 10 Millionen beträgt, dass es in der Endlagerregion zu einem Unfallereignis mit den ausgewiesenen Konsequenzen kommen kann. So niedrige Eintrittswahrscheinlichkeiten lassen sich etwas leichter einordnen, wenn man diese Zahlenangabe mit anderen seltenen Ereignissen vergleicht. Damit soll gleichzeitig eine Begründung gegeben werden, warum nicht Ereignisse

mit noch niedrigeren Eintrittswahrscheinlichkeiten aber hoeheren Auswirkungen in den Bildern ausgewiesen worden sind: Die in der Vergangenheit in der bisherigen Bundesrepublik Deutschland beobachtete Absturzhaeufigkeit von schnellfliegenden Militaerflugzeugen betraegt etwa  $10E-10$  1/m<sup>2</sup> 1/a. Daraus laesst sich die erwartete Haeufigkeit bestimmen, dass bei einem solchen Absturz ein Waggon oder LKW mit radioaktiven Abfaellen getroffen wird. Unter Beruecksichtigung der Fahrt- und Standzeiten der Abfalltransporte innerhalb  
@136

des 25 km-Umkreises um den Standort des Endlagers berechnet sich die erwartete Haeufigkeit solcher Ereignisse zu etwa  $2xE-8$  pro Jahr.

D.H. im

Vergleich zu einer erwarteten Haeufigkeit von  $E-7$  pro Jahr ist der Absturz einer schnellfliegenden Militaermaschine auf einen Abfalltransport nur etwa um einen Faktor 5 unwahrscheinlicher. Es waere folglich wenig sinnvoll, bei den Haeufigkeitsverteilungen der Bilder 8.6.1 bis 8.6.7 noch kleinere Eintrittshaeufigkeiten auszuweisen, da bei so niedrigen Eintrittshaeufigkeiten dann andere moegliche Ereignisse, wie hier z.B. ein Flugzeugabsturz, einen Beitrag Schienen- und Strassenverkehrs garnicht miterfasst sind. Zudem wird man einen Absturz in der Endlagerregion einer schnell fliegenden Militaermaschine auf einen normalen Gueterwaggon und umso mehr auf einen im Vergleich dazu sehr seltenen Waggon mit radioaktiven Abfallgebinden ohne weiteres zu den extrem unwahrscheinlichen Ereignissen rechnen.

Die in den Bildern 8.6.1 bis 8.6.7 ausgewiesenen erwarteten Haeufigkeiten von bestimmten Unfassauswirkungen wie Strahlenexpositionen oder Kontaminationen beziehen sich auf den gesamten Umkreis von 25 km Radius um den Standort des geplanten Endlagers Konrad. Damit wird eine Aussage zum Unfallrisiko in diesem gesamten Gebiet gemacht. Das Individualrisiko von einzelnen Bewohnern in dieser Region, durch einen Unfall von Abfalltransporten betroffen zu sein, ist sehr viel kleiner. Es soll hier als grobe Orientierung abgeschaeetzt werden, wobei es uns darum geht, die Groessenordnung dieses Risikos in etwa zu erfassen: Aus Bild 8.6.1 ergibt sich fuer das Szenarium 100% Schienenbefoerderung, dass etwa mit einer Haeufigkeit von ca.  $E-4$  pro Jahr Transportunfaelle zu erwarten sind, bei denen im Entfernungsbereich um 250 m als Unfallfolge eine Strahlenexposition eines Jahres entspricht oder diese uebersteigt. In diesem Bereich bewegen sich auch Strahlenexpositionen fuer Entfernungen unter 250 m, wenn man die Ergebnisse von Bild 8.6.2 heranzieht, bei denen fuer kleinere Entfernungen als 250 m Gegenmassnahmen in Bezug auf die langfristigen Expositionspfade wie Bodenstrahlung und Ingestion unterstellt sind (nur Inhalationspfad).  
@137

Transportunfaelle koennen sich irgendwo auf den Transportstrecken ereignen.

Betrachtet man vereinfachend eine Bahnstreckenlaenge von 50 km, auf der in der Endlagerregion Abfalltransporte laufen (obwohl das von Abfalltransporten befahrene Streckennetz laenger ist), und einen beidersetigen Korridor von 250 m Tiefe entlang der Transportstrecke, so

wohnen in diesem unmittelbaren Nahbereich etwa 6000 Personen, wenn man von

einer mittleren Bevoelkerungsdichte von 250 Einwohnern/km<sup>2</sup> ausgeht.

Ereignet

sich irgendwo entlang der benachbarten Transportstrecke ein Unfall, so waeren bis zu einer Entfernung von wiederum 250 m eine Flaechen in Ausbreitungsrichtung betroffen, die etwa einem Sektor mit 30 Grad Oeffnungswinkel entspricht. Das waere eine Flaechen von etwa 0,02 km<sup>2</sup>. Auf einem Gebiet dieser Groesse wohnen im statistischen Mittel 5 Personen, wenn

man wiederum von einer mittleren Bevoelkerungsdichte von 250 Einwohnern pro

km<sup>2</sup> ausgeht. Damit bewegt sich das Individualrisiko der unmittelbaren Streckenanwohner durch einen Abfalltransportunfall, eine zusaetzliche Strahlenexposition zu erhalten, die im Bereich der natuerlichen Strahlenexposition eines Jahres liegt, bei 8E-8 pro Jahr. Diese Zahlenangabe soll nur als grobe Orientierung ueber die Groessenordnung verstanden werden, in der sich das angesprochene Individualrisiko bewegt. Stellt man zur Einordnung dieser Zahlenangabe dem einmal das jaehrliche Individualrisiko gegenueber, durch den Strassenverkehr schwer verletzt zu werden, so bewegt sich dieses Risiko in einer ganz anderen Groessenordnung:

Laut Statistisches Jahrbuch 1990 gab es 1988 in Niedersachsen 14130 Schwerverletzte bei Strassenverkehrsunaefallen bei einer Einwohnerzahl von etwa 7,1 Millionen. Daraus folgt ein Individualrisiko von 2E-3 pro Jahr durch einen Strassenverkehrsunfall schwer verletzt zu werden. Ohne hier eine zusaetzliche Strahlenexposition von der Groessenordnung der natuerlichen jaehrlichen Strahlenexposition mit einer schweren Unfallverletzung in irgendeiner Weise vergleichen zu wollen, laesst sich aus dem obigen Zahlenvergleich unmittelbar ersehen, dass das zusaetzliche Individualrisiko aus moeglichen Abfalltransportunaefallen im Vergleich zu anderen Risiken wie des Strassenverkehrs um Groessenordnungen niedriger liegt und im Vergleich dazu untergeordnet Bedeutung hat.

@139

## 9. LITERATUR

/BAS 86/ Bundesanstalt fuer Strassenwesen:  
Strassenverkehrszaehlung 1985 in der Bundesrepublik Deutschland  
Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte  
Strassenverkehrszaehlungen Heft 38 (1986)  
Herausgegeben im Auftrage des Bundesministers fuer Verkehr von  
der Bundesanstalt fuer Strassenwesen

/BFS 90/ Bundesamt fuer Strahlenschutz:  
Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfaelle  
(Vorlaeufige Endlagerungsbedingungen, Stand April 1990)  
Schachanlage Konrad  
ET-3/90, Salzgitter 1990

/BON 90/ Bonka, H.:  
Schwankungsbreite der Ortsdosisleistung durch natuerliche  
Strahlung  
Phys. Bl. 46(4), 126-128, 1990

/BRE 90/ Brennecke, P. und Schuhmacher, J:  
Anfall radioaktiver Abfaelle in der Bundesrepublik Deutschland  
Abfallerhebung fuer das Jahr 1989  
Bundesamt fuer Strahlenschutz  
ET-1/90, Salzgitter 1990

- /BZA 90/ Bundesbahn-Zentralamt Minden:  
Persoenliche Mitteilung, Dezember 1990
- /DBB 87/ Deutsche Bundesbahn:  
Berichte der DB ueber Unfaelle und Zwischenfaelle in  
Zusammenhang  
mit der Befoerderung gefaehrlicher Gueter (1981-1987)  
@140
- /DBB 88/ Deutsche Bundesbahn:  
Datenzusammenstellung der DB:  
Bahnbetriebsunfaelle bei Gueterzugen mit Sachschaden an  
Schienenfahrzeugen von mindestens 3000 DM (1979 - 1988)
- /DBB 89/ Deutsche Bundesbahn:  
Datenzusammenstellung Rangierunfaelle im Rangierbahnhof  
Braunschweig (1987 - 1989)
- /EHR 88/ Ehrhardt, J., et. al.:  
The Program System UFOMOD for Assessing the Consequences of  
Nuclear Accidents Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK 4330,  
Oktober 1988
- /GGE 85/ Gefahrgutverordnung Eisenbahn (GGVE):  
Verordnung ueber die innerstaatliche und grenzueberschreitende  
Befoerderung gefaehrlicher Gueter mit Eisenbahnen  
Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 40, S. 1560, Jahrgang 1985 mit  
Anlageband II,  
zuletzt geaendert am 06.06.1990 BGBl. I, S. 1001
- /GGS 90/ Gefahrgutverordnung Strasse (GGVS):  
Verordnung ueber die innerstaatliche und grenzueberschreitende  
Befoerderung gefaehrlicher Gueter auf Strassen  
Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 62, S. 2453ff, 17.11.1990
- /IAE 83/ International Atomic Energy Agency:  
INTERTRAN: A System for Assessing the Impact from Transporting  
radioactive Material  
IAEA/TECDOC/287, Vienna 1983
- /IAE 85/ International Atomic Energy Agency:  
Regulations for the safe Transport of radioactive Material 1985  
Edition  
Safety Ser. No. 6 (Febr. 1985)
- /MAI 90/ MAIRS Geographischer Verlag  
Die Generalkarte  
Bundesrepublik Deutschland, Blatt 7 (1990/91)  
@141
- /PSE 85/ Tully, A.  
Projekt Sicherheitsstudien Entsorgung (PSE) Bestimmung des  
Strassentransportrisikos bei der Entsorgung durch ein Nukleares  
Entsorgungszentrum, Integriertes Entsorgungskonzept oder Andere  
Entsorgungstechniken.  
Endbericht, Januar 1985
- /VDI 87/ VDI-Richtlinien: Ausbreitung von stoerfallbedingten  
Freisetzungen

Sicherheitsanalyse  
VDI 3783, Mai 1987

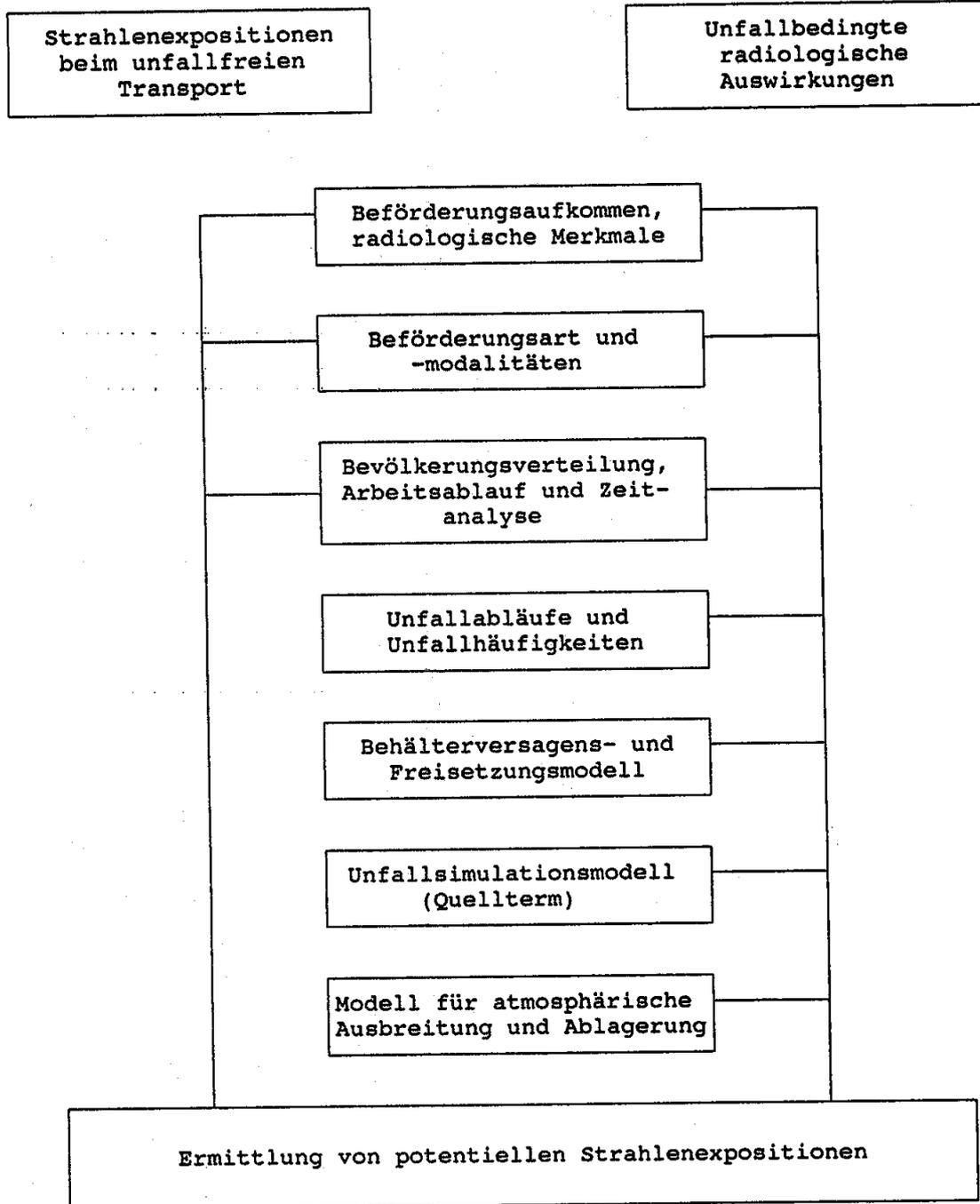


Bild 2.1:

Schematische Vorgehensweise zur Bestimmung der potentiellen radiologischen Auswirkungen der Beförderung radioaktiver Abfälle.

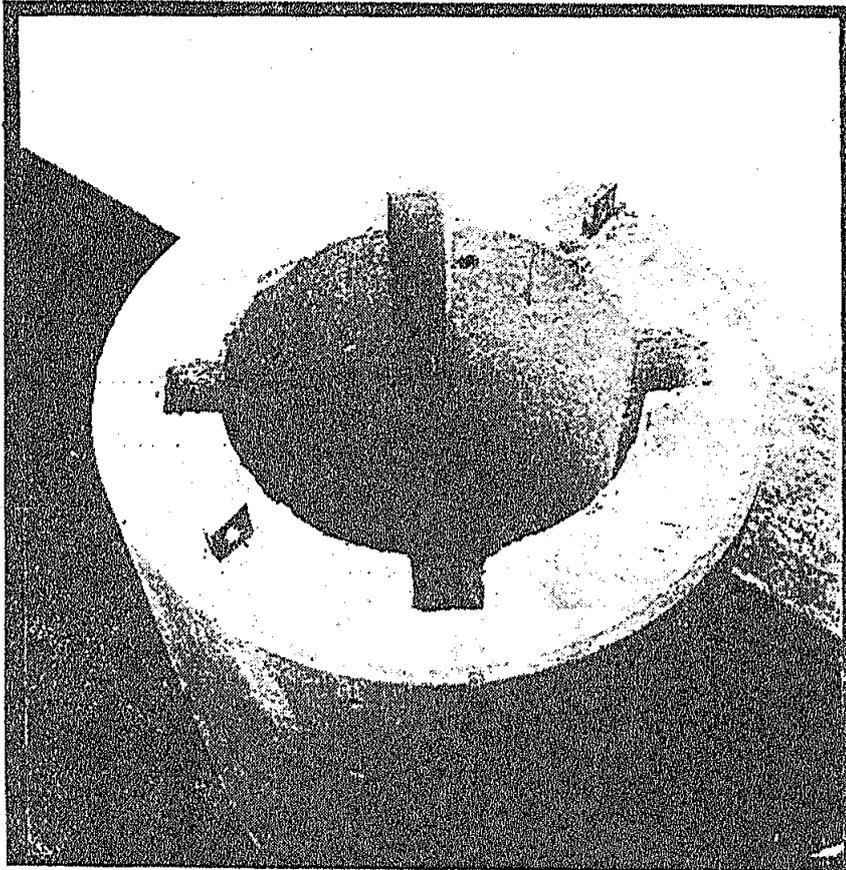


Bild 3.1a:

Zylindrischer Betonbehälter (Typ I)

1200

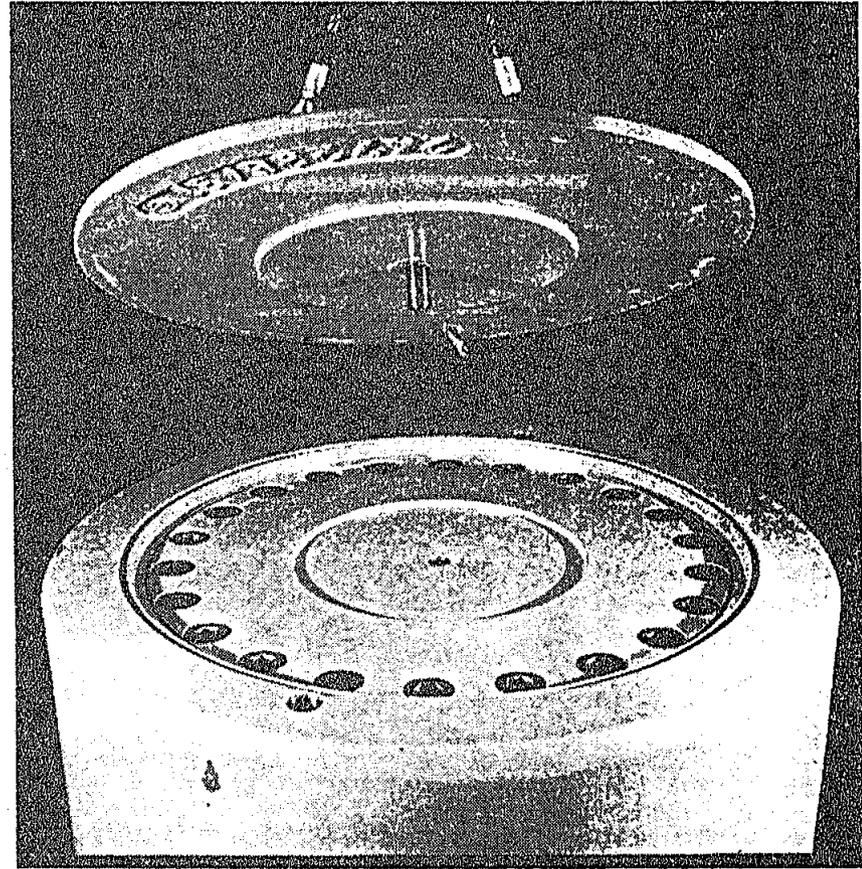


Bild 3.1b:  
Zylindrischer Gußbehälter (Typ II)

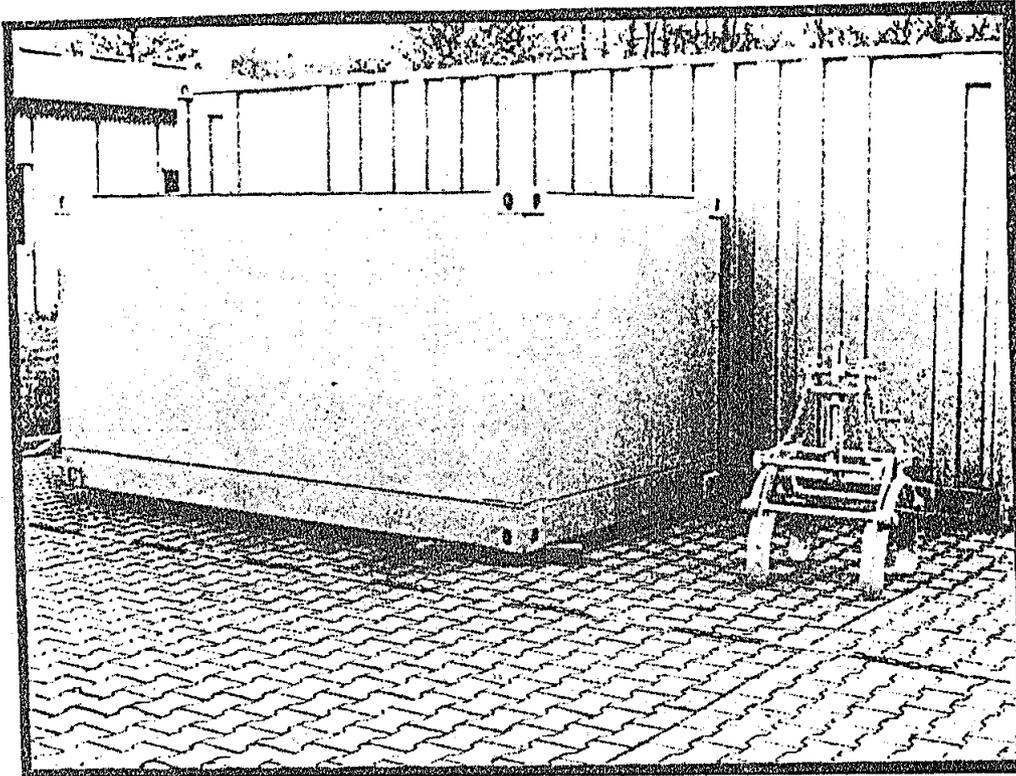


Bild 3.1c:

Stahlblechcontainer (Typ V) und Faßgreifer

1005

## Aufteilung der Transporteinheiten nach Herkunftsbereich

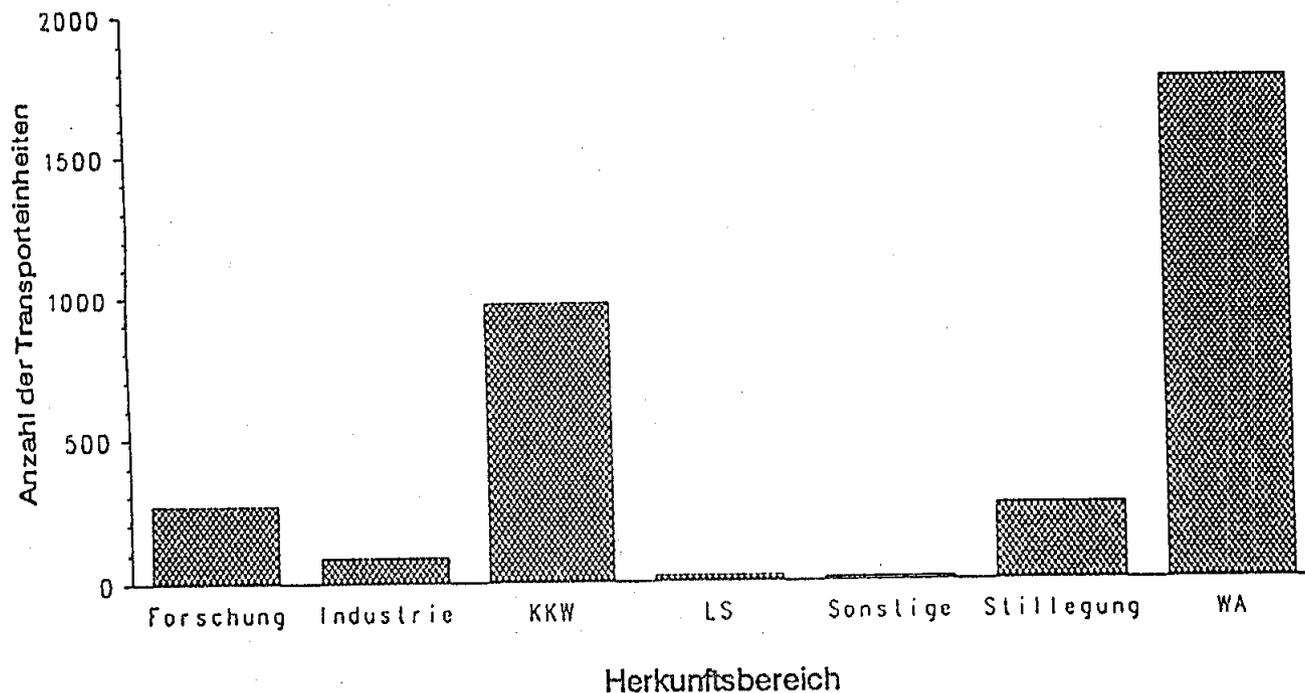


Bild 3.2

Basis: 3400 Transporteinheiten  
LS: Landessammelstelle

## Mittleres jährliches Abfallmengen – und Beförderungsaufkommen (1990)

Anzahl der Transporteinheiten pro Behältertyp

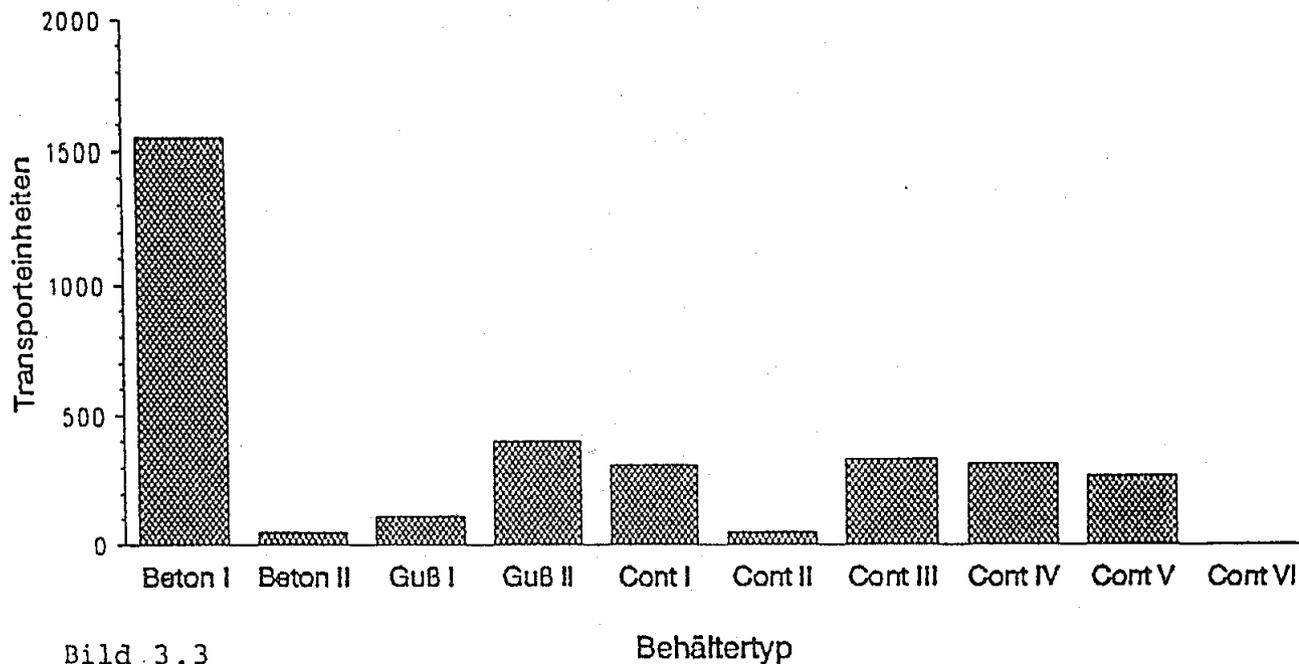


Bild 3.3

1007

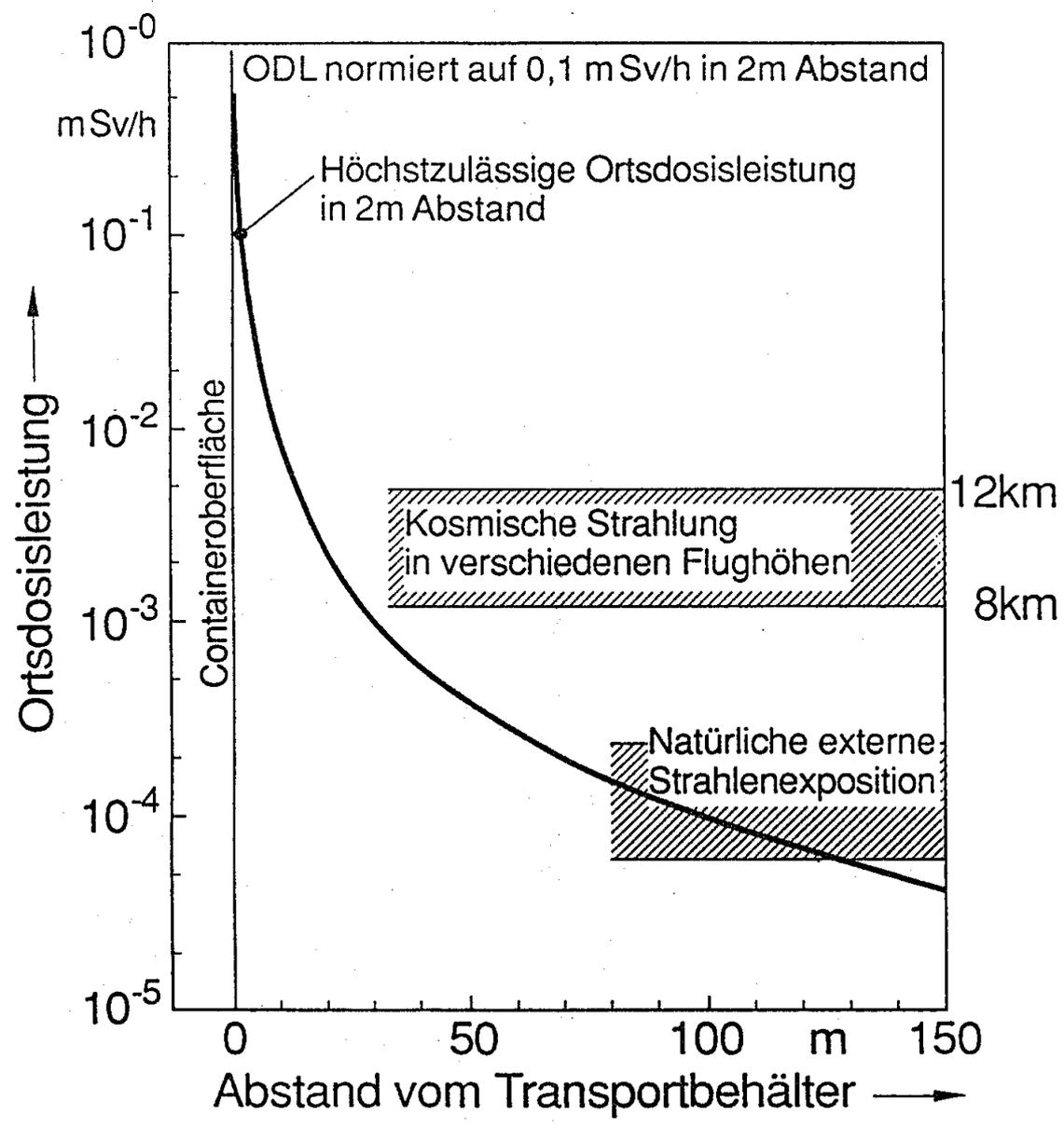


Bild 4.1:

Räumliche Ortsdosisleistungs-Verteilung eines Abfall-Transportbehälters (Container Typ V)

Ortsdosisleistung des F...

# Ortsdosisleistung der Transporteinheiten

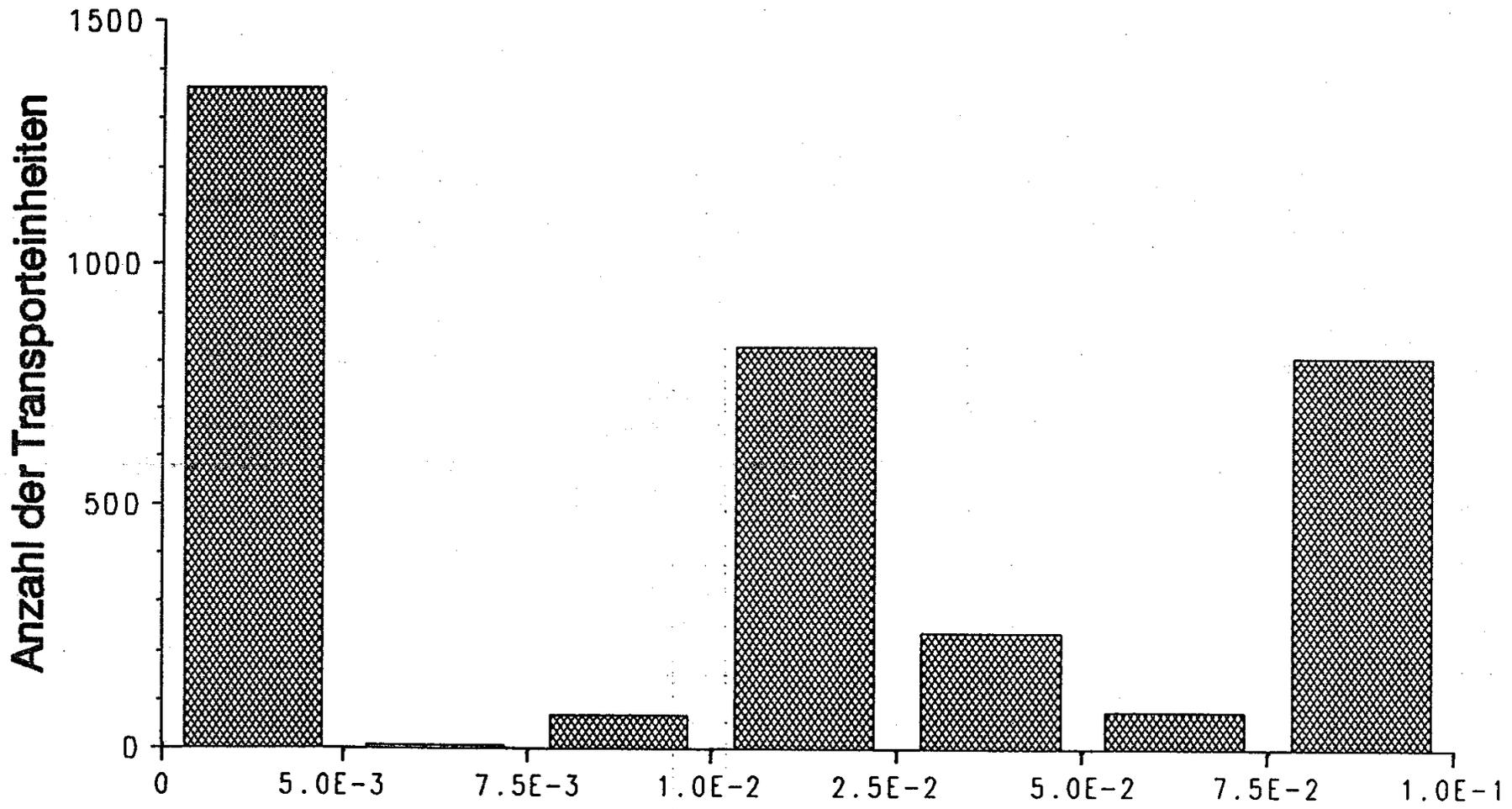


Bild 4.2

Ortsdosisleistung (mSv/h) in 2m Abstand

Basis: 3400 Transporteinheiten

# Häufigkeitsverteilung der Gesamtaktivität pro Transporteinheit

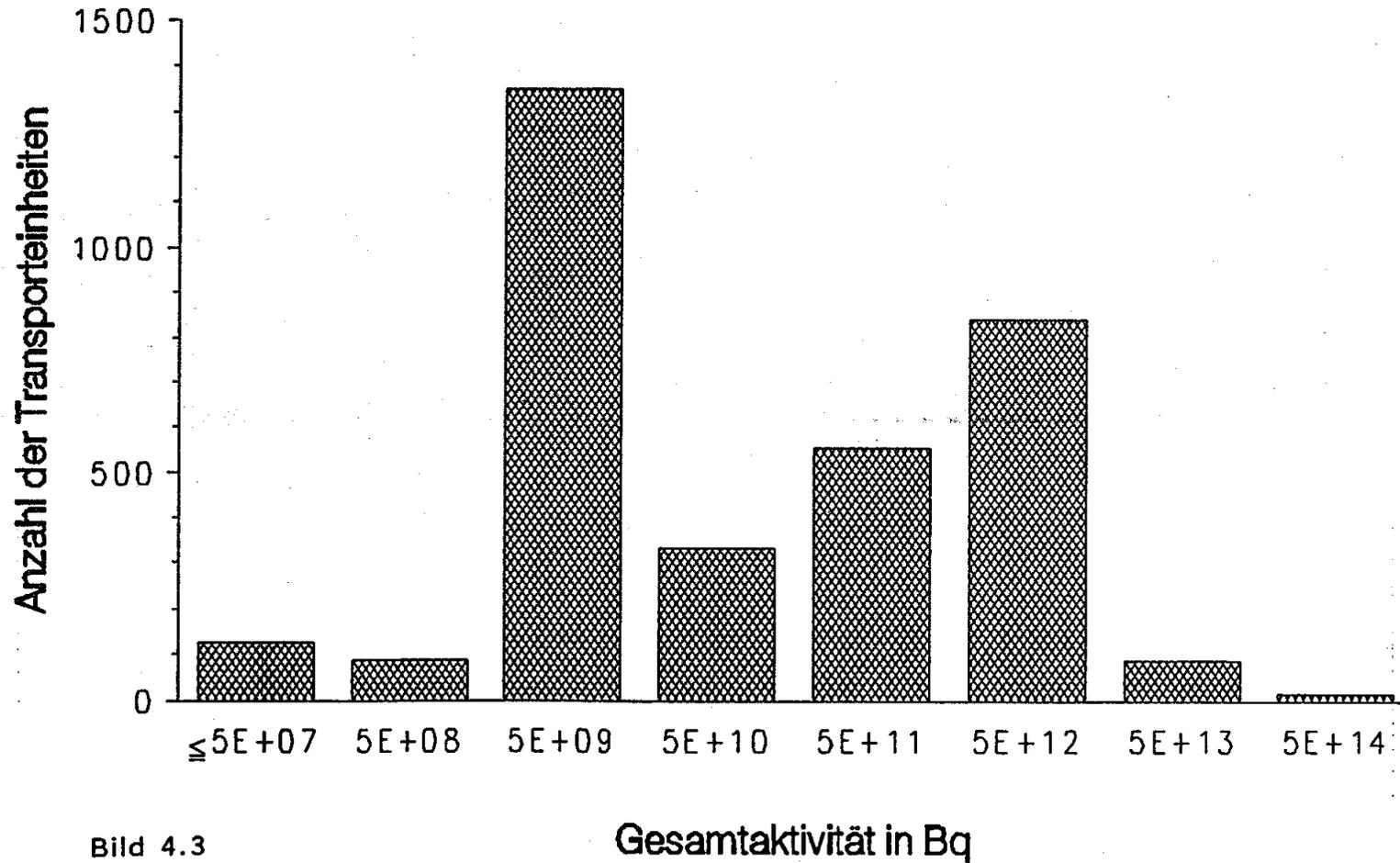


Bild 4.3

Basis: 3400 Transporteinheiten

12/19

## Sahimms 900

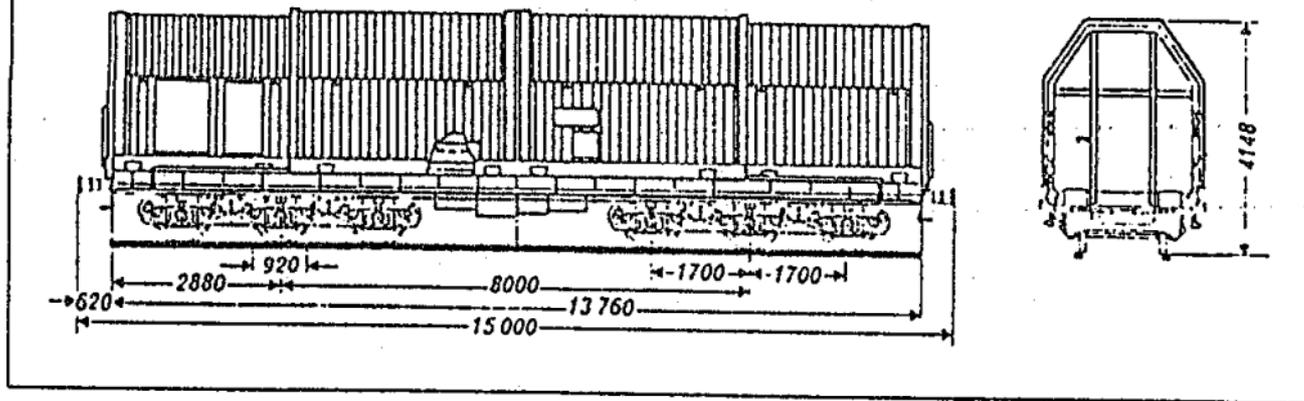
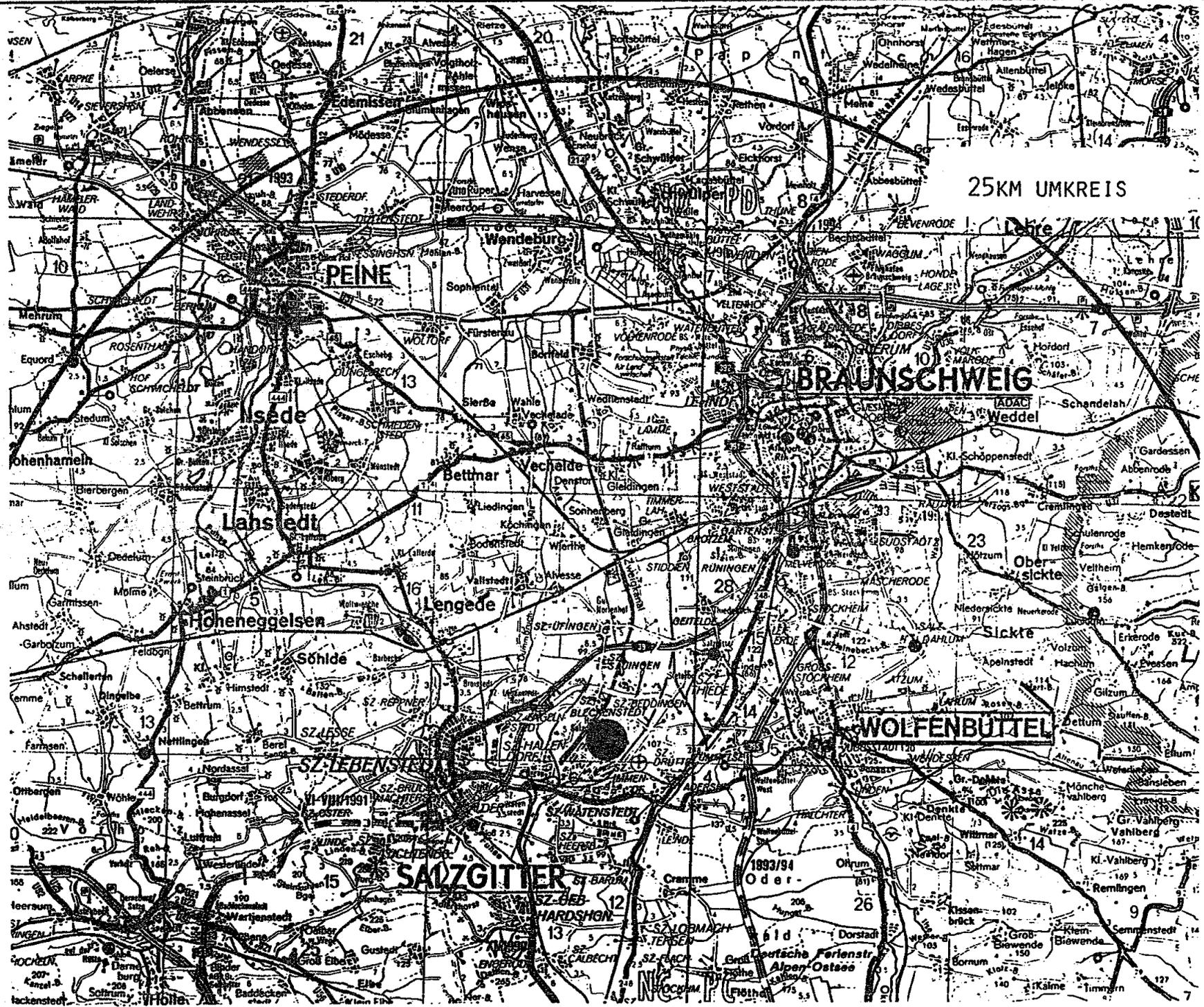


Bild 5.1:

Schematische Darstellung des Güterwagons Sahimms 900

Bild 5.2.a :



25KM UMKREIS

33

1991

SCGTIPAU FIG. 1 02/24/89 1314147

SCGTIPBA FIG. 1 02/24/89 13147121

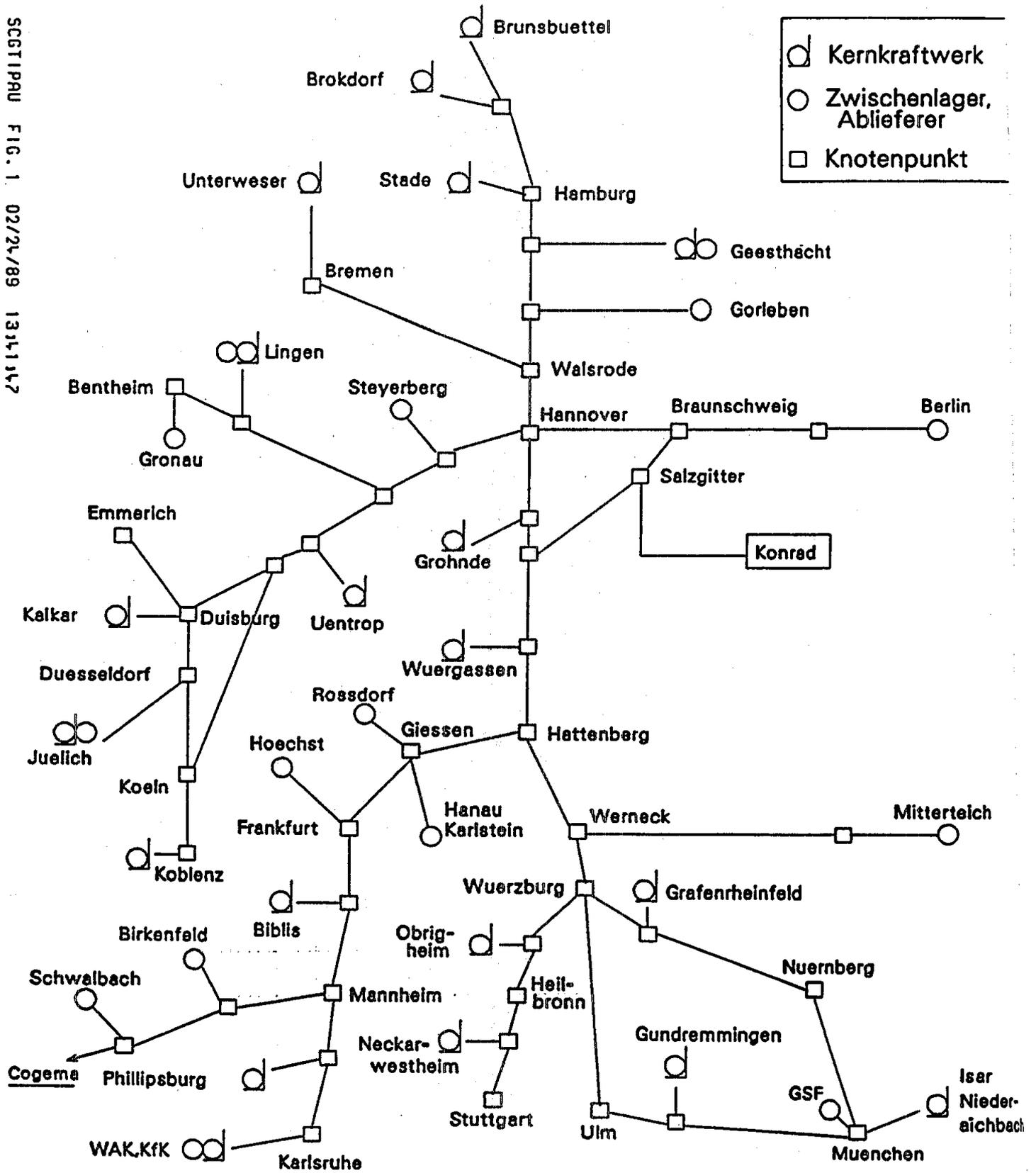


Bild 5.2 b :

Abfallbeförderung auf der Straße: Streckenführung

SCOTIPBA FIG. 1 02/24/89 13147121

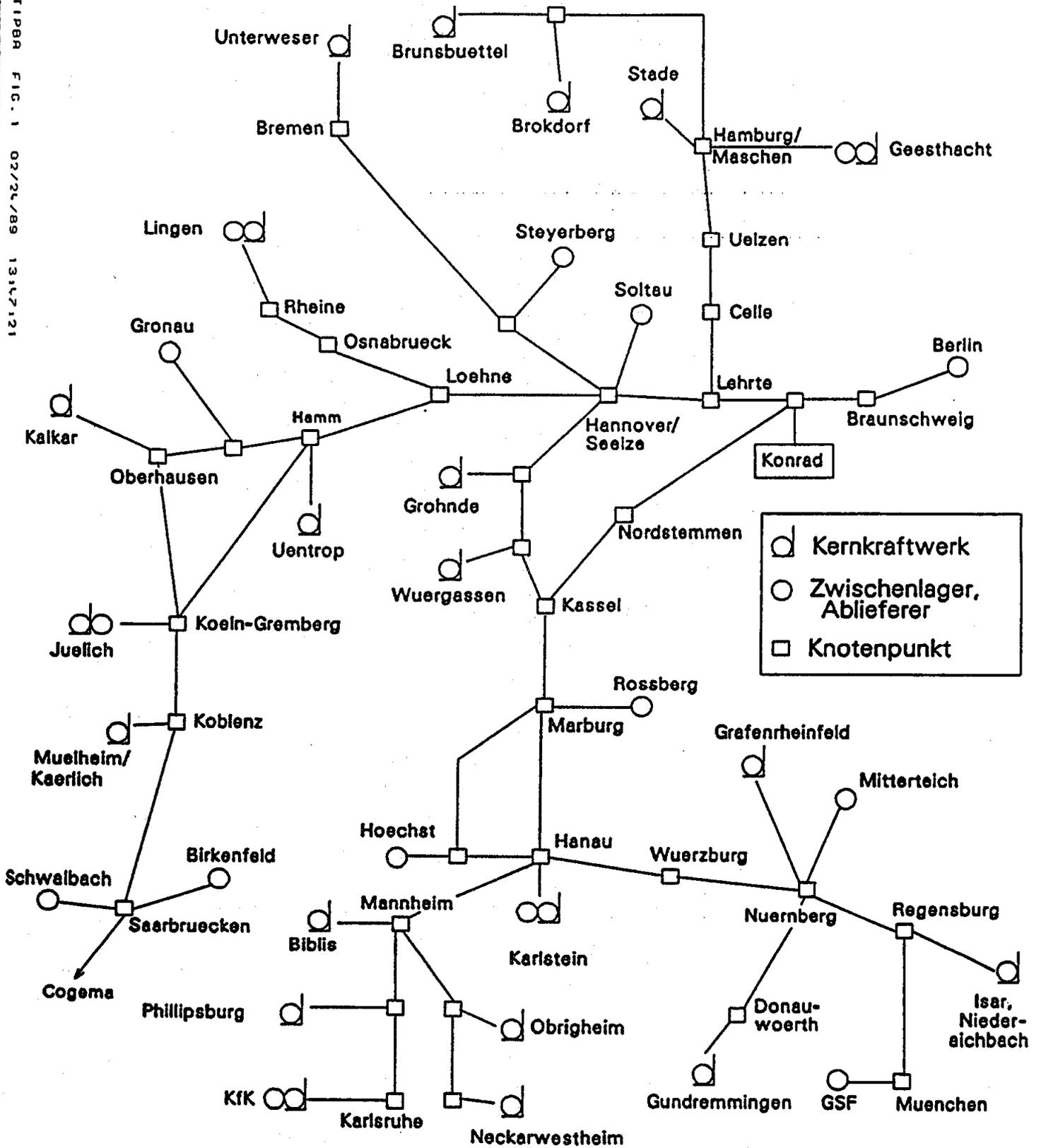


Bild 5.2 c :

Abfallbeförderung auf der Schiene: Streckenführung

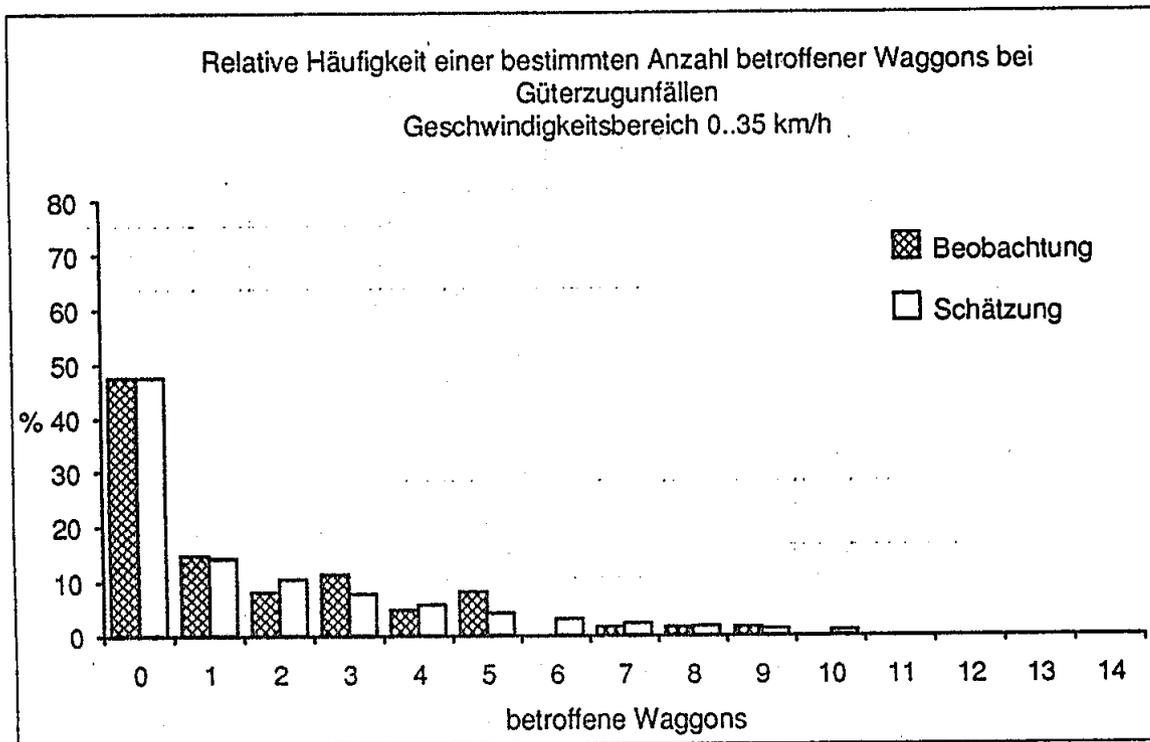


Bild 8.3.2

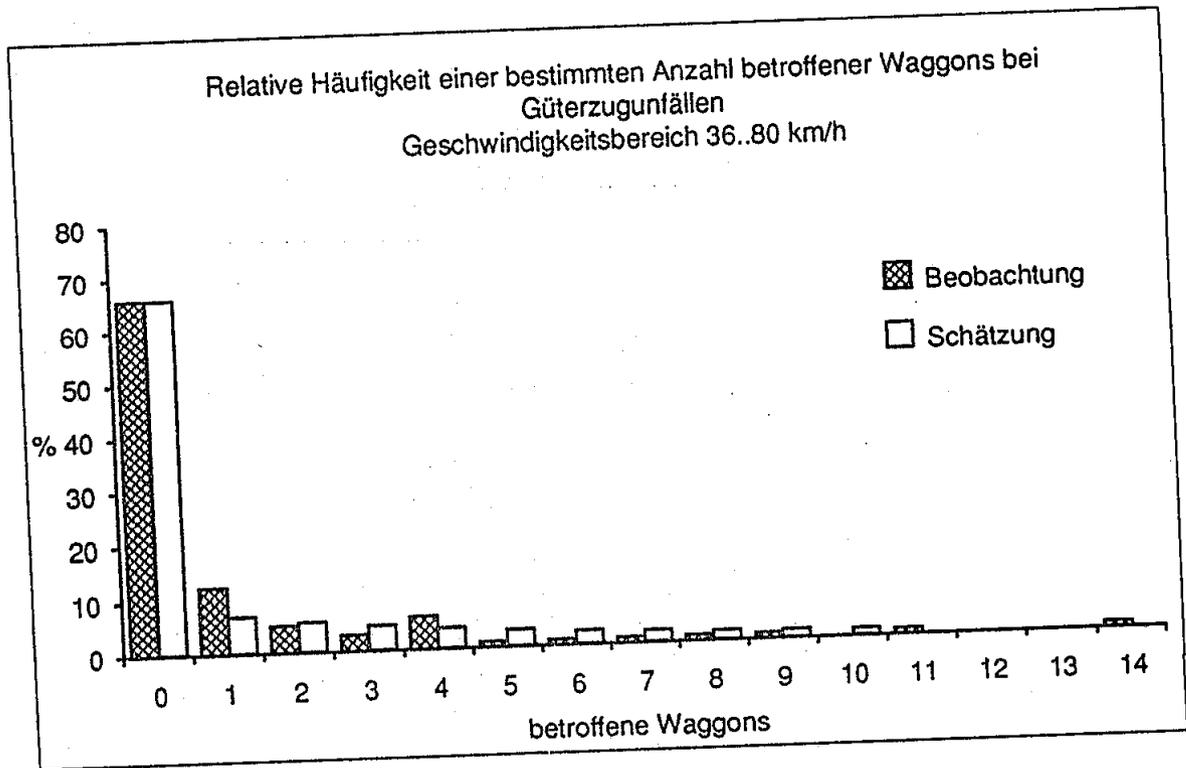


Bild 8.3.3

A0 16

Relative Häufigkeit einer bestimmten Anzahl betroffener Waggons bei  
Güterzugunfällen  
Geschwindigkeitsbereich über 80 km/h

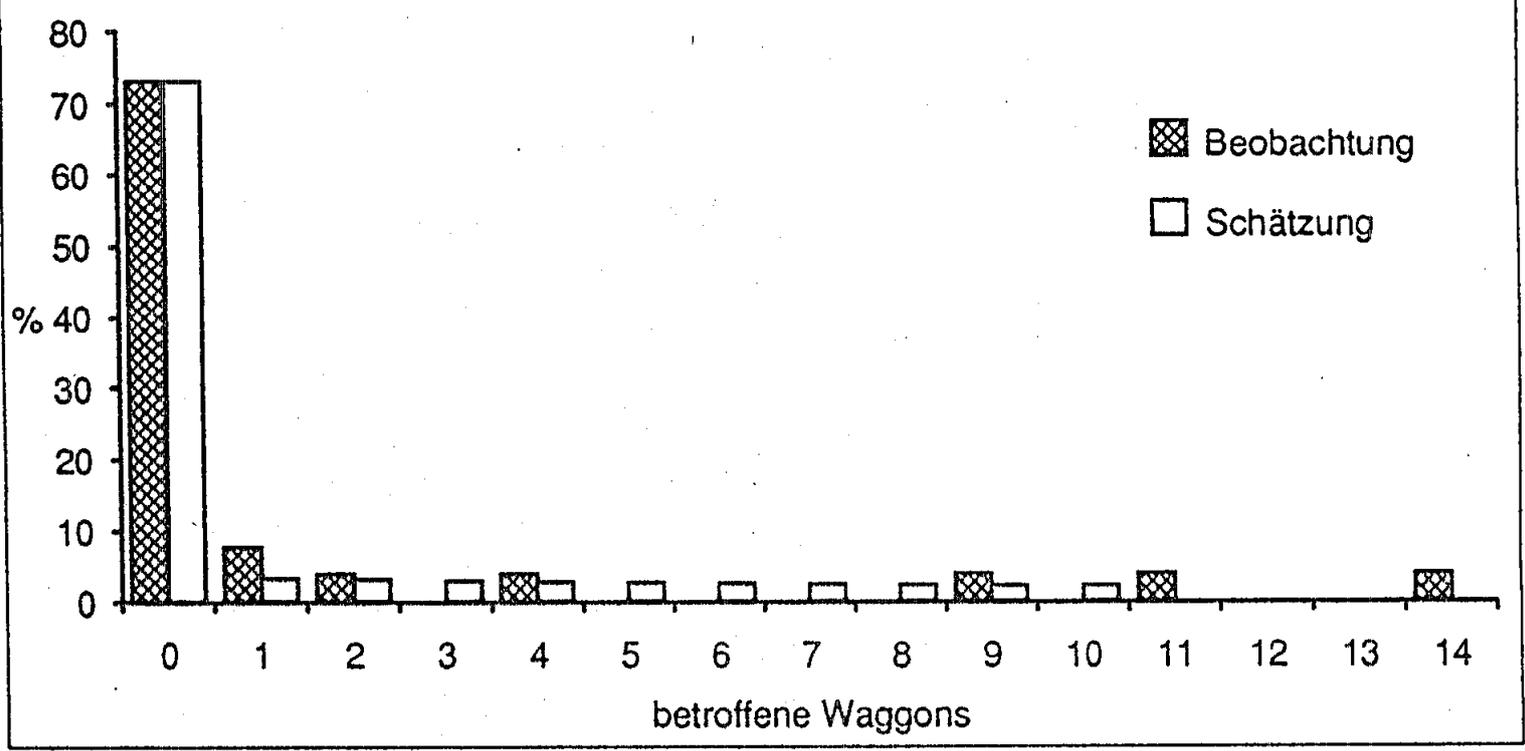


Bild 8.3.4

A0 17

A017

Relative Häufigkeit einer bestimmten Anzahl betroffener Waggon bei  
Güterzugunfällen  
Brand ohne mechanische Einwirkung

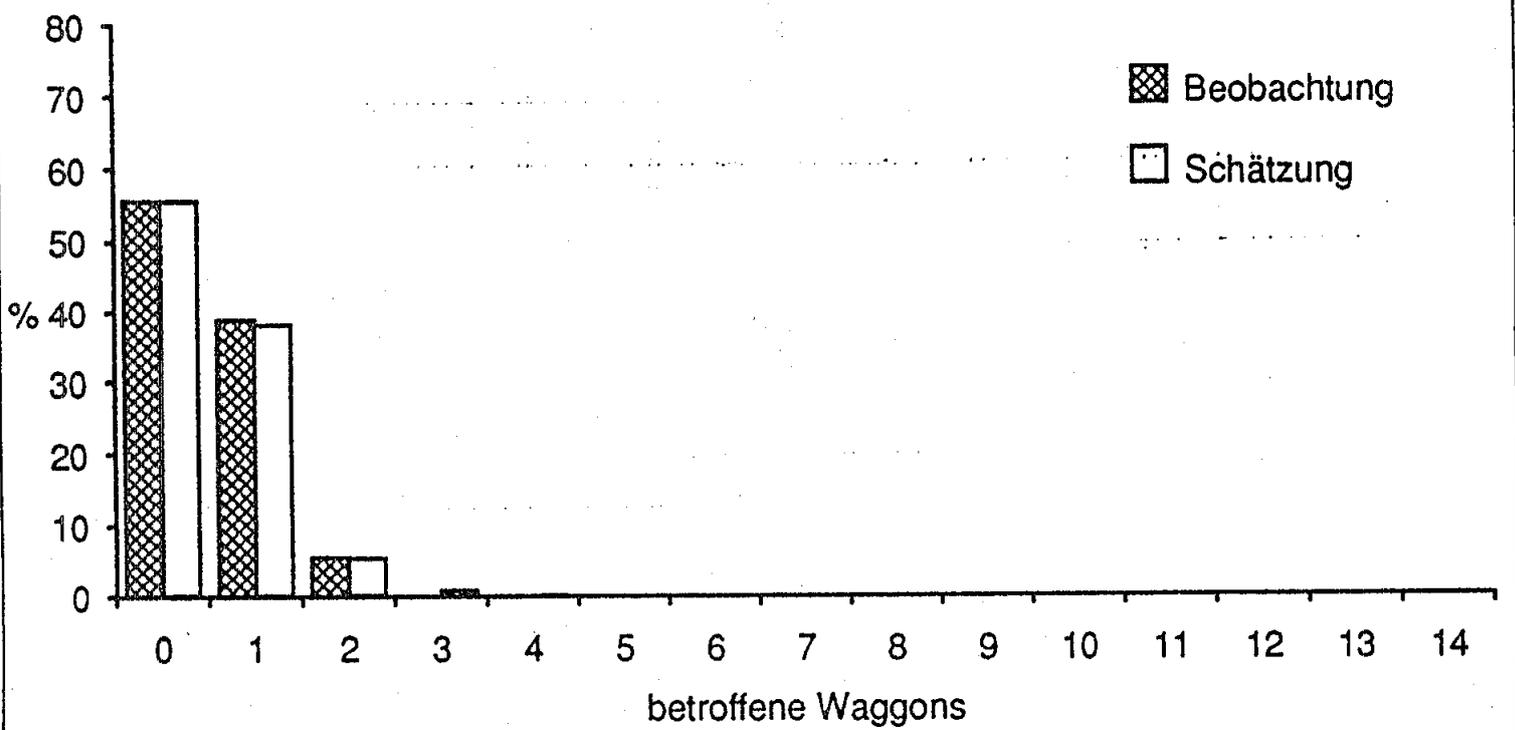


Bild 8.3.5

Relative Häufigkeit einer bestimmten Anzahl betroffener Waggons bei Güterzugunfällen  
Schätzung

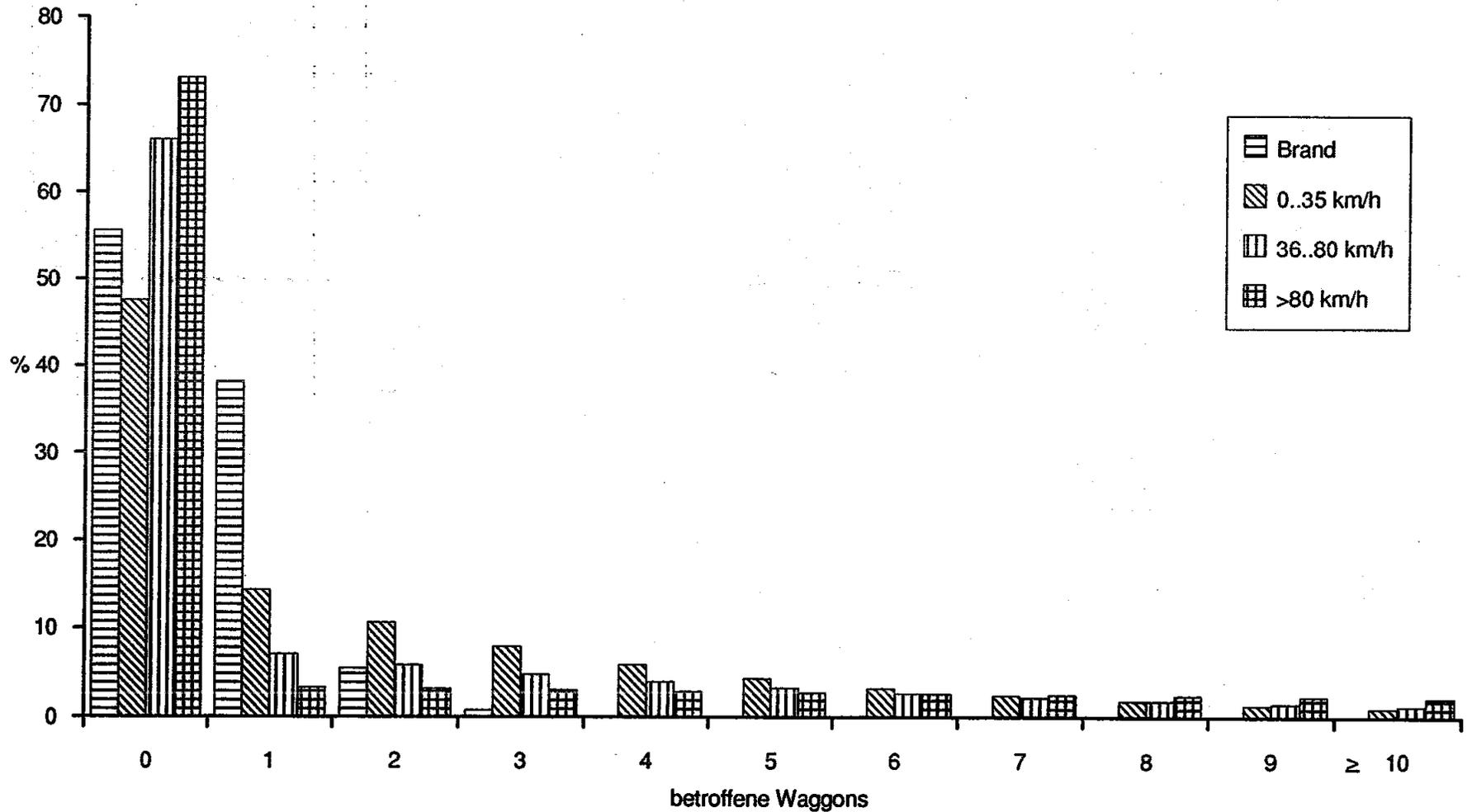


Bild 8.3.6

Relative Häufigkeit einer bestimmten Anzahl betroffener Waggons bei  
Rangierunfällen  
(empirische Verteilung Rangierbahnhof Braunschweig 1987-1989)

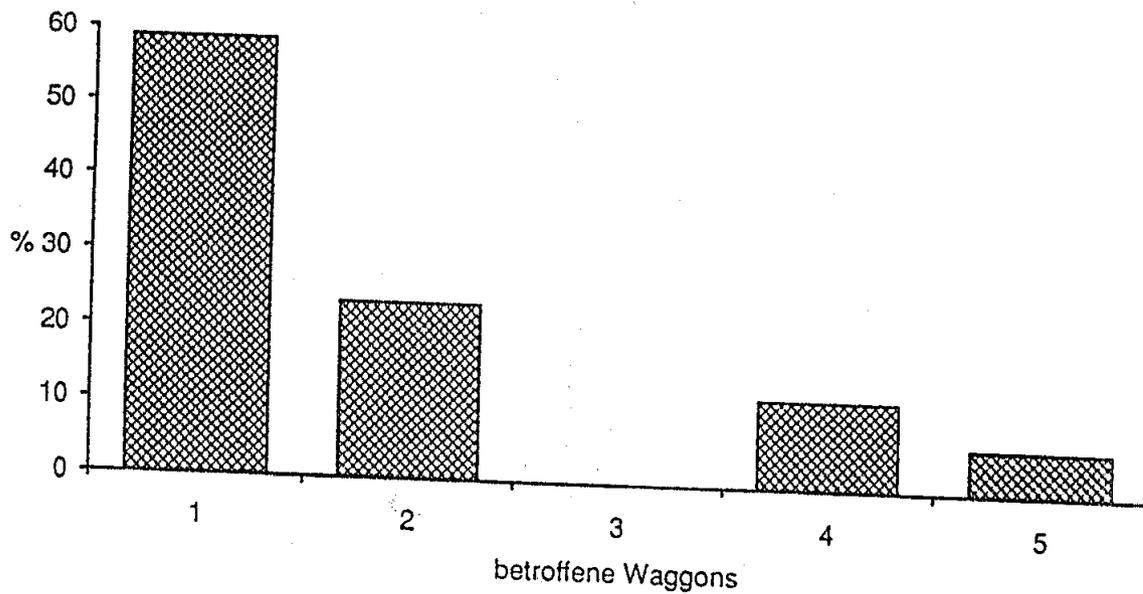
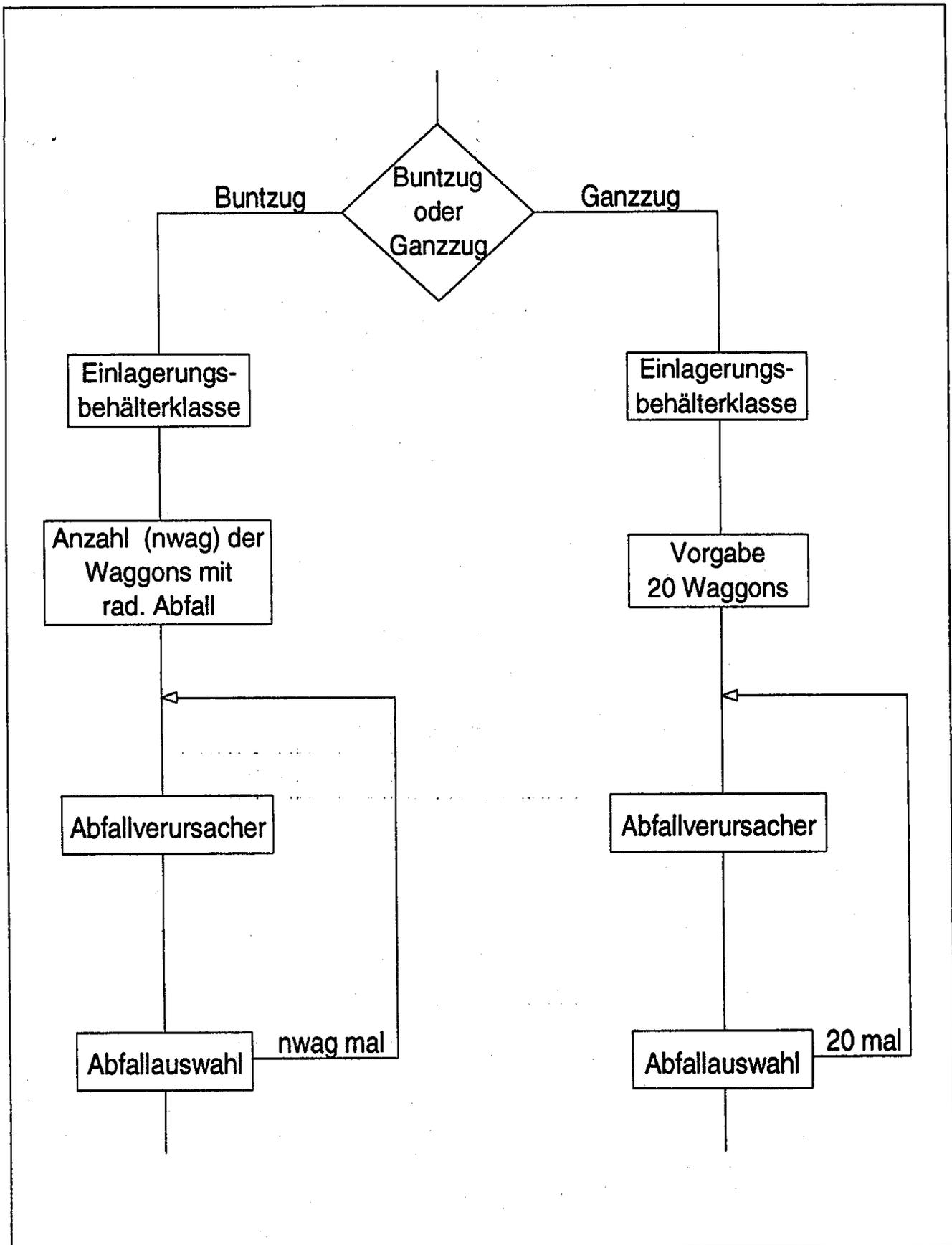


Bild 8.3.7



**Bild 8.4.1:**

Struktur des Simulationsmodells zum Abfallbindetransport auf der Schiene

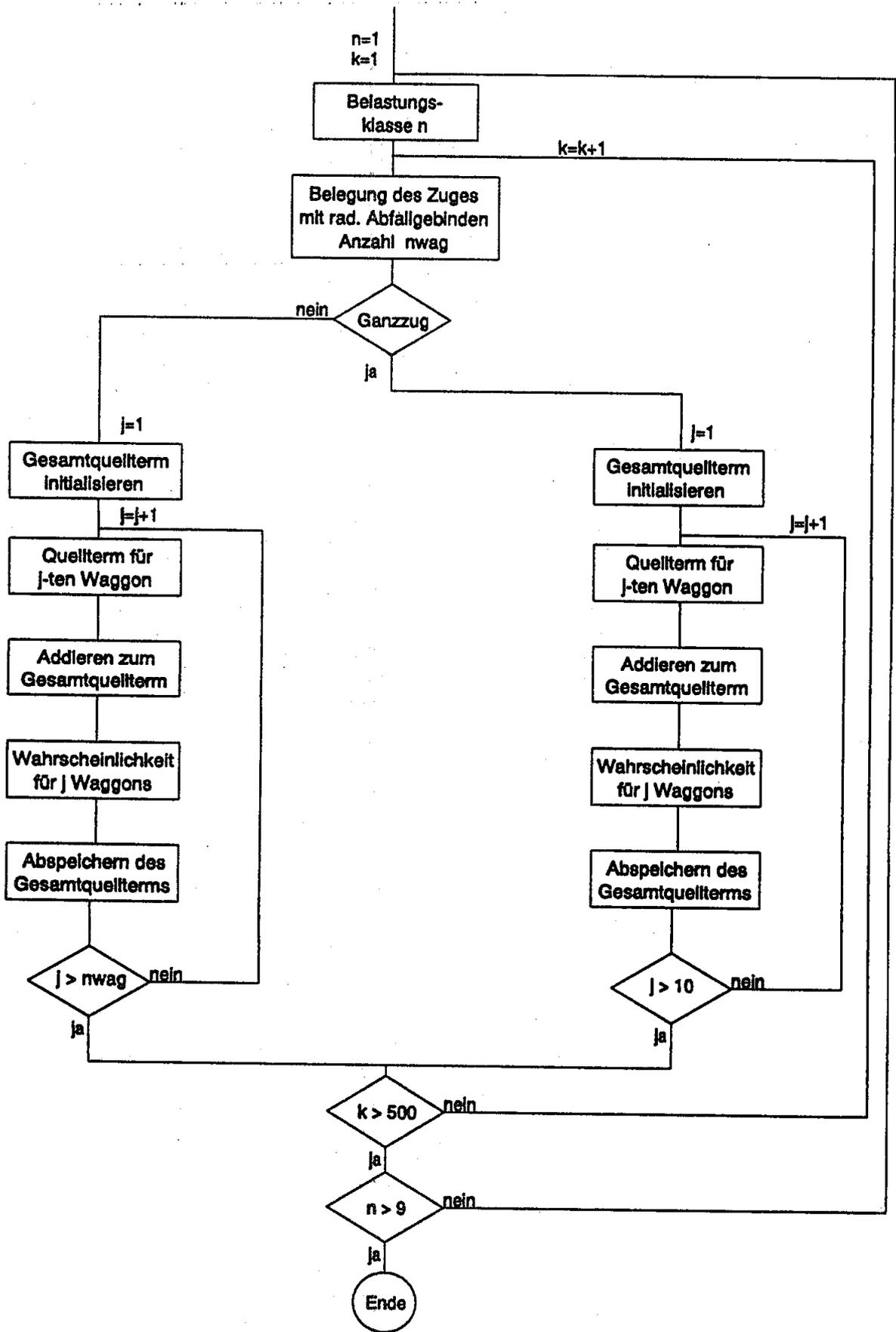


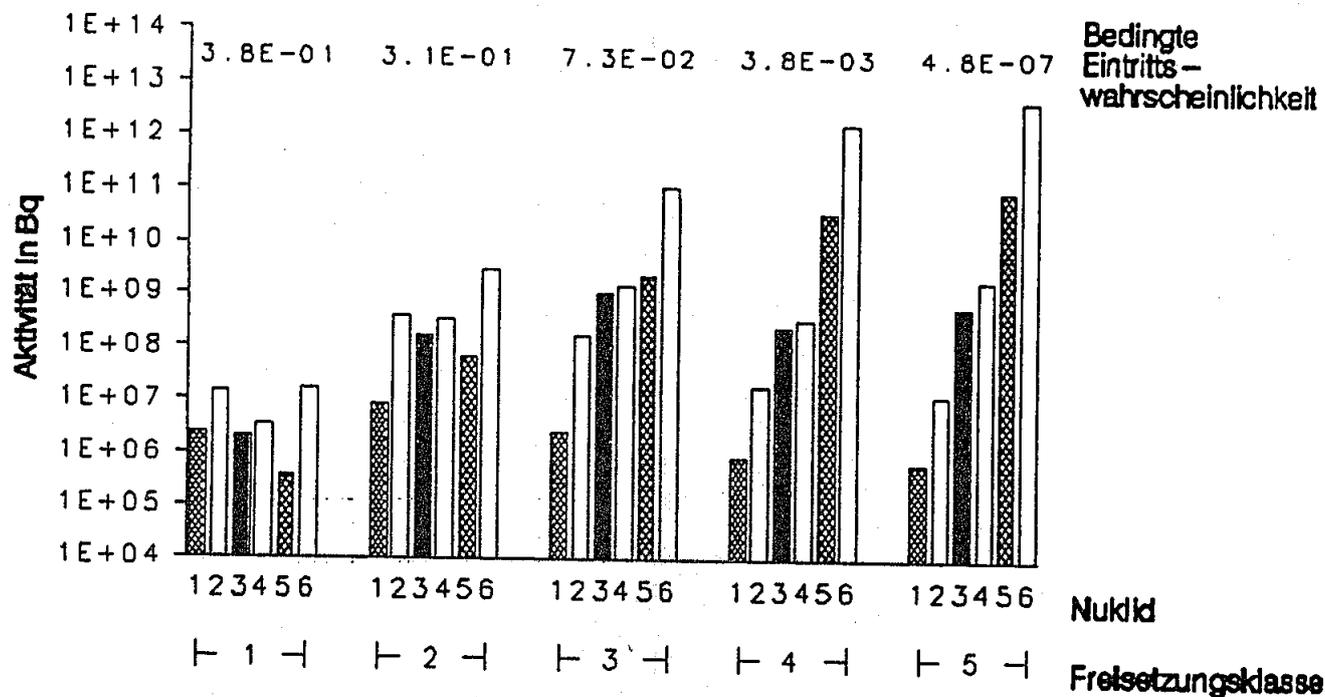
Bild 8.4.2:

Simulation von Unfällen beim Güterzugverkehr

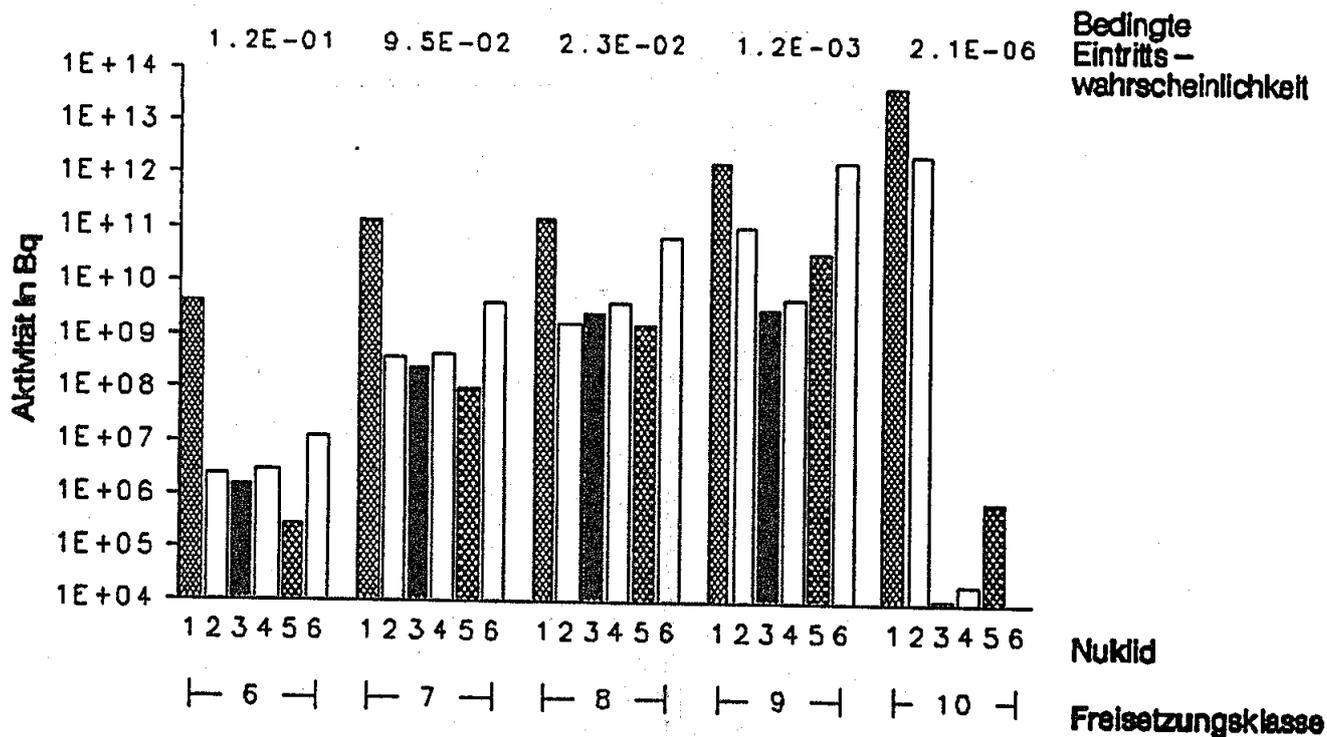
# Potentielle unfallbedingte Aktivitätsfreisetzungen bei Bahnunfällen

Basis: 100% Bahntransporte

Ohne Brandeinwirkung



## Mit Brandeinwirkung



1=H 3  
4=Cs 137

2=Co 60  
5=Pu 238

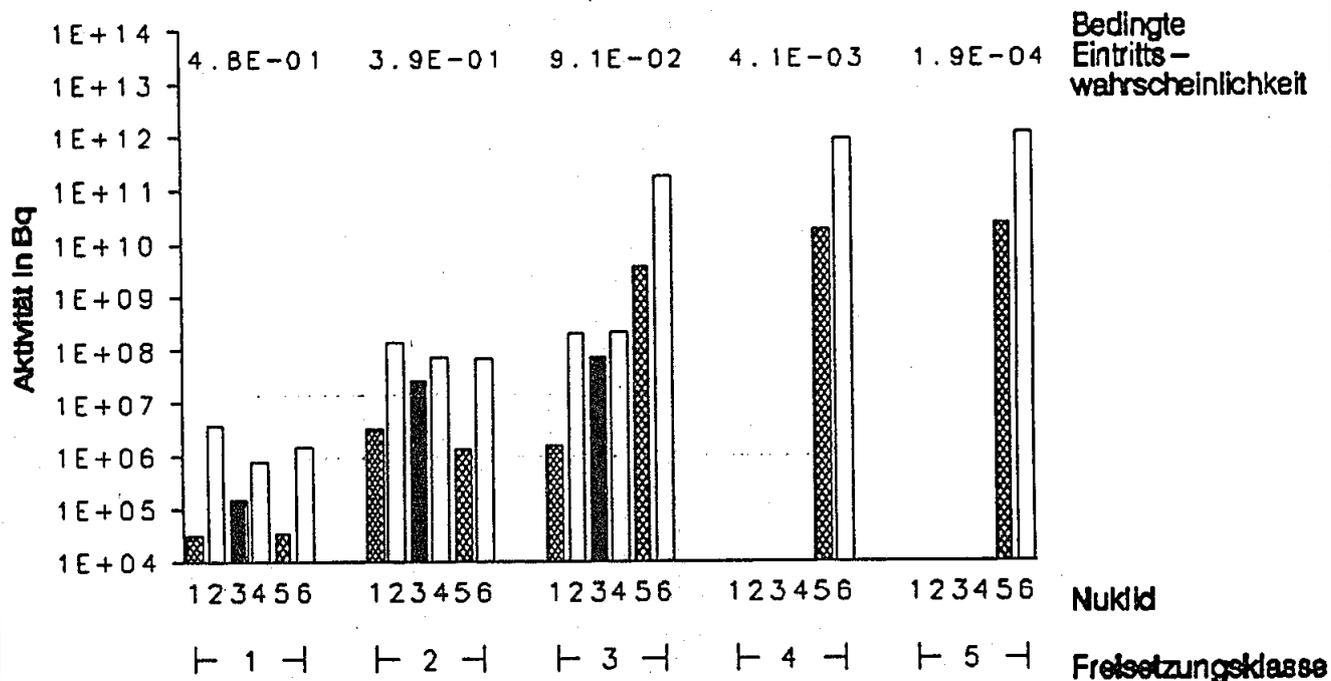
3=Sr 90  
6=Pu 241

Bild 8.4.3:

# Potentielle unfallbedingte Aktivitätsfreisetzungen bei LKW – Unfällen

Basis: Keine WA – Abfälle

Ohne Brandeinwirkung



Mit Brandeinwirkung

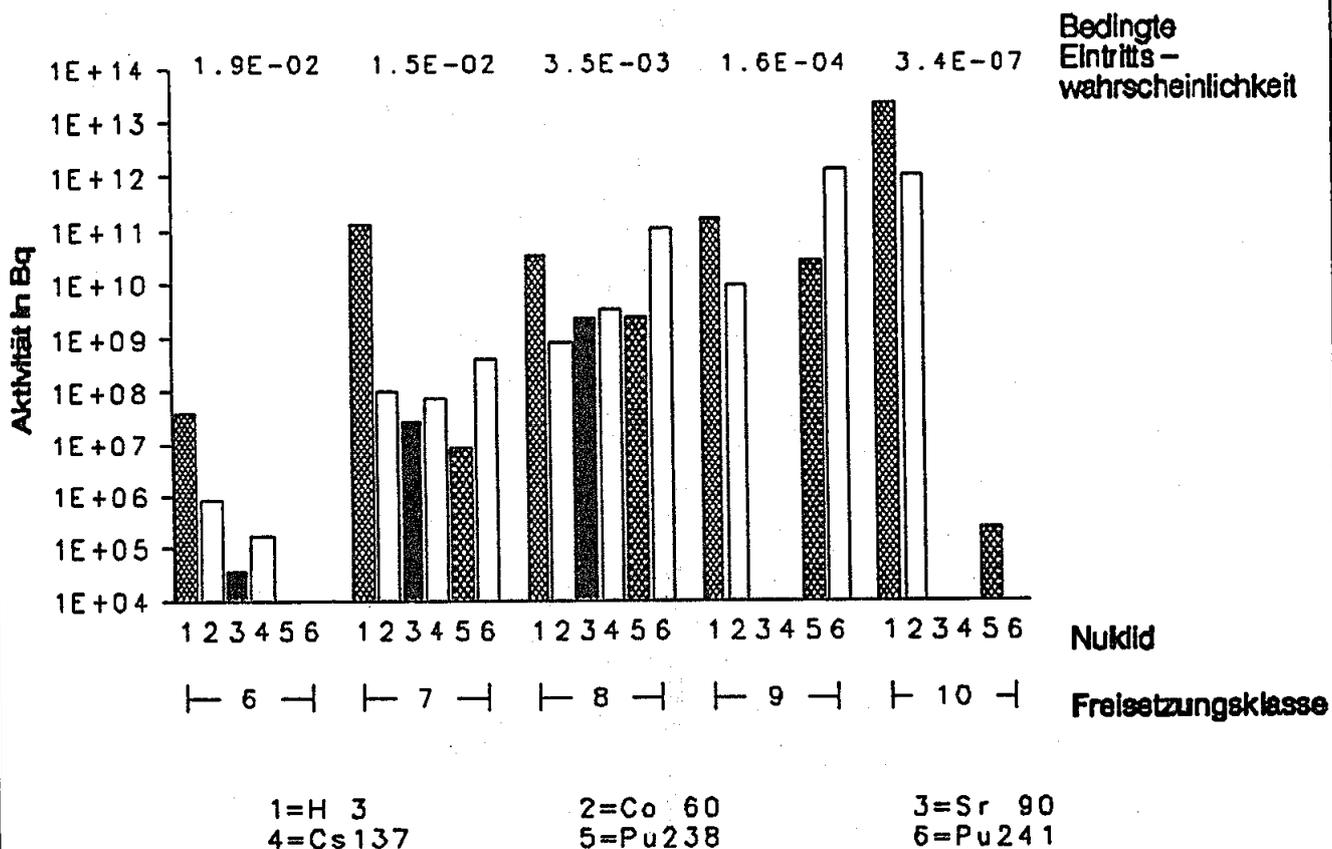
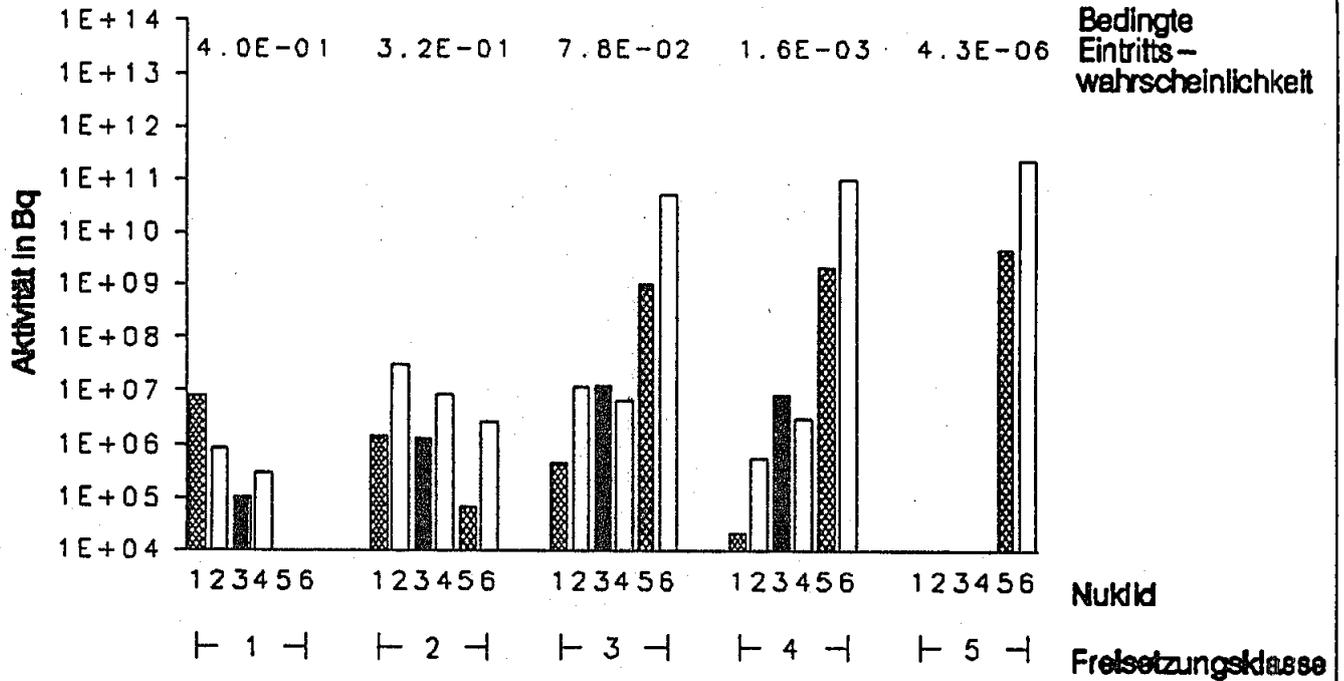


Bild 8.4.4:

# Potentielle unfallbedingte Aktivitätsfreisetzungen bei Rangierunfällen

Basis: Keine WA – Abfälle

Ohne Brandeinwirkung



## Mit Brandeinwirkung

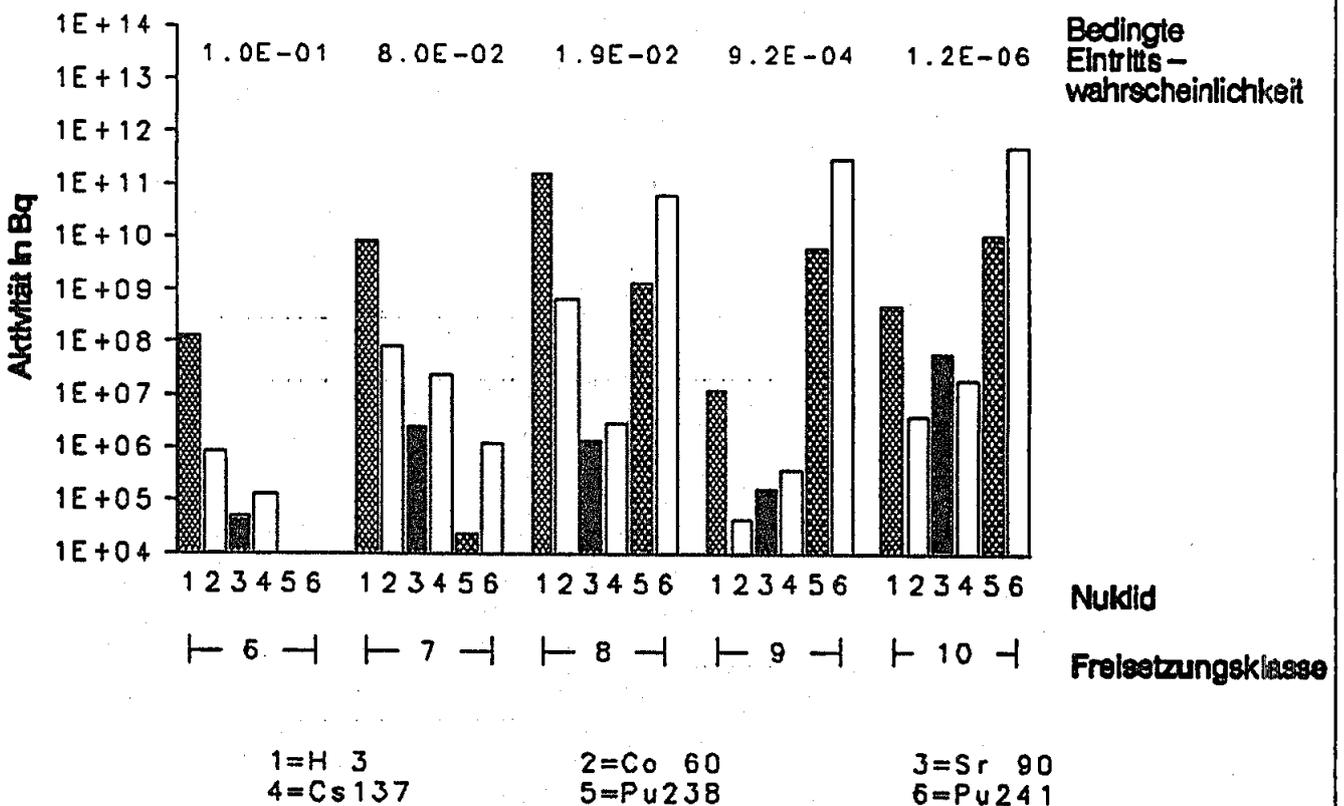
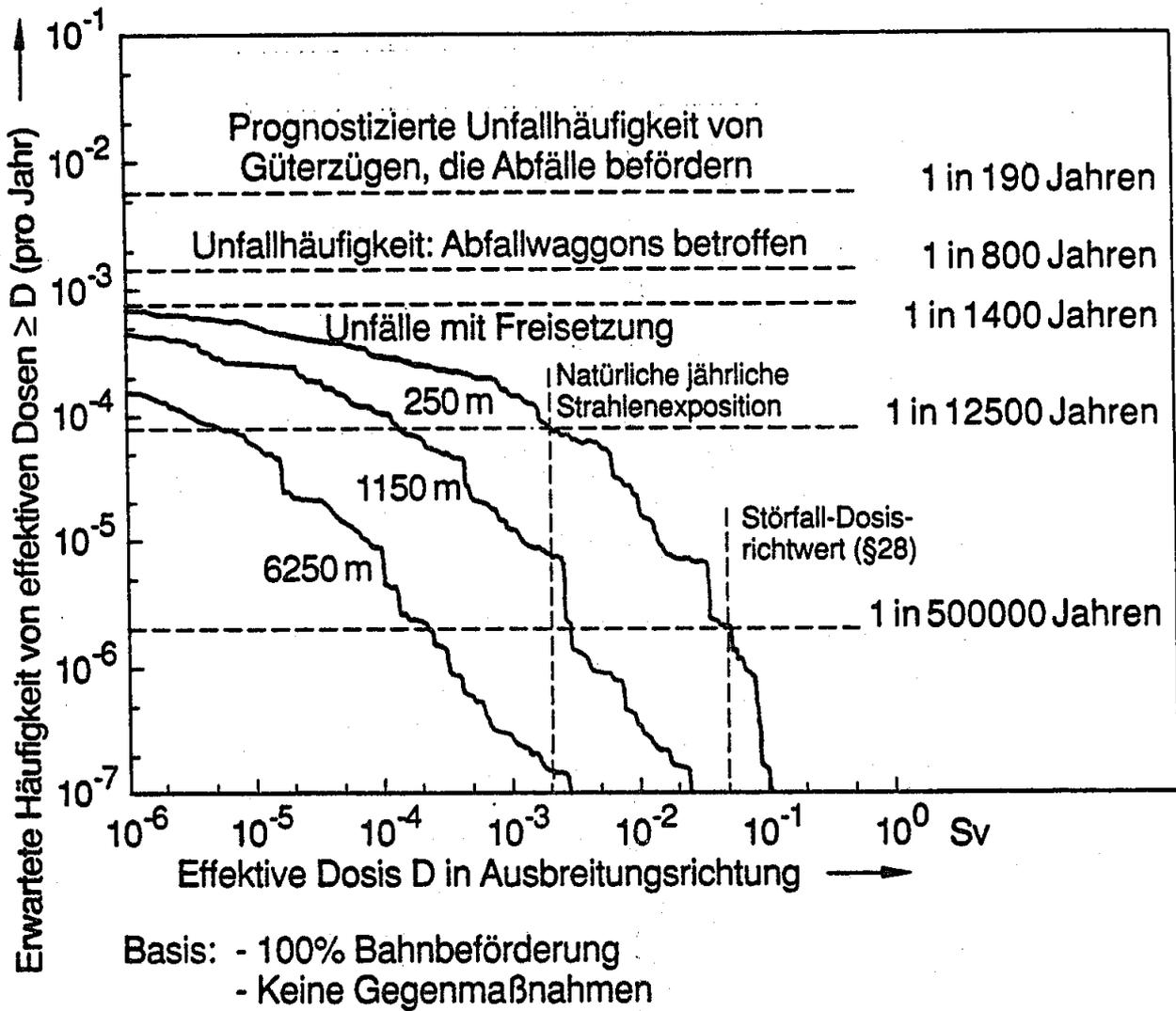
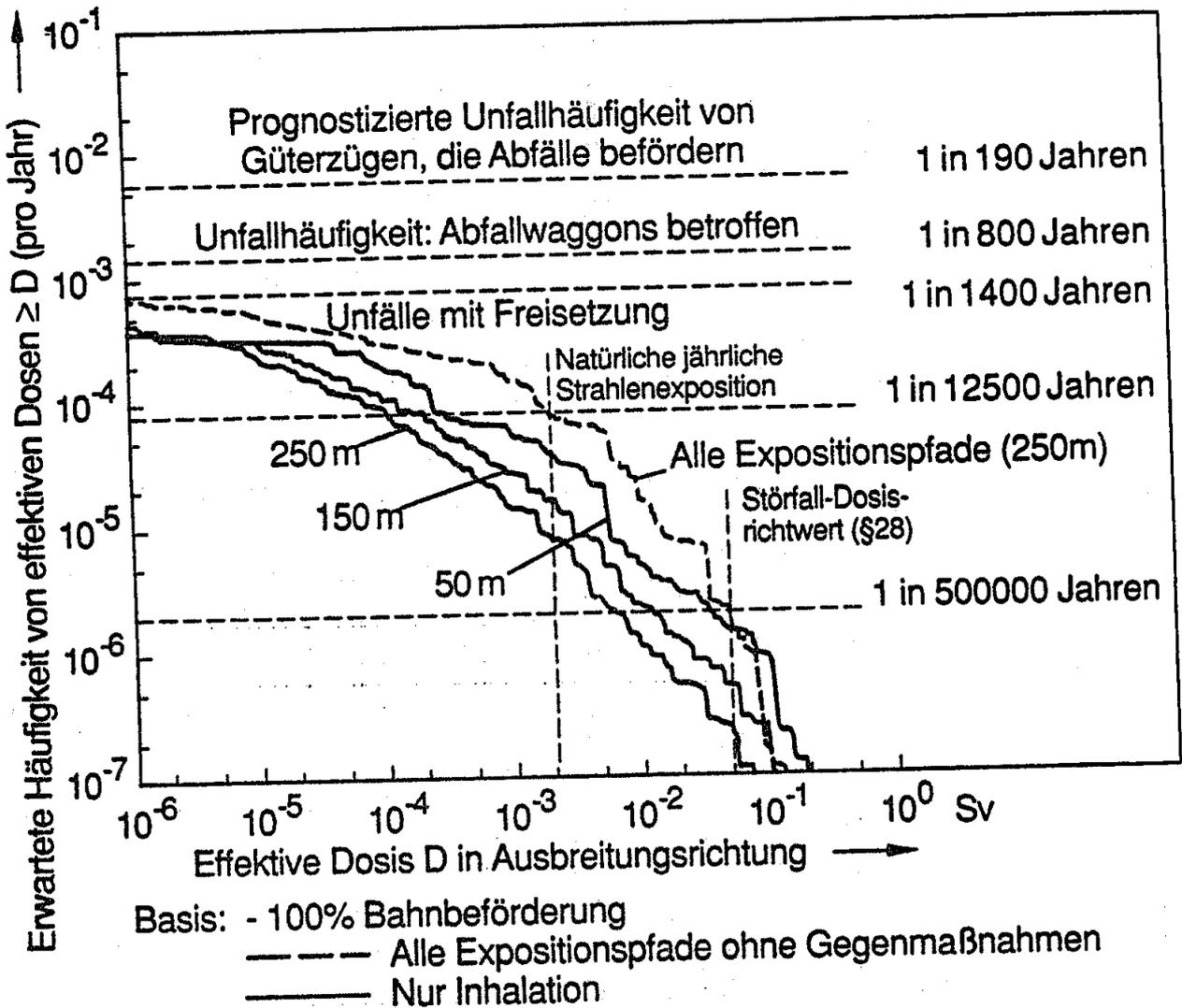


Bild 8.4.5:



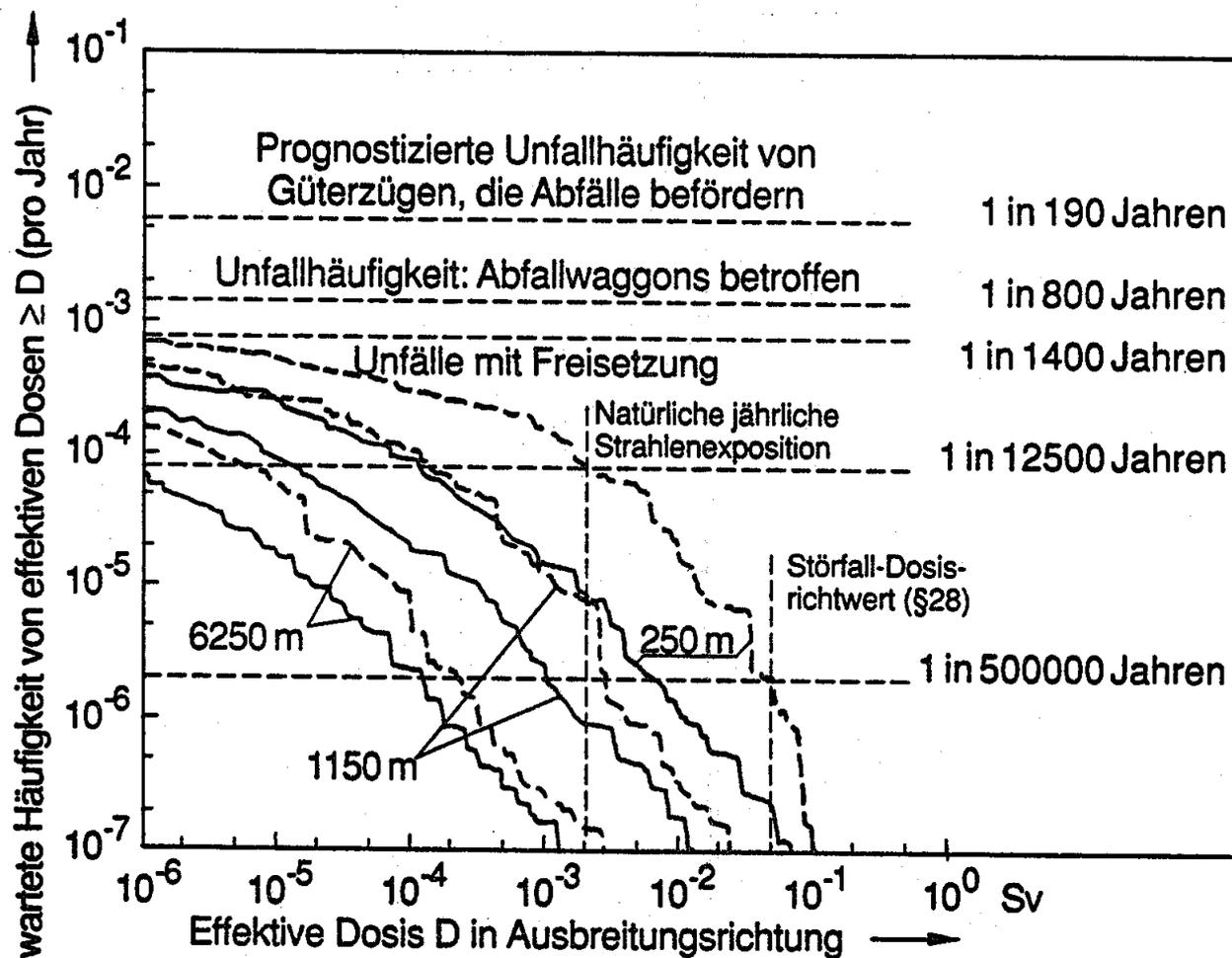
Häufigkeitsverteilung der effektiven Lebenszeitdosis aufgrund von Abfalltransportunfällen in der Endlagerregion (25km Umkreis)

Bild 8.6.1:



Häufigkeitsverteilung der effektiven Lebenszeitdosis aufgrund von Abfalltransportunfällen in der Endlagerregion (25km Umkreis)

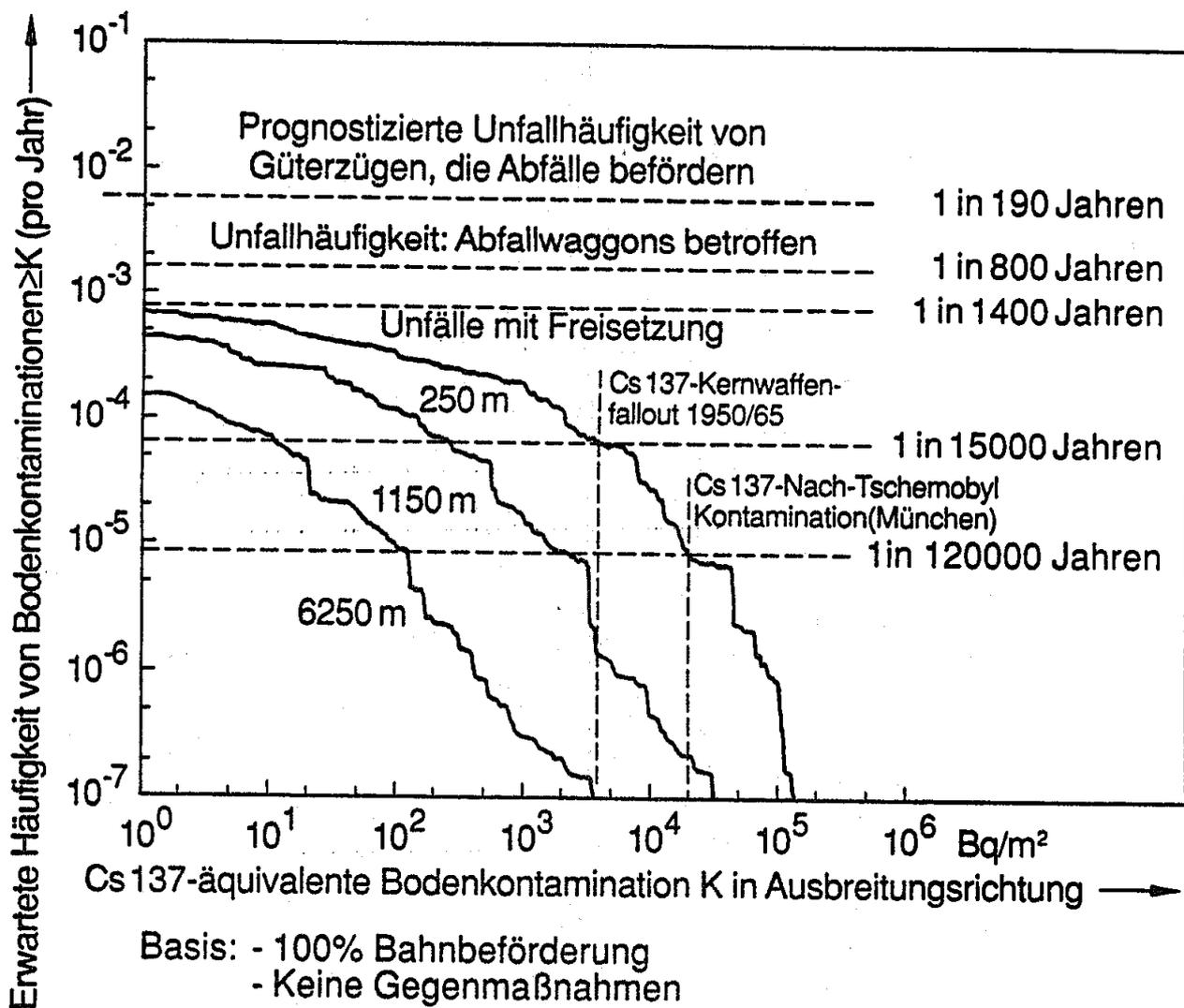
Bild 8.6.2



Basis: - 100% Bahnbeförderung  
 - - - Alle Expositionspfade ohne Gegenmaßnahmen  
 — Nur Inhalation

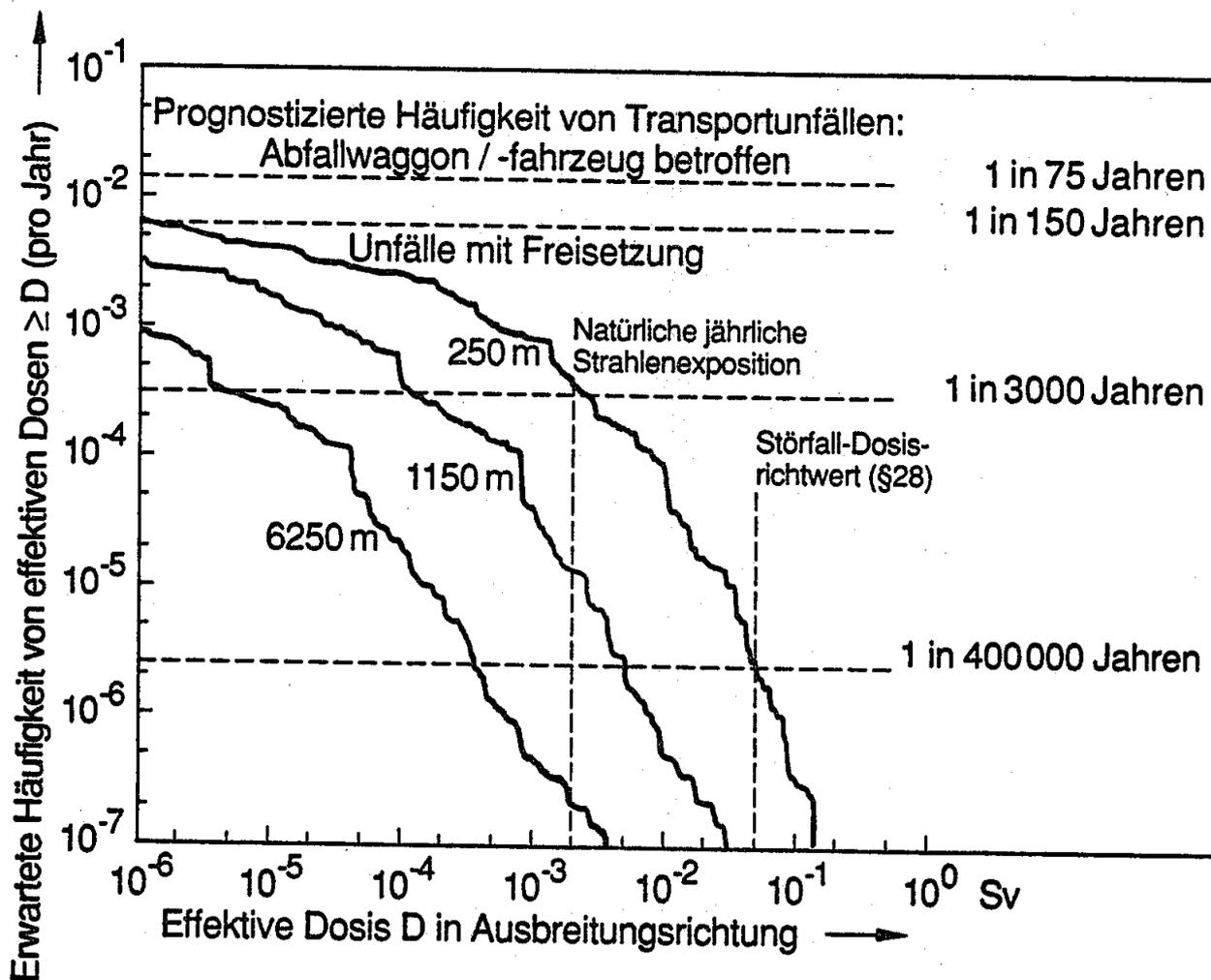
Häufigkeitsverteilung der effektiven Lebenszeitdosis aufgrund von Abfalltransportunfällen in der Endlagerregion (25km Umkreis)

Bild 8.6.3



Häufigkeitsverteilung der Cs 137-äquivalenten Bodenkontamination aufgrund von Abfalltransportunfällen in der Endlagerregion (25km Umkreis)

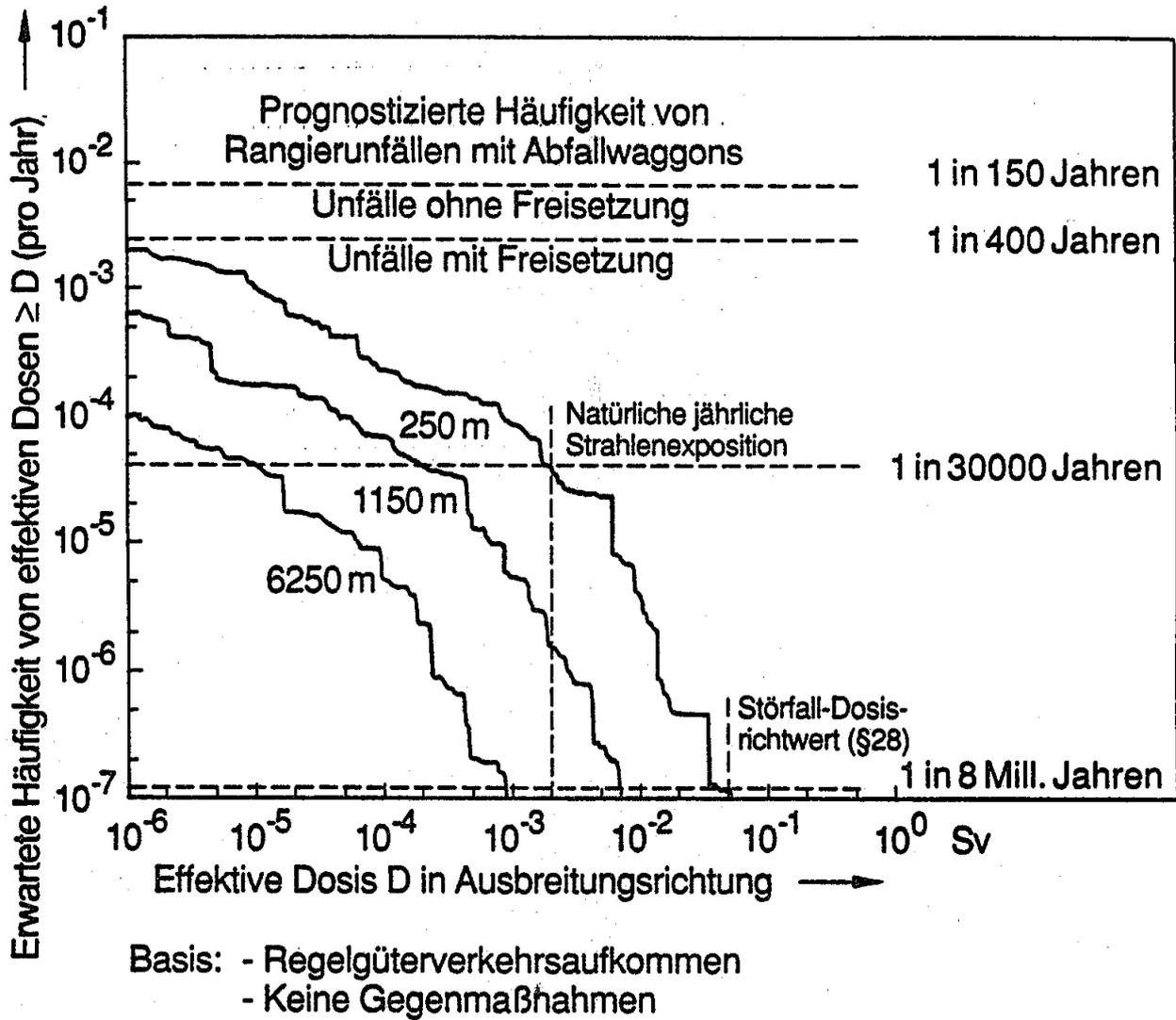
Bild 8.6.4



Basis: - 80% Bahn / 20% Straßenbeförderung  
- Keine Gegenmaßnahmen

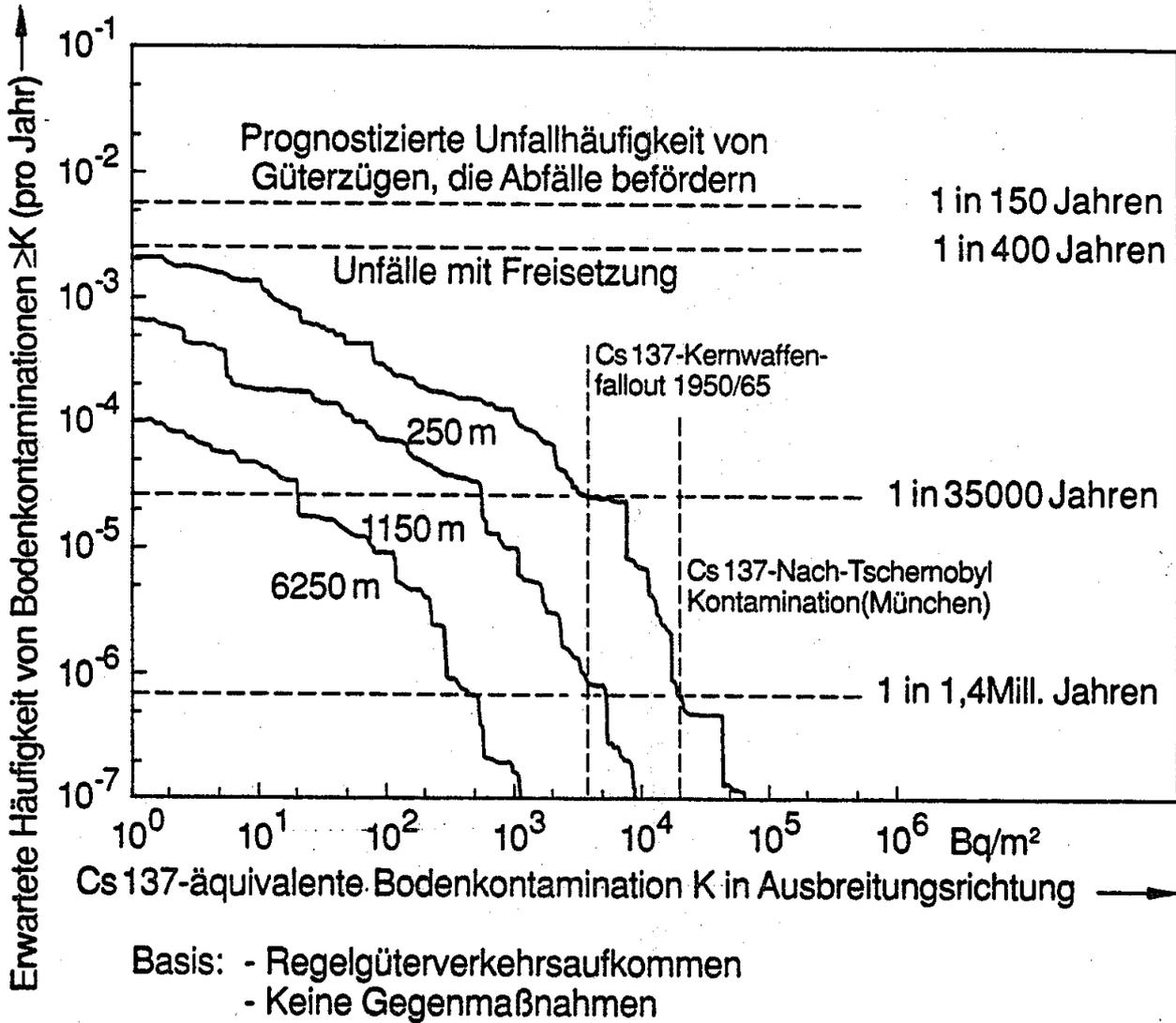
Häufigkeitsverteilung der effektiven Lebenszeitdosis aufgrund von Abfalltransportunfällen in der Endlagerregion (25km Umkreis)

Bild 8.6.5



Häufigkeitsverteilung der effektiven Lebenszeitdosis aufgrund von Rangierunfällen im Rbf. Braunschweig

Bild 8.6.6



Häufigkeitsverteilung der Cs 137-äquivalenten Bodenkontamination aufgrund von Rangierunfällen im Rbf. Braunschweig

Bild 8.6.7

# Freisetzungsanteile aus Transportbehältern bei Unfallbelastungen für sonstige Radionuklide (ohne H3, C14, Halogene)

Belastungs- klasse	AED /µm/	AGG1	AGG2	AGG3	AGG4	AGG5	AGG6	AGG7	AGG8
1	0-10	8.9E-05	8.9E-05	8.9E-07	8.9E-07	6.5E-06	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
	10-70	1.8E-04	1.8E-04	1.8E-06	1.8E-06	1.9E-04	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
2	0-10	1.0E-01	1.3E-03	2.0E-04	4.0E-04	2.2E-04	0.0E+00	0.0E+00	1.1E-07
	10-70	1.8E-04	1.8E-04	1.8E-06	1.8E-06	1.9E-04	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
3	0-10	1.0E-01	5.1E-03	4.0E-03	1.6E-03	5.1E-04	0.0E+00	0.0E+00	2.0E-05
	10-70	1.8E-04	1.8E-04	1.8E-06	1.8E-06	1.9E-04	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
4	0-10	1.8E-03	1.8E-03	1.8E-05	1.8E-05	1.1E-04	0.0E+00	5.1E-05	0.0E+00
	10-70	3.5E-03	3.5E-03	3.5E-05	3.5E-05	2.4E-03	0.0E+00	1.2E-03	0.0E+00
5	0-10	1.0E-01	1.0E-01	2.2E-04	4.2E-04	2.9E-03	1.0E-01	1.4E-03	1.1E-07
	10-70	3.5E-03	3.5E-03	3.5E-05	3.5E-05	2.4E-03	0.0E+00	1.2E-03	0.0E+00
6	0-10	1.0E-01	1.0E-01	4.0E-03	1.6E-03	2.8E-03	1.0E-01	1.4E-03	2.0E-05
	10-70	3.5E-03	3.5E-03	3.5E-05	3.5E-05	2.4E-03	0.0E+00	1.2E-03	0.0E+00
7	0-10	5.4E-03	5.4E-03	5.4E-05	5.4E-05	3.2E-04	0.0E+00	1.6E-04	3.0E-08
	10-70	1.1E-02	1.1E-02	1.1E-04	1.1E-04	4.7E-03	0.0E+00	2.4E-03	0.0E+00
8	0-10	1.1E-01	1.1E-01	2.5E-04	4.5E-04	3.1E-03	1.0E-01	1.6E-03	2.2E-04
	10-70	1.1E-02	1.1E-02	1.1E-04	1.1E-04	4.7E-03	0.0E+00	2.4E-03	0.0E+00
9	0-10	1.1E-01	1.1E-01	4.1E-03	1.7E-03	3.1E-03	1.0E-01	1.6E-03	4.0E-03
	10-70	1.1E-02	1.1E-02	1.1E-04	1.1E-04	4.7E-03	0.0E+00	2.4E-03	0.0E+00

**Tabella 8.2.1: Partikelgrößenabhängige Freisetzungsanteile für aerodynamisch äquivalente Durchmesser (AED) von 0–10 und 10–70 µm in Abhängigkeit von Belastungsklasse und Abfallbindegruppe (AGG)**

1001

# Freisetzungsanteile aus Transportbehältern bei Unfallbelastungen für H3, C14 und Halogene

Tabelle 2

Belastungs- klasse	Nuklid	AGG1	AGG2	AGG3	AGG4	AGG5	AGG6	AGG7	AGG8
1	H3 C14 Halogene	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.
2	H3 C14 Halogene	1	1	1	1	6.0E-02 2.2E-04 5.0E-01	0	0	7.3E-07 1.6E-04 1.6E-04
3	H3 C14 Halogene	1	1	1	1	5.0E-01 5.1E-04 1	0 1 1	0 1 1	4.0E-03 6.0E-03 4.0E-02
4	H3 C14 Halogene	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.
5	H3 C14 Halogene	1	1	1	1	5.0E-01 2.9E-03 1	1	1 1.4E-03 1	7.3E-07 1.6E-04 1.6E-04
6	H3 C14 Halogene	1	1	1	1	5.0E-01 2.8E-03 1	1	1	4.0E-03 6.0E-03 4.0E-02
7	H3 C14 Halogene	w.s.N.	5.4E-03 5.4E-01 5.4E-03	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.	w.s.N.
8	H3 C14 Halogene	1	1	1	1	5.0E-01 3.1E-03 1	1	1	7.3E-07 2.2E-04 5.0E-01
9	H3 C14 Halogene	1	1	1	1	5.0E-01 3.1E-03 1	1	1	4.0E-03 1 1

w.s.N. = wie sonstige Nuklide

Tabelle 8.2.2: Freisetzungsanteile für aerodynamisch äquivalente Durchmesser von 0–10 µm  
In Abhängigkeit von Belastungsklasse und Abfallbindegruppe (AGG)

Unfallart	Geschw. (km/h)	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	Summe 1979-88	Summe 1983-87	Züge/ Mio km	Anteil [%] ++)
Brand/Expl.	0	8	5	5	8	3	6	4	6	4	3	52		0,027	8
mechanische Einwirkung mit Folgebrand	<35					0	0	2	0	0			2		
	36..80					0	1	0	0	0			1		
	>80					0	0	0	0	0			0		
	ZwS					0	1	2	0	0			3	0,003 +)	1 +)
Entgleisung	0..35	8	7	5	4	3	3	6	5	4	7	52		0,027	8
	36..80	14	8	11	4	8	3	2	3	14	0	67		0,035	10
	>80	1	0	0	0	2	3	1	2	1	1	11		0,006	2
	ZwS	23	15	16	8	13	9	9	10	19	8	130		0,068	20
Zus.-stoß	0..35	22	21	20	12	10	15	16	11	8	6	141		0,074	21
	36..80	12	9	6	3	2	10	3	4	2	1	52		0,027	8
	>80	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1		0,001	0
	ZwS	34	30	27	15	12	25	19	15	10	7	194		0,101	29
Aufprall	0..35	5	3	5	9	7	4	5	6	2	1	47		0,025	7
	36..80	8	11	19	16	7	15	9	18	3	7	113		0,059	17
	>80	1	0	2	4	6	2	2	1	5	5	28		0,015	4
	ZwS	14	14	26	29	20	21	16	25	10	13	188		0,098	28
Zus.-prall	0..35	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	5		0,003	1
	36..80	7	9	6	5	3	13	10	0	11	3	67		0,035	10
	>80	1	0	1	4	1	0	2	2	4	2	17		0,009	3
	ZwS	9	10	8	9	4	13	13	3	15	5	89		0,046	13
Summe ohne Brand	0..35	36	32	31	25	20	22	28	23	14	14	245		0,128	37
	36..80	41	37	42	28	20	41	24	25	30	11	299		0,156	45
	>80	3	0	4	8	9	5	5	5	10	8	57		0,030	9
	ZwS	80	69	77	61	49	68	57	53	54	33	601	281	0,314	91
Summe aller Unfälle		88	74	82	69	52	75	63	59	58	36	656	307	0,342	100
Mio Zug-km		201	200	197	187	178	189	197	194	187	186	1916	945		
+) bezogen auf die Jahre 1983 bis 1987												ZwS: Zwischensumme			
++) Anteil der jeweiligen Unfallkategorie an allen Unfällen (Anteil der Unfälle mit Brandfolge aus 1983 - 1987)												Weitere Erläuterungen im Abschnitt 8.3.1			

Tabelle 8.3.1: Zahl der von Unfällen betroffenen Güterzüge (mit Schäden an Eisenbahnfahrzeugen über 3000 DM, ohne Übergabe-, Arbeits- und Hilfszüge) von 1979 bis 1988 getrennt nach Unfallarten und Geschwindigkeitsbereichen sowie gefahrene Güterzug-km im Bereich der Deutschen Bundesbahn.

Belastungsklassen	Anzahl betroffener Waggons											Zeilen- summen
	0 *)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	≥ 10	
0..35 km/h	17,09	5,12	3,80	2,82	2,09	1,55	1,15	0,86	0,64	0,47	0,35	36,0
0..35 km/h 800°C 30'	2,92	2,02	0,35	0,11	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	5,9
0..35 km/h 800°C 60'	1,46	1,01	0,17	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	2,9
36..80 km/h	29,77	3,15	2,60	2,14	1,77	1,46	1,20	0,99	0,82	0,68	0,55	45,1
36..80 km/h 800°C 30'	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,9
36..80 km/h 800°C 60'	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,5
>80 km/h	6,16	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	8,4
>80 km/h 800°C 30'	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,2
>80 km/h 800°C 60'	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1
<b>Spaltensummen</b>	<b>57,55</b>	<b>11,74</b>	<b>7,34</b>	<b>5,53</b>	<b>4,36</b>	<b>3,50</b>	<b>2,83</b>	<b>2,31</b>	<b>1,91</b>	<b>1,59</b>	<b>1,34</b>	<b>100</b>
*) z.B. nur das Triebfahrzeug betroffen												

Tabelle 8.3.2: Matrix der Eintrittswahrscheinlichkeit einer bestimmten Belastungsklasse und einer bestimmten Anzahl betroffener Waggons bei Güterzugunfällen (Angaben in %).

Belastungsklassen	Anzahl betroffener Waggon										Zeilen- summen
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0..35 km/h	52,6	21,1	0,0	10,5	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	89,5
0..35 km/h 800°C 30'	4,8	1,0	0,5	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0..35 km/h 800°C 60'	2,4	0,5	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
36..80 km/h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36..80 km/h 800°C 30'	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36..80 km/h 800°C 60'	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>80 km/h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>80 km/h 800°C 30'	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>80 km/h 800°C 60'	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Spaltensummen	59,8	22,6	0,7	11,1	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

Tabelle 8.3.3: Matrix der Eintrittswahrscheinlichkeit einer bestimmten Belastungsklasse und einer bestimmten Anzahl betroffener Waggon bei Rangierunfällen (Angaben in %)