

KfK 3423  
Januar 1983

**Unfallfolgenrechnungen und  
Risikoabschätzungen im  
Rahmen der  
„Risikoorientierten Analyse  
zum SNR 300“**

A. Bayer, J. Ehrhardt  
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik  
Projekt Schneller Brüter

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE  
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik  
Projekt Schneller Brüter

KfK 3423

Unfallfolgenrechnungen und Risikoabschätzungen  
im Rahmen der  
"Risikoorientierten Analyse zum SNR 300"

A. Bayer, J. Ehrhardt

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
ISSN 0303-4003

## Unfallfolgenrechnungen und Risikoabschätzungen im Rahmen der "Risikoorientierten Analyse zum SNR-300"

### Kurzfassung

Die Unfallfolgenrechnungen und Risikoabschätzungen zur "Risikoorientierten Analyse zum SNR-300" wurden mit einer modifizierten Version des Unfallfolgenmodells UFOMOD durchgeführt. Die Modifikationen betreffen hauptsächlich die atmosphärischen Depositionsvorgänge, den Resuspensionsprozeß, das Ingestionsmodell und die Dosisfaktoren. Die Ausbreitungsrechnungen am Standort Kalkar/Rhein erfolgten für 115 Wettersequenzen in 36 Windrichtungen. Dabei wurden die für den SNR-300 ermittelten 7 Freisetzungskategorien zugrunde gelegt und zwischen zwei Erstbeladungskonzepten (Magnox- und LWR-Plutonium) unterschieden. Außerdem wurde die Bevölkerungsverteilung in der Umgebung des Standorts berücksichtigt.

Bei keiner der Freisetzungskategorien wurden Frühschäden ermittelt. Spätschäden wurden bei allen unfallbedingten Freisetzungen berechnet. Die Ergebnisse werden in Form von komplementären Häufigkeitsverteilungen der Kollektivschäden und Erwartungswerten von Individual- und Kollektivrisiken dargestellt. Die von den verschiedenen Schutz- und Gegenmaßnahmen betroffenen Flächen und Personen werden entsprechend angegeben.

Accident Consequence Calculations and Risk Assessments within the Scope of the "Risk-Oriented Analysis of the SNR-300"

### Abstract

Accident consequence calculations and risk assessments for the "risk-oriented analysis of the SNR-300" were performed with a modified version of the accident consequence model UFOMOD. The modifications mainly concern the deposition velocities, the resuspension process, the ingestion model and the dose factors. The atmospheric dispersion calculations at the site of Kalkar/Rhine were performed for 115 weather sequences in 36 wind directions. They were based on 7 release categories evaluated for the SNR-300 with two different concepts of the initial core inventory (Magnox- and LWR-Plutonium). Additionally the population distribution around the site was considered.

No early fatalities were calculated for any release category. Late fatalities are estimated for all accidental release categories. The results of the health effects calculations are presented in the form of complementary cumulative frequency distributions of collective damage and expectation values of collective and individual risks. Similar presentations show the areas and number of persons affected by the different countermeasures.

## Inhalt

	Seite
1. Einleitung	1
2. Radionuklidinventare und Freisetzungskategorien	3
3. Unfallfolgenmodell	5
3.1 Einleitung	5
3.2 Modell der atmosphärischen Ausbreitung und Ablagerung	8
3.3 Modell zur Ermittlung der Strahlen- exposition (Dosismodell)	13
3.4 Modell der Schutz- und Gegenmaßnahmen	15
3.5 Modell zur Ermittlung der gesundheit- lichen Strahlenschäden	16
3.6 Berechnung der Unfallfolgen	18
4. Ergebnisse der Unfallfolgenrechnungen und Risikoabschätzungen	20
4.1 Einleitung	20
4.2 Kollektivschäden	22
4.3 Von Schutz- und Gegenmaßnahmen betroffene Flächen und Personen	25
4.4 Entfernungsabhängige Individualrisiken	29
4.5 Kollektivrisiken und Erwartungswerte der von den Schutz- und Gegenmaßnahmen betroffenen Flächen und Personen	29
5. Diskussion spezieller Probleme	30
5.1 Einleitung	30
5.2 Einfluß kurzlebiger Radionuklide	30
5.3 Einfluß radioaktiven Natriums	31
5.4 Einfluß natriumhaltiger Verbindungen (synergistische Effekte)	31
5.5 Einfluß der Zerfallsprodukte der Aktiniden über den Expositionspfad "Ingestion"	32
5.6 Spätschäden bei den folgenden Generationen	33
5.7 Zur Aussagesicherheit der Ergebnisse	34
6. Zusammenfassung	37
Literaturverzeichnis	40
Tabellen	44
Abbildungen	77

## 1. Einleitung

Die Enquête-Kommission "Zukünftige Kernenergie-Politik" des 8. Deutschen Bundestages hat in ihrem Bericht vom Juni 1980 /1/ unter anderem empfohlen, eine "risikoorientierte Analyse" zum SNR-300 durchführen zu lassen, um einen pragmatischen Sicherheitsvergleich zwischen dem deutschen Schnellbrüter-Prototypreaktor und einem Leichtwasserreaktor moderner Bauart zu ermöglichen. Der Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) hat der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) - formell im August 1981 - den Auftrag zur Durchführung dieser Studie erteilt. Das ursprüngliche Ziel dieser Studie sollte die Ermittlung von Freisetzungskategorien sein.

Erst Anfang 1982 wurde die Notwendigkeit erkannt, Unfallfolgenrechnungen und Risikoabschätzungen anzuschließen. Mit dieser Aufgabe wurde die Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (KfK) betraut. Bei diesen Rechnungen sollte das Unfallfolgenmodell UFOMOD eingesetzt werden, das im Rahmen der "Deutschen Risiko-studie Kernkraftwerke" (Phase A) für Leichtwasserreaktoren erarbeitet wurde und im Rahmen der Phase B laufend weiterentwickelt wird. Dabei sollten die im Rahmen einer Studie für einen "Schnellen Brutreaktor" notwendig erscheinenden und im Rahmen der zur Verfügung stehenden Zeitspanne auch durchführbaren Modifikationen im Unfallfolgenmodell Berücksichtigung finden. Wo dies aus den genannten Gründen nicht möglich war, sollten spezifische Einflüsse durch einfache Rechnungen abgeschätzt werden.

Als Grundlage der Freisetzungs- und Ausbreitungsrechnungen stand den Bearbeitern dieses Teils der Studie Ende April 1982 ein Radionuklidinventar für den SNR-300 zur Verfügung, das auf der Basis von Plutonium nur aus Magnox-Reaktoren als Erstbeladung ermittelt worden war; im Mai 1982 wurde zusätzlich ein Radionuklidinventar auf der Basis von Plutonium aus Leichtwasser- und Magnox-Reaktoren als Erstbeladung zur Verfügung gestellt. Unter

Zugrundelegung dieser Inventarangaben und der Daten zum Freisetzungsvorgang wurden dann die Unfallfolgenrechnungen und Risikoabschätzungen durchgeführt und die Ergebnisse nacheinander (Plutonium aus Magnox-Reaktoren: April 1982, Plutonium aus Leichtwasser- und Magnox-Reaktoren: Mai 1982) der Enquête-Kommission zur Verfügung gestellt. Die ersteren Ergebnisse sind auch im Abschlußbericht der GRS enthalten /2/. Außerdem wurden im Rahmen der danach beginnenden und bis etwa Mitte September 1982 dauernden Diskussionen zu einer Reihe von Einzelfragen Zusatzinformationen ermittelt und verfügbar gemacht. Die insgesamt erarbeiteten Ergebnisse und Unterlagen sind im folgenden zusammenfassend dargestellt.

## 2. Radionuklidinventare und Freisetzungskategorien

Die Radionuklidinventare für den SNR-300 mit Mark Ia Kern wurden für zwei verschiedene Erstbeladungskonzepte berechnet:

- 1.) Plutonium aus Magnox-Reaktoren (im folgenden auch mit "Magnox-Pu" bezeichnet)
- 2.) Plutonium aus Leichtwasser- und Magnox-Reaktoren (im folgenden auch mit "LWR-Pu" bezeichnet)

Die für den Endabbrand mit Hilfe des Rechencodes ORIGEN berechneten Radionuklidinventare sind für "Plutonium aus Magnox-Reaktoren" in Tab. 1a-c /3/ und für "Plutonium aus Leichtwasser- und Magnox-Reaktoren" in Tab. 2a-c /4/ zusammengestellt. Enthalten sind in diesen Tabellen die Aktivitätsmengen jener 54 Radionuklide, die in der 1975 erschienenen amerikanischen "Reactor Safety Study" /5, 6/ als radiologisch relevant erachtet wurden und auf die im Augenblick auch das Unfallfolgenmodell der "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke" noch beschränkt ist.

Auf der Basis anlagentechnischer Untersuchungen wurden die Resultate möglicher Unfallabläufe in sieben Freisetzungskategorien zusammengefaßt /2/

Freisetzungskategorie:	Charakteristische Merkmale:
K1	Kernzerstörung Versagen Drehdeckel und Zellenabdeckung Überdruckversagen des äußeren Containments
K2	Kernzerstörung mechanisches Tankversagen Auffangwanne defekt keine Energieversorgung

K3	Kernzerstörung thermisches Tankversagen ungefilterte Abluft
K4	Kernzerstörung thermisches Tankversagen keine Energieversorgung
K5	Kernzerstörung thermisches Tankversagen
KA	Kühlungsausfall Natriumgekühltes BE-Lager
KB	Kühlungsausfall Gasgekühltes BE-Lager

Die ersten fünf Freisetzungskategorien beziehen sich auf Unfälle mit Kernzerstörung, während die letzten beiden vom Kühlungs- ausfall in den Brennelementlagern ausgehen. Die zugehörigen Frei- setzungsdaten sind in der für das Unfallfolgenmodell aufberei- teten Form in Tab. 3a,b zusammengestellt.

### 3. Unfallfolgenmodell

#### 3.1 Einleitung

Das Unfallfolgenmodell UFOMOD der "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke (DRS)" Phase A /7,8,9/ wurde in den Jahren 1977/78 erstellt. Es wurde im Hinblick auf die Abschätzung des Risikos konzipiert, das mit dem Betrieb eines Kollektivs von 25 Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren verbunden ist. Gemäß des durch den Bundesminister für Forschung und Technologie erteilten Auftrags lehnt es sich noch in vielen Teilen an das entsprechende Unfallfolgenmodell der amerikanischen "Reactor Safety Study" /6/ an. Mit einer Überarbeitung des vorliegenden Unfallfolgenmodells im Rahmen der Phase B der DRS, in der diese Einschränkungen entfallen, wurde begonnen; sie dürfte sich noch über ca. 2 Jahre erstrecken. Die vorliegende Risikoabschätzung wurde mit einer modifizierten Version des Unfallfolgenmodells UFOMOD/B3 /10/ durchgeführt.

Bei der Durchführung von Unfallfolgenrechnungen und Risikoabschätzungen für das Kernkraftwerk SNR-300 an dem speziellen Standort Kalkar ergeben sich folgende Gesichtspunkte, die die Modifikation des Unfallfolgenmodells nahelegen:

- A) die bei einem Brutreaktor gegenüber einem Leichtwasserreaktor veränderten Radionuklidinventare und Freisetzunganteile der einzelnen Elementgruppen
- B) die Anwendung des Unfallfolgenmodells auf einen einzelnen Standort
- C) wesentliche neuere wissenschaftliche Erkenntnisse seit der Konzeption der Unfallmodelle im Rahmen der amerikanischen und deutschen Leichtwasserreaktor-Risikostudien.

Unter Berücksichtigung der Tatsachen, daß

- es für die vorliegende Untersuchung nicht möglich war, die Entwicklung des Unfallfolgenmodells der DRS Phase B abzuwarten, bei der alle diese Gesichtspunkte berücksichtigt werden,

- es bei der vorliegenden Studie vor allem auf einen Vergleich des Risikos des Schnellen Brutreaktors SNR-300 mit dem Risiko durch Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren ankommt /1/,

wurde bezüglich der oben aufgeführten Gesichtspunkte wie folgt vorgegangen:

#### zu A.) Leichtwasserreaktoren - Schnelle Brutreaktoren

Schnelle Brutreaktoren haben gegenüber Leichtwasserreaktoren ein relativ hohes Inventar an Aktiniden. Weiterhin wird nach der von der GRS für den SNR 300 ermittelten schwersten Freisetzungskategorie (K1) ein höherer Aktinidenanteil freigesetzt, als bei den schwersten Unfällen in einem Leichtwasserreaktor (s. Freisetzungskategorie K1 nach Tab. 1a, 2a und 3b im Vergleich zur Freisetzungskategorie FK1 nach /8/, Tab. F8, 3-1 und Tab. F8, 3-2). Um nun den Einfluß der Aktiniden auf die Unfallfolgen realistischer zu erfassen, wurden folgende Modifikationen des Unfallfolgenmodells vorgenommen:

- das für aride Klimazonen konzipierte Resuspensionsmodell, wie es in der amerikanischen Studie verwendet und in der DRS unverändert übernommen wurde, wurde durch ein Modell ersetzt, das die Vorgänge im humiden Klima, wie es in Mitteleuropa herrscht, besser beschreibt. Dies erschien notwendig, um die über diesen Expositionspfad zu erwartende Belastung realistischer abzuschätzen.
- die Aktiniden wurden auch für den Expositionspfad Ingestion (= Inkorporation über die Nahrungsmittelaufnahme) in das Rechenmodell aufgenommen. Dieser Expositionspfad wurde im Unfallfolgenmodell der DRS Phase A in Anlehnung an die amerikanische "Reactor Safety Study" nur bei den Isotopen der Elemente Strontium, Jod und Cäsium berücksichtigt.

zu B.) Kollektiv von Kernkraftwerken an mehreren Standorten  
- Kernkraftwerke an einem speziellen Standort

Im Rahmen der DRS wurde das Unfallfolgenmodell primär mit dem Ziel entwickelt, das Risiko abzuschätzen, das aus dem Betrieb von 25 Kernkraftwerken an 19 Standorten in der Bundesrepublik Deutschland resultiert. Die Rechenmodelle und die zugehörigen Parameter- und Datensätze sind deshalb derart gewählt, daß die zu beschreibenden Vorgänge im Mittel annähernd richtig berechnet werden. Dieses Vorgehen ist trotz in Einzelfällen möglicher Abweichungen von den Durchschnittswerten erlaubt, wenn die zur Risikoabschätzung notwendige Mittelwertbildung aus einer Vielzahl von Beiträgen erfolgt.

Für Einzelstandorte ist diese Betrachtungsweise nur noch mit Einschränkungen zulässig, da regionale Gegebenheiten erhebliche Abweichungen vom mittleren Modellverhalten bedingen können. Ergebnisse von Risikoabschätzungen für Einzelstandorte sind darum unter dem Gesichtspunkt der im verwendeten Unfallfolgenmodell enthaltenen Vereinfachungen zu betrachten. So können im Modell derzeit topographische Daten sowie Spezifika der Flächennutzung nicht berücksichtigt werden und auch die Modellierung der Schutz- und Gegenmaßnahmen ist nahezu unabhängig von standortspezifischen Gegebenheiten.

Um nun dennoch den Anforderungen von Risikoabschätzungen für Einzelstandorte Rechnung zu tragen, wurde das Rechenprogramm in einzelnen Punkten hinsichtlich der Gegebenheiten am vorliegenden Standort überprüft und - soweit möglich - ertüchtigt. Das Ergebnis der Überprüfung zeigt, daß der Standort Kalkar keine topographischen Besonderheiten aufweist und die Bevölkerungsdichte bzw. Personenzahl im Nahbereich unter den mittleren Werten der in der DRS berücksichtigten Standorte liegt. Eine Ertüchtigung erfolgte insoweit als die Wetterdaten der dem Standort naheliegenden Kernforschungsanlage Jülich sowie die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen am Standort Kalkar verwendet wurden.

### zu C.) Neuere wissenschaftliche Erkenntnisse

Seit der ersten Konzeption des Unfallfolgenmodells liegen neuere wissenschaftliche Erkenntnisse vor; von besonderer Bedeutung sind

- neuere Erkenntnisse bezüglich der Deposition von Radionukliden bei trockenen Wettersituationen und bei Niederschlag
- die jüngsten Empfehlungen der "International Commission on Radiation Protection" (ICRP) bezüglich des metabolischen Verhaltens der Radionuklide im menschlichen Körper.

Aus diesem Grunde wurden neuere Ablagerungsgeschwindigkeiten und Washout-Koeffizienten sowie neuere Dosisfaktoren berücksichtigt.

In den folgenden Abschnitten werden die wesentlichen Eigenschaften des Unfallfolgenmodells kurz beschrieben. Auf die genannten Modifikationen wird im Detail eingegangen. Bei allen nicht speziell angesprochenen Punkten wurden die in der DRS /8/ beschriebenen Modelle und Parameter des Unfallfolgenmodells unverändert übernommen.

### 3.2 Modell der atmosphärischen Ausbreitung und Ablagerung

Die Ausbreitung der freigesetzten Radionuklide in der Atmosphäre wird durch eine spezielle Lösung der Diffusionsgleichung, dem sogenannten "Gaußschen Ausbreitungsmodell" beschrieben. Bei diesem Modell wird die Konzentrationsverteilung senkrecht zur Transportrichtung durch Gauß-Verteilungen angenähert. Um die Berechnung der Aktivitätskonzentration in einem diskreten Raster zu ermöglichen, wird diese Verteilung in azimuthaler Richtung durch eine Treppenfunktion approximiert. Es wird berücksichtigt, daß i.a. der vertikale Turbulenzaustausch durch eine Sperrschicht begrenzt ist.

Der Aufstieg der Aktivitätsfahne infolge der freigesetzten thermischen Energie und der Einfluß von Gebäuden auf diesen Aufstieg wird ebenfalls in Rechnung gestellt.

Die in die Berechnung der Aktivitätskonzentrationen eingehenden meteorologischen Daten, wie Ausbreitungskategorie, Windgeschwindigkeit und Niederschlagsmenge, werden stündlich gemessenen, realen Wetterläufen angepaßt. Damit ergibt sich ein stündlich sich änderndes Ausbreitungsverhalten (Abb. 1). Die Ablagerung von Radionukliden auf der Erdoberfläche wird bei Regenfällen mit Hilfe von "Washout"-Koeffizienten beschrieben, bei trockenen Wettersituationen erfolgt sie mit Hilfe der Ablagerungsgeschwindigkeit.

### 3.2.1 Wetterdaten

Für die meteorologischen Ausbreitungsrechnungen wurden die stündlichen synoptischen Aufzeichnungen der Kernforschungsanlage Jülich aus dem Jahre 1977 verwendet<sup>1)</sup>. Daraus wurden 115 Wetterabläufe nach dem Verfahren der DRS Phase A /8/ ausgewählt.

---

1) Die Aufbereitung der Wetteraufzeichnungen für das meteorologische Modell wurde von Herrn Dipl.-Met. S. Vogt, Hauptabteilung Sicherheit des Kernforschungszentrum Karlsruhe, durchgeführt.

### 3.2.2 Windrichtungshäufigkeiten

Die mittleren Häufigkeiten der Windrichtungen im Jahr wurden aus den Angaben im Sicherheitsbericht des SNR-300 berechnet.

Dort sind die Windrichtungshäufigkeiten für die nahe dem Standort Kalkar liegenden Orte Kleve und Bocholt gemittelt über die Jahre 1951-1960 in 45° Sektoren angegeben. Durch Mittelwertbildung und Umrechnung auf 10° Sektoren ergaben sich die in den Tab. 4a, b aufgeführten Zahlenwerte.<sup>1)</sup>

### 3.2.3 Windrichtungsänderungen

Das Rechenprogramm UFOMOD /9/ enthält als Option ein Modell zur Berücksichtigung von Windrichtungsänderungen während des Ausbreitungsvorganges. Es beruht auf einer azimulaten Versetzung der aus den einzelnen Freisetzungsphasen resultierenden Verteilungen in jedem Kreisring /11/. Dieses "Trajektorienmodell" ist insbesondere dann anzuwenden, wenn standortspezifische Risikoabschätzungen für Freisetzungen mit zeitlich weit auseinanderliegenden Freisetzungsphasen durchzuführen sind. Sämtliche Unfallfolgenrechnungen erfolgten mit der genannten Option.

---

1) Die Autoren sind sich bewußt, daß die Berücksichtigung der Windrichtungshäufigkeiten des Standorts nur ein erster Schritt in Richtung einer vollständigen Erfassung meteorologischer Standortdaten sein kann.

### 3.2.4 Ablagerung

Aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse seit Abschluß der DRS Phase A wurden für Ablagerung und Auswaschung Parameterwerte verwendet, deren Beibehaltung im Rahmen der DRS Phase B vorgesehen ist /12/. Danach betragen die Ablagerungsgeschwindigkeiten (trockene Ablagerung) für elementares Jod  $v_d = 0,01$  m/s und für Aerosole  $v_d = 0,001$  m/s. Der Wert für Aerosole fügt sich gut in den Wertebereich neuerer Untersuchungen ein /13/. Außerdem werden in einem neueren Bericht des englischen National Radiation Protection Boards für den Standort "Sizewell" /14/ für elementares Jod und für Aerosole dieselben Werte wie hier verwendet. Die nasse Ablagerung, charakterisiert durch die "Washout"-Koeffizienten beruht im wesentlichen auf Ergebnissen, die in /15,16/ beschrieben sind (s. auch Tabellen 1a-c, 2a-c):

Niederschlagsintensität (mm/h)	Washout-Koeffizient /s <sup>-1</sup> /	
	elementares Jod	Aerosole
<1	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
1-3	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,22 \cdot 10^{-4}$
>3	$2,37 \cdot 10^{-4}$	$3,40 \cdot 10^{-4}$

Edelgase werden weder trocken noch naß abgelagert.

### 3.2.5 Resuspensionsmodell

Der Zusammenhang zwischen der Aktivitätskonzentration am Boden und der Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft aufgrund der Resuspension abgelagerter Radionuklide wird durch den Resuspensionsfaktor  $r(t)$  beschrieben. Bezüglich seines zeitabhängigen Verhaltens wurden in der DRS Phase A die Modellannahmen der amerikanischen "Reactor Safety Study" /6/ übernommen:

$$r(t) = r_0 \cdot e^{-\lambda_r t} + r_e$$

mit

$$r_0 = 10^{-5} \text{ m}^{-1}$$

$$r_e = 10^{-9} \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda_r = 2,15 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1} \quad (T_{1/2} = 1,02 \text{ a})$$

Die Zahlenwerte der den Exponentialterm in obiger Gleichung bestimmenden Parameter beruhen auf der Auswertung von Experimenten in ariden Klimazonen. Es wird jedoch bereits seit längerem darauf hingewiesen, daß sowohl die Amplitude  $r_0 = 10^{-5} \text{ m}^{-1}$  als auch die Halbwertszeit  $T_{1/2} = 1 \text{ a}$  die Resuspension im humiden Klima überschätzt. Stellvertretend für die Vielzahl der neueren Veröffentlichungen zu diesem Problemkreis seien hierfür die Berichte /17,18,19/ angeführt. Wie in diesen Arbeiten vorgeschlagen, wird im Modell die Halbwertszeit auf 1-2 Monate reduziert. Weiterhin wird in den genannten Arbeiten für die Amplitude  $r_0 = 10^{-6} \text{ m}^{-1}$  vorgeschlagen, allerdings mit der Einschränkung, für urbane Gebietsstrukturen wegen mangelnden Datenmaterials weiterhin  $r_0 = 10^{-5} \text{ m}^{-1}$  zu verwenden. Aus diesem Grund wurden die schon als Berechnungsgrundlage für schnelle Brutreaktoren /20/ empfohlenen Zahlenwerte

$$r_0 = 10^{-5} \text{ m}^{-1}$$

$$r_e = 10^{-9} \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda_r = 5,1 \text{ a}^{-1} \quad (T_{1/2} = 0,136 \text{ a})$$

zur Berechnung der Strahlenbelastung infolge Resuspension herangezogen.

### 3.3 Modell zur Ermittlung der Strahlenexposition (Dosismodell)

Die aus den Aktivitätskonzentrationen in der Luft und am Boden resultierende radiologische Belastung wird im Dosismodell in zwei Schritten ermittelt /8/.

#### Potentielle Dosen:

Zunächst werden potentielle Dosen berechnet, d.h. Dosen, die Personen bei ununterbrochenem Aufenthalt im Freien bzw. bei ständigem Verzehr von lokal erzeugten Lebensmitteln erhalten würden. An diesen Dosen orientieren sich die Gegenmaßnahmen. Als Entscheidungsgrundlage für Gegenmaßnahmen zur Verringerung der Frühschäden wird die Knochenmarks-Dosis infolge externer Bestrahlung durch die während der ersten 7 Tage am Boden abgelagerte Aktivität berechnet. Als Entscheidungsgrundlage für Gegenmaßnahmen zur Verringerung der somatischen Spätschäden und der genetischen Belastung dienen die Ganzkörper-Dosis infolge externer Bestrahlung während der ersten 30 Jahre durch die am Boden abgelagerte Aktivität und die Ganzkörper-, Knochenmark- und Schilddrüsen-Dosis infolge interner Bestrahlung während der ersten 50 Jahre durch die mit den Nahrungsmitteln inkorporierte Aktivität.

#### Zu erwartende Dosen:

Im zweiten Schritt werden dann die zu erwartenden Dosen berechnet, d.h. jene Dosen, die Personen unter Berücksichtigung der Schutz- und Gegenmaßnahmen erhalten würden. Zur Ermittlung der Frühschäden wird die Kurzzeit-Knochenmarks-Dosis berechnet. Diese setzt sich aus den Beiträgen der externen Bestrahlung durch die Aktivität der Abluftfahne, der externen Bestrahlung innerhalb der ersten 7 Tage durch die am Boden abgelagerte Aktivität sowie der internen Bestrahlung während der ersten 30 Tage durch die mit der Atemluft inkorporierten Aktivität der Abluftfahne zusammen. Zur Ermittlung der somatischen Spätschäden werden die Dosen für folgende "Organe" berechnet: Knochenmark, Knochenoberfläche,

Lunge, Schilddrüse, Brust und Restkörper. Es wird über alle aus der Freisetzung von Radionukliden in die Atmosphäre resultierenden Expositionspfade summiert. Dabei wird die Strahlenexposition sowohl der unmittelbar betroffenen Bevölkerung als auch der nach dem Unfall geborenen Personen berücksichtigt. Als Maß für die genetische Belastung wird die genetisch signifikante Dosis auf der gleichen Grundlage berechnet.

### 3.3.1 Dosisfaktoren

Die Dosisfaktoren des Unfallfolgenmodells der DRS Phase A sind noch die der amerikanischen "Reactor Safety Study" /6/. Aufgrund neuerer Empfehlungen der ICRP /21/ ergeben sich jedoch veränderte Zahlenwerte für die Dosisfaktoren bezüglich inkorporierter Radionuklide.

Um diese neuere Entwicklung zu berücksichtigen wurden Dosisfaktoren für die Expositionspfade "Inhalation" und "Ingestion" aus dem Dosismodell des vom englischen "National Radiation Protection Board" NRPB ausgearbeiteten Unfallfolgenmodells MARC /22,23/ übernommen, in denen die Empfehlungen der ICRP bereits eingearbeitet sind. Bei den Dosisfaktoren für den Expositionspfad "Inhalation" wurden die Partikelgröße " $1\mu\text{m}$ " und i.a. die chemische Form "Oxid" zugrundegelegt. Die aufbereiteten Daten wurden direkt in das Rechenprogramm zur Berechnung der "effektiven Schadensfaktoren" /24/ implementiert. Eine Dokumentation der erstellten Datensätze befindet sich in /25/.

Im Rahmen der Überarbeitung des Dosismodells wurden auch die Dosisfaktoren für den Expositionspfad "Externe Bestrahlung vom Boden" durch einen neuen Datensatz ersetzt, der auf Arbeiten des "Oak Ridge National Laboratory" ORNL /26/ basiert. Er ist ebenfalls - zusammen mit den zugehörigen "effektiven Schadensfaktoren" - in /25/ angegeben.

### 3.3.2 Inkorporationsdaten

Wegen der erhöhten Bedeutung der Transurane wurde das Ingestionsmodell um die Isotope Np-239, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241, Cm-242, Cm-244 erweitert. Die zugehörigen Inkorporationsdaten sind in Tabelle 5 wiedergegeben. Die Bestimmung der normierten integralen Aktivitätsinkorporation - darunter ist die aus dem Verzehr von kontaminierten Nahrungsmitteln resultierende Aktivitätsinkorporation aufgrund einer einmaligen Oberflächenkontamination von Erdboden und Bewuchs zu verstehen - beruht auf einer Analyse des Verhaltens und der Verteilung von Transuranen in Nahrungsketten. Dabei wurde zwischen vier verschiedenen Nahrungsmittelgruppen pflanzlichen und tierischen Ursprungs (Blattgemüse, sonstige pflanzliche Produkte, Milch- und Milchprodukte, Fleisch und Fleischwaren) sowie vier Altersgruppen der Bevölkerung (Kleinkinder, Kinder, Jugendliche und Erwachsene) unterschieden. Das den Untersuchungen zugrundeliegende terrestrische Transportmodell folgt in seinen Grundzügen den Überlegungen, die üblicherweise zur Beurteilung der Sicherheit kerntechnischer Anlagen zugrunde gelegt werden. Zur Genauigkeit der Ergebnisse ist jedoch anzumerken, daß der für eine detaillierte Betrachtung erforderliche Kenntnisstand bei Transuranen z.T. sehr beschränkt und lückenhaft ist, so daß die Ergebnisse einen gewissen, aber nur schwer zu quantifizierenden Unsicherheitsspielraum aufweisen. Die Einzelheiten der Untersuchung sind in /27/ zusammenfassend dargestellt.

### 3.4 Modell der Schutz- und Gegenmaßnahmen

In Anlehnung an vorliegende behördliche Regelungen werden im Modell der Schutz- und Gegenmaßnahmen folgende Maßnahmen berücksichtigt: Aufsuchen von Häusern, Evakuierung, Umsiedlung, Dekontamination und Einschränkungen beim Verzehr lokal erzeugter

landwirtschaftlicher Produkte. Art und Dringlichkeit dieser Schutz- und Gegenmaßnahmen sind von Ort zu Ort verschieden. Dies führt zu einem Schema von Maßnahmen, Gebieten und Zeiten, das in Tab. 6 und Abb. 2 gezeigt wird.

Das Modell der Schutz- und Gegenmaßnahmen des Unfallfolgenmodells der DRS Phase A wurde im Hinblick auf seine Anwendung bei Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren konzipiert. Bei diesem Kernkraftwerkstyp kommt den Spaltprodukten die dominierende Rolle zu, wobei bei den schwersten Unfällen vor allem die Strahlung vom Boden der bedeutendste Expositionspfad ist. Die Schutz- und Gegenmaßnahmen orientieren sich deshalb an den für diese Radionuklidgruppen und Expositionspfade relevanten Organdosen.

Bei Kernkraftwerken mit Schnellen Brutreaktoren hingegen gewinnen die Aktiniden an Bedeutung und zwar vor allem über den Expositionspfad "Inhalation". Unter diesem Gesichtspunkt läge es nahe, diesen Expositionspfad in die Entscheidungskriterien für Gegenmaßnahmen (z.B. Schließen von Fenstern) aufzunehmen, was u.U. eine Reduktion der rechnerisch ermittelten Schäden zu Folge hätte.

Da jedoch innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeitspanne eine entsprechende Modifikation nicht konzipiert und sachkundig diskutiert werden konnte, wurde das Modell der Schutz- und Gegenmaßnahmen der DRS Phase A für diese Untersuchung unverändert übernommen und angewandt.

### 3.5 Modell zur Ermittlung gesundheitlicher Strahlenschäden

In diesem Teil des Unfallfolgenmodells werden der Umfang der somatischen Frühschäden (Tod durch akute Strahlenkrankheit) und der Umfang der somatischen Spätschäden (Tod durch Leukämie und Krebs) ermittelt. Die genetische Belastung wird durch die genetisch signifikanten Dosen angegeben.

### 3.5.1 Frühschäden

Bei den Untersuchungen zu den Unfällen bei Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren zeigte sich, daß bezüglich möglicher Frühschäden von den drei in der amerikanischen "Reactor Safety Study" /5/ angegebenen Organen Knochenmark, Lunge und Magen-Darm-Trakt die Belastung des Knochenmarks die dominierende Rolle spielt; die zusätzliche Berücksichtigung der übrigen Organe bewirkt keine Veränderung im Schadensumfang mehr. Aus diesem Grunde wurde in der DRS nur die Dosis-Wirkungs-Beziehung für das Knochenmark ausführlicher diskutiert und in Ansatz gebracht. Sie ist in Abb. 3 wiedergegeben.

Im Zusammenhang mit Unfällen bei Schnellen Reaktoren kommt wegen der erhöhten Bedeutung der Aktiniden der Belastung der Lunge eine besondere Bedeutung zu. Für dieses Organ liegen u.a. folgende zwei Dosis-Wirkungs-Beziehungen vor, die bereits bei anderen Risikostudien eingesetzt wurden:

- die Dosis-Wirkungs-Beziehung der amerikanischen "Reactor Safety Study" /6/
- die Dosis-Wirkungs-Beziehung einer englischen "Schneller Brutreaktor-Studie" des NRPB /28/:

$$s(D) = \begin{cases} 0 & D < 2500 \text{ rem} \\ 9,59 \cdot 10^{-12} \cdot D^{2,44} & 2500 \text{ rem} \leq D \leq 33200 \text{ rem} \\ 1 & D > 33200 \text{ rem} \end{cases}$$

Letztere ist in Abb. 4 graphisch dargestellt.

Bei beiden Beziehungen wird die über ein Jahr akkumulierte Lungendosis zugrunde gelegt.

Da die von der NRPB entwickelte Dosis-Wirkungs-Beziehung speziell in Hinblick auf eine Dosisakkumulation konzipiert wurde, wie sie nach einem Unfall bei einem Schnellen Brutreaktor zu erwarten ist /29/, wurde sie in das Unfallfolgenmodell aufgenommen. Vergleichsrechnungen mit der Dosis-Wirkungs-Beziehung der amerikanischen "Reactor Safety Study" zeigten jedoch, daß sich die Ergebnisse nur unwesentlich voneinander unterscheiden.

### 3.5.2 Spätschäden

Zur Berechnung der somatischen Strahlenspätschäden wurde wie in der DRS Phase A eine rein proportionale Dosis-Risiko-Beziehung

$$R = a \cdot D$$

ohne Schwellendosis angesetzt. Diese Annahme entspricht der des "Upper-Bound-Estimate" der amerikanischen "Reactor Safety Study" /6/. Die von der ICRP für Zwecke des Strahlenschutzes empfohlenen Risikokoeffizienten a /30/ sind zusammen mit der Dosis-Risiko-Beziehung in Abb. 5 dargestellt.

### 3.6 Berechnung der Unfallfolgen

Unter Zugrundelegung der zu erwartenden Dosen werden zunächst die ortsabhängigen individuellen Schadens-Eintrittswahrscheinlichkeiten berechnet. Durch Multiplikation mit der Anzahl der jeweils betroffenen Personen und Integration über alle in Frage kommenden Gebiete erhält man schließlich die zu erwartenden Kollektivschäden (Früh- und Spätschäden), d.h. die Anzahl der jeweils zu erwartenden Schadensfälle.

### 3.6.1 Bevölkerungsmodell

Die Bevölkerungsdaten im Umkreis des Standorts SNR-300 (Kalkar) wurden bis 80 km Entfernung von der Fa. Gesellschaft für Umweltüberwachung, Aldenhoven, in der Rasterung der DRS /8/ erstellt. Darüberhinaus wurde - ebenfalls wie in der DRS - bis zur Entfernung 540 km von einer konstanten Bevölkerungsdichte von 250 Einwohner/km<sup>2</sup> ausgegangen, Meeresflächen blieben ausgespart (Tab. 4a, b). Jenseits von 540 km wird wie in der DRS die Restaktivität der Wolke in einem Kreisring bis 2500 km Entfernung mit einer Bevölkerungsdichte von 25 Einwohner/km<sup>2</sup> niedergeschlagen. Die so gewählten Einwohnerdichten bewirken, daß die Gesamtbevölkerung Europas richtig wiedergegeben wird.

#### 4. Ergebnisse der Unfallfolgenrechnungen und Risiko- abschätzungen

##### 4.1 Einleitung

Wie in Kapitel 2 dargestellt wurde das Spektrum der möglichen Aktivitätsfreisetzungen beim SNR-300 aufgrund von Kernzerstörung und Kühlungsausfall in den Brennelement-Lagern in

##### 7 Freisetzungskategorien

zusammengefaßt. Mit dem im Kap. 3 beschriebenen modifizierten Unfallfolgenmodell wurden Rechnungen für

##### 115 mehrstündige Wetterabläufe

durchgeführt, die die möglichen Wetterabläufe in hinreichender Weise repräsentieren. Von diesen Wetterabläufen wird angenommen, daß sie am Standort Kalkar in jeder der vorgegebenen

##### 36 Windrichtungen (10° Abstand)

auftreten können.

Auf der Grundlage dieser Vorgaben ergeben sich insgesamt

$$7 \times (115 \times 36) = 28\ 980$$

verschiedene "Freisetzungskategorie-Wetterablauf-Windrichtungs"-Kombinationen.

Die Ergebnisse der Unfallfolgenrechnungen müssen im Zusammenhang mit den zugehörigen Eintrittshäufigkeiten gesehen werden. Diese errechnen sich als Produkt der Faktoren

Eintrittshäufigkeit der Freisetzungskategorie: Tab. 3a,b

Wahrscheinlichkeit eines Wetterablaufs:  $8,7 \times 10^{-3}$

Wahrscheinlichkeit einer Windrichtung: Tab. 4a,b

Die Darstellung der Rechenergebnisse erfolgt wie in der DRS graphisch in Form von komplementären Häufigkeitsverteilungen<sup>1)</sup> der Kollektivschäden und Kollektivdosen sowie der von den Schutz- und Gegenmaßnahmen betroffenen Flächen und Personen. Außerdem werden in Tabellenform die Erwartungswerte dieser Größen angegeben.

Die komplementäre Häufigkeitsverteilung einer Größe  $S$  (z.B. Kollektivschaden) gibt die Häufigkeit an, mit der der Wert  $S$  erreicht oder überschritten wird. Sie wird i.a. graphisch als Funktion in einem doppellogarithmischen Achsenkreuz dargestellt. Daneben werden in Tabellenform die charakteristischen Parameter dieser Verteilung wie Mittelwert  $\bar{S}$ , minimaler Wert  $S_{\min}$ , 50% Perzentilwert (Medianwert)  $S_{50\%}$ , 95% Perzentilwert  $S_{95\%}$ , 99% Perzentilwert  $S_{99\%}$  und maximaler Wert  $S_{\max}$  ausgewiesen.

Der Erwartungswert gibt die pro Jahr (im Mittel über viele Jahre) zu erwartende Größe  $\langle S \rangle$  an. Er berechnet sich durch Multiplikation der Einzelgröße mit ihrer Eintrittshäufigkeit. Er wird für Individuen (Individualrisiko) graphisch in Abhängigkeit von der Entfernung angegeben und für die insgesamt betroffenen Personen (Kollektivrisiko) in Tabellenform dargestellt.

---

<sup>1)</sup>Im englischen Sprachraum bezeichnet mit  
CCFD = Complementary Cumulative Frequency Distribution

Entsprechend dem Konzept der effektiven Schadensfaktoren /24/ werden in der für die vorliegenden Risikoabschätzungen verwendeten Version des Rechenprogramms die Spätschäden für die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Generationen (LG) und die folgenden Generationen (FG) getrennt berechnet. In der Ergebnisdarstellung werden die Kollektivschäden und Kollektivrisiken wegen der Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der DRS jedoch für alle Generationen gemeinsam ( $AG = LG + FG$ ) ausgewiesen.

## 4.2 Kollektivschäden

### 4.2.1 Frühschäden

Wie in Abschnitt 3.5.1 dargestellt, können Frühschäden nach den zugrundegelegten Dosis-Wirkungs-Beziehungen erst oberhalb von 100 rem Knochenmarksdosis (Abb. 3) bzw. 2500 rem Lungendosis (Abb. 4) auftreten. Bei den mit diesen Beziehungen durchgeführten Rechnungen wurden keine Frühschäden ermittelt. Bei den Freisetzungskategorien K2-K5, KA und KB ist die Schadenseintrittswahrscheinlichkeit für alle Unfallfolgesituationen mathematisch gleich Null, nur bei der Freisetzungskategorie K1 ergibt sich rein rechnerisch ein Kollektivschaden  $\ll 1$ . Diese Aussagen ändern sich nicht, wenn die Schutz- und Gegenmaßnahme "Evakuierung" in der Rechnung unberücksichtigt bleibt.

### 4.2.2 Spätschäden

Somatische Strahlenspätschäden wurden, wie in Abschnitt 3.5.2 dargestellt, auf der Grundlage einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert (Abb. 5) berechnet. Nach dieser Annahme können sie deshalb bei allen Dosiswerten hervorgerufen werden.

Die komplementären Häufigkeitsverteilungen der ermittelten Kollektivschäden sind aufgeschlüsselt nach Freisetzungskategorien für Erstbeladung mit Magnox-Pu 1) und LWR-Pu 2) in den Abb. 6a und 6b dargestellt. In den Tabellen 7a und 7b sind die charakteristischen Größen dieser komplementären Häufigkeitsverteilungen wiedergegeben. In diesen Tabellen sind die zugehörigen Eintrittshäufigkeiten nicht aufgeführt. Der kleinste und der größte Kollektivschaden resultieren wie alle Einzelergebnisse jeweils aus einer von  $115 \cdot 36 = 4140$  betrachteten Unfallfolgesituationen.

Für Freisetzungen der Kategorie K1 werden die größten Kollektivschäden berechnet. Dabei ist die Herkunft des Brennstoffs von besonderer Bedeutung. Bei Erstbeladung mit LWR-Pu ergeben sich im Mittel etwa doppelt so viele Spätschäden wie bei der Erstbeladung mit Magnox-Pu. Ursache für diesen deutlichen Unterschied ist das bei LWR-Pu erheblich höhere Pu-238 Inventar. Bei den anderen Freisetzungskategorien bewegen sich die Unterschiede in den Ergebnissen im 10%-Bereich, da die Freisetzung von Transuranen insgesamt im Vergleich zu den anderen Radionukliden geringer ist.

Bemerkenswert ist die Bedeutung des Na-gekühlten Brennelementlagers, für das bei Kühlungsausfall mit nachfolgender Freisetzung der Kategorie KA ähnliche Kollektivschäden wie nach Freisetzungen nach Kernzerstörung der Kategorie K2 berechnet werden. Bei den Freisetzungskategorien K5 und KB liegt der Schadensumfang rechnerisch immer unter 1.

---

1) Magnox-Pu = Plutonium aus Magnox-Reaktoren

2) LWR-Pu = Plutonium aus Leichtwasser- und Magnox-Reaktoren

Als zusätzliche Information zum Auftreten der Spätschäden ist für die Kategorien K1 bis K4 und KA in den Tabellen 8a bis 8e die relative Aufteilung der Spätschäden nach Expositionspfaden und Krebsarten angegeben. Wegen des hohen Anteils an freigesetzten Transuranen dominiert bei der Freisetzungskategorie K1 die Belastung der Lunge infolge Inhalation. Bei den Freisetzungskategorien K2, K3, K4 und KA hingegen berechnen sich die Spätschäden - ähnlich wie in der DRS - im wesentlichen aufgrund der Schilddrüsenbelastung über den Ingestionspfad.

Der überwiegende Anteil der Kollektivschäden resultiert aus Gebieten weit entfernt vom Emissionsort. Sie werden dabei aufgrund kleiner Strahlendosen berechnet, denen eine große Bevölkerungszahl ausgesetzt wird /8/. Tabelle 9 zeigt, welcher Anteil der Spätschäden noch jenseits von 540 km Entfernung berechnet wird. In dieser Entfernung enden im Rechenmodell sämtliche Schutz- und Gegenmaßnahmen /8/. Bei Freisetzungen der Kategorie K1 werden etwa ein Drittel der Kollektivschäden jenseits von 540 km ermittelt. Aus Tabelle 10 ist zu entnehmen, zu welchem Prozentsatz die Spätschäden aufgrund von Strahlendosen berechnet werden, die unterhalb der Grenzwerte für Störfälle (Strahlenschutzverordnung § 28(3)) liegen. Wie ersichtlich, ergeben sich zwischen 86% und 100% der aufgrund der linearen Dosis-Risiko-Beziehung ermittelten Spätschäden aus Strahlendosen unterhalb dieser Grenzwerte.

#### 4.2.3 Genetische Belastung

Die genetische Belastung wird wie in der DRS durch die genetisch signifikante Kollektivdosis KD angegeben. Die komplementären Häufigkeitsverteilungen der Kollektivdosen zeigen die Abb. 7a und 7b, die zugehörigen charakteristischen Größen sind in den Tabellen 11a,b wiedergegeben.

Auch die genetisch signifikante Kollektivdosis errechnet sich überwiegend aus kleinen Strahlendosen, denen weiträumig eine große Bevölkerungszahl ausgesetzt wird. Bei den einzelnen Freisetzungskategorien liegt der Beitrag von Strahlendosen unterhalb der Grenzdosis für Störfälle zur Kollektivdosis zwischen 95% und 100%.

#### 4.3 Von Schutz- und Gegenmaßnahmen betroffene Flächen und Personen

Das Modell der Schutz- und Gegenmaßnahmen der DRS definiert aufgrund geometrischer Bedingungen und Isodosislinien Gebiete im Umkreis des betrachteten Standorts, innerhalb derer sowohl in ihrer zeitlichen Abfolge als auch in ihrem Umfang unterschiedliche Gegenmaßnahmen durchgeführt werden (siehe Tab. 6 und Abb. 2).

Insbesondere werden dabei die Gebiete definiert, in denen die Maßnahmen

- Evakuierung (Gebiet A)
- Schnelle Umsiedlung (Gebiet B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub>)
- Umsiedlung (Gebiet C)
- Dekontamination (Gebiet D<sub>1</sub>)
- Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte ablaufen.

Das Gebiet A wird bei jeder Freisetzung unabhängig von Dosiskriterien evakuiert. Es umfaßt eine Fläche von 33,3 km<sup>2</sup>, die Anzahl der betroffenen Personen liegt je nach Windrichtung zwischen 1375 und 7899, im Mittel bei 3305. Die komplementäre Häufigkeitsverteilung der von der Evakuierung betroffenen Personen ist in Abb. 8 dargestellt.

Das Dosiskriterium für "Schnelle Umsiedlung" (Gebiet B) (potentielle Knochenmarks-dosis durch externe Strahlung vom Boden innerhalb von 7 Tagen  $\geq 100$  rem) wird nur bei der Freisetzungskategorie K1 bei einem der 115 Wetterabläufe überschritten. Die betroffene Fläche beträgt  $5,3 \text{ km}^2$ , die innerhalb dieses Gebiets wohnende Bevölkerungszahl liegt - je nach Windrichtung - zwischen 0 und 6000, im Mittel bei 11. Die komplementäre Häufigkeitsverteilung der Zahl von Personen, die von der Gegenmaßnahme "Schnelle Umsiedlung" betroffen sind, zeigt Abb. 9.

"Umsiedlung" der Bevölkerung (Gebiet C) erfolgt nach dem Schutz- und Gegenmaßnahmenmodell aufgrund des Dosiskriteriums "potentielle Ganzkörperdosis durch externe Bodenstrahlung innerhalb von 30 a  $\geq 250$  rem". Dieses Kriterium wird bei der Freisetzungskategorie K1 in rund 12% der Unfallfolgesituationen überschritten. Bei den Freisetzungskategorien K2, K3 und K4 führt jeweils nur ein Wetterablauf zur Ausbildung eines Gebiets C mit den jeweiligen Flächen  $0,033 \text{ km}^2$ ,  $1,24 \text{ km}^2$  und  $0,11 \text{ km}^2$ . In den übrigen Fällen erfolgt keine Umsiedlung. Die komplementären Häufigkeitsverteilungen der betroffenen Flächen und Personen sind in Abb. 10 und Abb. 11 die zugehörigen charakteristischen Größen in Tabelle 12 und Tabelle 13 dargestellt. Die berechneten Flächen sind unabhängig vom Brennstofftyp (Magnox- oder LWR-Pu), da sich diese Schutz- und Gegenmaßnahmen an der externen Strahlung vom Boden orientieren und diese fast ausschließlich von den Spaltprodukten hervorgerufen wird.

Falls die Bodenstrahlung zu einer Ganzkörperdosis zwischen 25 rem und 250 rem in 30 Jahren führt, wird im Schutz- und Gegenmaßnahmenmodell angenommen, daß nach Dekontamination mit einem maximalen Dekontaminationsfaktor  $DF_{\text{max}} = 10$  die Dosis von 25 rem im ganzen Gebiet nicht überschritten wird. Die häufigkeitsbewertete Ausweisung der zu dekontaminierenden Flächen war in der DRS

nicht vorgesehen und ist damit auch mit Hilfe des Rechenprogramm UFOMOD noch nicht möglich. Eine ergänzende Auswertung von Zwischenergebnissen ermöglichte jedoch die Berechnung der von dieser Maßnahme betroffenen mittleren Flächen (siehe Tab. 14a,b) sowie der mittleren Wahrscheinlichkeiten, daß nach erfolgter Freisetzung in der Entfernung r Dekontaminationsmaßnahmen durchgeführt werden müssen (Abb. 12). Danach kommt es - außer bei K5 und KB - bei allen Freisetzungskategorien zur Ausbildung eines Gebiets D1.

Die Kontamination landwirtschaftlicher Produkte wird hauptsächlich verursacht durch die direkte Ablagerung der radioaktiven Stoffe auf oberirdischen Teilen von Pflanzen (Belastung der Bevölkerung im ersten Jahr) oder indirekt über den Weg Boden-Wurzel-Pflanze (Belastung in den Folgejahren). Kontaminierte Pflanzen wiederum können unmittelbar Bestandteil der menschlichen Nahrung sein oder zur Kontamination tierischer Produkte führen. Besondere Bedeutung hat dabei der Weide-Kuh-Milch-Pfad.

In der DRS wurden bezüglich der Gegenmaßnahmen für die genannten Pfade und Zeiträume die Dosiskriterien der amerikanischen "Reactor Safety Study" übernommen. Wenn eines oder mehrere Kriterien überschritten werden, wird angenommen, daß die zugehörigen Belastungspfade während des betreffenden Zeitraums durch Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte unterbrochen sind. Wie folgende Tabelle zeigt, basieren diese Dosiskriterien auf der Belastung des Ganzkörpers, des Knochenmarks und der Schilddrüse.

Organ	Verzehr von Milch	Verzehr anderer landw. Produkte
Ganzkörper	3,3 rem/50 a	2 rem/50 a
Knochenmark	3,3 rem/50 a	2 rem/50 a
Schilddrüse	10 rem/50 a	-

Die Berechnung der von der Schutz- und Gegenmaßnahme "Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte" betroffenen Flächen erfolgte - wie die zu dekontaminierenden Flächen - durch zusätzliche Auswertung der Unfallfolgenrechnungen. In Tabelle 14a,b sind die mittleren Flächen, in Abb. 13a bis 13d die mittleren Wahrscheinlichkeiten für das Überschreiten obiger Dosisgrenzwerte entfernungsabhängig am Beispiel der Freisetzungskategorien K1-K5 und KA,KB dargestellt. Auch hier kommt es - außer bei K5 und KB - bei allen Freisetzungskategorien zur Ausbildung von Gebieten, in denen nach dem Rechenmodell Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte erfolgen müßten.

Die o.g. Dosiskriterien liegen unterhalb der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung (§28). Zur Abschätzung der Rechenergebnisse bei Anwendung dieser höheren Grenzwerte (siehe Tabelle 10) wurden ergänzende Unfallfolgenrechnungen zur Bestimmung der von der Maßnahme "Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte" betroffenen Flächen für die Freisetzungskategorien K1-K5 durchgeführt. Die Ergebnisse zeigt die Tabelle 15 (Magnox-Pu).

An dieser Stelle muß allerdings darauf hingewiesen werden (wie auch schon in der DRS /8/), daß sämtliche Ergebnisse, die aufgrund der Modellierung des Ingestionspfades ermittelt werden, nur als erste Abschätzungen zu werten sind, da noch das amerikanische Modell /6/ unverändert verwendet wird. In diesem sehr vereinfachten Modell sind noch die Zahlenwerte der amerikanischen Studie bezüglich Verzehrgeohnheiten und Transferfaktoren enthalten. Eine Neumodellierung aller im Zusammenhang mit der Ingestion relevanten Rechenmodelle ist im Rahmen der Phase B der DRS vorgesehen.

#### 4.4 Entfernungsabhängige Individualrisiken

Für Personen, die sich in einer bestimmten Entfernung vom Ort der möglichen Freisetzung befinden, resultiert aus der unfallbedingten Strahlenbelastung eine gewisse Wahrscheinlichkeit, einen somatischen Spätschaden zu erleiden. Diese Wahrscheinlichkeit multipliziert mit der Eintrittshäufigkeit der Freisetzung ergibt die individuelle Schadenseintrittshäufigkeit, deren Mittelwert aus allen Unfallfolgesituationen auch als mittleres Individualrisiko bezeichnet wird. Dieses Individualrisiko ist in Abb. 14a,b und 15a,b für die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Generationen (LG) und die danach geborenen Generationen (FG) dargestellt. Die entsprechenden Ergebnisse der DRS sind in /7, 8/ für alle Generationen ( $AG = LG + FG$ ) sowie aufgeschlüsselt nach LG und FG in /31/ veröffentlicht.

#### 4.5 Kollektivrisiken und Erwartungswerte der von den Schutz- und Gegenmaßnahmen betroffenen Flächen und Personen

Neben den in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten komplementären Häufigkeitsverteilungen der Unfallfolgen ist die multiplikative Verknüpfung von Schadensumfang und Eintrittshäufigkeit und damit die Berechnung der Kollektivrisiken von Interesse. Die Vorgehensweise ist die gleiche wie in der DRS /7, 8/. Tabelle 16 zeigt die Kollektivrisiken der gesundheitlichen Schäden und die Erwartungswerte der Kollektivdosen.

Wie aus dieser Tabelle zu ersehen ist, dominiert aufgrund ihrer hohen Eintrittshäufigkeit der Beitrag der Freisetzungskategorie KA mit einem mehr als 2 Zehnerpotenzen höheren mittleren Kollektivrisiko gegenüber den Freisetzungskategorien K1 und K2. Die Erwartungswerte der von den Schutz- und Gegenmaßnahmen betroffenen Flächen und Personen sind in Tabelle 17 angegeben.

## 5. Diskussion spezieller Probleme

### 5.1 Einleitung

Die in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Ergebnisse wurden mit Hilfe der neuesten Version des Unfallfolgenmodells (UFOMOD/B3 /10/) gewonnen, das - worauf bereits hingewiesen wurde - auf die Anwendung bei Unfällen bei Leichtwasserreaktoren hin konzipiert ist. Bei der Anwendung auf Freisetzungen aus schnellen Brutreaktoren ergeben sich dadurch einige spezielle Probleme, die im folgenden behandelt werden.

In der DRS-Phase A wurde außerdem die Aussagesicherheit der Ergebnisse diskutiert /8/. Auf diesen Punkt wird im folgenden ebenfalls kurz eingegangen.

### 5.2 Einfluß kurzlebiger Radionuklide

Entsprechend dem Vorgehen in der amerikanischen "Reactor Safety Study" enthält die Nuklidliste des Unfallfolgenmodells nur jene 54 Nuklide, die etwa 1 Stunde nach Beendigung der Kettenreaktionen noch von Bedeutung sind. Bei der Freisetzungskategorie K1 erfolgt die Freisetzung von Radionukliden jedoch unmittelbar nach dem Unfall. Deshalb gilt es abzuschätzen, in welchem Maß die unberücksichtigt gebliebenen kurzlebigen Radionuklide zur Strahlenexposition im Nahbereich beitragen. Zu diesem Zwecke wurde die  $\gamma$ -Nachzerfallsleistung berechnet <sup>1)</sup> und die innerhalb von 10

---

1) Die Rechnung wurde von Herrn Dipl.-Phys. U. Fischer, Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik, Kernforschungszentrum Karlsruhe, mit dem KORIGEN-Code für den SNR 300 (Abbrand 30,9 MWd/t) durchgeführt.

Stunden akkumulierte  $\gamma$ -Energie mit und ohne Berücksichtigung der kurzlebigen Isotope ermittelt. Diese Überschlagsrechnung zeigte, daß die kurzlebigen Isotope etwa 5% zur Gesamt- $\gamma$ -Energie des genannten Zeitraums beitragen. Die Strahlenexposition der Bevölkerung im Gebiet A (Aufenthaltsdauer maximal 9,5 h) erhöht sich also etwa um den Faktor 1,05; die bezüglich der gesundheitlichen Schäden durchgeführten Risikoabschätzungen werden sich folglich auch bei Einbeziehung kurzlebiger Isotope nur unwesentlich ändern.

### 5.3 Einfluß radioaktiven Natriums

Bei einem Schnellen Reaktor wird bei einem Unfall mit Kernzerstörung auch radioaktives Natrium (Na-22, Na-24) freigesetzt. Diese Radionuklide sind nicht in der Nuklidliste des Unfallfolgenmodells UFOMOD enthalten. Um deren Einfluß auf den Schadensumfang angeben zu können, wurde auf eine Untersuchung des NRPB /28/ zurückgegriffen. Nach dieser Studie ergibt sich für den Fall eines zu 5% verdampften ("vapourized") Cores, daß das radioaktive Natrium innerhalb des ersten Tages nach Beendigung der Kettenreaktion weniger als 10% und innerhalb der ersten 10 bis 50 Jahre weniger als 1% zur Gesamtexposition beiträgt. Aufgrund dieser geringen Mehrbelastung würden sich die Zahlenwerte der vorliegenden Risikoabschätzungen bzgl. Früh- und Spätschäden nur unwesentlich ändern.

### 5.4 Einfluß natriumhaltiger Verbindungen (Synergistische Effekte)

Im Zusammenhang mit der Freisetzung von Natrium (bei der Kategorie K1 sind es ca. 7t) wäre zu untersuchen, inwieweit das Vorhandensein von natriumhaltigen Verbindungen (NaO<sub>2</sub>, NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> etc.) in der Atmosphäre die Strahlenwirkung verstärken

könnte. Nach C. Streffer <sup>1)</sup> liegen hierzu jedoch keine Erkenntnisse vor. Es sind aber keine Hinweise darauf bekannt, daß derartige Effekte zu erwarten wären.

#### 5.5 Einfluß der Zerfallsprodukte der Aktiniden über den Expositionspfad "Ingestion"

In der DRS wurde über den Expositionspfad "Ingestion" nur die Strahlenbelastung durch sieben Radionuklide der Elemente Sr, J und Cs berechnet. Im Rahmen der Modifikation des Unfallfolgenmodells wurden bei diesem Expositionspfad auch die Aktiniden berücksichtigt. Abgesehen von dieser Verbesserung ist - wie schon in Kap. 4.3 angemerkt - der Ingestionspfad in der augenblicklichen Version noch sehr einfach modelliert; insbesondere bleiben mögliche radioaktive Zerfallsprodukte der Ausgangsnuklide unberücksichtigt.

Prinzipiell müssen jedoch auch beim Expositionspfad "Ingestion" die Zerfallsprodukte jener Radionuklide berücksichtigt werden, deren Halbwertszeiten vergleichbar sind mit den Halbwertszeiten  $T_1$  und  $T_2$ , mit denen die Aktivitätskonzentration in der obersten Bodenschicht abnimmt ( $T_1 = 0,62a$ ,  $T_2 = 92,2a$  /6, 8/). Dieses Kriterium erfüllen bei den Aktiniden nur die Radionuklide Np-239 und Pu-241.

Da das freigesetzte Np-239 selbst nach vollständigem Zerfall in Pu-239 nur einen unwesentlichen Beitrag zur Aktivität des direkt freigesetzten Nuklids Pu-239 liefert, kann es vernachlässigt werden.

---

1) Prof. Dr. C. Streffer, Institut für Strahlenphysik,  
Universität Essen

Anders jedoch bei Pu-241; der Zerfall dieses Radionuklids liefert eine Am-241-Aktivität, die wesentlich höher liegt als die Aktivität des direkt freigesetzten Am-241.

Um nun den Einfluß dieses Zerfallsprozesses über den Expositionspfad "Ingestion" auf das Gesamtergebnis abzuschätzen, wurde eine separate Rechnung durchgeführt, in der angenommen wurde, daß das Pu-241 zusätzlich "vollständig zerfallen" in Form seines Zerfallsprodukts Am-241 vorliegt. Die Ergebnisse dieser Rechnungen, die für die Kategorie K1 durchgeführt wurden, zeigen, daß durch die Vernachlässigung der Zerfallsprodukte der Aktiniden der maximale Schadensumfang um ca 4% unterschätzt wird.

#### 5.6 Spätschäden bei den folgenden Generationen (FG)

Die Berechnung der Spätschäden erfolgt im Rechenprogramm getrennt für die zum Zeitpunkt des Unfalls lebenden Generationen (LG) und für die folgenden Generationen (FG) mit Hilfe der effektiven Schadensfaktoren /24/. Aus numerischen Gründen wurden nur die bis max. 141 Jahre nach der Freisetzung geborenen Personen berücksichtigt. Dieser Zeitraum war für die Anwendung in der DRS ausreichend. Tab. 18 zeigt den Anteil der Kollektivschäden (Spätschäden), der im Mittel bei den folgenden Generationen ermittelt wurde.

Wegen der langen Halbwertszeiten der Transurane wurde abgeschätzt, inwieweit durch diese Vorgehensweise eine Unterschätzung der Ergebnisse erfolgt. Dabei zeigte sich, daß sich bei Einbeziehung aller folgenden Generationen die Ergebnisse der im vorliegenden Bericht ausgewiesenen Kollektivschäden um weniger als 5% erhöhten.

## 5.7 Zur Aussagesicherheit der Ergebnisse

In der DRS wurden auf der Basis von quantifizierten Schätzunsicherheiten Angaben zur Aussagesicherheit gewonnen /8/. Ähnliche Ergebnisse können einer Untersuchung des NRPB /29/ für schnelle Brutreaktoren entnommen werden. Derartig ausführliche Untersuchungen konnten in der vorliegenden Studie nicht durchgeführt werden. Lediglich für die Freisetzungskategorien K1 bis K5 wurden die 90 % Vertrauensgrenzen ermittelt /2/; sie sind in Tab. 19 wiedergegeben. Sie wären auf die entsprechenden Einzelkurven der Abb. 6 bis 11 in der Weise anzuwenden, daß durch Verschieben der Einzelkurven in Ordinaten-Richtung die Bandbreiten der Einzelkurven konstruiert werden. Die Bildung der Bandbreite für die Summenfunktion ist insofern nicht möglich, als die 90% Vertrauensgrenzen für die Freisetzungskategorien A und B nicht ermittelt wurden.

### 5.7.1 Einfluß der Dosis-Wirkungs-Beziehung für die Lunge (Frühschäden)

In der genannten britischen Untersuchung /29/ wird der Einfluß der Veränderung der Dosis-Wirkungs-Beziehung für die Lunge auf den Umfang der Frühschäden untersucht. Dazu wurde der LD<sub>50</sub>-Wert der Referenzkurve zum einen um den Faktor 2 erniedrigt (untere Grenze) und zum anderen um den Faktor 2 erhöht (obere Grenze). Für den Fall eines zu 10% verdampften Cores ergibt sich, daß sich bei Anwendung der unteren Grenze der Schadensumfang um den Faktor 1,2 erhöht und bei Anwendung der oberen Grenze um den Faktor 0.98

erniedrigt. Dazu wird ausgesagt, daß - je nach Bevölkerungsverteilung und Wettersituation - sich auch andere Zahlenwerte einstellen können, die angegebenen Zahlenwerte würden jedoch den ungefähren Variationsbereich anzeigen. Auf jeden Fall ist der Einfluß dieser Schwankungsbreiten auf die Ergebnisse der vorliegenden Studie zu vernachlässigen, da rein rechnerisch sowieso nur Bruchteile von akuten Todesfällen berechnet wurden.

#### 5.7.2 Einfluß der Aerosol-Charakteristika (Früh- und Spätschäden)

Die Ergebnisse der vorliegenden Unfallfolgenrechnungen wurden erzielt unter Zugrundelegung eines Referenzaerosols, das charakterisiert ist durch folgende Parameter:

Partikelgröße:	1 $\mu\text{m}$
chemische Form:	Oxid (mit Ausnahme der Edelgase und Halogene, von denen angenommen wurde, daß sie in elementarer Form vorliegen).

In der genannten britischen Veröffentlichung /29/ wird untersucht, inwieweit Abweichungen von diesen Referenzgrößen den Umfang der Früh- und Spätschäden verändern. Dazu wurde die Partikelgröße zum einen auf 0,1  $\mu\text{m}$  erniedrigt und zum anderen auf 10  $\mu\text{m}$  erhöht. Was die chemische Form anbelangt, wurde einmal eine "mehr lösliche" und einmal eine "weniger lösliche" Form angenommen. Die "mehr lösliche" Form besteht aus einem Gemisch von Natrium und anderen chemischen Elementen, wodurch die biologische Transportfähigkeit ("transportability") des inhalierten Materials, z.B. von Plutonium, erhöht wird. Die für den Fall eines zu 10% verdampften ("vapourized") Cores erzielten Ergebnisse sind in Tabelle 20 zusammengestellt. Hierzu wird ausgesagt, daß der Variationsbereich kleiner ist als erwartet. Dies ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß der Anstieg der Dosis in einem bestimmten Organ im allgemeinen von der Abnahme der Dosis in anderen Organen begleitet wird.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß der Einfluß der Variationsbreite der berücksichtigten physikalischen und chemischen Formen auf den Schadensumfang etwa mit dem Unsicherheitsfaktor 2 beschrieben werden kann.

### 5.7.3 Einfluß der Dosis-Risiko-Beziehung bei Spätschäden

Die 90% Vertrauensgrenze der Dosis-Risiko-Beziehung für Spätschäden wurde in der DRS mit dem Faktor 2 beschrieben. Dieser wirkt sich direkt proportional auf den Schadensumfang aus.

Eine Erweiterung der bei einer derartigen Untersuchungen zugrundegelegten Schätzunsicherheiten verschiedener Parameter auf weitere, in der DRS noch nicht berücksichtigten aber für einen LMFBR relevant erscheinenden Parameter wie z.B.

- Größe des Aerosoldurchmessers
- verschiedene Löslichkeiten
- Dosisfaktoren

ist wünschenswert. Im Augenblick sind derartige Überlegungen noch nicht durchführbar, da entsprechende Schätzungen für die 90% Vertrauensgrenze noch nicht vorliegen. Die z.B. von Kelly /28/ angegebenen Zahlenwerte sind lediglich als Ergebnisse von Parameterstudien anzusehen, denen noch die probabilistische Wertung fehlt.

## 6. Zusammenfassung

Zur Abschätzung der Unfallfolgen nach größeren Radionuklidfreisetzungungen aus dem Schnellen Brutreaktor SNR 300 wurde die modifizierte Version UFOMOD/B3 des Unfallfolgenmodells der "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke (DRS)" verwendet. In dieser Version wurden neuere wissenschaftliche Erkenntnisse und Spezifika von Radionuklidfreisetzungungen aus einem schnellen Brutreaktor berücksichtigt. Bei einem Vergleich der Ergebnisse mit den Ergebnissen der DRS ist dies zu berücksichtigen.

Die Unfallfolgenrechnungen wurden, dem Auftrag entsprechend, trotz der methodischen Probleme standortspezifischer Unfallfolgenrechnung für den Standort Kalkar durchgeführt. Dabei wurden die gleichen Schadensarten wie in der DRS untersucht. Die Ergebnisse zeigen, daß auch bei den höchsten Freisetzungungen - wie sie nach einer Kernzerstörung mit extrem hoher mechanischer Energie auftreten könnten - keine frühen Todesfälle verursacht werden. Dies gilt auch dann, wenn mögliche Schutzmaßnahmen in der Umgebung (Evakuierung) nicht in Rechnung gestellt werden.

Die somatischen Spätschäden wurden - wie in der DRS - auf der Grundlage einer linearen Dosis-Risiko-Beziehung ohne Schwellenwert berechnet. Damit wird angenommen, daß auch sehr geringe Strahlenbelastungen für die betroffenen Personen das Risiko einer späteren Krebserkrankung erhöhen. Folge dieser Annahme ist, daß das Schadensausmaß praktisch nur von der Menge der einzelnen freigesetzten Radionuklide abhängt. Die konkreten Standortverhältnisse oder die Wetterverhältnisse nach einem Unfall haben nur geringen Einfluß auf das Schadensausmaß.

Bei der größten Freisetzung (Freisetzungskategorie K1) wurde im Fall einer Beladung mit LWR-Pu <sup>x)</sup> in 95% der betrachteten Unfallfolgesituationen ein Kollektivschaden von kleiner als 13000 späten Todesfällen berechnet; beim Einsatz von Magnox-Pu <sup>x)</sup> ergeben sich weniger als 5 300 späte Todesfälle. Diese Spätschäden treten zu einem erheblichen Teil weit entfernt vom Ort der Freisetzung auf. Sie werden zum größten Teil aufgrund kleiner Strahlenbelastungen berechnet, denen eine sehr große Bevölkerungszahl ausgesetzt ist.

Die Verhältnisse bei der genetisch signifikanten Kollektivdosis liegen ähnlich wie bei den somatischen Spätschäden. Auch hier berechnet sich die Kollektivdosis überwiegend aus sehr kleinen Strahlenbelastungen, denen eine große Personenzahl ausgesetzt ist.

An möglichen Maßnahmen, die die Auswirkungen einer massiven Radionuklidfreisetzung vermindern können, wurden - wie in der DRS - berücksichtigt:

- Evakuierung,
- schnelle Umsiedlung,
- Umsiedlung
- Dekontamination und
- Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte.

Es wurden die Flächen und Personenzahlen ermittelt, die nach Unfällen von solchen Maßnahmen erfaßt werden können.

Im Nahbereich wurde angenommen, daß nach jedem Unfall - unabhängig von der tatsächlich erfolgenden Freisetzung - ein schlüssellochförmiges Gebiet in der Nähe der Anlage (Fläche 33 km<sup>2</sup>) evakuiert wird. Je nach Windrichtung können dann zwischen 1 400 und 8 000 Personen von dieser Maßnahme betroffen sein.

---

x) siehe dazu Kapitel 2

Umsiedlungsmaßnahmen werden nur durchgeführt, wenn die tatsächlich auftretenden Strahlenbelastungen dies erfordern. Solche Maßnahmen werden praktisch nur bei der Freisetzungskategorie K1 erforderlich. Die Flächen liegen zwischen 0 und 73 km<sup>2</sup>, die Zahl der betroffenen Personen beträgt maximal 90 000.

Die Flächen, in denen Dekontamination oder Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte notwendig werden könnten, sind in den Tabellen des Abschnitts 4.3 angegeben. Hierzu ist zu bemerken, daß die verwendeten Modelle nur sehr grobe Abschätzungen erlauben.

Bildet man die Risikobeiträge der einzelnen Freisetzungskategorien durch Multiplikation des Schadensausmaßes mit der Eintrittshäufigkeit, so zeigt sich, daß die Freisetzung durch Kühlausfall im natriumgekühlten Brennelementlager (Freisetzungskategorie KA) den weitaus überwiegenden Risikobeitrag liefert. Der dominante Beitrag dieser Freisetzung resultiert vor allem aus der relativ großen Eintrittshäufigkeit ( $4 \cdot 10^{-5}$  pro Jahr gegenüber  $10^{-8}$  pro Jahr für eine Kernzerstörung mit extrem hoher mechanischer Energie- und Aktivitätsfreisetzung der Kategorie K1). Der verbleibende Risikobeitrag von 1-2% ist etwa gleichverteilt auf die Freisetzungskategorien K1 bis K4 und KB (Gaslager). Der Risikobeitrag durch die Freisetzungskategorie K5, die im wesentlichen dem Auslegungstörfall des SNR-300 entspricht, liegt noch einmal um drei Größenordnungen unter den Risikobeiträgen dieser Kategorien.

Literaturverzeichnis

- /1/ Bericht der Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages  
"Zukünftige Kernenergie-Politik"  
erschieden in: "Zur Sache - Themen parlamentarischer  
Beratung", Heft 1/80 und 2/80 (1980)
  
- /2/ Risikoorientierte Analyse zum SNR-300  
Bericht GRS-51 (1982)
  
- /3/ H.G. Friederichs, GRS-Köln  
private Mitteilung, 1982
  
- /4/ H. Vossebrecker, Interatom-Bensberg  
private Mitteilung, 1982
  
- /5/ US Nuclear Regulatory Commission (Ed.)  
Reactor Safety Study  
Report WASH-1400 (1975)
  
- /6/ siehe /5/  
Appendix VI: Calculation of Reactor Accident Consequences
  
- /7/ Der Bundesminister für Forschung und Technologie (Hrsg.)  
Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke  
Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1979
  
- /8/ siehe /7/  
Fachband 8: Unfallfolgenrechnungen und Risikoergebnisse
  
- /9/ M. Schückler, S. Vogt  
UFOMOD - Programm zur Berechnung der radiologischen Folgen  
von Reaktorunfällen im Rahmen von Risikostudien  
Bericht KfK-3092 (1981)
  
- /10/ J. Ehrhardt, S. Vogt  
Unfallfolgenrechnungen und Risikoabschätzungen mit dem  
Rechenprogramm UFOMOD/B3  
Bericht KfK-3373 (in Vorbereitung)
  
- /11/ D.C. Aldrich, A. Bayer, M. Schückler  
A Proposed Windshift Model for the German Reactor Safety  
Study  
Bericht KfK-2791 (1979)

- /12/ W. Hübschmann, S. Vogt, KfK-Karlsruhe  
private Mitteilung (1982)
- /13/ R. Jonas, K.J. Vogt  
Untersuchungen zur Ermittlung der Ablagerungsgeschwindigkeit  
von Aerosolen auf Vegetation und andere Probenahme­flächen  
Bericht Jül-1780 (1982)
- /14/ G.N. Kelly, R.H. Clarke  
An Assessment of the Radiological Consequences of Releases  
from Degraded Core Accidents for the "Sizewell PWR",  
Report NRPB-R137 (1982)
- /15/ Brenk, H.D., Vogt, K.J.  
The Calculation of Wet Deposition from Radioactive Plumes  
Nuclear Safety 22, 362-370, (1981)
- /16/ Schrödl, E., Urban, H.  
Literaturstudie zum Kurzzeit-Washout-Faktor von Aerosolen  
GRS-Bericht A-609, (1981)
- /17/ Cohen, B.L.  
Hazards from Plutonium Toxicity  
Health Physics, 32, 359-379, (1977)
- /18/ Linsley, G.S.  
Resuspension of the Transuranium Elements - A Review of  
Existing Data  
Report NRPB-R75, (1978)
- /19/ Kocher, D.C.  
Potential Importance of Resuspension During Chronic Releases  
of Radionuclides to the Atmosphere  
Health Physics, 39, 687-690, (1980)
- /20/ Liquid Metal Fast Breeder Reactor Program, Vol. II Proposed  
Final Environmental Statement  
Report WASH-1535 (1974)
- /21/ ICRP Publication No. 30, Part 1  
Limits for Intakes of Radionuclides by Workers  
Annals of the ICRP, Vol. 2, No. 2, 1979
- ICRP Publication No. 30, Supplement To Part 1  
Limits for Intakes of Radionuclides by Workers  
Annals of the ICRP, Vol. 3, No. 1-4, 1979

ICRP Publication No. 30, Part 3  
Limits for Intakes of Radionuclides by Workers  
Annals of the ICRP, Vol. 6, No. 2/3, 1981

- /22/ Clarke, R.H., Kelly, G.N.  
MARC - The NRPB Methodology for Assessing Radiological  
Consequences of Accidental Releases of Activity  
Report NRPB-R127, (1981)
- /23/ Charles, D., Crick, M.J., Fell, T.P., Greenhalgh, J.R.  
DOSE-MARC: The dosimetric module in the methodology for  
assessing the radiological consequences of accidental  
releases  
Report NRPB (to be published)
- /24/ Bayer, A., Ehrhardt, J., Schückler, M.  
Das Konzept der effektiven Schadensfaktoren zur Ermittlung  
stochastischer somatischer Schäden nach unfallbedingten  
Strahlenexpositionen  
Bericht KfK-3037 (1980)
- /25/ Ehrhardt, J.  
Dokumentation der Datensätze im Dosismodell des Rechenpro-  
gramms UFOMOD/B3  
Bericht KfK-3390 (1982)
- /26/ Kocher, D.C.  
Dose-Rate Conversion Factors for External Exposure to Photon  
and Electron Radiation from Radionuclides Occuring in  
Routine Releases from Nuclear Fuel Cycle Facilities  
Health Physics 38, (1980) 543-621, (1980)
- /27/ Schwarz, G., Bastek, H.  
Untersuchungen zum Transport und zur Verteilung von  
Transuranen in terrestrischen Nahrungsketten  
Interner BSU-Bericht 8109/1, April 1982
- /28/ Kelly, G.N., Jones, J.A., Hunt, B.W.  
An Estimate of the Radiological Consequences of National  
Accidental Releases of Radioactivity from a Fast Breeder  
Reactor  
Report NRPB-R53, (1977)
- /29/ Kelly, G.N.  
The Radiological Consequences of National Accidental  
Releases from Fast Breeder Reactors  
Annals of Nuclear Energy, 8, 307-318, (1981)

- /30/ ICRP Publication No 26  
Recommendations of the International Commission on  
Radiological Protection  
Annals of the ICRP, Vol. 1, No 3 (1977)
- /31/ J. Ehrhardt  
Analyse der in der "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke"  
berechneten stochastischen somatischen Schäden  
Bericht KfK-3218 (1981)

NR.	NUKLID	HALBWERTS-	INVENTAR	ABLAG.	WASHOUT-KOEFFIZIENT BEI REGEN				BERUECKSICHTIGT BEI EXPOSITIONSPFAD			
		ZEIT	(C1)		GESCHW.	<1.0 MM/H	ZW.BEREICH	>3.0 MM/H	EXTERNE STRAHLUNG	INGEST.	RESUSP.	
		(D)		(M/S)	(1/S)	(1/S)	(1/S)	KURZFR.	LANGFR.			
1	CO- 58	7.10E+01	5.20E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1			1
2	CO- 60	1.92E+03	6.38E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2			2
3	KR- 85	3.91E+03	7.24E+04	0.0	0.0	0.0	0.0	3	3			3
4	KR- 85M	1.87E-01	3.97E+06	0.0	0.0	0.0	0.0	4	4			4
5	KR- 87	5.31E-02	6.86E+06	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5			5
6	KR- 88	1.18E-01	8.46E+06	0.0	0.0	0.0	0.0	6	6			6
7	RB- 86	1.87E+01	2.86E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7			7
8	SR- 89	5.05E+01	1.12E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8		8
9	SR- 90	1.04E+04	3.77E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9		9
10	SR- 91	3.95E-01	1.59E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0			0
11	Y - 90	2.67E+00	3.85E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1			1
12	Y - 91	5.86E+01	1.59E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2			2
13	ZR- 95	6.42E+01	3.04E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3			3
14	ZR- 97	7.04E-01	2.97E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4			4
15	NB- 95	3.52E+01	3.00E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5			5
16	MD- 99	2.75E+00	3.41E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6			6
17	TC- 99M	2.51E-01	2.96E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7			7
18	RU-103	3.93E+01	3.34E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8			8
19	RU-105	1.85E-01	2.91E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9			9
20	RU-106	3.68E+02	1.45E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0			0
21	RH-105	1.47E+00	2.91E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1			1
22	TE-127	3.89E-01	2.28E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2			2
23	TE-127M	1.09E+02	4.76E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3			3
24	TE-129	4.83E-02	6.38E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4			4
25	TE-129M	3.36E+01	9.95E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5			5
26	TE-131M	1.25E+00	1.93E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6			6
27	TE-132	3.26E+00	2.04E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7			7
28	SB-127	3.86E+00	2.32E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8			8
29	SB-129	1.83E-01	6.19E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9			9
30	J -131	8.04E+00	1.92E+07	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	0	0	0		0
31	J -132	9.58E-02	2.19E+07	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	1	1			1
32	J -133	8.66E-01	3.24E+07	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	2	2	2		2
33	J -134	3.65E-02	3.60E+07	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	3	3			3
34	J -135	2.76E-01	3.50E+07	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	4	4			4
35	XE-133	5.24E+00	3.17E+07	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5			5
36	XE-135	3.78E-01	3.79E+07	0.0	0.0	0.0	0.0	6	6			6
37	CS-134	7.50E+02	1.31E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7		7
38	CS-136	1.31E+01	1.34E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8		8
39	CS-137	1.10E+04	1.03E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9		9
40	BA-140	1.28E+01	2.95E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0			0
41	LA-140	1.67E+00	3.00E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1			1
42	CE-141	3.25E+01	2.47E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2			2
43	CE-143	1.38E+00	2.56E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3			3
44	CE-144	2.84E+02	1.36E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4			4
45	PR-143	1.36E+01	2.50E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5			5
46	ND-147	1.11E+01	1.20E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6			6
47	NP-239	2.34E+00	2.77E+08	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7		7
48	PU-238	3.21E+04	1.82E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8		8
49	PU-239	8.90E+06	6.67E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9		9
50	PU-240	2.39E+06	8.30E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0	0		0
51	PU-241	5.24E+03	5.76E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1		1
52	AM-241	1.58E+05	1.07E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2		2
53	CM-242	1.63E+02	2.49E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3	3		3
54	CM-244	6.63E+03	1.31E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4	4		4

Tab. 1a: Nukliddaten und Kerninventar zum Zeitpunkt des Unfalleintritts (Magnox-Pu)

NR.	NUKLID	HALBWERTS-	INVENTAR	ABLAG.	WASHOUT-KOEFFIZIENT BEI REGEN			BERUECKSICHTIGT BEI		EXPOSITIONSPFAD	RESUSP.
		ZEIT	(CI)		GESCHW.	<1.0 MM/H	ZW.BEREICH	>3.0 MM/H	EXTERNE STRAHLUNG		
		(D)		(M/S)	(1/S)	(1/S)	(1/S)	KURZFR.	LANGFR.		
1	CO- 58	7.10E+01	3.89E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1
2	CO- 60	1.92E+03	6.31E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2		2
3	KR- 85	3.91E+03	7.20E+04	0.0	0.0	0.0	0.0	3	3		3
4	KR- 85M	1.87E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	4		4
5	KR- 87	5.31E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5		5
6	KR- 88	1.18E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6	6		6
7	RB- 86	1.87E+01	9.41E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7		7
8	SR- 89	5.05E+01	7.50E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	8
9	SR- 90	1.04E+04	3.77E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	9
10	SR- 91	3.95E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0		0
11	Y - 90	2.67E+00	3.77E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1
12	Y - 91	5.86E+01	1.12E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2		2
13	ZR- 95	6.42E+01	2.20E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3		3
14	ZR- 97	7.04E-01	5.27E-06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4		4
15	NB- 95	3.52E+01	2.80E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5		5
16	MO- 99	2.75E+00	1.98E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6		6
17	TC- 99M	2.51E-01	1.90E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7		7
18	RU-103	3.93E+01	1.98E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8		8
19	RU-105	1.85E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9		9
20	RU-106	3.68E+02	1.37E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0		0
21	RH-105	1.47E+00	3.06E+01	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1
22	TF-127	3.89E-01	4.14E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2		2
23	TE-127M	1.09E+02	4.09E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3		3
24	TE-129	4.83E-02	3.48E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4		4
25	TE-129M	3.36E+01	5.42E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5		5
26	TF-131M	1.25E+00	1.16E-01	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6		6
27	TE-132	3.26E+00	3.40E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7		7
28	SB-127	3.86E+00	1.10E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8		8
29	SB-129	1.83E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9		9
30	J -131	8.04E+00	1.48E+06	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	0	0	0	0
31	J -132	9.58E-02	3.51E+04	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	1	1		1
32	J -133	8.66E-01	1.57E-03	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	2	2	2	2
33	J -134	3.65E-02	0.0	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	3	3		3
34	J -135	2.76E-01	0.0	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	4	4		4
35	XE-133	5.24E+00	7.53E+05	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5		5
36	XE-135	3.78E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6	6		6
37	CS-134	7.50E+02	1.28E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7	7
38	CS-136	1.31E+01	2.72E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	8
39	CS-137	1.10E+04	1.03E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	9
40	BA-140	1.29E+01	5.81E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0		0
41	LA-140	1.67E+00	6.69E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1
42	CE-141	3.25E+01	1.31E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2		2
43	CE-143	1.38E+00	6.99E+00	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3		3
44	CE-144	2.84E+02	1.26E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4		4
45	PR-143	1.36E+01	6.10E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5		5
46	ND-147	1.11E+01	1.84E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6		6
47	NP-239	2.34E+00	4.01E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7	7
48	PU-238	3.21E+04	1.98E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	8
49	PU-239	8.90E+06	6.69E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	9
50	PU-240	2.39E+06	8.30E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0	0	0
51	PU-241	5.24E+03	5.74E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1	1
52	AM-241	1.58E+05	1.15E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2	2
53	CM-242	1.63E+02	2.21E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3	3	3
54	CM-244	6.63E+03	1.31E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4	4	4

Tab. 1b: Nuklidaten und Inventar des Na-gekühlten Brennelementlagers (Magnox-Pu)

NR. NUKLID	HALBWERTS- INVENTAR		ABLAG. GESCHW. (M/S)	WASHOUT-KOEFFIZIENT BEI REGEN				BERUECKSICHTIGT BEI		EXPOSITIONSPFAD	
	ZEIT (D)	(CI)		<1.0 MM/H (1/S)	ZW.BEREICH (1/S)	>3.0 MM/H (1/S)	EXTERNE STRAHLUNG KURZFR.	LANGFR.	ENGST.	RESUSP.	
1	CO- 58	7.10E+01	2.52E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1
2	CO- 60	1.92E+03	2.93E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2		2
3	KR- 85	3.91E+03	3.47E+04	0.0	0.0	0.0	0.0	3	3		3
4	KR- 85M	1.87E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	4		4
5	KR- 87	5.31E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5		5
6	KK- 88	1.18E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6	6		6
7	RB- 86	1.87E+01	1.96E+00	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7		7
8	SR- 89	5.05E+01	2.29E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	8
9	SR- 90	1.04E+04	1.86E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	9
10	SR- 91	3.95E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0		0
11	Y - 90	2.67E+00	1.86E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1
12	Y - 91	5.86E+01	4.72E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2		2
13	ZR- 95	6.42E+01	1.18E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3		3
14	ZR- 97	7.04E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4		4
15	NB- 95	3.52E+01	2.39E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5		5
16	MO- 99	2.75E+00	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6		6
17	TC- 99M	2.51E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7		7
18	RU-103	3.93E+01	2.50E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8		8
19	RU-105	1.85E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9		9
20	RU-106	3.68E+02	4.61E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0		0
21	RH-105	1.47E+00	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1
22	TE-127	3.89E-01	5.32E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2		2
23	TE-127M	1.09E+02	5.38E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3		3
24	TE-129	4.83E-02	2.41E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4		4
25	TE-129M	3.36E+01	3.75E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5		5
26	TE-131M	1.25E+00	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6		6
27	TE-132	3.26E+00	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7		7
28	SB-127	3.86E+00	2.67E-13	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8		8
29	SB-129	1.83E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9		9
30	J -131	8.04E+00	1.04E-02	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	0	0	0	0
31	J -132	9.58E-02	0.0	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	1	1		1
32	J -133	8.66E-01	0.0	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	2	2	2	2
33	J -134	3.65E-02	0.0	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	3	3		3
34	J -135	2.76E-01	0.0	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	4	4		4
35	XE-133	5.24E+00	3.80E-07	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5		5
36	XE-135	3.78E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6	6		6
37	CS-134	7.50E+02	5.26E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7	7
38	CS-136	1.31E+01	1.86E+00	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	8
39	CS-137	1.10E+04	5.07E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	9
40	BA-140	1.28E+01	3.34E+01	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0		0
41	LA-140	1.67E+00	3.85E+01	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1
42	CE-141	3.25E+01	7.41E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2		2
43	CE-143	1.38E+00	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3		3
44	CE-144	2.84E+02	3.78E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4		4
45	PR-143	1.36E+01	7.41E+01	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5		5
46	ND-147	1.11E+01	1.85E+00	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6		6
47	NP-239	2.34E+00	5.01E+01	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7	7
48	PU-238	3.21E+04	1.31E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	8
49	PU-239	8.90E+06	3.35E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	9
50	PU-240	2.39E+06	4.15E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0	0	0
51	PU-241	5.24E+03	2.80E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1
52	AM-241	1.58E+05	8.33E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2	2
53	CM-242	1.63E+02	4.54E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3	3	3
54	CM-244	6.63E+03	6.39E+02	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4	4	4

Tab. 1c: Nukliddaten und Inventar des gasgekühlten Brennelementlagers (Magnox-Pu)

INGABELISTE DER NUKLIDDATEN

NR.	NUKLID	HALBWERTS-	INVENTAR	ABLAG.	WASHOUT-KOEFFIZIENT BEI REGEN				BERUECKSICHTIGT BEI EXPOSITIONSPFAD			
		ZEIT	(CI)		GESCHW.	<1.0 MM/H	ZW.BEREICH	>3.0 MM/H	EXTERNE	STRABLUNG	EXGEST.	RESUSP.
		(D)		(M/S)	(1/S)	(1/S)	(1/S)	KURZFR.	LANGFR.			
1	CO- 58	7.10E+01	3.26E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1	
2	CO- 60	1.92E+03	4.62E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2		2	
3	KR- 85	3.91E+03	5.68E+04	0.0	0.0	0.0	0.0	3	3		3	
4	KR- 85M	1.87E-01	3.27E+06	0.0	0.0	0.0	0.0	4	4		4	
5	KR- 87	5.31E-02	5.14E+06	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5		5	
6	KR- 88	1.18E-01	7.19E+06	0.0	0.0	0.0	0.0	6	6		6	
7	RB- 86	1.87E+01	2.23E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7		7	
8	SR- 89	5.05E+01	9.04E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	8	
9	SR- 90	1.04E+04	3.45E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	9	
10	SR- 91	3.95E-01	1.34E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0		0	
11	Y - 90	2.67E+00	3.52E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1	
12	Y - 91	5.86E+01	1.19E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2		2	
13	ZR- 95	6.42E+01	2.20E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3		3	
14	ZR- 97	7.04E-01	2.75E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4		4	
15	NB- 95	3.52E+01	1.97E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5		5	
16	MO- 99	2.75E+00	3.12E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6		6	
17	TC- 99M	2.51E-01	2.74E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7		7	
18	RU-103	3.93E+01	3.30E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8		8	
19	RU-105	1.85E-01	2.60E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9		9	
20	RU-106	3.68E+02	1.23E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0		0	
21	RH-105	1.47E+00	2.60E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1	
22	TE-127	3.89E-01	7.66E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2		2	
23	TE-127M	1.09E+02	3.03E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3		3	
24	TE-129	4.83E-02	6.96E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4		4	
25	TE-129M	3.36E+01	1.02E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5		5	
26	TE-131M	1.25E+00	3.21E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6		6	
27	TE-132	3.26E+00	2.71E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7		7	
28	SB-127	3.86E+00	2.74E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8		8	
29	SB-129	1.83E-01	7.07E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9		9	
30	J -131	8.04E+00	2.07E+07	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	0	0	0	0	
31	J -132	9.58E-02	2.77E+07	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	1	1		1	
32	J -133	8.66E-01	3.48E+07	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	2	2	2	2	
33	J -134	3.65E-02	3.67E+07	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	3	3		3	
34	J -135	2.76E-01	3.39E+07	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	4	4		4	
35	XE-133	5.24E+00	3.52E+07	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5		5	
36	XE-135	3.78E-01	3.84E+07	0.0	0.0	0.0	0.0	6	6		6	
37	CS-134	7.50E+02	1.01E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7	7	
38	CS-136	1.31E+01	1.10E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	8	
39	CS-137	1.10E+04	9.71E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	9	
40	BA-140	1.28E+01	2.81E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0		0	
41	LA-140	1.67E+00	2.83E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1		1	
42	CE-141	3.25E+01	2.80E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2		2	
43	CE-143	1.38E+00	2.35E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3		3	
44	CE-144	2.84E+02	1.18E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4		4	
45	PR-143	1.36E+01	2.29E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5		5	
46	ND-147	1.11E+01	1.11E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6		6	
47	NP-239	2.34E+00	1.48E+08	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7	7	
48	PU-238	3.21E+04	2.78E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	8	
49	PU-239	8.90E+06	9.01E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	9	
50	PU-240	2.39E+06	1.40E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0	0	0	
51	PU-241	5.24E+03	2.16E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1	1	
52	AM-241	1.58E+05	9.51E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2	2	
53	CM-242	1.63E+02	1.66E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3	3	3	
54	CM-244	6.63E+03	3.09E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4	4	4	

Tab. 2a: Nukliddaten und Kerninventar zum Zeitpunkt des Unfalleintritts (LWR-Pu)

EINGABELISTE DER NUKLIDDATEN

NR.	NUKLID	HALBWERTS- INVENTAR		ABLAG. GESCHW. (M/S)	WASHOUT-KOEFFIZIENT BEI REGEN			BERUECKSICHTIGT BEI EXPOSITIONSPFAD		
		ZEIT (D)	(CI)		<1.0 MM/H (1/S)	ZW.BEREICH (1/S)	>3.0 MM/H (1/S)	EXTERNE STRAHLUNG KURZFR.	INGEST. PESUSP. LANGFR.	
1	CO- 58	7.10E+01	2.43E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1
2	CO- 60	1.92E+03	4.57E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2
3	KR- 85	3.91E+03	5.66E+04	0.0	0.0	0.0	0.0	3	3	3
4	KR- 85M	1.87E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	4	4
5	KR- 87	5.31E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5	5
6	KR- 88	1.18E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6	6	6
7	RB- 86	1.87E+01	7.30E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7
8	SR- 89	5.05E+01	5.99E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8
9	SR- 90	1.04E+04	3.45E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9
10	SR- 91	3.95E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0	0
11	Y - 90	2.67E+00	3.45E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1
12	Y - 91	5.86E+01	8.44E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2
13	ZR- 95	6.42E+01	1.59E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3	3
14	ZR- 97	7.04E-01	3.35E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4	4
15	NB- 95	3.52E+01	1.92E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5	5
16	MO- 99	2.75E+00	1.64E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6	6
17	TC- 99M	2.51E-01	1.58E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7
18	RU-103	3.93E+01	1.95E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8
19	RU-105	1.85E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9
20	RU-106	3.68E+02	1.16E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0	0
21	RH-105	1.47E+00	2.23E+01	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1
22	TE-127	3.89E-01	2.69E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2
23	TE-127M	1.09E+02	2.62E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3	3
24	TE-129	4.83E-02	3.60E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4	4
25	TE-129M	3.36E+01	5.52E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5	5
26	TE-131M	1.25E+00	1.92E-01	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6	6
27	TE-132	3.26E+00	4.58E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7
28	SB-127	3.86E+00	1.25E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8
29	SB-129	1.83E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9
30	J -131	8.04E+00	1.61E+06	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	0	0	0
31	J -132	9.58E-02	4.72E+04	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	1	1	1
32	J -133	8.66E-01	1.36E-03	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	2	2	2
33	J -134	3.65E-02	0.0	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	3	3	3
34	J -135	2.76E-01	0.0	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	4	4	4
35	XE-133	5.24E+00	8.23E+05	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5	5
36	XE-135	3.78E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6	6	6
37	CS-134	7.50E+02	9.83E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7
38	CS-136	1.31E+01	2.25E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8
39	CS-137	1.10E+04	9.69E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9
40	BA-140	1.28E+01	5.53E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0	0
41	LA-140	1.67E+00	6.37E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1
42	CE-141	3.25E+01	1.49E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2
43	CE-143	1.38E+00	6.38E+00	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3	3
44	CE-144	2.84E+02	1.09E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4	4
45	PR-143	1.36E+01	5.52E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5	5
46	ND-147	1.11E+01	1.70E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6	6
47	NP-239	2.34E+00	2.21E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7
48	PU-238	3.21E+04	2.79E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8
49	PU-239	8.90E+06	9.01E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9
50	PU-240	2.39E+06	1.40E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0	0
51	PU-241	5.24E+03	2.15E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1
52	AM-241	1.58E+05	9.79E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2
53	CM-242	1.63E+02	1.47E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3	3
54	CM-244	6.63E+03	3.09E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4	4

Tab. 2b: Nukliddaten und Inventar des Na-gekühlten Brennelementlagers (LWR-Pu)

NR.	NUKLID	HALBWERTS-	INVENTAR	ABLAG.	WASHOUT-KOEFFIZIENT BEI REGEN				BERUECKSICHTIGT BEI EXPOSITIONSPFAD		
		ZEIT	(CI)	GESCHW.	<1.0 MM/H	ZW.BEREICH	>3.0 MM/H	EXTERNE STRAHLUNG	INGEST.	RESUSP.	
		(D)		(M/S)	(1/S)	(1/S)	(1/S)	KURZFR.	LANGFR.		
1	CO- 58	7.10E+01	1.55E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1	
2	CO- 60	1.92E+03	2.12E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2	
3	KR- 85	3.91E+03	2.72E+04	0.0	0.0	0.0	0.0	3	3	3	
4	KR- 85M	1.87E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	4	4	
5	KR- 87	5.31E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5	5	
6	KR- 88	1.18E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6	6	6	
7	RB- 86	1.87E+01	1.49E+00	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7	
8	SR- 89	5.05E+01	1.68E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	
9	SR- 90	1.04E+04	1.70E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	
10	SR- 91	3.95E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0	0	
11	Y - 90	2.67E+00	1.70E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1	
12	Y - 91	5.86E+01	3.51E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2	
13	ZR- 95	6.42E+01	8.19E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3	3	
14	ZR- 97	7.04E-01	2.67E+02	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4	4	
15	NB- 95	3.52E+01	1.69E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5	5	
16	MO- 99	2.75E+00	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6	6	
17	TC- 99M	2.51E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7	
18	RU-103	3.93E+01	2.39E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	
19	RU-105	1.85E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	
20	RU-106	3.68E+02	3.92E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0	0	
21	RH-105	1.47E+00	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1	
22	TE-127	3.89E-01	3.39E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2	
23	TE-127M	1.09E+02	3.46E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3	3	
24	TE-129	4.83E-02	2.37E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4	4	
25	TE-129M	3.36E+01	3.63E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5	5	
26	TE-131M	1.25E+00	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6	6	
27	TE-132	3.26E+00	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7	
28	SB-127	3.86E+00	2.37E-13	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	
29	SB-129	1.83E-01	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	
30	J -131	8.04E+00	1.10E-02	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	0	0	0	
31	J -132	9.58E-02	0.0	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	1	1	1	
32	J -133	8.66E-01	0.0	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	2	2	2	
33	J -134	3.65E-02	0.0	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	3	3	3	
34	J -135	2.76E-01	0.0	1.00E-02	3.70E-05	1.10E-04	2.37E-04	4	4	4	
35	XE-133	5.24E+00	3.65E-07	0.0	0.0	0.0	0.0	5	5	5	
36	XE-135	3.78E-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6	6	6	
37	CS-134	7.50E+02	4.05E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7	
38	CS-136	1.31E+01	1.69E+00	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	
39	CS-137	1.10E+04	4.79E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	
40	BA-140	1.28E+01	3.16E+01	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0	0	
41	LA-140	1.67E+00	3.63E+01	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1	
42	CE-141	3.25E+01	8.44E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2	
43	CE-143	1.38E+00	0.0	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3	3	
44	CE-144	2.84E+02	3.28E+06	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4	4	
45	PR-143	1.36E+01	6.03E+01	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	5	5	5	
46	ND-147	1.11E+01	1.64E+00	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	6	6	6	
47	NP-239	2.34E+00	1.72E+02	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	7	7	7	
48	PU-238	3.21E+04	1.41E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	8	8	8	
49	PU-239	8.90E+06	4.51E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	9	9	9	
50	PU-240	2.39E+06	6.99E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	0	0	0	
51	PU-241	5.24E+03	1.05E+07	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	1	1	1	
52	AM-241	1.58E+05	5.87E+04	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	2	2	2	
53	CM-242	1.63E+02	3.03E+05	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	3	3	3	
54	CM-244	6.63E+03	1.51E+03	1.00E-03	2.90E-05	1.22E-04	3.40E-04	4	4	4	

Tab. 2c: Nukliddaten und Inventar des gasgekühlten Brennelementlagers (LWR-Pu)

UNFALL- KATEG.	EINTRITTS- HAUEFIG. (1/A)	ANZAHL DER PHASEN	VERSCHIEBUNG DER STARTZEIT (H)		VERZOEGERUNG (H)	THERMISCHE LEISTUNG (CAL/S)	FREISE TZ- HOEHE (M)	FLAECHENQUELLE BREITE (M)	HOEHE (M)
K1	1.00E-08	1	0	1. PHASE:	0.0	3.52E+07	100	0.0	0.0
K2	2.00E-07	5	-22	1. PHASE:	0.0	0.0	10	40.0	44.0
				2. PHASE:	2.20E+01	9.95E+05	100	0.0	0.0
				3. PHASE:	2.50E+01	9.95E+05	100	0.0	0.0
				4. PHASE:	3.30E+01	0.0	100	0.0	0.0
				5. PHASE:	3.40E+01	0.0	100	0.0	0.0
K3	2.00E-08	5	0	1. PHASE:	0.0	0.0	100	0.0	0.0
				2. PHASE:	1.00E+00	0.0	100	0.0	0.0
				3. PHASE:	2.00E+00	0.0	100	0.0	0.0
				4. PHASE:	2.20E+01	0.0	100	0.0	0.0
				5. PHASE:	4.80E+01	0.0	100	0.0	0.0
K4	2.00E-07	5	-100	1. PHASE:	2.00E+00	0.0	10	40.0	44.0
				2. PHASE:	1.00E+01	0.0	10	40.0	44.0
				3. PHASE:	2.50E+01	0.0	10	40.0	44.0
				4. PHASE:	4.80E+01	0.0	10	40.0	44.0
				5. PHASE:	1.00E+02	0.0	10	40.0	44.0
K5	3.00E-07	3	-240	1. PHASE:	2.40E+02	0.0	100	0.0	0.0
				2. PHASE:	2.80E+02	0.0	100	0.0	0.0
				3. PHASE:	3.20E+02	0.0	100	0.0	0.0
KA	4.00E-05	5	0	1. PHASE:	1.00E+02	9.95E+05	100	0.0	0.0
				2. PHASE:	1.02E+02	9.95E+05	100	0.0	0.0
				3. PHASE:	1.30E+02	0.0	100	0.0	0.0
				4. PHASE:	1.31E+02	0.0	100	0.0	0.0
				5. PHASE:	1.30E+03	0.0	100	0.0	0.0
KB	1.00E-03	5	0	1. PHASE:	1.40E+02	0.0	100	0.0	0.0
				2. PHASE:	1.41E+02	0.0	100	0.0	0.0
				3. PHASE:	1.42E+02	0.0	100	0.0	0.0
				4. PHASE:	2.00E+02	0.0	100	0.0	0.0
				5. PHASE:	2.01E+02	0.0	100	0.0	0.0

Tab. 3a: Freisetzungsdaten

UNFALLKATEG.	PHASE	FREIGESETZTER ANTEIL DES				INVENTARS		LA **
		XE-KR	J -BR	CS-RB	TE-SB	BA-SR	RU *	
K1	1	1.00E+00	1.50E-01	1.50E-01	1.50E-01	5.00E-02	5.00E-02	5.00E-02
K2	1	5.00E-03	2.40E-05	5.20E-05	7.60E-05	5.40E-07	2.00E-07	2.00E-07
	2	2.50E-01	4.80E-04	1.40E-03	5.30E-03	3.00E-05	7.40E-07	7.40E-07
	3	5.70E-01	2.20E-02	1.10E-03	1.40E-02	4.20E-04	4.00E-04	4.00E-04
	4	9.00E-02	7.75E-03	3.00E-05	2.05E-03	7.50E-05	7.50E-05	7.50E-05
	5	9.00E-02	7.75E-03	3.00E-05	2.05E-03	7.50E-05	7.50E-05	7.50E-05
K3	1	7.33E-02	5.73E-03	1.00E-02	5.67E-03	6.00E-05	5.00E-05	5.00E-05
	2	7.33E-02	5.73E-03	1.00E-02	5.67E-03	6.00E-05	5.00E-05	5.00E-05
	3	7.33E-02	5.73E-03	1.00E-02	5.67E-03	6.00E-05	5.00E-05	5.00E-05
	4	2.60E-01	8.70E-03	3.00E-04	5.90E-03	1.20E-04	1.20E-04	1.20E-04
	5	5.20E-01	1.19E-02	0.0	5.50E-03	1.40E-04	1.40E-04	1.40E-04
K4	1	7.40E-05	9.54E-06	1.60E-05	7.90E-06	9.30E-08	9.00E-08	9.00E-08
	2	8.00E-04	2.10E-05	2.60E-05	1.60E-05	1.60E-07	1.30E-07	1.30E-07
	3	5.50E-03	6.70E-05	3.40E-06	1.20E-05	2.50E-07	2.40E-07	2.40E-07
	4	3.80E-02	4.44E-04	0.0	5.20E-05	1.30E-06	1.30E-06	1.30E-06
	5	9.60E-01	1.04E-02	0.0	6.30E-04	1.60E-05	1.60E-05	1.60E-05
K5	1	6.20E-03	6.20E-07	8.30E-10	6.00E-10	5.60E-12	4.40E-12	4.40E-12
	2	6.20E-03	6.20E-07	8.30E-10	6.00E-10	5.60E-12	4.40E-12	4.40E-12
	3	6.20E-03	6.20E-07	8.30E-10	6.00E-10	5.60E-12	4.40E-12	4.40E-12
KA	1	0.0	7.30E-03	0.0	4.40E-04	0.0	0.0	0.0
	2	0.0	3.50E-02	2.20E-02	4.10E-03	1.10E-09	1.10E-10	1.10E-10
	3	0.0	9.50E-03	4.50E-03	6.00E-03	2.85E-06	2.85E-07	2.85E-07
	4	0.0	9.50E-03	4.50E-03	6.00E-03	2.85E-06	2.85E-07	2.85E-07
	5	1.00E+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
KB	1	1.67E-01	1.83E-05	1.67E-06	1.67E-07	1.67E-10	0.0	0.0
	2	1.67E-01	1.83E-05	1.67E-06	1.67E-07	1.67E-10	0.0	0.0
	3	1.67E-01	1.83E-05	1.67E-06	1.67E-07	1.67E-10	0.0	0.0
	4	2.50E-01	2.75E-05	2.50E-06	2.50E-07	2.50E-10	0.0	0.0
	5	2.50E-01	2.75E-05	2.50E-06	2.50E-07	2.50E-10	0.0	0.0

\* EINSCHLIESSLICH RH, CO, MO, TC

\*\* EINSCHLIESSLICH Y, ZR, NB, CE, PR, ND, NP, PU, AM, CM

Tab. 3b: Freigesetzter Anteil des Inventars

STANDORT NR. 101 KALKAR  
 DER STANDORT LIEGT IN DER MET. ZONE NR. 1 JUELICH  
 WAHRSCHEINLICHKEIT DES STANDORTS INNERHALB DER ZONE : 1.0000

ANZAHL DER KREISRINGE 18  
 ANZAHL DER SEKTOREN 36  
 ANZAHL DER KREISRINGSEKTOREN 648

KREISRING NR.		1	2	3	4	5	6	7	8	9
INNERER RADIUS (M)		0.0	800.0	1200.0	1600.0	2400.0	3600.0	5400.0	8000.0	12000.0
RADIUS FUER DOSISBERECHNUNG (M)		700.0	1000.0	1400.0	2000.0	3000.0	4500.0	6700.0	10000.0	14000.0
AEUSSERER RADIUS (M)		800.0	1200.0	1600.0	2400.0	3600.0	5400.0	8000.0	12000.0	16000.0
FLAECHE DES KREISRINGSEKTORS (M2)		5.59E+04	6.98E+04	9.77E+04	2.79E+05	6.28E+05	1.41E+06	3.04E+06	6.98E+06	9.77E+06

SEKTOR NR.	WINDRICHTUNGS- WAHRSCHEINL.	WOHNBEVOELKERUNG								
1	0.0310	0	0	0	0	1	0	809	883	3639
2	0.0310	0	0	0	0	0	0	874	589	2930
3	0.0423	0	0	0	0	0	0	16	524	3083
4	0.0536	0	0	0	0	0	0	0	935	1548
5	0.0536	0	0	0	0	0	0	962	1837	932
6	0.0536	0	0	0	0	67	0	1130	595	2226
7	0.0536	0	0	0	0	424	0	587	897	1479
8	0.0368	0	0	0	0	424	0	41	685	816
9	0.0368	0	0	0	0	401	963	1111	3647	959
10	0.0368	0	0	0	0	111	2180	876	534	0
11	0.0368	0	0	0	0	0	1306	57	639	1131
12	0.0280	0	0	0	0	0	0	0	2780	862
13	0.0193	0	0	0	0	79	534	200	1444	275
14	0.0193	0	0	0	34	284	153	53	46	1427
15	0.0193	0	0	45	171	113	11	60	2147	5093
16	0.0193	0	23	45	80	14	106	166	602	4041
17	0.0208	0	23	68	11	12	632	941	887	2
18	0.0208	0	23	34	11	15	127	135	150	522
19	0.0208	0	0	23	0	18	39	112	465	525
20	0.0208	0	0	0	0	16	40	111	1185	1639
21	0.0195	0	0	0	0	38	41	90	2597	1015
22	0.0182	0	0	0	0	155	887	88	680	29
23	0.0182	0	0	0	0	170	1016	228	904	1010
24	0.0182	0	0	0	0	72	191	266	731	10034
25	0.0182	0	0	0	0	0	44	284	631	4922
26	0.0264	0	0	0	0	0	26	276	506	2271
27	0.0264	0	0	0	2	9	239	804	1197	616
28	0.0264	0	0	1	4	91	454	221	3931	6746
29	0.0264	0	0	1	44	359	57	309	1807	14098
30	0.0213	0	0	4	76	597	77	326	1377	7479
31	0.0161	0	1	3	8	88	52	343	499	2172
32	0.0161	0	0	2	6	17	38	191	73	0
33	0.0161	0	1	4	10	21	46	66	7442	2034
34	0.0161	0	0	2	9	19	45	38	11134	396
35	0.0310	0	0	1	119	514	43	78	1646	1462
36	0.0310	0	0	0	5	183	20	890	113	1539
0	1.0000	0	71	233	590	4312	9367	12739	56739	88951

Tab. 4a: Bevölkerungsdaten

STANDORT NR. 101 KALKAR  
 DER STANDORT LIEGT IN DER MET. ZONE NR. 1 JUELICH

KREISRING NR.		10	11	12	13	14	15	16	17	18
INNERER RADIUS	(M)	16000.0	24000.0	36000.0	54000.0	80000.0	120000.0	160000.0	240000.0	360000.0
RADIUS FUER DOSISBERECHNUNG	(M)	20000.0	30000.0	45000.0	67000.0	100000.0	140000.0	200000.0	300000.0	450000.0
AEUSSERER RADIUS	(M)	24000.0	36000.0	54000.0	80000.0	120000.0	160000.0	240000.0	360000.0	540000.0
FLAECHE DES KREISRINGSEKTORS	(M2)	2.79E+07	6.28E+07	1.41E+08	3.04E+08	6.98E+08	9.77E+08	2.79E+09	6.28E+09	1.41E+10
SEKTOR NR.	WINDRICHTUNGS- WAHRSCHEINL.	WOHNBEVOELKERUNG								
1	0.0310	12049	10652	108	8797	174527	244338	0	0	0
2	0.0310	9836	5644	17338	23080	174527	244338	0	0	0
3	0.0423	4996	3743	17687	105283	174527	244338	698110	0	3534185
4	0.0536	4850	9458	43739	129658	174527	244338	698110	0	3534185
5	0.0536	3496	19809	10654	163306	174527	244338	698110	1570747	0
6	0.0536	1974	14392	24481	60123	174527	244338	698110	1570747	0
7	0.0536	7962	7921	20824	25602	174527	244338	698110	1570747	3534185
8	0.0368	48962	12601	29355	48516	174527	244338	698110	1570747	3534185
9	0.0368	3754	8572	20716	50210	174527	244338	698110	1570747	3534185
10	0.0368	4421	4754	15403	46435	174527	244338	698110	1570747	3534185
11	0.0368	3296	2416	60089	216731	174527	244338	698110	1570747	3534185
12	0.0280	10144	5424	114523	699946	174527	244338	698110	1570747	3534185
13	0.0193	26728	24551	192363	970624	174527	244338	698110	1570747	3534185
14	0.0193	4875	40918	518717	595579	174527	244338	698110	1570747	3534185
15	0.0193	4944	17081	432135	309466	174527	244338	698110	1570747	3534185
16	0.0193	4188	41458	245366	750402	174527	244338	698110	1570747	3534185
17	0.0208	2447	23496	211923	269397	174527	244338	698110	1570747	3534185
18	0.0208	7509	10405	63506	310095	174527	244338	698110	1570747	3534185
19	0.0208	1985	16685	46822	184694	174527	244338	698110	1570747	3534185
20	0.0208	7116	10588	66966	90897	174527	244338	698110	1570747	3534185
21	0.0195	6517	11340	62125	114309	174527	244338	698110	1570747	3534185
22	0.0182	9155	10582	29512	129025	174527	244338	698110	1570747	3534185
23	0.0182	502	17621	35408	128116	174527	244338	698110	1570747	3534185
24	0.0182	2762	8112	29721	120748	174527	244338	698110	1570747	3534185
25	0.0182	5685	11457	3734	103559	174527	244338	698110	1570747	0
26	0.0264	5811	14693	18488	16672	174527	244338	698110	0	0
27	0.0264	5365	20251	44831	112286	174527	244338	0	0	0
28	0.0264	5202	17767	51783	120958	174527	0	0	0	0
29	0.0264	7708	91773	69272	123376	174527	244338	0	0	0
30	0.0213	2787	66778	47338	90313	174527	0	0	0	0
31	0.0161	9508	28713	34046	45432	174527	0	0	0	0
32	0.0161	5717	25041	98710	106967	174527	0	0	0	0
33	0.0161	8836	61357	36163	125161	0	244338	0	0	0
34	0.0161	5721	13950	42541	121962	0	0	0	0	0
35	0.0310	5564	18543	52139	120762	0	244338	0	0	0
36	0.0310	14451	3862	47186	121562	174527	244338	0	0	0
0	1.0000	276823	712408	2855712	6760049	5759391	7574478	16754640	32985687	70683700

Tab. 4b: Bevölkerungsdaten (Fortsetzung)

Nuklid	Normierte integrale Konzentrationsfaktoren $[Ci/(Ci/m^2)]$				Summe
	Milch 1. Jahr (Kleinkinder)	andere landwirtsch. Produkte 1. Jahr (Erwachsene)	Milch Folgejahre (Kleinkinder)	andere landwirtsch. Produkte Folgejahre (Erwachsene)	
Np 239	$0.228 \cdot 10^{-3}$	$0.666 \cdot 10^{+0}$	0.0	0.0	$0.666 \cdot 10^{+0}$
Pu 238	$0.431 \cdot 10^{-3}$	$0.123 \cdot 10^{+2}$	$0.247 \cdot 10^{-4}$	$0.533 \cdot 10^{+1}$	$0.176 \cdot 10^{+2}$
Pu 239	$0.432 \cdot 10^{-3}$	$0.123 \cdot 10^{+2}$	$0.545 \cdot 10^{-4}$	$0.120 \cdot 10^{+2}$	$0.243 \cdot 10^{+2}$
Pu 240	$0.433 \cdot 10^{-3}$	$0.123 \cdot 10^{+2}$	$0.540 \cdot 10^{-4}$	$0.119 \cdot 10^{+2}$	$0.242 \cdot 10^{+2}$
Pu 241	$0.424 \cdot 10^{-3}$	$0.122 \cdot 10^{+2}$	$0.499 \cdot 10^{-5}$	$0.105 \cdot 10^{+1}$	$0.133 \cdot 10^{+2}$
Am 241	$0.864 \cdot 10^{-1}$	$0.123 \cdot 10^{+2}$	$0.107 \cdot 10^{-1}$	$0.119 \cdot 10^{+2}$	$0.243 \cdot 10^{+2}$
Cm 242	$0.472 \cdot 10^{-1}$	$0.104 \cdot 10^{+2}$	$0.114 \cdot 10^{-4}$	$0.140 \cdot 10^{-1}$	$0.105 \cdot 10^{+2}$
Cm 244	$0.851 \cdot 10^{-1}$	$0.123 \cdot 10^{+2}$	$0.237 \cdot 10^{-2}$	$0.253 \cdot 10^{+1}$	$0.149 \cdot 10^{+2}$

Tab. 5: Normierte integrale Konzentrationsfaktoren für den Expositionspfad "Ingestion" nach [27]

Gebiet	Gebietsdefinition		Präventive Maßnahmen (unabhängig von Unfallart und Wetterlage außer Windrichtung)	Dosisabhängige Maßnahmen
	Begrenzung durch Winkel und Entfernungen	Begrenzung durch Linien gleicher potentieller Dosis		
A	$r \leq 2,4 \text{ km}$ $\pm 360^\circ$ sowie $2,4 < r < 8 \text{ km}$ $\pm \leq \pm 15^\circ$	—	Aufsuchen von Häusern nach $2 h_{\text{abs}}$ . Verbleiben in Häusern bis zur Evakuierung. Vorbereitungs- plus Fahrzeit $1,5 \text{ h}$	—
B <sub>1</sub>	$r \leq 24 \text{ km}$	$D_{\text{EB}}^{\text{KM}}(7d_{\text{rel}}) \geq 100 \text{ rad}$  (soweit nicht zu A gehörig)	Aufsuchen von Häusern nach $2 h_{\text{abs}}$ . Verbleiben in Häusern mindestens bis $14 h_{\text{abs}}$ .	Verbleiben in Häusern bis min. [schnelle Umsiedlung $26 h_{\text{abs}}$ ]. Schnelle Umsiedlung nach max. [ $2 h_{\text{rel}}$ , $14 h_{\text{abs}}$ ]
B <sub>2</sub>	$r > 24 \text{ km}$	—	—	Normale Tätigkeit. Dann schnelle Umsiedlung nach max. [ $2 h_{\text{rel}}$ , $14 h_{\text{abs}}$ ]
C	—	$D_{\text{EB}}^{\text{GK}}(30a) > 250 \text{ rad}$	—	Normale Tätigkeit. Danach Umsiedlung, beginnend nach $30 \text{ d}$ , durchschnittlich ca. $5 \text{ km}^2$ pro Tag
D <sub>1</sub>	—	$250 \text{ rad} \geq D_{\text{EB}}^{\text{GK}}(30a) > 25 \text{ rad}$	—	Normale Tätigkeit zu jeder Zeit. Dekontamination derart, daß $D_{\text{EB}}^{\text{GK}}(30a) = 25 \text{ rad}$ im ganzen Gebiet
D <sub>2</sub>	—	$25 \text{ rad} \geq D_{\text{EB}}^{\text{GK}}(30a)$	—	Normale Tätigkeit zu jeder Zeit, Dosis bis Lebensende

Tab. 6: Modell der Schutz- und Gegenmaßnahmen [87]

Freisetzungskategorie	KS <sub>min</sub>	$\overline{KS}$ (b/c) <sup>+</sup>	KS <sub>50%</sub>	KS <sub>95%</sub>	KS <sub>99%</sub>	KS <sub>max</sub>
K1	728	3075 (55 /45 )	2880	5340	7300	13784
K2	49	283 (49,1/50,9)	290	495	603	869
K3	76	535 (54,5/45,5)	511	1010	1290	1503
K4	9	68 (52,3/47,7)	65	142	168	217
K5	<< 1	<< 1	<< 1	<< 1	<< 1	<< 1
KA	57	284 (63,7/36,3)	235	638	890	1297
KB	<< 1	0,05 (63,4/36,6)	<< 1	0,1	0,2	0,6

+ ) Bei b% der Fälle ist der Kollektivschaden kleiner, bei c% größer als  $\overline{KS}$

Tab. 7a: Charakteristische Größen der Kollektivschäden (Spätschäden) nach erfolgter Freisetzung (Magnox-Pu)

Freisetzungskategorie	KS <sub>min</sub>	$\overline{KS}$ (b/c) <sup>+</sup>	KS <sub>50%</sub>	KS <sub>95%</sub>	KS <sub>99%</sub>	KS <sub>max</sub>
K1	1546	7206 (54,9/45,1)	6710	13 300	18 800	37 700
K2	80	382 (50,7/49,3)	381	678	845	1 040
K3	89	590 (53,1/46,9)	571	1 040	1 320	1 583
K4	13	75 (52,1/47,9)	71	156	183	241
K5	<<1	<<1	<<1	<<1	<<1	<<1
KA	48	235 (63,2/36,8)	197	518	749	1 070
KB	<<1	0,04 (63,4/36,6)	0,03	0,08	0,17	0,45

<sup>+</sup>) Bei b% der Fälle ist der Kollektivschaden kleiner, bei c% größer als  $\overline{KS}$

Tab. 7b : Charakteristische Größen der Kollektivschäden (Spätschäden) nach erfolgter Freisetzung (LWR-Pu)

Magnox-Pu:

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.02	0.0	0.01	0.0	0.02	0.03	0.09
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.28	0.07	0.23	0.05	0.31	0.61	1.55
BODENSTRAHLUNG (>7D)	2.23	0.61	2.12	0.44	2.86	5.71	13.98
INHALATION AUS DER WOLKE	3.16	8.14	21.74	1.10	1.76	3.51	39.42
INHALATION NACH RESUSPENSION	1.20	3.16	7.60	0.12	0.64	1.27	13.99
INGESTION	7.47	6.05	1.30	9.97	2.06	4.13	30.98
TEILSUMME	14.36	18.03	33.01	11.68	7.64	15.27	100.00

LWR-Pu:

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.01	0.0	0.01	0.0	0.01	0.01	0.04
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.11	0.03	0.09	0.02	0.13	0.25	0.64
BODENSTRAHLUNG (>7D)	0.93	0.26	0.85	0.18	1.17	2.33	5.71
INHALATION AUS DER WOLKE	5.40	14.47	24.80	0.52	2.55	5.09	52.82
INHALATION NACH RESUSPENSION	2.07	5.62	9.08	0.05	0.96	1.92	19.70
INGESTION	3.95	8.71	0.43	4.37	1.21	2.42	21.09
TEILSUMME	12.46	29.08	35.26	5.15	6.01	12.03	100.00

Tab. 8a Relative Aufteilung der Spätschäden nach Expositionspfaden und Krebsarten (Freisetzungskategorie K1)

Magnox-Pu:

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR. KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.05	0.14
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.25	0.07	0.20	0.05	0.27	0.53	1.36
BODENSTRAHLUNG (>7D)	0.58	0.16	0.53	0.11	0.72	1.43	3.54
INHALATION AUS DER WOLKE	0.65	1.60	4.45	3.31	0.38	0.75	11.14
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.18	0.47	1.15	0.34	0.10	0.19	2.44
INGESTION	2.71	1.66	0.59	73.34	1.03	2.07	81.39
TEILSUMME	4.39	3.97	6.94	77.15	2.52	5.03	100.00

LWR-Pu:

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR. KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.03	0.01	0.01	0.0	0.02	0.04	0.11
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.22	0.06	0.18	0.04	0.24	0.47	1.20
BODENSTRAHLUNG (>7D)	0.45	0.12	0.41	0.09	0.55	1.11	2.73
INHALATION AUS DER WOLKE	1.92	5.13	8.91	2.79	0.93	1.86	21.54
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.55	1.50	2.44	0.28	0.26	0.51	5.54
INGESTION	2.42	4.84	0.40	58.16	1.01	2.03	68.87
TEILSUMME	5.60	11.66	12.35	61.36	3.01	6.02	100.00

Tab. 8b Relative Aufteilung der Spätschäden nach Expositionspfaden und Krebsarten (Freisetzungskategorie K2)

Magnox-Pu:

EXPOSITIONSPFAD	K R E B S A R T						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.04	0.01	0.02	0.01	0.03	0.06	0.17
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.20	0.05	0.16	0.04	0.22	0.44	1.12
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.76	0.48	1.86	0.36	2.51	5.02	11.99
INHALATION AUS DER WOLKE	0.39	0.90	2.60	2.41	0.25	0.50	7.06
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.09	0.23	0.55	0.21	0.05	0.11	1.24
INGESTION	12.99	2.25	3.41	47.03	4.25	8.50	78.44
<b>TEILSUMME</b>	<b>15.47</b>	<b>3.92</b>	<b>8.61</b>	<b>50.06</b>	<b>7.31</b>	<b>14.63</b>	<b>100.00</b>

LWR-Pu:

EXPOSITIONSPFAD	K R E B S A R T						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.06	0.16
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.21	0.06	0.17	0.04	0.23	0.47	1.19
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.54	0.42	1.62	0.31	2.19	4.38	10.46
INHALATION AUS DER WOLKE	1.32	3.44	6.07	2.47	0.66	1.32	15.28
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.32	0.85	1.39	0.21	0.15	0.30	3.23
INGESTION	6.58	4.00	2.81	45.26	3.68	7.35	69.68
<b>TEILSUMME</b>	<b>10.00</b>	<b>8.77</b>	<b>12.09</b>	<b>48.31</b>	<b>6.94</b>	<b>13.88</b>	<b>100.00</b>

Tab. 8c Relative Aufteilung der Spätschäden nach Expositionspfaden und Krebsarten (Freisetzungskategorie K3)

Magnox-Pu:

EXPOSITIONSPFAD	K R E B S A R T						TEIL- SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN- KREBS	LUNGEN- KREBS	SCHILDDR. KREBS	BRUST- KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.07	0.02	0.03	0.01	0.05	0.11	0.30
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.12	0.03	0.09	0.02	0.12	0.24	0.62
BODENSTRAHLUNG (>7D)	0.19	0.05	0.16	0.04	0.21	0.43	1.08
INHALATION AUS DER WOLKE	0.14	0.34	0.94	3.36	0.09	0.18	5.05
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.03	0.08	0.19	0.35	0.02	0.03	0.70
INGESTION	0.39	0.28	0.13	90.16	0.43	0.86	92.25
TEILSUMME	0.94	0.80	1.55	93.94	0.92	1.85	100.00

LWR-Pu:

EXPOSITIONSPFAD	K R E B S A R T						TEIL- SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN- KREBS	LUNGEN- KREBS	SCHILDDR. KREBS	BRUST- KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.07	0.02	0.03	0.01	0.05	0.11	0.30
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.11	0.03	0.09	0.02	0.12	0.24	0.61
BODENSTRAHLUNG (>7D)	0.18	0.05	0.15	0.03	0.20	0.41	1.02
INHALATION AUS DER WOLKE	0.48	1.27	2.23	3.28	0.24	0.48	7.98
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.11	0.30	0.48	0.34	0.05	0.11	1.39
INGESTION	0.50	1.02	0.12	85.69	0.46	0.91	88.70
TEILSUMME	1.47	2.68	3.10	89.38	1.12	2.25	100.00

Tab. 8d Relative Aufteilung der Spätschäden nach Expositionspfaden und Krebsarten (Freisetzungskategorie K4)

Magnox-Pu:

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.02	0.0	0.01	0.0	0.02	0.04	0.10
BODENSTRAHLUNG (>7D)	3.04	0.82	3.32	0.62	4.46	8.93	21.18
INHALATION AUS DER WOLKE	0.04	0.02	0.11	0.24	0.04	0.09	0.53
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.01	0.0	0.02	0.03	0.01	0.02	0.10
INGESTION	27.53	3.47	6.96	15.28	8.28	16.56	78.08
TEILSUMME	30.64	4.31	10.42	16.17	12.82	25.63	100.00

LWR-Pu:

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.02	0.01	0.02	0.0	0.03	0.05	0.13
BODENSTRAHLUNG (>7D)	3.38	0.91	3.69	0.69	4.97	9.94	23.59
INHALATION AUS DER WOLKE	0.05	0.03	0.13	0.36	0.05	0.09	0.70
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.01	0.01	0.03	0.05	0.01	0.03	0.13
INGESTION	15.66	3.80	7.48	21.81	8.89	17.79	75.44
TEILSUMME	19.13	4.76	11.35	22.92	13.95	27.90	100.00

Tab. 8e Relative Aufteilung der Spätschäden nach Expositionspfaden und Krebsarten (Freisetzungskategorie KA)

Freisetzungskategorie	Anteil der Spätschäden jenseits von 540 km (%)	
	Magnox-Pu	LWR-Pu
K1	34,1	27,1
K2	16,4	15,2
K3	17,5	15,0
K4	8,3	8,4
K5	3,5	3,5
KA	24,1	23,0
KB	18,8	18,9

Tab. 9 : Anteil der mittleren Kollektivschäden bzw. des Kollektivrisikos jenseits von 540 km nach erfolgter Freisetzung

Organ		$D_{GR}$ / rem /
Ganzkörper	GK	5
Knochenmark	KM	5
Lunge	LG	15
Knochenoberfläche	KN	30
Schilddrüse	SD	15

Freisetzungskategorie	Anteil der Spätschäden unterhalb $D_{GR}$	
	Magnox-Pu	LWR-Pu
K1	84,6%	58,7%
K2	99,4%	98,7%
K3	98,8%	97,7%
K4	98,5%	97,8%
K5	-	-
KA	99,6%	99,6%
KB	100,0%	100,0%

Tab. 10 : Anteil der Spätschäden unterhalb der Grenzdosen  $D_{GR}$  der StrlschV (§ 28) nach erfolgter Freisetzung

Freisetzungskategorie	$KD_{\min}$ [man·rem]	$\overline{KD}$ (b/c) <sup>+</sup> [man·rem]	$KD_{50\%}$ [man·rem]	$KD_{95\%}$ [man·rem]	$KD_{99\%}$ [man·rem]	$KD_{\max}$ [man·rem]
K1	$1,92 \cdot 10^6$	$7,73 \cdot 10^6$ (60,5/39,5)	$7,00 \cdot 10^6$	$1,32 \cdot 10^7$	$1,71 \cdot 10^7$	$3,71 \cdot 10^7$
K2	$7,44 \cdot 10^4$	$2,89 \cdot 10^5$ (67,6/32,4)	$2,19 \cdot 10^5$	$6,68 \cdot 10^5$	$1,17 \cdot 10^6$	$2,99 \cdot 10^6$
K3	$2,34 \cdot 10^5$	$2,17 \cdot 10^6$ (67,6/32,4)	$1,67 \cdot 10^6$	$5,55 \cdot 10^6$	$7,22 \cdot 10^6$	$9,28 \cdot 10^6$
K4	$3,82 \cdot 10^3$	$1,53 \cdot 10^4$ (55,0/45,0)	$1,43 \cdot 10^4$	$2,77 \cdot 10^4$	$3,77 \cdot 10^4$	$8,64 \cdot 10^4$
K5	$1,42 \cdot 10^0$	$8,75 \cdot 10^0$ (58,4/41,6)	$7,80 \cdot 10^0$	$1,74 \cdot 10^1$	$2,81 \cdot 10^1$	$5,11 \cdot 10^1$
KA	$4,14 \cdot 10^5$	$2,09 \cdot 10^6$ (65,9/34,1)	$1,66 \cdot 10^6$	$4,95 \cdot 10^6$	$6,95 \cdot 10^6$	$1,01 \cdot 10^7$
KB	$7,31 \cdot 10^1$	$4,48 \cdot 10^2$ (63,4/36,6)	$3,55 \cdot 10^2$	$9,76 \cdot 10^2$	$2,00 \cdot 10^3$	$5,22 \cdot 10^3$

<sup>+</sup>) Bei b% der Fälle ist die Kollektivdosis kleiner, bei c% größer als  $\overline{KD}$

Tab. 11a: Charakteristische Größen der genetisch signifikanten Kollektivdosen nach erfolgter Freisetzung (Magnox-Pu)

Freisetzungskategorie	$KD_{\min}$ /man·rem/	$\overline{KD}$ (b/c) <sup>+</sup> /man·rem/	$KD_{50\%}$ /man·rem/	$KD_{95\%}$ /man·rem/	$KD_{99\%}$ /man·rem/	$KD_{\max}$ /man·rem/
K1	$2,5 \cdot 10^6$	$9,5 \cdot 10^6$ (55,3/44,7)	$9,0 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^7$	$4,4 \cdot 10^7$
K2	$8,9 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^5$ (65,4/34,6)	$2,7 \cdot 10^5$	$7,3 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^6$	$2,7 \cdot 10^6$
K3	$2,3 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^6$ (67,5/32,5)	$1,6 \cdot 10^6$	$5,2 \cdot 10^6$	$6,7 \cdot 10^6$	$9,3 \cdot 10^6$
K4	$4,4 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^4$ (54,8/45,2)	$1,7 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$
K5	$1,6 \cdot 10^0$	$9,6 \cdot 10^0$ (58,4/41,6)	$8,6 \cdot 10^0$	$1,9 \cdot 10^1$	$3,1 \cdot 10^1$	$5,6 \cdot 10^1$
KA	$3,8 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^6$ (65,9/34,1)	$1,5 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^6$	$9,3 \cdot 10^6$
KB	$6,8 \cdot 10^1$	$4,1 \cdot 10^2$ (63,4/36,6)	$3,3 \cdot 10^2$	$9,0 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10^3$

<sup>+</sup>) Bei b% der Fälle ist die Kollektivdosis kleiner, bei c% größer als  $\overline{KD}$

Tab. 11b : Charakteristische Größe der genetisch signifikanten Kollektivdosen nach erfolgter Freisetzung (LWR-Pu)

Freisetzungskategorie	$F_{\min}$ [km <sup>2</sup> ]	$\bar{F}$ (b/c <sup>+</sup> ) [km <sup>2</sup> ]	$F_{50\%}$ [km <sup>2</sup> ]	$F_{95\%}$ [km <sup>2</sup> ]	$F_{99\%}$ [km <sup>2</sup> ]	$F_{\max}$ [km <sup>2</sup> ]
K1	0,0	2.59 (91,3/8,7)	0,0	17,1	68,6	73,4
K2	0,0	$2.91 \cdot 10^{-4}$ (99,1/0,9)	0,0	0,0	0,0	0,033
K3	0,0	$2.62 \cdot 10^{-2}$ (95,7/4,3)	0,0	$8,68 \cdot 10^{-3}$	0,67	1,24
K4	-	-	-	-	-	-
K5	-	-	-	-	-	-
KA	0,0	$2.28 \cdot 10^{-3}$ (97,4/2,6)	0,0	0,0	0,0	0,11
KB	-	-	-	-	-	-

+ ) Bei b% der Fälle ist die betroffene Fläche kleiner, bei c% größer als  $\bar{F}$

Tab. 12: Charakteristische Größen der von der Gegenmaßnahme "Umsiedlung" (Gebiet c) betroffenen Flächen F nach erfolgter Freisetzung

Freisetzungskategorie	$P_{\min}$	$\bar{P} (b/c)^+$	$P_{50\%}$	$P_{95\%}$	$P_{99\%}$	$P_{\max}$
K1	0,0	596 (92,5/7,5)	0,0	2500	14720	89167
K2	-	-	-	-	-	-
K3	0,0	1,3 (98,1/1,9)	0,0	0,0	25	343
K4	-	-	-	-	-	-
K5	-	-	-	-	-	-
KA	0,0	0,017 (99,8/0,2)	0,0	0,0	0,0	13
KB	-	-	-	-	-	-

+ ) Bei b% der Fälle ist die Personenzahl kleiner, bei c% größer als  $\bar{P}$

Tab. 13: Charakteristische Größen der von der Gegenmaßnahme "Umsiedlung" (Gebiet c) betroffenen Personenzahlen P nach erfolgter Freisetzung

Freisetzungskategorie	Gebiet D1 (Dekontamination) $\bar{F}$ [km <sup>2</sup> ]	Milch im 1. Jahr $\bar{F}$ [km <sup>2</sup> ]	Milch in den Folgejahren $\bar{F}$ [km <sup>2</sup> ]	andere landwirtsch. Produkte im 1. Jahr $\bar{F}$ [km <sup>2</sup> ]	andere landwirtsch. Produkte in den Folgejahren $\bar{F}$ [km <sup>2</sup> ]
K1	60,1	27450	41,3	3232	1807
K2	$9,1 \cdot 10^{-2}$	8434	$9,6 \cdot 10^{-3}$	8,6	1,7
K3	2,1	7849	$5,5 \cdot 10^{-2}$	263	3,0
K4	$7,4 \cdot 10^{-2}$	0,0	0,0	$5,9 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
K5	0,0	251	0,0	0,0	0,0
KA	$7,1 \cdot 10^{-1}$	0,0	$4,7 \cdot 10^{-3}$	180	$2,4 \cdot 10^{-1}$
KB	0,0		0,0	0,0	0,0

Tab. 14a: Mittlere Flächen der von den Schutz- und Gegenmaßnahmen "Dekontamination" sowie "Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte" betroffenen Gebiete (Dosiskriterien nach DRS, FB8) nach erfolgter Freisetzung (Magnox-Pu)

Freisetzungskategorie	Gebiet D1 (Dekontamination) $\bar{F} \text{ [km}^2 \text{]}$	Milch im 1. Jahr $\bar{F} \text{ [km}^2 \text{]}$	Milch in den Folgejahren $\bar{F} \text{ [km}^2 \text{]}$	andere landwirtschaftl. Produkte im 1. Jahr $\bar{F} \text{ [km}^2 \text{]}$	andere landwirtsch. Produkte in den Folgejahren $\bar{F} \text{ [km}^2 \text{]}$
K1	57,7	28'240	36,6	6 888	5005
K2	$9,8 \cdot 10^{-2}$	9 256	$5,9 \cdot 10^{-3}$	43,1	22,0
K3	2,0	8 513	$3,7 \cdot 10^{-2}$	268	12,3
K4	$8,2 \cdot 10^{-2}$	1 379	0,0	0,39	0,23
K5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
KA	0,48	352	$3,9 \cdot 10^{-3}$	155	0,23
KB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tab.14b: Mittlere Flächen der von den Schutz- und Gegenmaßnahmen "Dekontamination" sowie "Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte" betroffenen Gebiete (Dosiskriterien nach DRS, FB8) nach erfolgter Freisetzung (LWR-Pu)

Freisetzungskategorie	Milch im 1. Jahr $\bar{F}$ [km <sup>2</sup> ]	Milch in den Folgejahren $\bar{F}$ [km <sup>2</sup> ]	andere landw. Produkte im 1. Jahr $\bar{F}$ [km <sup>2</sup> ]	andere landw. Produkte in den Folgejahren $\bar{F}$ [km <sup>2</sup> ]
K1	21988	14	1405	490
K2	4844	$2,4 \cdot 10^{-3}$	1,3	$3,7 \cdot 10^{-1}$
K3	4860	$1,9 \cdot 10^{-2}$	56,5	$6,8 \cdot 10^{-1}$
K4	744	0,0	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
K5	0,0	0,0	0,0	0,0

Tab. 15: Mittlere Flächen der von der Schutz- und Gegenmaßnahme "Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte" betroffenen Gebiete nach erfolgter Freisetzung (Magneox-Pu); die Dosiskriterien basieren auf den Grenzwerten des §28(3) der StrlschV.

Freisetzungskategorie	Kollektivrisiko für Spätschäden [a <sup>-1</sup> ]		Erwartungswert der Kollektivdosis [man·rem a <sup>-1</sup> ]	
	Magnox-Pu	LWR-Pu	Magnox-Pu	LWR-Pu
K1	7,2·10 <sup>-5</sup>	3,1·10 <sup>-5</sup>	9,5·10 <sup>-2</sup>	7,7·10 <sup>-2</sup>
K2	7,6·10 <sup>-5</sup>	5,7·10 <sup>-5</sup>	6,7·10 <sup>-2</sup>	5,8·10 <sup>-2</sup>
K3	1,2·10 <sup>-5</sup>	1,1·10 <sup>-5</sup>	4,1·10 <sup>-2</sup>	4,3·10 <sup>-2</sup>
K4	1,5·10 <sup>-5</sup>	1,4·10 <sup>-5</sup>	3,6·10 <sup>-3</sup>	3,1·10 <sup>-3</sup>
K5	5,0·10 <sup>-9</sup>	4,6·10 <sup>-9</sup>	2,9·10 <sup>-6</sup>	2,6·10 <sup>-6</sup>
KA	9,4·10 <sup>-3</sup>	1,1·10 <sup>-2</sup>	7,7·10 <sup>1</sup>	8,4·10 <sup>+1</sup>
KB	3,9·10 <sup>-5</sup>	4,9·10 <sup>-5</sup>	4,1·10 <sup>-1</sup>	4,5·10 <sup>-1</sup>
Summe	9,6·10 <sup>-3</sup>	1,1·10 <sup>-2</sup>	7,8·10 <sup>1</sup>	8,5·10 <sup>1</sup>

Tab. 16 : Kollektivrisiken der gesundheitlichen Schäden (Mortalität) und Erwartungswerte der genetisch signifikanten Kollektivdosen

Freisetzungskategorie	Erwartungswert der Flächen <F> $\left[ \frac{1}{\text{km}^2 \text{ a}^{-1}} \right]$			Erwartungswert der Personen <P> $\left[ \text{a}^{-1} \right]$		
	Gebiet A	Gebiet B1+B2	Gebiet C	Gebiet A	Gebiet B1+B2	Gebiet C
K1	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$4,6 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$
K2	$6,7 \cdot 10^{-6}$	-	$5,8 \cdot 10^{-11}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$	-	-
K3	$6,7 \cdot 10^{-7}$	-	$5,0 \cdot 10^{-10}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	-	$2,5 \cdot 10^{-8}$
K4	$6,7 \cdot 10^{-6}$	-	-	$6,6 \cdot 10^{-4}$	-	-
K5	$1,0 \cdot 10^{-5}$	-	-	$9,9 \cdot 10^{-4}$	-	-
KA	$1,3 \cdot 10^{-3}$	-	$9,1 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	-	$6,7 \cdot 10^{-7}$
KB	$3,3 \cdot 10^{-2}$	-	-	$3,3 \cdot 10^0$	-	-
Summe	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$4,6 \cdot 10^{-10}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	3,4	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$5,6 \cdot 10^{-6}$

Tab. 17 : Erwartungswerte der von den Schutz- und Gegenmaßnahmen betroffenen Flächen und Personen (LWR-Pu)

Freisetzungskategorien	Anteil der Spätschäden bei den folgenden Generationen (FG)	
	Magnox-Pu	LWR-Pu
K1	14,7%	12,6%
K2	6,2%	7,9%
K3	18,4%	13,0%
K4	2,4%	3,0%
K5	-	-
KA	33,6%	24,1%
KB	-	-

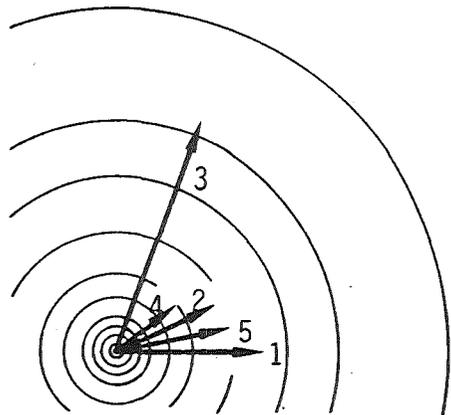
Tab. 18: Anteil der Spätschäden, die im Mittel in den folgenden Generationen (FG) auftreten

Freisetzungskategorie	Eintrittshäufigkeit (pro Jahr)		
	untere Schranke	Punktwert	obere Schranke
K 1	$2 \cdot 10^{-10}$	$6 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-7}$
K 2	$2 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-6}$
K 3	$2 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-6}$
K 4	0,0	$1 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$
K 5	$7 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-6}$

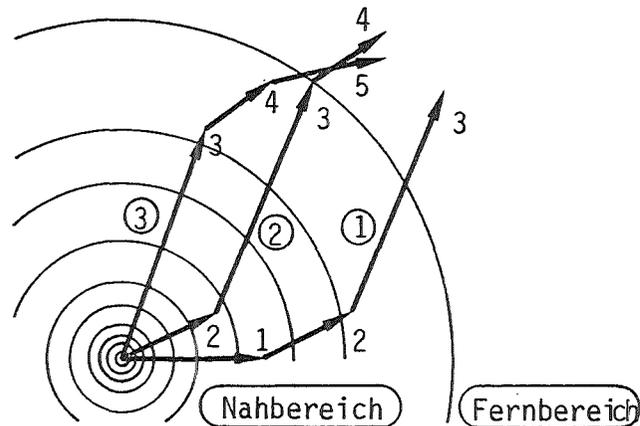
Tab. 19: Häufigkeiten und Bandbreiten der Freisetzungskategorien

Schadensart	Verhältnis des Schadensumfangs zum Schadensumfang für das Referenzaerosol			
	Partikelgröße		Chemische Form	
	0,1 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$	mehr löslich	weniger löslich
Frühschäden	1,6	1,1	1,1	0,9
Spätschäden	2,0	0,7	1,2	1,0

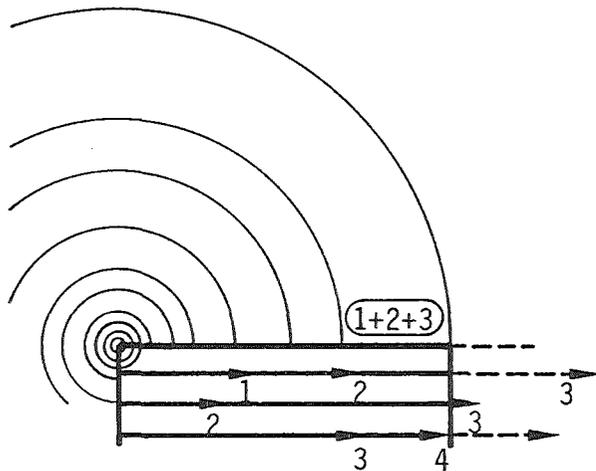
Tab. 20: Einfluß der physikalischen und chemischen Form des Aerosols auf den Schadensumfang nach [28]



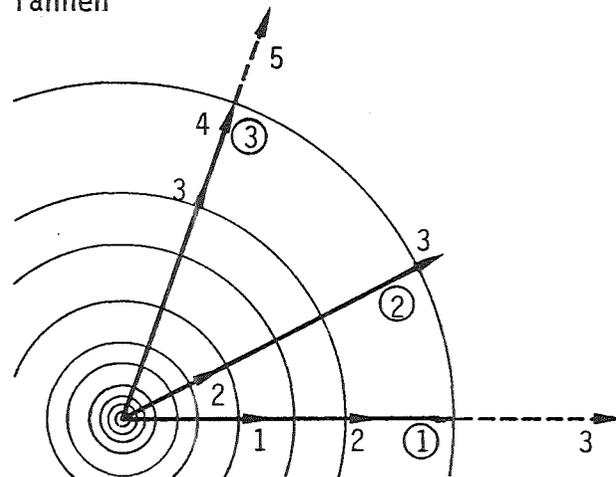
Windvektoren (stündliche Mittelwerte aus kontinuierlichen Messungen)



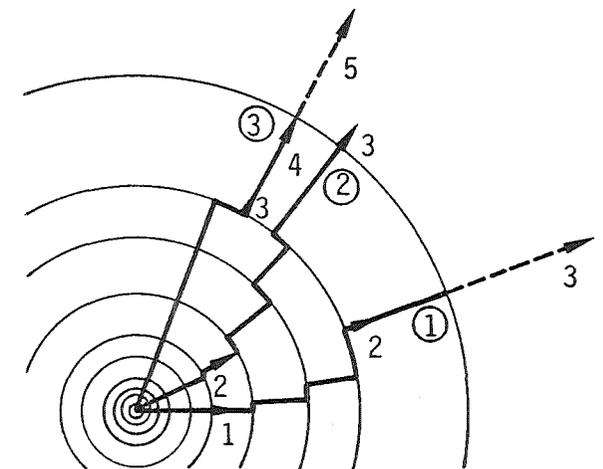
Trajektorien dreier stündlich aufeinanderfolgender Aktivitäten



Option 1:  
Radiale Ausbreitung der drei Aktivitäten in die gleiche Richtung

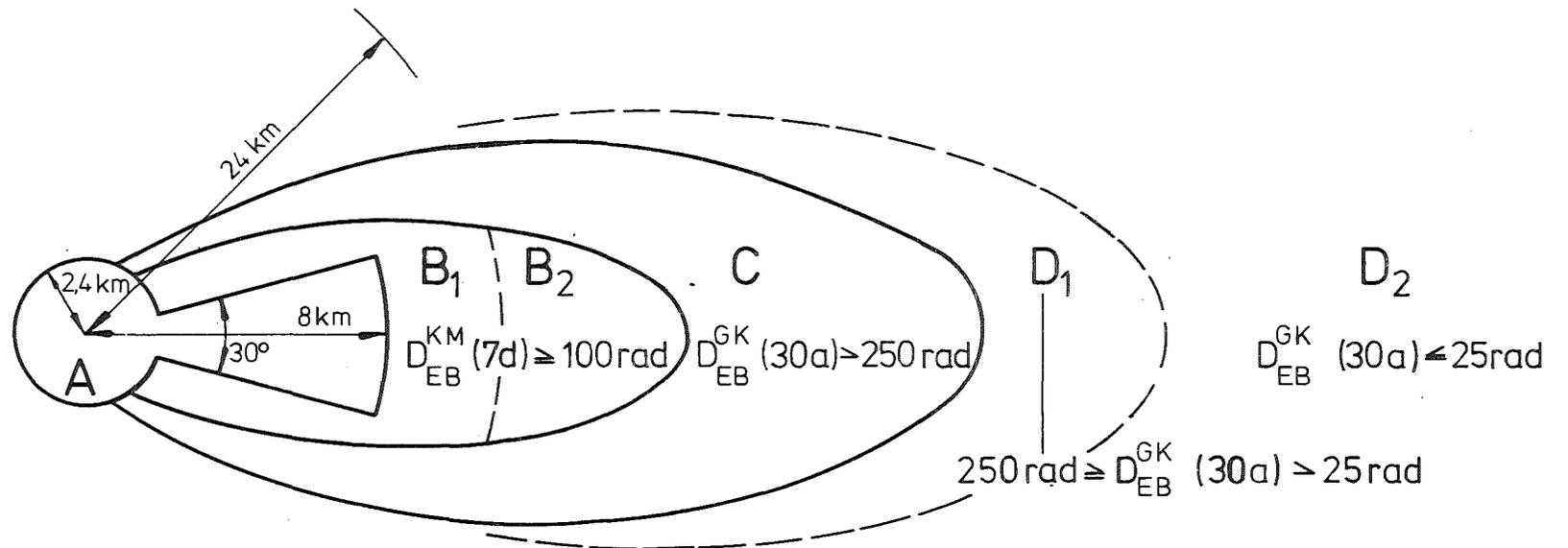


Option 2:  
Radiale Ausbreitung in die jeweilige Anfangsrichtung



Option 3:  
Radiale Ausbreitung in jeweils azimuthal versetzte Richtungen

Abb. 1 : Optionen zur Berücksichtigung der Windrichtungsänderungen bei einer Freisetzung in drei Phasen [11]



$D_{EB}^{KM} (7d)$  = potentielle Knochenmarkdosis (KM) durch externe Bestrahlung vom Boden (EB),  
akkumuliert in 7 Tagen

$D_{EB}^{GK} (30a)$  = potentielle Ganzkörperdosis (GK) durch externe Bestrahlung vom Boden (EB),  
akkumuliert in 30 Jahren

Abb. 2 Gebiete der Schutz- und Gegenmaßnahmen (schematisch) /8/

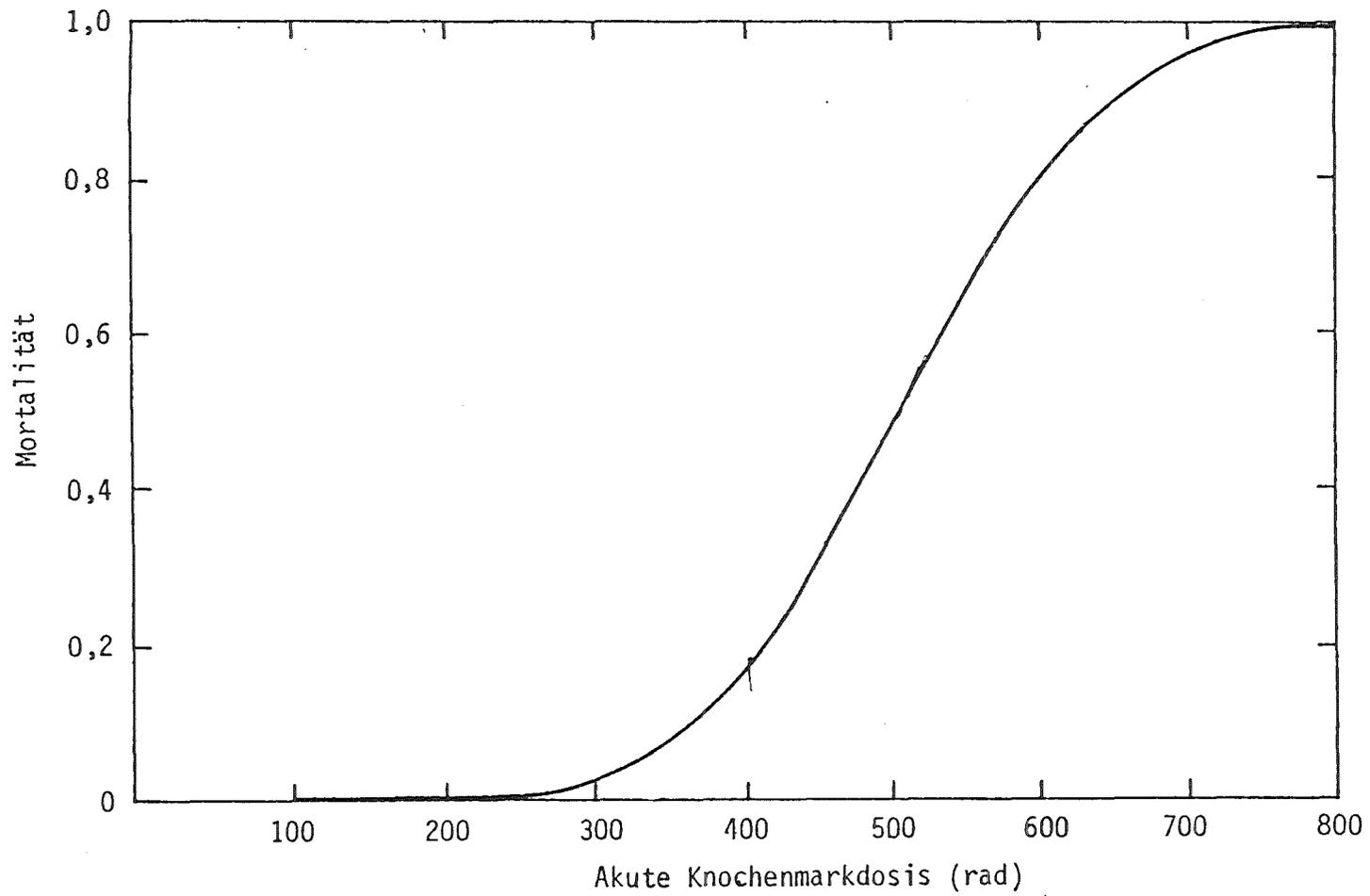


Abb. 3 Dosis-Wirkungs-Beziehung für akuten Tod (Exposition des Knochenmarks) /8/

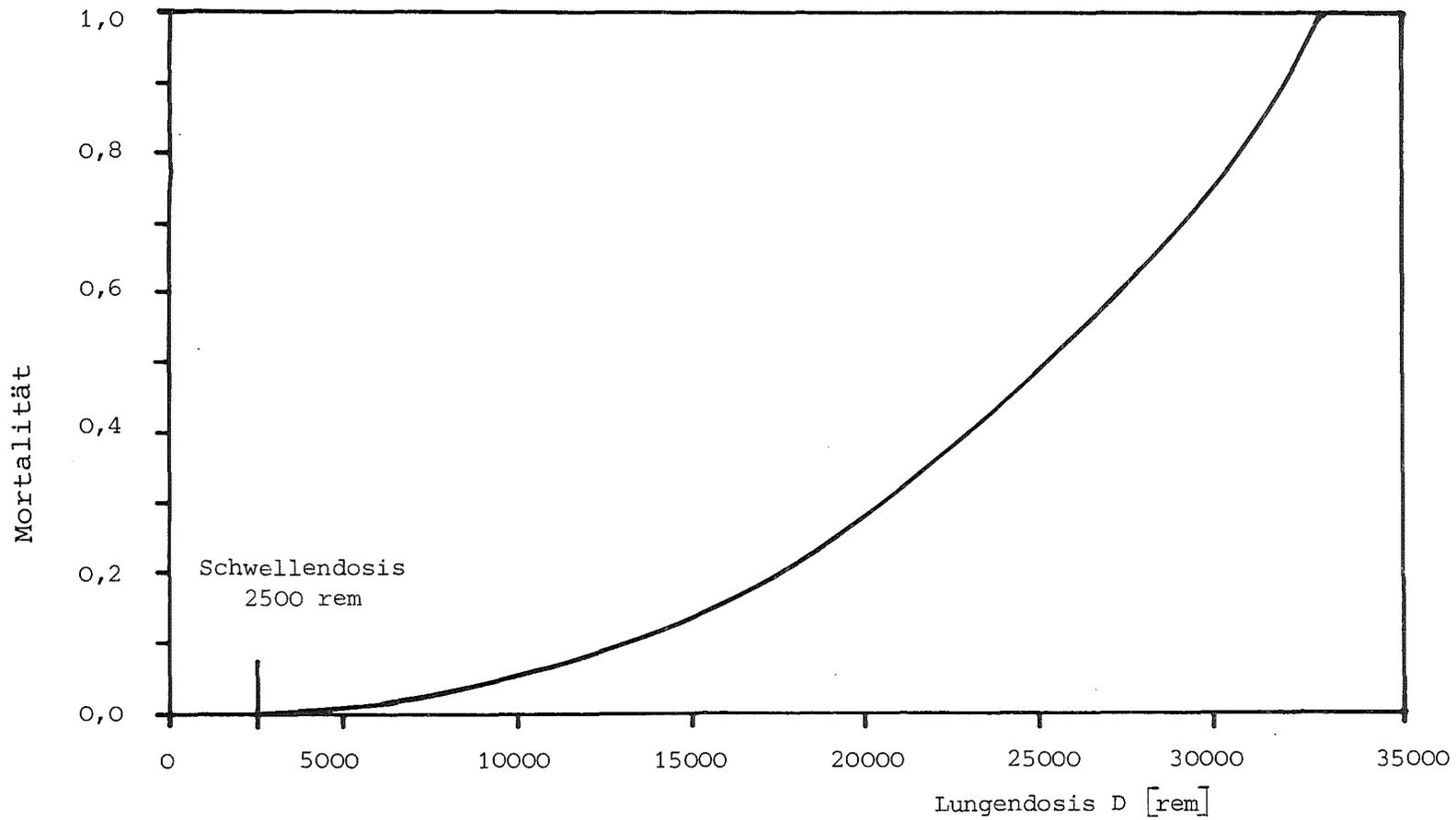
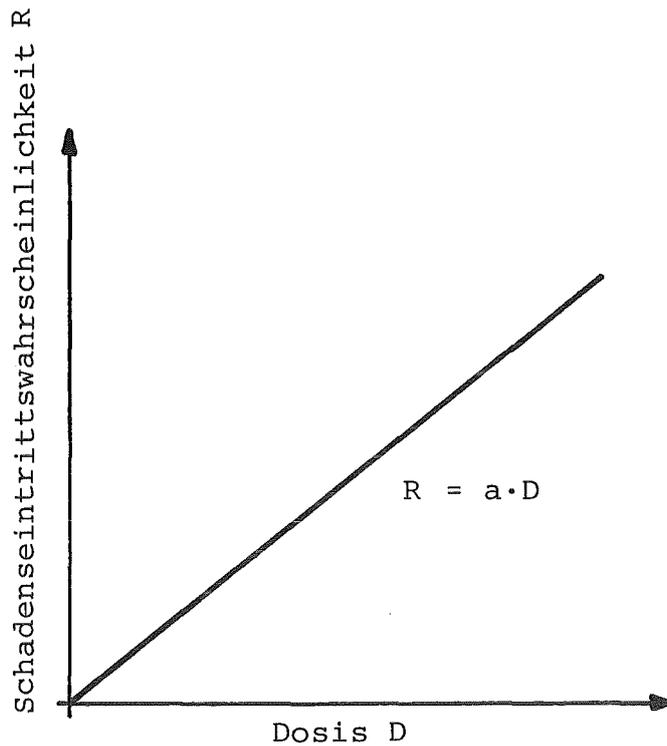


Abb. 4: Dosis-Wirkungs-Beziehung für akuten Tod (Exposition der Lunge) /28/



Schadensart	Zugrunde gelegte Organdosis	Risikofaktor a [Fälle/10 <sup>6</sup> man-rem]
Leukämie	Knochenmarkdosis	20
Knochenkrebs	Knochenhautdosis	5
Lungenkrebs	Lungendosis	20
Schilddrüsenkrebs	Schilddrüsendosis	5
Brustkrebs	Brustdosis <sup>1)</sup>	25 <sup>2)</sup>
Andere Krebsarten	Ganzkörperdosis <sup>3)</sup>	50 <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Es wurden die Dosisfaktoren für den Ganzkörper verwendet.

<sup>2)</sup> bezogen auf die Gesamtbevölkerung

<sup>3)</sup> Der Wert  $a = 50 \cdot 10^{-6} \text{ rem}^{-1}$  wird als obere Grenze angesehen. Der Beitrag eines einzelnen Organs ist kleiner als ein Fünftel dieses Wertes.

Abb. 5 Dosis-Risiko-Beziehung für Spätschäden

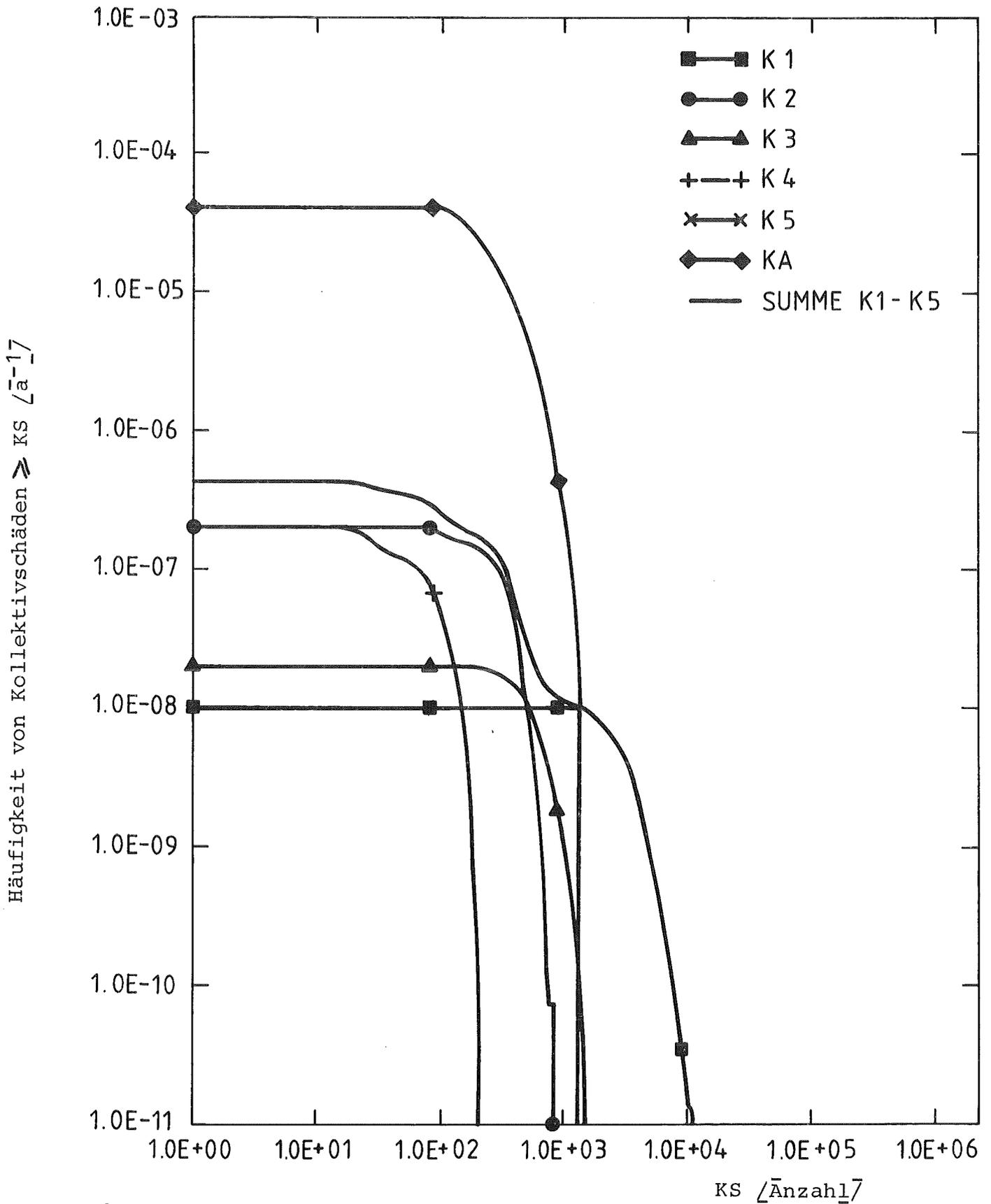


Abb. 6a Komplementäre kumulative Häufigkeitsverteilung der Kollektivschäden (Spätschäden) bei Magnox-Pu

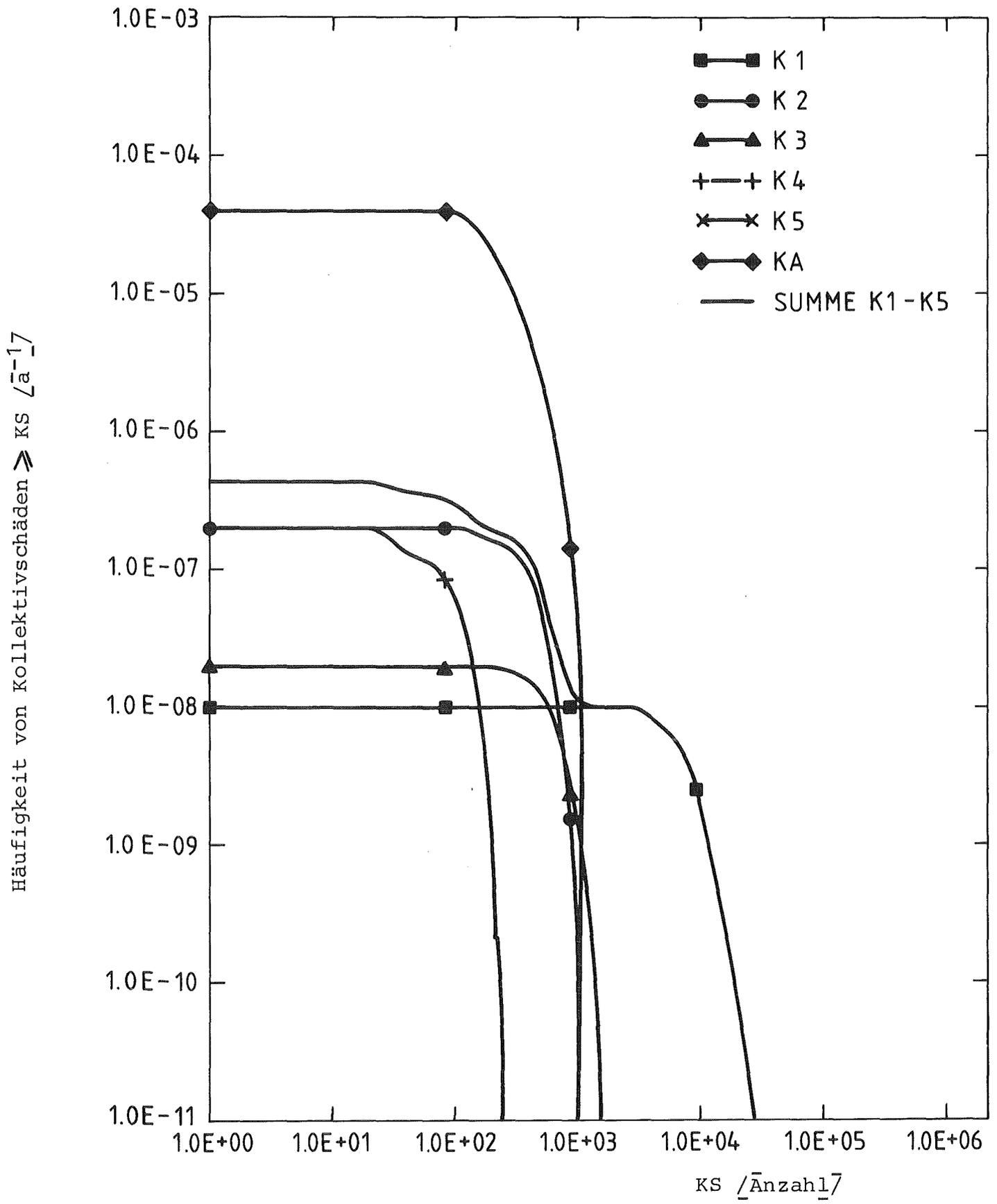


Abb. 6b Komplementäre kumulative Häufigkeitsverteilung der Kollektivschäden (Spätschäden) bei LWR-Pu

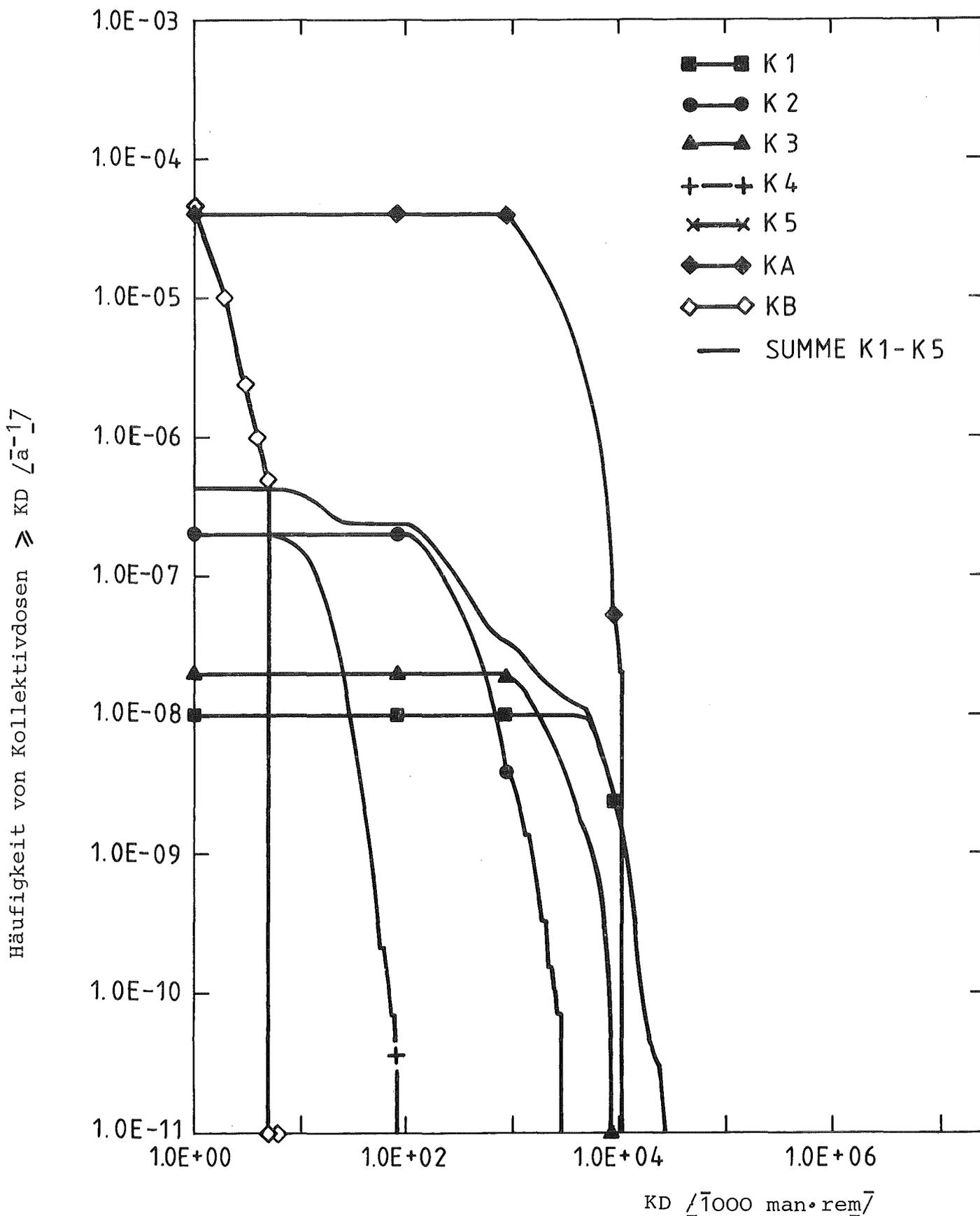


Abb. 7a Komplementäre kumulative Häufigkeitsverteilung der genetisch signifikanten Kollektivdosis (Magnox-Pu)

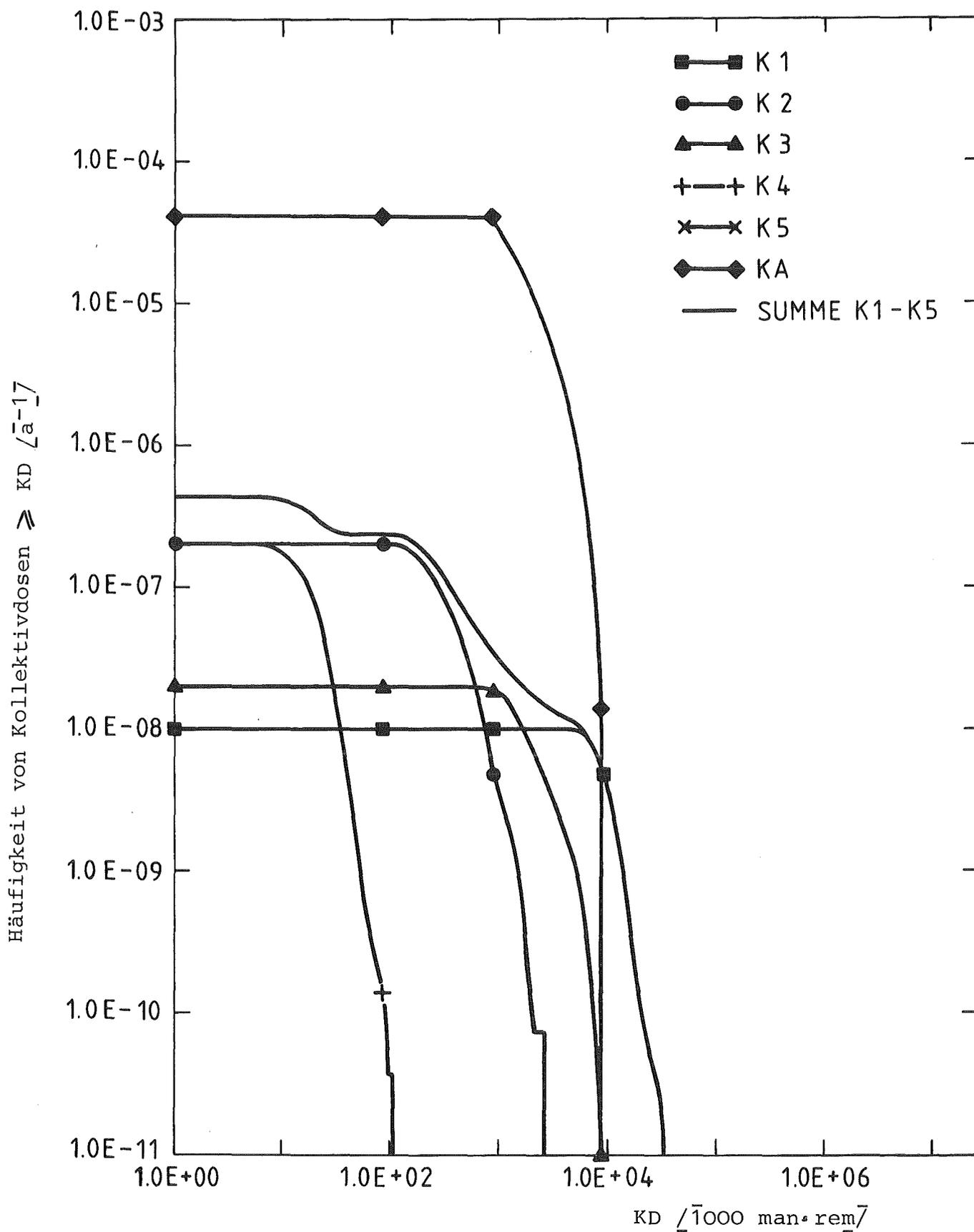


Abb. 7b Komplementäre kumulative Häufigkeitsverteilung der genetisch signifikanten Kollektivdosis (LWR-Pu)

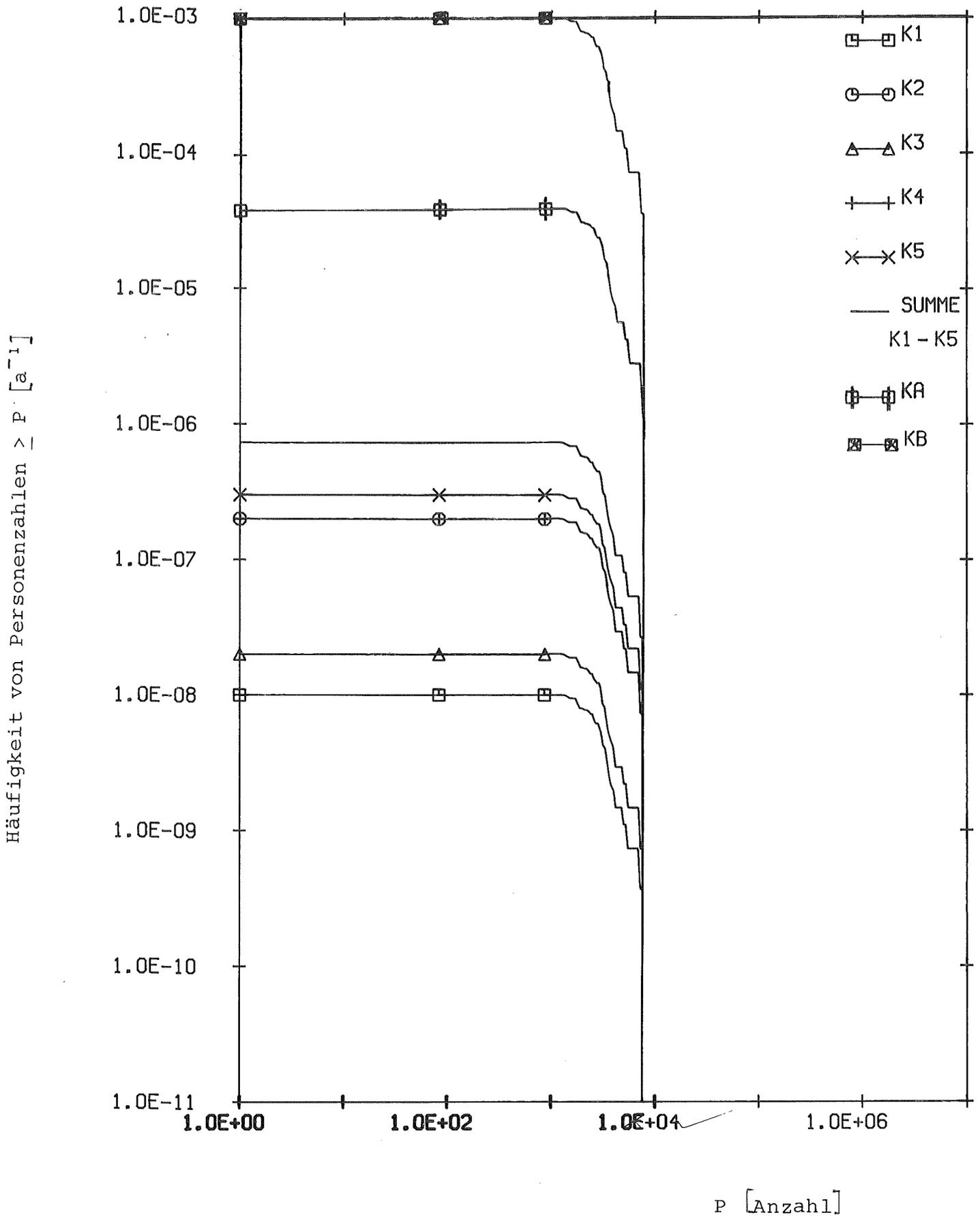


Abb. 8: Komplementäre kumulative Häufigkeitsverteilung der von der Gegenmaßnahme "Evakuierung" (Gebiet A) betroffenen Personen

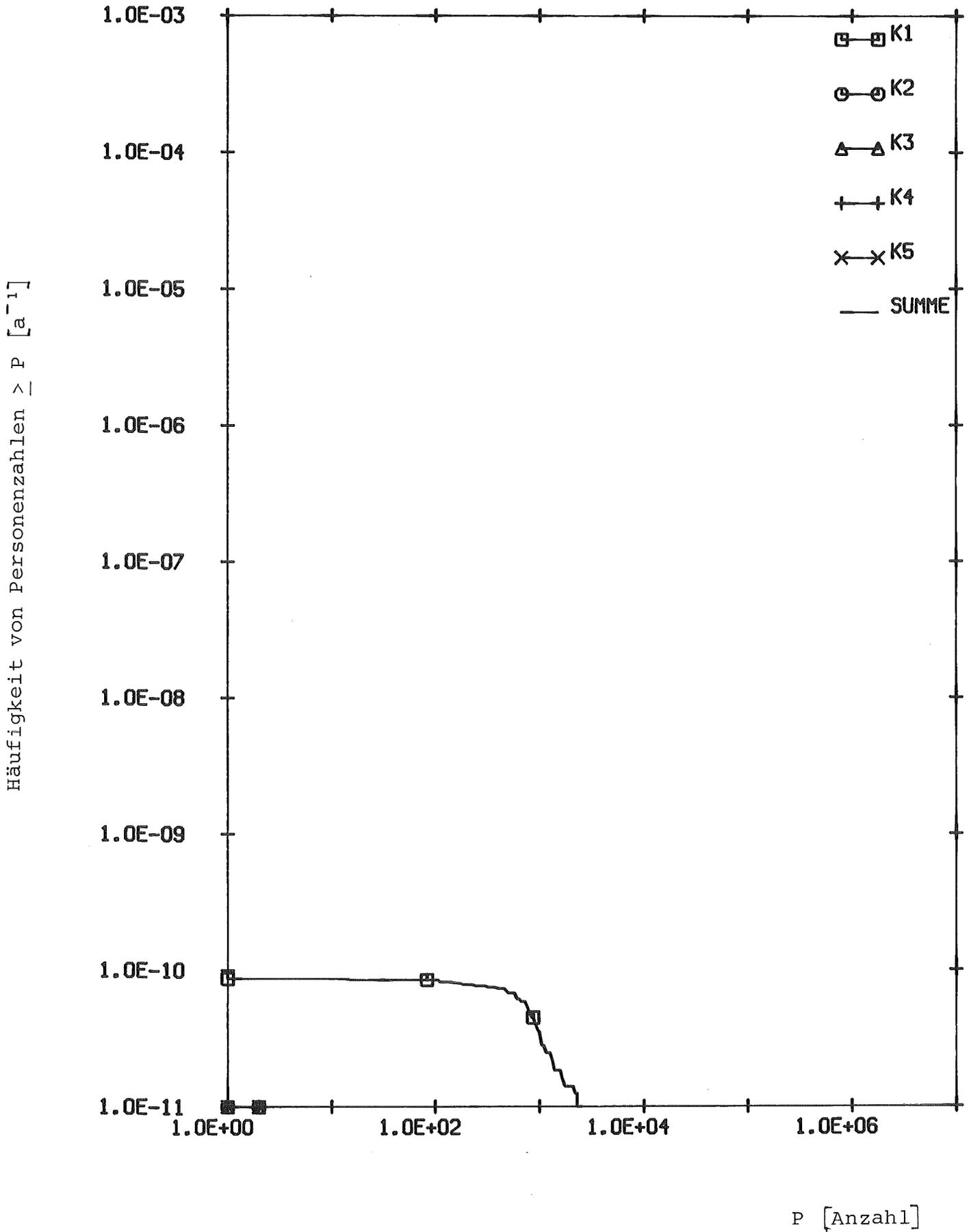


Abb. 9: Komplementäre kumulative Häufigkeitsverteilung der von der Gegenmaßnahme "Schnelle Umsiedlung" (Gebiet B1) betroffenen Personen

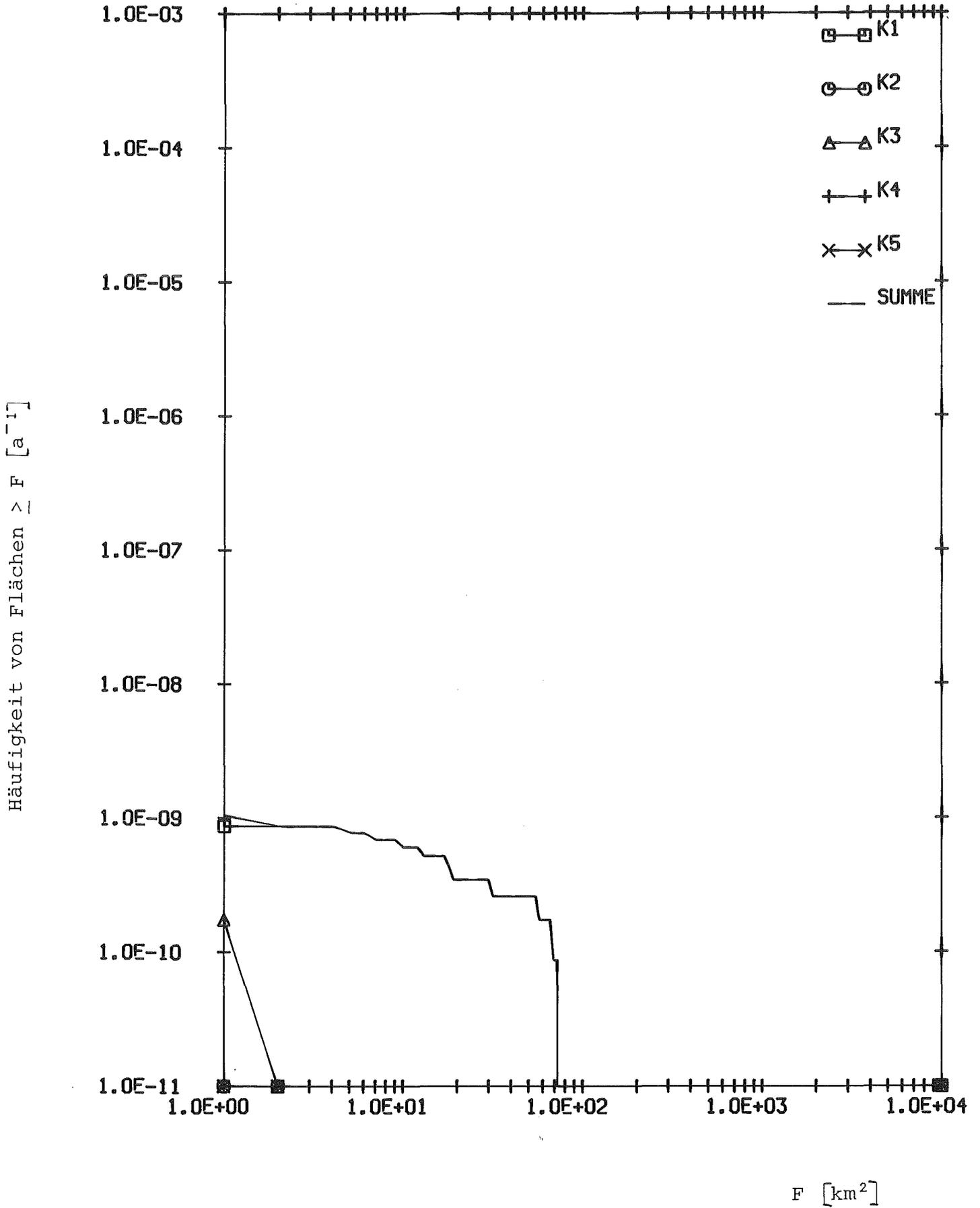


Abb. 10: Komplementäre kumulative Häufigkeitsverteilung der von der Gegenmaßnahme "Umsiedlung" (Gebiet C) betroffenen Flächen

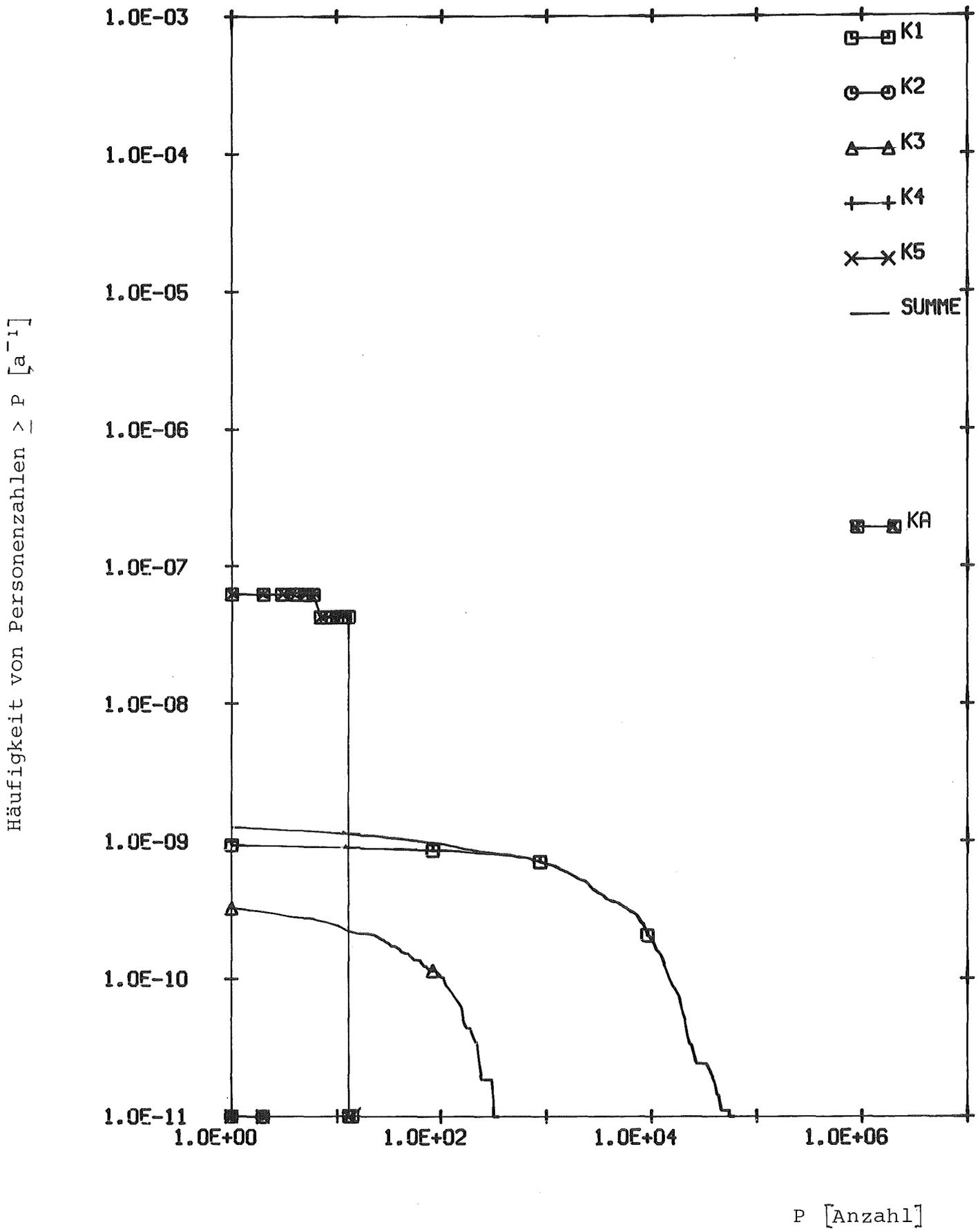


Abb. 11: Komplementäre kumulative Häufigkeitsverteilung der von der Gegenmaßnahme "Umsiedlung" (Gebiet C) betroffenen Personen

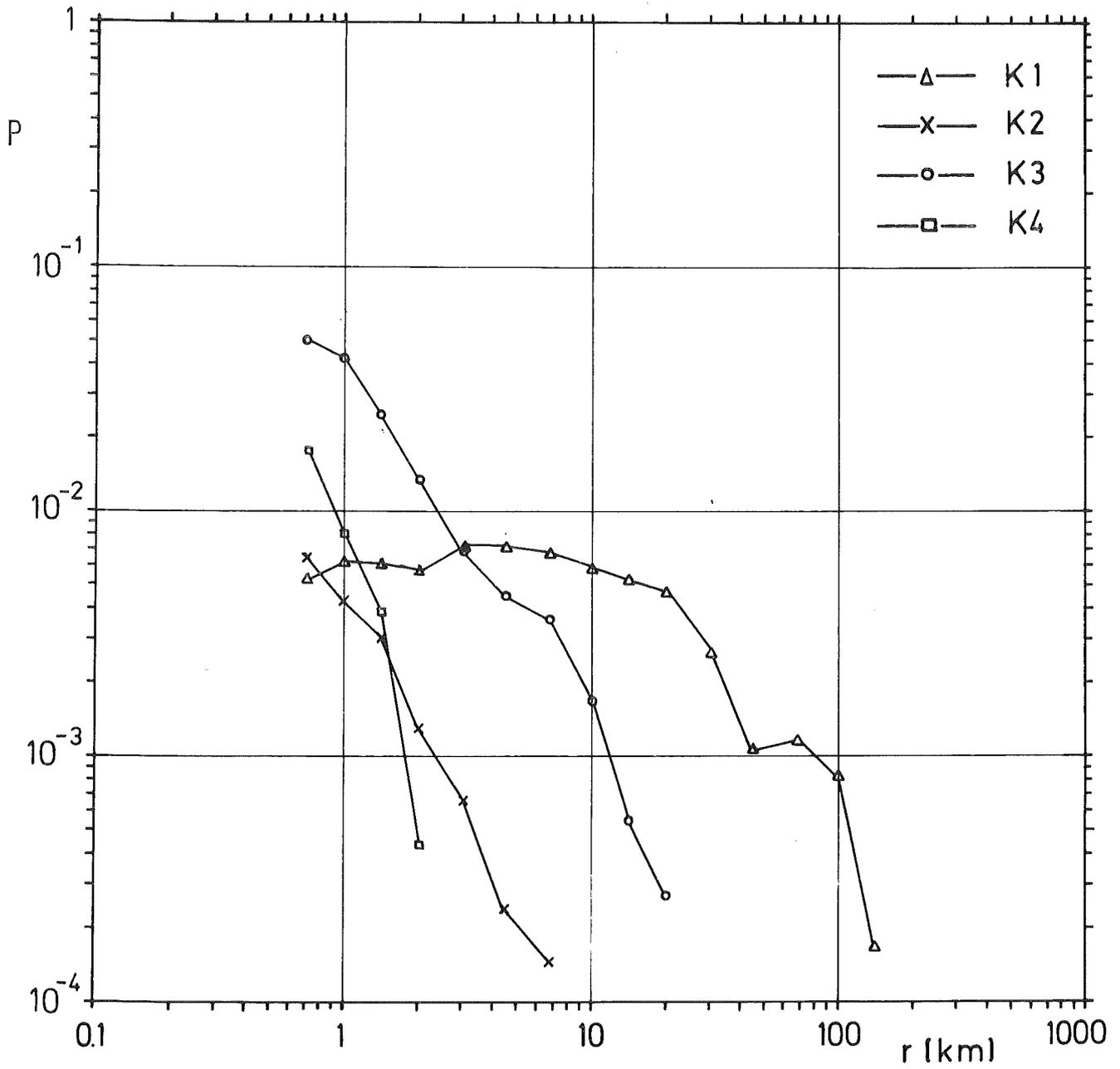


Abb. 12: Mittlere entfernungsabhängige Wahrscheinlichkeit für die Schutz- und Gegenmaßnahme "Dekontamination" nach erfolgter Freisetzung (Magnox-Pu)

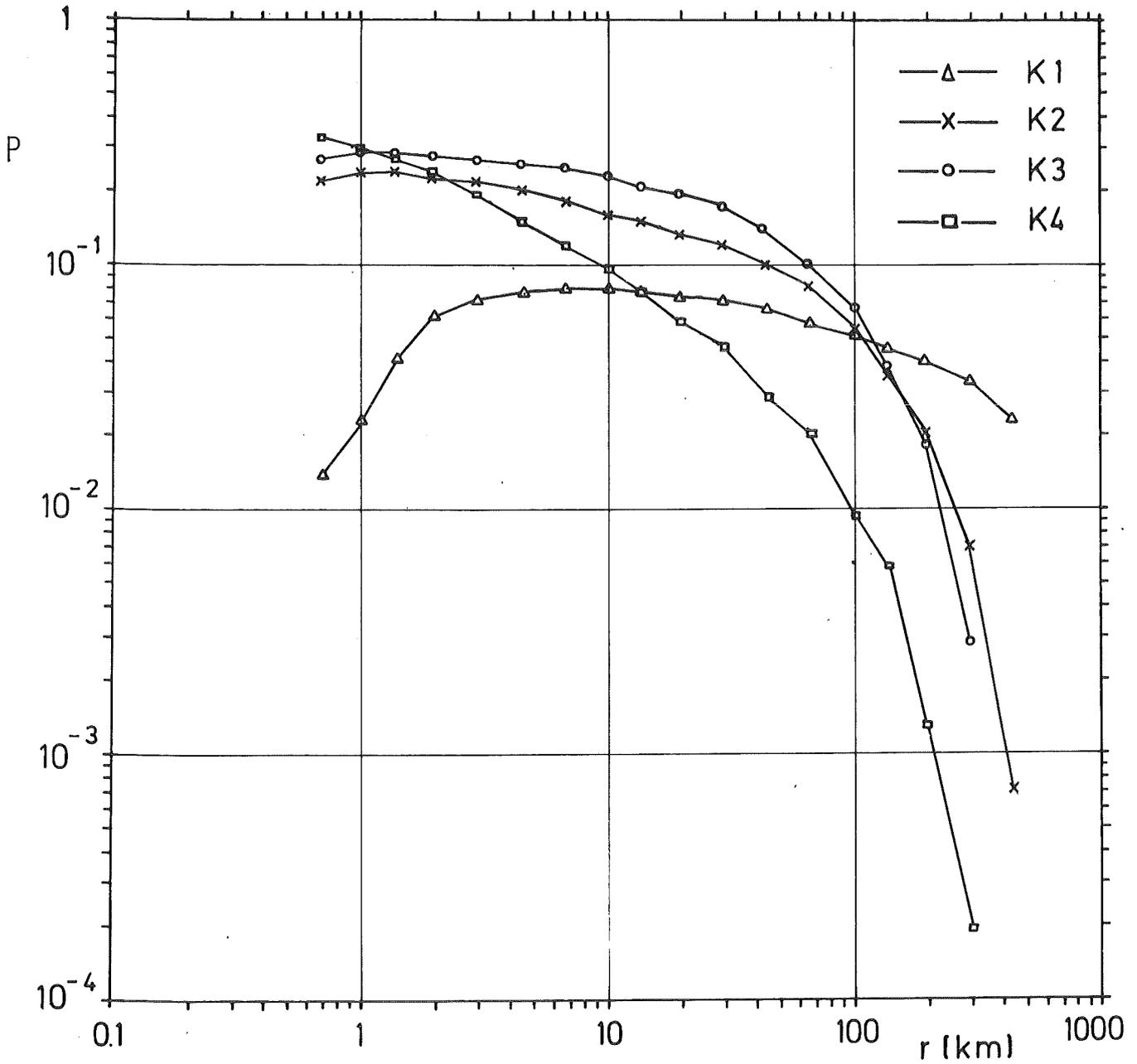


Abb. 13a: Mittlere entfernungsabhängige Wahrscheinlichkeit für "Einschränkungen beim Verzehr von Milch im 1. Jahr" nach erfolgter Freisetzung (Magnox-Pu)

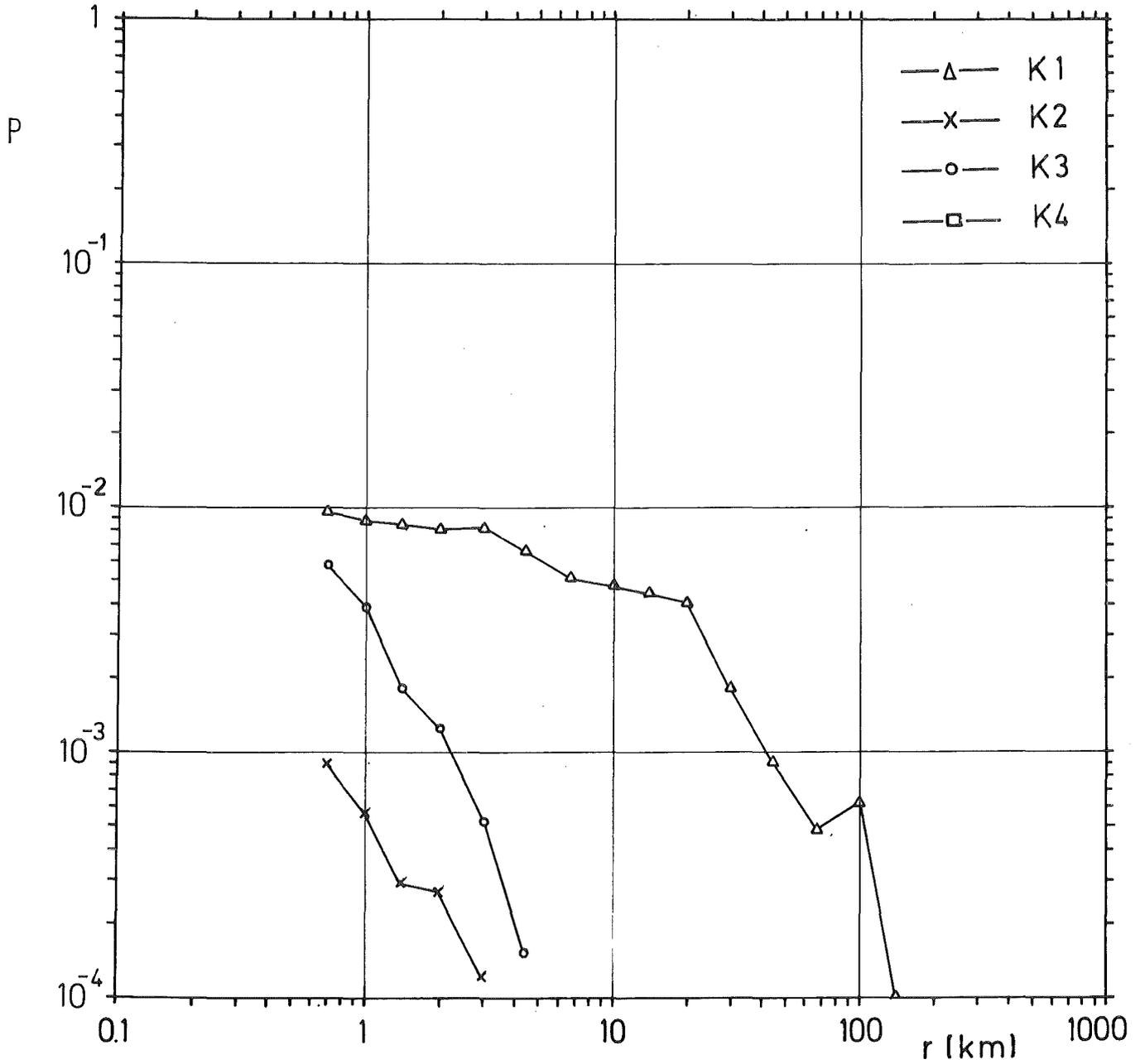


Abb. 13b: Mittlere entfernungsabhängige Wahrscheinlichkeit für "Einschränkungen beim Verzehr von Milch in den Folgejahren" nach erfolgter Freisetzung (Magnox-Pu)

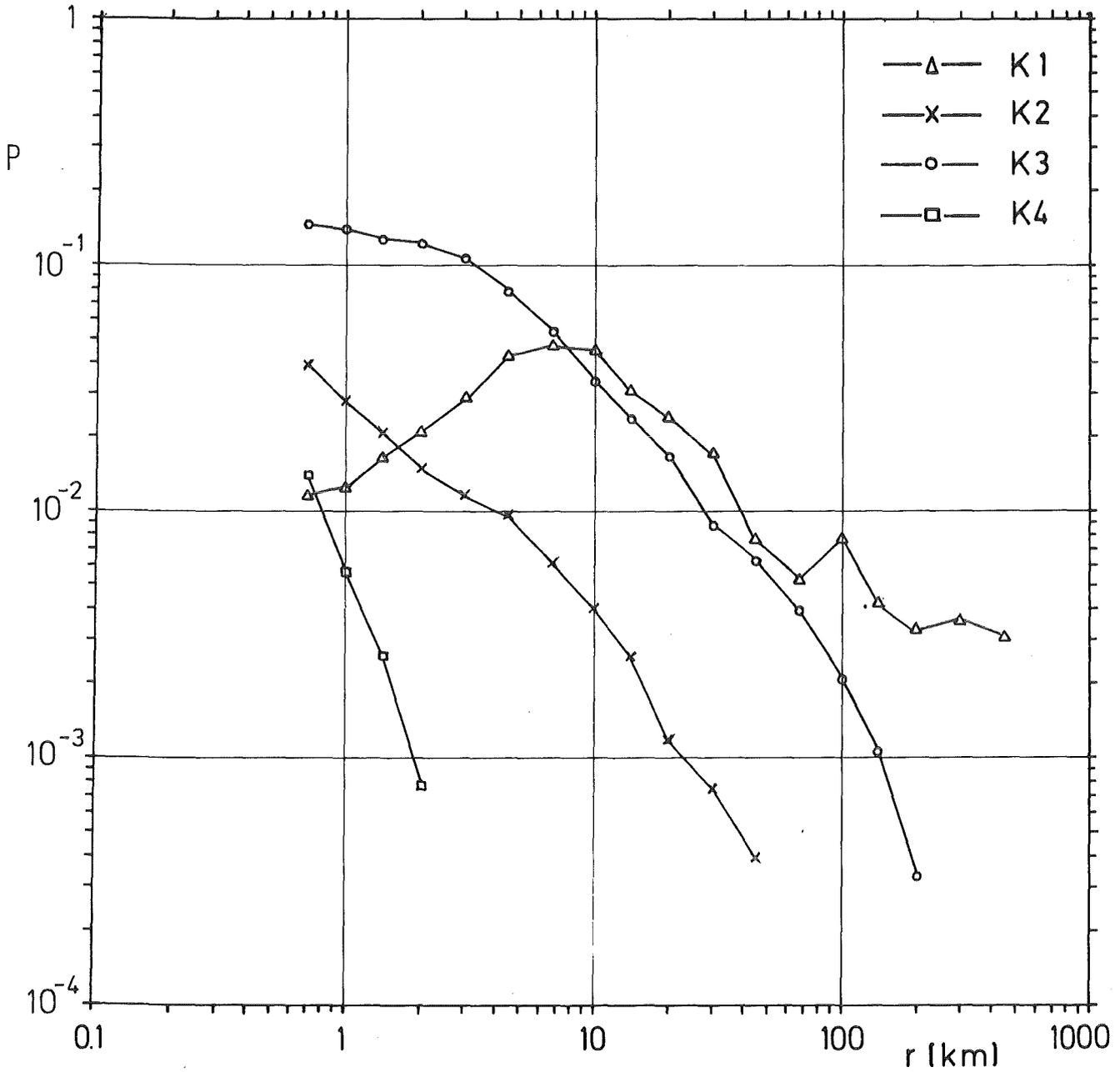


Abb. 13c: Mittlere entfernungsabhängige Wahrscheinlichkeit für "Einschränkungen beim Verzehr anderer landwirtschaftlicher Produkte im 1. Jahr" nach erfolgter Freisetzung (Magnox-Pu)

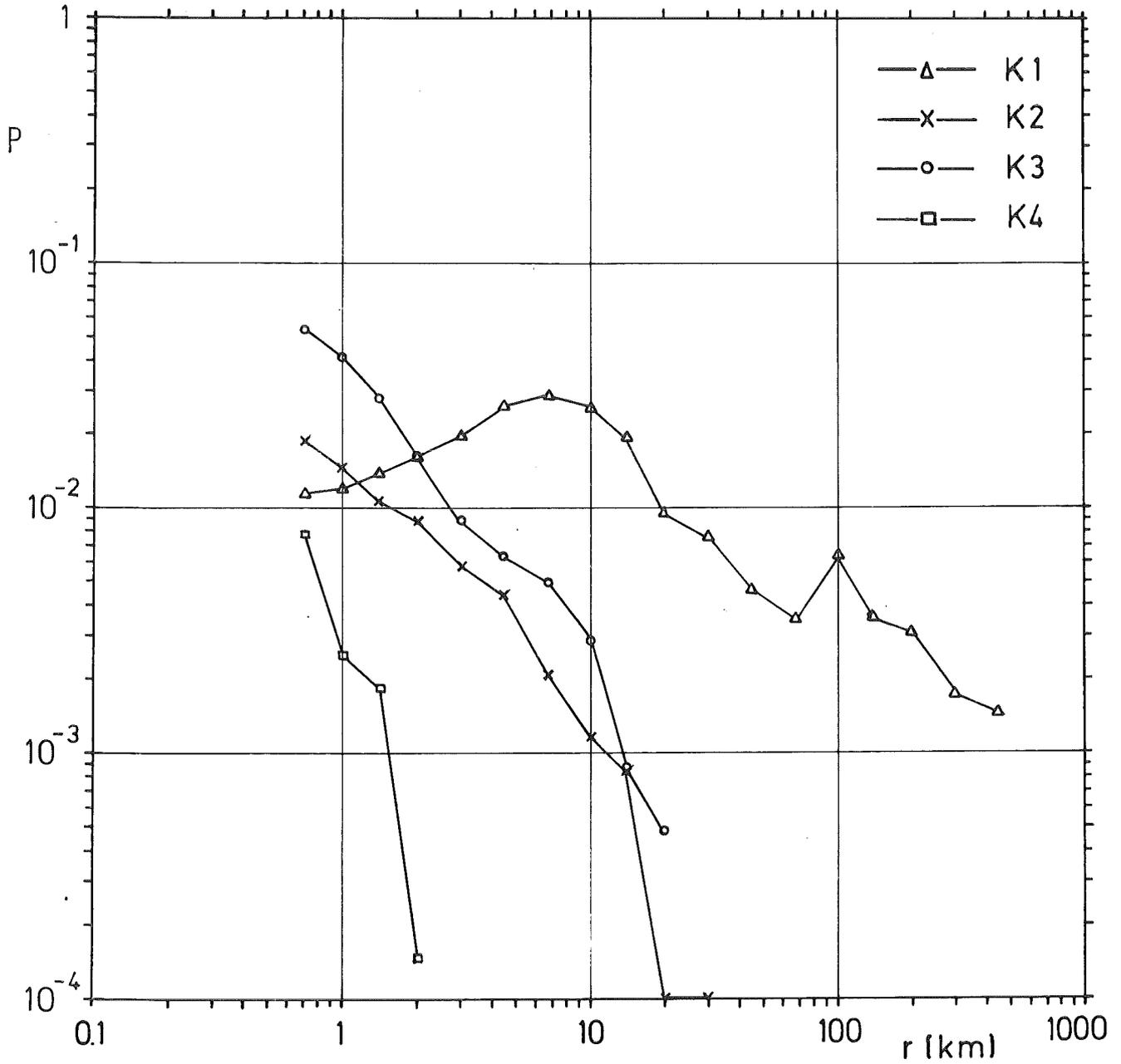


Abb. 13d: Mittlere entfernungsabhängige Wahrscheinlichkeit für "Einschränkungen beim Verzehr anderer landwirtschaftlicher Produkte in den Folgejahren" nach erfolgter Freisetzung (Magnox-Pu)

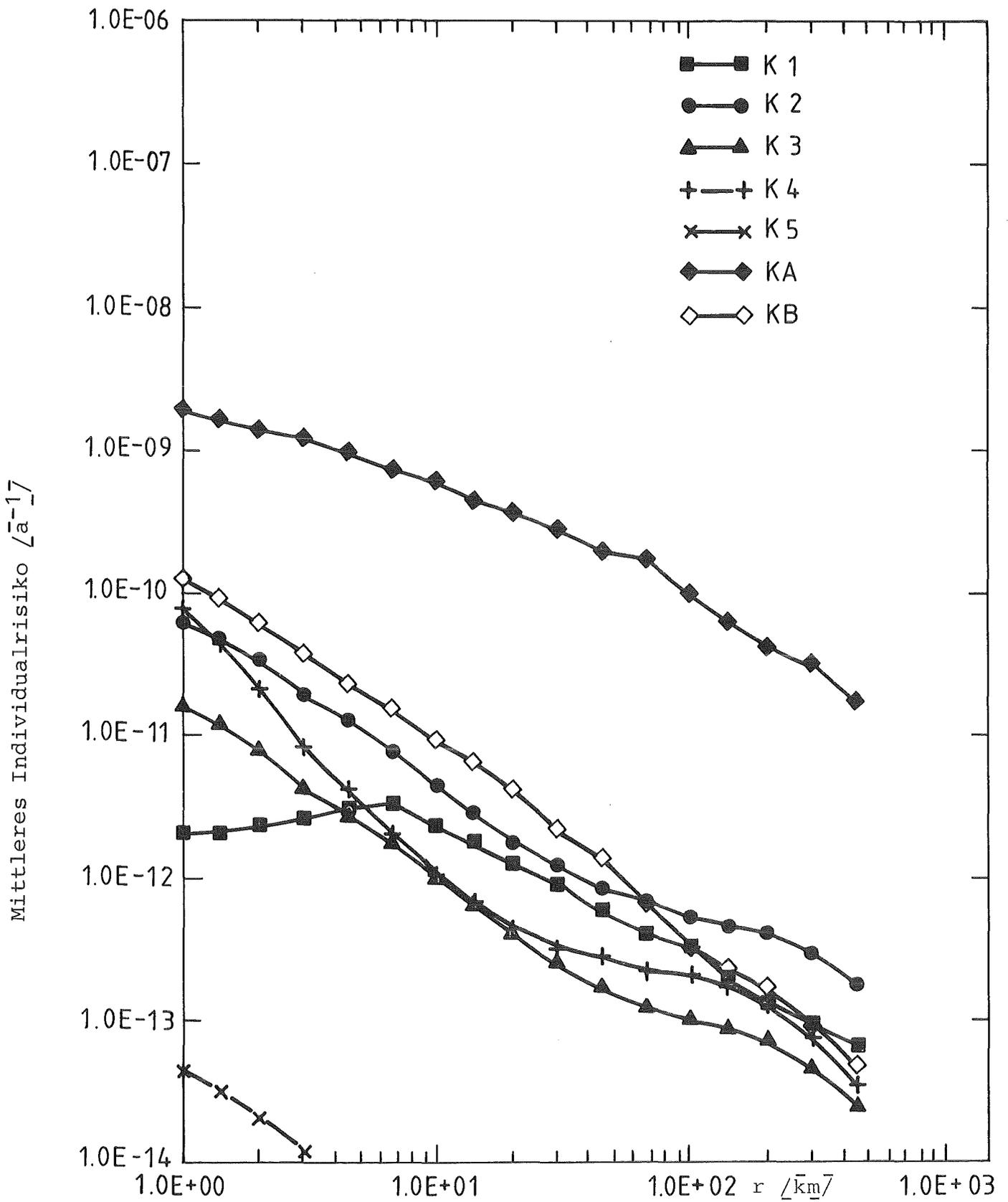


Abb. 14a Entfernungabhängiges Individualrisiko für Spätschäden bei den lebenden Generationen (Magnox-Pu)

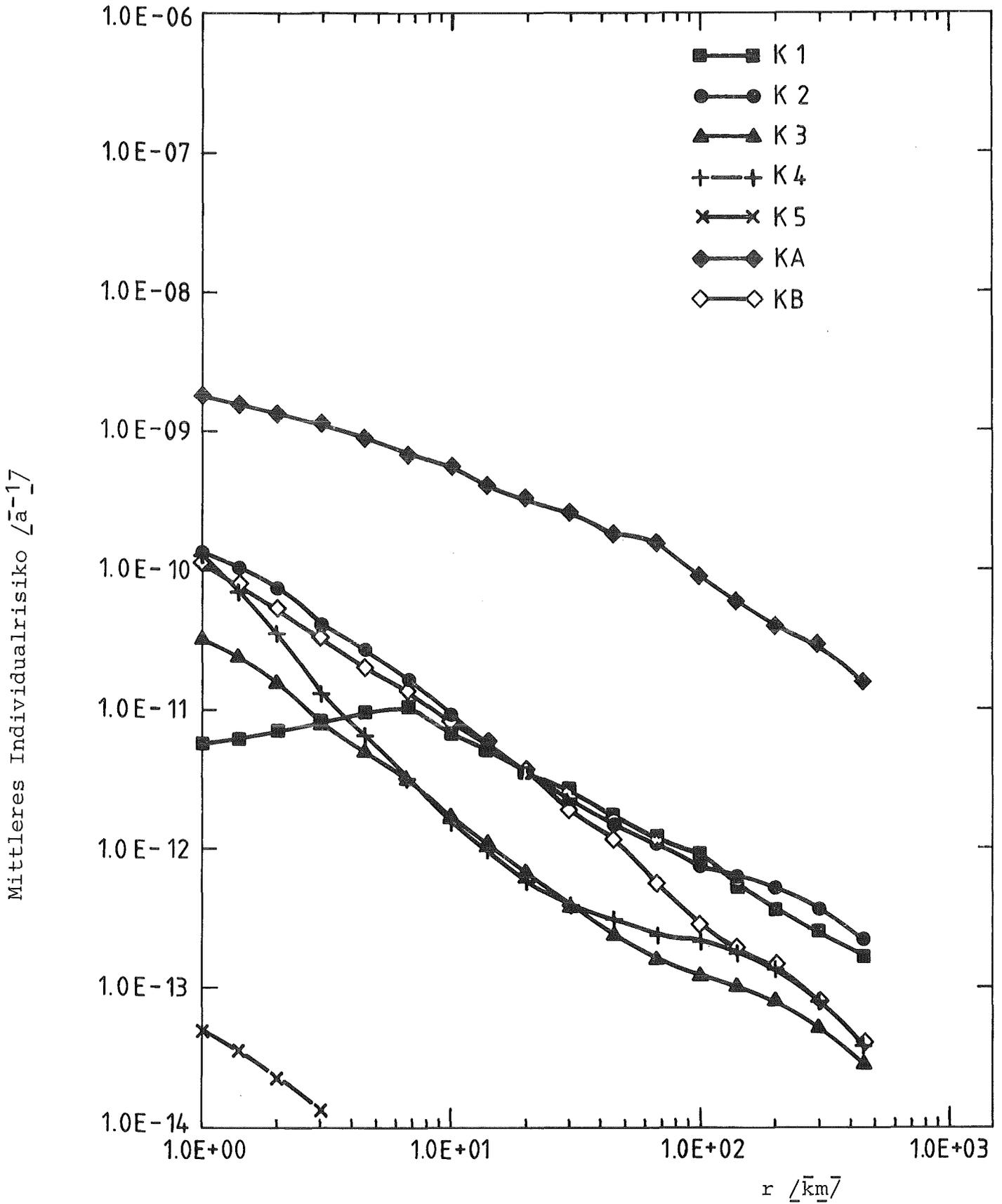


Abb. 14b Entfernungabhängiges Individualrisiko für Spätschäden bei den lebenden Generationen (LWR-Pu)

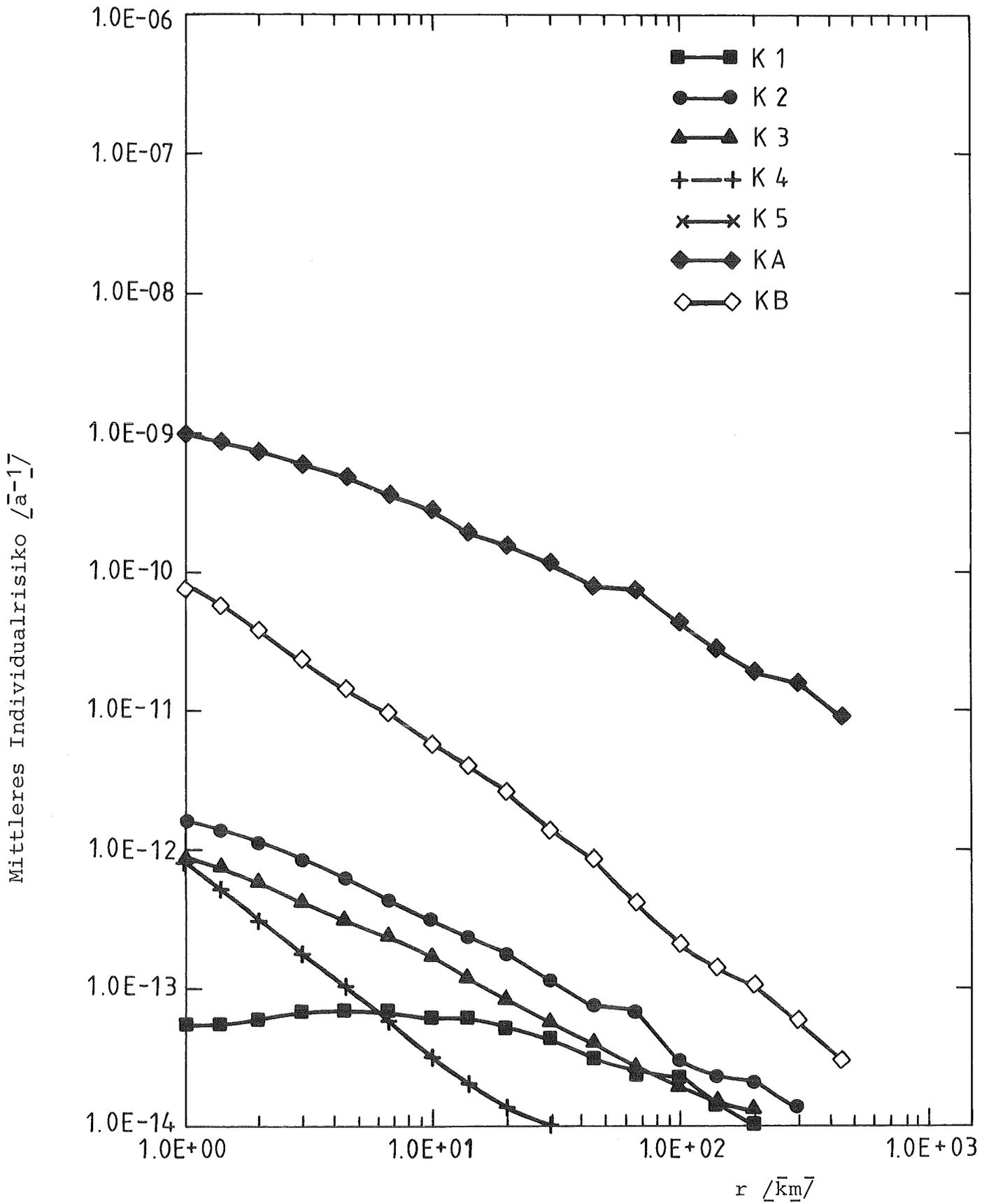


Abb. 15a Entfernungabhängiges Individualrisiko für Spätschäden bei den folgenden Generationen (Magnox-Pu)

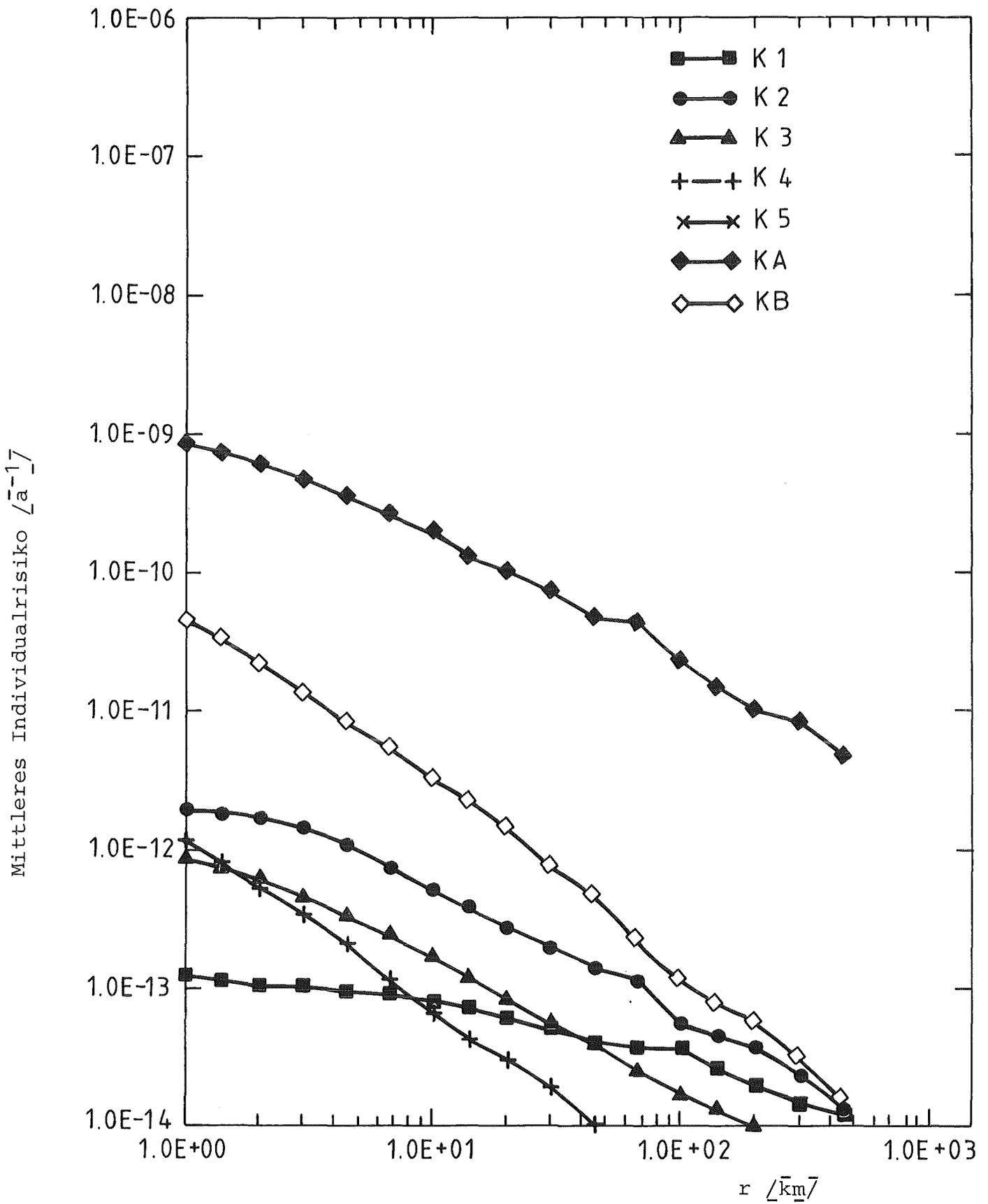


Abb. 15b Entfernungabhängiges Individualrisiko für Spätschäden bei den folgenden Generationen (LWR-Pu)