

KfK 3218
Oktober 1981

**Analyse der in der
„Deutschen Risikostudie
Kernkraftwerke“
berechneten stochastischen
somatischen Schäden**

J. Ehrhardt
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Projekt Nukleare Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Projekt Nukleare Sicherheit

KfK 3218

Analyse der in der "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke"
berechneten stochastischen somatischen Schäden

J. Ehrhardt

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Analyse der in der "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke"
berechneten stochastischen somatischen Schäden

Kurzfassung:

Die in der "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke" (Phase A) berechneten somatischen Spätschäden werden in bezug auf die verwendeten Modelle analysiert. Im einzelnen werden

- (1) die betroffenen Personen getrennt nach den zur Zeit der Freisetzung Lebenden und den erst danach Geborenen behandelt,
- (2) die relativen Beiträge der Expositionspfade und Krebsarten zu den somatischen Spätschäden bestimmt,
- (3) die Kollektivschäden ermittelt, die diesseits und jenseits von 540 km Entfernung (Schnittstelle im Modell) auftreten, und
- (4) die relativen Anteile der Spätschäden berechnet, die durch Strahlendosen unterhalb der organspezifischen Grenzwerte der deutschen Strahlenschutzverordnung hervorgerufen werden.

Außerdem wird der Einfluß einer nichtlinearen Dosis-Risiko-Beziehung nach WASH 1400 auf den Schadensumfang abgeschätzt. Aus den erzielten Ergebnissen werden Schlußfolgerungen für notwendige Modellverbesserungen in Phase B der Risikostudie gezogen.

Analysis of the Stochastic Somatic Fatalities Evaluated in the
German Nuclear Power Plant Risk Study

Abstract

The number of latent cancer fatalities estimated in the German Risk Study (Phase A) is analyzed with respect to the essential models. Special attention is given to the following topics:

- (1) Allocation of the number of fatalities to the population living during the nuclear accident and to persons born afterwards.
- (2) Contributions of the relevant exposure pathways and types of cancer to the late fatalities.
- (3) Estimation of the number of fatalities expected within and beyond a distance of 540 km from the site (alteration of model assumptions).
- (4) Estimation of the relative portion of late fatalities caused by radiation doses below the dose limits of the German radiation protection regulations.

Additionally, the influence of a non-linear dose response function similar to WASH 1400 on the latent cancer fatalities is estimated. The above-mentioned results provide conclusions concerning necessary improvements of models in Phase B of the Risk Study.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Grundlegende Bemerkungen zur Berechnung der Unfallfolgen	4
2.1 Kurze Beschreibung der im Zusammenhang mit den Spätschäden relevanten Rechenmodelle	4
2.2 Darstellungsformen der Rechenergebnisse	8
3. Aufschlüsselung der somatischen Spätschäden	13
3.1 Beitrag der zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen und der danach Geborenen zum Schadensumfang	13
3.2 Anteil der jenseits von 540 km auftretenden Krebsfälle	15
3.3 Zum entfernungsabhängigen Auftreten somatischer Spätschäden	19
3.4 Relative Anteile der Expositionspfade und Krebsarten	23
3.5 Anteil der Krebsfälle durch Strahlendosen unterhalb der Grenzwerte der deutschen Strahlenschutzverordnung	27
4. Berechnung der somatischen Spätschäden unter Zugrundelegung einer nichtlinearen Dosis-Risiko-Beziehung	29
5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	35
Literaturverzeichnis	38
Tabellen	40
Abbildungen	81

1. Einleitung

Zur Abschätzung des Risikos kerntechnischer Anlagen wird u.a. die Anzahl der nach einer unfallbedingten Freisetzung von Radionukliden durch Strahlenschäden zu Tode kommenden Personen (Kollektivschäden) berechnet. In der "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke" /1/ wird dabei unterschieden zwischen "Tod durch akutes Strahlensyndrom" (Frühschäden) und "Tod durch Leukämie und Krebs" (Spätschäden). Die Frühschäden oder akuten Todesfälle treten dabei kurzzeitig nach der Applikation hoher Strahlendosen oberhalb einer Schwellendosis von 100 rad auf. Derart hohe Strahlendosen sind jedoch nur bei Individuen möglich, die sich zum Zeitpunkt der Freisetzung im Nahbereich des betrachteten Kernkraftwerks befinden. Insbesondere sind darum Frühschäden bei den nach der Freisetzung geborenen Personen nicht zu erwarten (außer den in-utero Bestrahlungen).

Die Spätschäden oder stochastischen somatischen Schäden bezeichnen all jene kanzerogene Schäden, die sich durch zufallsmäßige Strahleneffekte erst nach einer Latenzperiode von Jahren bis Jahrzehnten in den bestrahlten Organen manifestieren und zum vorzeitigen Ableben der betroffenen Personen führen. Zur Berechnung der Spätschäden wurde in /1/ eine rein proportionale Dosis-Risiko-Beziehung zugrunde gelegt; gemäß dieser Hypothese in Anlehnung an die Empfehlungen der ICRP (1977) /2/ können Spätschäden auch bei kleinsten Strahlendosen auftreten.

Die Strahlenbelastung der Bevölkerung erfolgt nach einer unfallbedingten Aktivitätsfreisetzung über verschiedene Expositionspfade. In Abb.1 ist die zeitliche Einordnung der extern und intern den betroffenen Personen applizierten Dosen über die in der DRS berücksichtigten Expositionspfade dargestellt. Nach der Freisetzung aus dem Kernkraftwerk erfolgt zunächst eine einmalige kurzzeitige externe Exposition durch Direktstrahlung aus der Abluftfahne (EF). Die am Boden abgelagerten Radionuklide verursachen eine kontinuierliche externe Bestrahlung (EB). Beim Durchzug der Abluftfahne wird kurzfristig Aktivität inhaliert, die eine andauernde interne Bestrahlung im Körper bedingt (IH). Schließlich werden die abgelagerten Radionuklide langfristig über die Nahrungsmittelkette inkorporiert

(Ingestion IG) oder nach Resuspension über die Atemluft inhaliert (IHR), was ebenfalls eine kontinuierliche interne Strahlenexposition verursacht. Demgemäß erfolgt eine mögliche Strahlenbelastung der zur Zeit der Freisetzung lebenden Personen über alle Expositionspfade, für die nach der Freisetzung Geborenen sind jedoch nur noch die Expositionspfade EB, IHR und IG von Bedeutung.

Die Ergebnisse der "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke" (Phase A) /1,3/ zeigen, daß bei Strahlenexpositionen nach Kernkraftwerksunfällen die zu erwartenden Spätschäden zahlenmäßig weit über den Frühschäden liegen. Für ein vertieftes Verständnis der erzielten Ergebnisse sowie im Hinblick auf die Arbeiten zur Weiterentwicklung der Rechenmodelle im Rahmen der Phase B wurden weiterführende und analysierende Untersuchungen bzgl. des Auftretens somatischer Spätschäden durchgeführt. Im vorliegenden Bericht werden hierzu die folgenden Schwerpunkte behandelt:

- Aufteilung der somatischen Spätschäden auf die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen und den erst danach Geborenen. Hierzu wurde das in /4/ entwickelte Konzept der effektiven Schadensfaktoren angewandt.
- Aufschlüsselung der somatischen Spätschäden nach den betroffenen Organen und Expositionspfaden. Dabei werden die beiden o.g. Personengruppen getrennt behandelt.
- Bestimmung des Anteils der somatischen Spätschäden, die jenseits einer Entfernung von 540 km vom Kernkraftwerk auftreten. Für diesen Bereich wurde in der "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke" im Gegensatz zur inneren Zone ein relativ einfaches Ausbreitungs-, Ablagerungs- und Bevölkerungsmodell angewandt /3/.
- Bestimmung des Anteils der somatischen Spätschäden, die durch Strahlendosen hervorgerufen werden, die kleiner sind als die nach der deutschen Strahlenschutzverordnung geltenden Grenzwerte /5/.

- Abschätzung der Spätschäden unter Verwendung einer nichtlinearen Dosis-Risiko-Beziehung, die der stückweise linearen Funktion nach WASH 1400 /6/ gleicht. Diese weist bei geringer Strahlenbelastung eine erheblich niedrigere Schadenseintrittswahrscheinlichkeit auf. Die Rechenergebnisse geben erste Anhaltspunkte dafür, inwieweit sich nichtlineare Dosis-Risiko-Beziehungen auf die Risikoabschätzungen auswirken.

Die Unfallfolgenrechnungen erfolgten mittels modifizierter Versionen des Rechenprogramms UFOMOD /7/. Sie wurden für die in der DRS-Fachband 8 /3/ ausführlich dargestellten Unfallsituationen, Wetterbedingungen und Standorte durchgeführt. Alle erzielten Ergebnisse werden aufgeschlüsselt nach den Freisetzungskategorien FK1-FK7 der DRS dargestellt. Da bei der Freisetzungskategorie FK8 keine somatischen Spätschäden (Kollektivschäden) größer als Eins auftreten, wurde im vorliegenden Bericht teilweise auf eine Ergebnisdarstellung verzichtet. In der abschließenden Zusammenfassung werden einige Empfehlungen zur Modellentwicklung während der Phase B der DRS gegeben, die sich aus den analysierenden Untersuchungen zwingend ergeben.

2. Grundlegende Bemerkungen zur Berechnung der Unfallfolgen

2.1. Kurze Beschreibung der im Zusammenhang mit den Spätschäden relevanten Rechenmodelle

Eine ausführliche Beschreibung des den Unfallfolgenrechnungen zugrunde liegenden Datenmaterials und der Rechenmodelle enthält der Fachband 8 der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke [3]. Im folgenden werden nur ganz kurz die wesentlichen Modellannahmen dargestellt, die insbesondere bei der Berechnung der stochastischen somatischen Schäden von Bedeutung sind.

Ausgehend von den Freisetzungsdaten berechnet das Modell für die atmosphärische Ausbreitung und Ablagerung die zeitliche und örtliche Verteilung der Aktivitätskonzentration in der Luft und der Bodenkonzentration in der Umgebung des Unfallorts bis zu einer Entfernung von 540 km. Die Fläche dieses Kreises entspricht etwa der Fläche Mitteleuropas. Darüber hinaus wird die Restaktivität der Aktivitätsfahne auf einem Kreisring von 2 500 km Außenradius abgelagert.

Im Dosismodell werden die aus den Aktivitätskonzentrationen resultierenden Strahlungsdosen berechnet. Dabei werden folgende Expositionspfade berücksichtigt:

- externe Bestrahlung durch die vorbeiziehende Aktivitätsfahne (EF),
- externe Bestrahlung durch die Bodenkontamination (EB),
- interne Bestrahlung durch die mit der Atemluft inkorporierte Aktivität, unterteilt in
 - Inhalation von luftgetragenen Radionukliden aus der Aktivitätsfahne (IH) und
 - Inhalation von resuspendierten Radionukliden, die schon am Boden abgelagert waren (IHr),
- interne Bestrahlung durch die mit der Nahrung inkorporierte Aktivität (IG).

Ermittelt werden die Dosen für die Organe	Knochenmark	(KM)
	Knochenoberfläche	(KN)
	Lunge	(LG)
	Schilddrüse	(SD)
	Brust	(BR)
	Ganzkörper	(GK)

Zunächst werden die "potentiellen" Dosen berechnet, die sich - ohne Berücksichtigung von Schutz- und Gegenmaßnahmen - unmittelbar aus der Konzentration der Aktivitätsfahne und der Bodenkontamination ergeben. Zur weiteren Dosisberechnung wird der Einfluß möglicher Schutz- und Gegenmaßnahmen, die sich weitgehend an Grenzwerten der potentiellen Dosen orientieren, berücksichtigt. Mit dem Einfluß von Schutz- und Gegenmaßnahmen werden die potentiellen Dosen reduziert, man erhält als schadenswirksame Strahlungsdosen die "zu erwartenden" Dosen (Erwartungsdosen).

Im einzelnen wurden bei der Berechnung der zu erwartenden Dosen folgende Arten von Schutz- und Gegenmaßnahmen berücksichtigt:

- Aufsuchen von Gebäuden,
- Evakuierung und Umsiedlung,
- Dekontamination und
- Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte.

Bei der Berechnung der Spätschäden sind hauptsächlich die Gegenmaßnahmen Umsiedlung, Dekontamination und Verwerfen landwirtschaftlicher Produkte von Bedeutung.

Die Umgebung jedes Kernkraftwerks wird entsprechend den dosisabhängigen Schutz- und Gegenmaßnahmen in verschiedene Gebiete eingeteilt [1,3]. Die Umsiedlung erfolgt im Gebiet C, das in seiner Abgrenzung definiert ist durch die Isodosislinie $D = 250 \text{ rad}/30 \text{ a}$, bezogen auf die Ganzkörperbelastung durch externe Strahlung vom Boden. Die Umsiedlung der Bevölkerung beginnt nach 30 Tagen und erstreckt sich im Mittel pro Tag über eine Fläche von etwa 5 km^2 . Falls zu irgendeinem Zeitpunkt der Dosisgrenzwert unterschritten wird, erfolgt Dekontamination der betreffenden Fläche mit einem max. Dekontaminationsfaktor $DF = 10$, so daß die Bevölkerung rückgesiedelt werden kann.

An das Gebiet C schließt das Gebiet D1 an. Es ist definiert durch die Dosisgrenzen $250 \text{ rad}/30 \text{ a} \geq D > 25 \text{ rad}$. Durch Dekontamination (Dekontaminationsfaktor $DF \leq 10$) wird erreicht, daß die Dosisbelastung unter $D = 25 \text{ rad}/30 \text{ a}$ sinkt, die Bevölkerung wird also nicht umgesiedelt.

Bei Ganzkörperdosen durch externe Bestrahlung vom Boden von $D \leq 25 \text{ rad}/30 \text{ a}$ werden keine Gegenmaßnahmen ergriffen. Das derart definierte Gebiet D2 umfaßt also alle Flächen außerhalb des Gebiets D1. Allerdings erfolgt unabhängig von den Gebietsdefinitionen in allen Entfernungsbereichen bis 540 km die Gegenmaßnahme "Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte" auf der Grundlage von Dosiskriterien. Die in der folgenden Tabelle aufgeführten Dosisgrenzwerte beziehen sich auf die Belastung des Ganzkörpers, des Knochenmarks und der Schilddrüse aufgrund des Verzehrs von Milch und anderen landwirtschaftlichen Produkten.

Organ	Weide-Kuh-Milch-Pfad	Andere landwirtschaftliche Produkte
Ganzkörper	3,3 rem/50a	2 rem/50a
Knochenmark	3,3 rem/50a	2 rem/50a
Schilddrüse	10 rem/50a	-

Wenn eines oder mehrere Kriterien überschritten werden, wird angenommen, daß die zugehörigen Belastungspfade während des betreffenden Zeitraumes durch Einschränkungen beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte unterbrochen sind [1,3]. Die den Dosisberechnungen zugrunde liegenden Daten bzgl. Transferfaktoren und Verzehrsgewohnheiten wurden WASH 1400 [6] entnommen.

Sämtliche Schutz- und Gegenmaßnahmen enden - wie auch die Ausbreitungs- und Ablagerungsrechnungen - bei einer Entfernung von 540 km vom Unfallort.

Die Berechnung der somatischen Spätschäden (Tod durch Leukämie und Krebs aufgrund latenter Strahlenschäden) erfolgt unter Zugrundelegung linearer Dosis-Risiko-Beziehungen mit Mortalitäts-Risikofaktoren nach ICRP 26 [2]. Für die Schadenseintrittswahrscheinlichkeit

s(OR) im Organ OR aufgrund der applizierten Dosis D gilt

$$s(OR) = a(OR) \cdot D(OR) \quad (2.1)$$

wobei a(OR) Risikofaktor für das Organ OR.

Zahlenwerte für a(OR) sind in Tab. 1 dargestellt. Dabei wird der Schadensberechnung in den nichtspezifizierten Organen des Restkörpers, also allen anderen Krebsarten, die Ganzkörperdosis (GK) zugrundegelegt. Der gesamte Dosis-Risiko-Faktor bzgl. aller Krebsarten beträgt danach $a_{\text{Ges.}} = 1,25 \times 10^{-4}$ Fälle/rem.

Im Modell werden die individuellen Schadenswahrscheinlichkeiten (S) berechnet, mit denen Personen an den jeweiligen Orten aufgrund der nach dem Dosismodell ermittelten zu erwartenden Dosen zu Tode kommen. Im weiteren werden dann mit den Bevölkerungsverteilungen der in der Studie betrachteten Standorte die Kollektivschäden (KS), d.h. die Summe der insgesamt zu erwartenden Schadensfälle, ermittelt. Dabei werden bis 80 km Entfernung standortspezifische Bevölkerungsdaten benutzt. Darüber hinaus wird bis 540 km mit einer mittleren Bevölkerungsdichte von 250 Einw/km^2 gerechnet (repräsentativ für Mitteleuropa). Liegen innerhalb dieses Bereichs größere Gewässer, wird die Bevölkerungsdichte entsprechend reduziert. Dem Bereich jenseits von 540 km wird eine Bevölkerungsdichte von $25 \text{ Einwohnern/km}^2$ zugrundegelegt (= mittlere Bevölkerungsdichte innerhalb eines Kreistrings von 540 km bis 2500 km um Mitteleuropa. Die in der Bevölkerung berechneten gesundheitlichen Schadensfälle mit Todesfolge werden aufgeschlüsselt nach den zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen (LG = lebende Generationen) und den danach Geborenen (FG = folgende Generationen). Die Summe der Schadensfälle bezieht sich auf alle Generationen (AG).

2.2. Darstellungsformen der Rechenergebnisse

Die Unfallfolgenrechnungen wurden für die in der DRS - Fachband 8 [3] ausführlich dargestellten Aktivitätsfreisetzungen der Freisetzungskategorien FK1 - FK8, den 115 Wettersituationen in vier verschiedenen meteorologischen Standortregionen, sowie für 25 Kernkraftwerke des Referenztyps Biblis B an 19 verschiedenen Standorten innerhalb der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt. Die häufigkeitsbewerteten Individual- und Kollektivschäden wurden in Form von Häufigkeitsverteilungen und zugehörigen charakteristischen Kenngrößen ermittelt. Im einzelnen sind vor allem folgende Größen von Bedeutung:

- Die Eintrittshäufigkeit $f_{jkl\mu}$ der Einzelereignisse, d.h. der Kombinationen aus Wetterablauf j , Windrichtung k und Freisetzungskategorie l berechnet sich dabei an jedem Standort μ zu

$$f_{jkl\mu} = f_{A_1} \cdot P_{W_{j,\mu}} \cdot P_{D_{k,\mu}} \quad (2.2)$$

mit

- $j = 1 \dots 115$
- $k = 1 \dots 36$
- $l = 1 \dots 8$
- $\mu = 1 \dots 19$

wobei

$f_{A_1} \hat{=} \text{Häufigkeit der Freisetzungskategorie } l, [1/a]$

$P_{W_{j,\mu}} = \frac{1}{115} \hat{=} \text{Wahrscheinlichkeit des Wetterablaufs } j \text{ in der meteorologischen Standortregion } \mu$

$P_{D_{k,\mu}} = \frac{1}{36} \hat{=} \text{Wahrscheinlichkeit der Windrichtung } k \text{ am Standort } \mu$

- Aus der Gesamtzahl der Rechenergebnisse für die richtungs- und abstandsabhängige Schadenseintrittswahrscheinlichkeit $S_{jkl}^{LG}(\phi, r)$ und $S_{jkl}^{FG}(\phi, r)$ der zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen (LG) und der danach Geborenen (FG) berechnen sich die mittleren entfernungsabhängigen Individualrisiken $\langle S^{LG}(r) \rangle$ und $\langle S^{FG}(r) \rangle$ durch Multiplikation mit den zugehörigen Eintrittshäufigkeiten.

und Mittelung über den Azimutwinkel ϕ :

$$\langle S^{LG}(r) \rangle = \sum_j \sum_k \sum_l f_{jkl\mu} \cdot \frac{1}{36} \sum_{k'=1}^{36} S_{jkl}^{LG}(\phi_{k'}, r) \quad (2.3)$$

bzw.

$$\langle S^{FG}(r) \rangle = \sum_j \sum_k \sum_l f_{jkl\mu} \cdot \frac{1}{36} \sum_{k'=1}^{36} S_{jkl}^{FG}(\phi_{k'}, r) \quad (2.4)$$

Für das mittlere Individualrisiko aller nach der Freisetzung in der Entfernung r lebenden Personen gilt

$$\langle S^{AG}(r) \rangle = \langle S^{LG}(r) \rangle + \langle S^{FG}(r) \rangle \quad (2.5)$$

Das mittlere Individualrisiko gibt den pro Reaktorbetriebsjahr im Mittel zu erwartenden Individualschaden an. Es ist zu verstehen als Mittelwert über alle im gleichen Abstand von einem Kernkraftwerk befindliche Personen.

- Der Berechnung der Kollektivschäden wird die ortsabhängige Bevölkerungsdichte $p_\mu(\phi, r)$ [Einw./km²] unterlegt. Die Kollektivschäden am Standort μ berechnen sich bei Vorliegen der Windrichtung ϕ_0 mittels Integration über den Azimutwinkel ϕ und die Entfernung r zu

$$KS_{jkl\mu} = \int_0^\infty \int_0^{2\pi} S(\phi - \phi_0, r) p_\mu(\phi, r) d\phi dr \quad (2.6)$$

Aus diesen Einzelergebnissen werden die komplementären Häufigkeitsverteilungen $\Phi(KS)$ nach folgender Vorschrift berechnet:

$$\Phi(KS) = \sum_\mu n_\mu \sum_l \sum_k \sum_j f_{jkl\mu} \quad (2.7)$$

Mit der Nebenbedingung

$$KS_{jkl\mu} \geq KS$$

Dabei bezeichnet n_μ die Anzahl der Reaktorblöcke (Anlagen) am Standort μ . An Standorten mit $n_\mu > 1$ Anlagen wurden die Rechnungen also nur für einen Reaktorblock durchgeführt und die Ein-

trittshäufigkeiten dann mit dem Faktor n_μ multipliziert. Die komplementäre Häufigkeitsverteilung $\bar{f}(KS)$ gibt für jeden Kollektivschaden KS die Häufigkeit an, mit der dieser Schaden erreicht oder überschritten wird.

- Außer den Verteilungsfunktionen werden charakteristische Werte der errechneten Schadensumfänge in Tabellenform angegeben. Im einzelnen wurden für die somatischen Spätschäden folgende Größen berechnet:

$KS_{\min} \hat{=} \text{kleinster Kollektivschaden}$

$KS_{\max} \hat{=} \text{größter Kollektivschaden}$

$\overline{KS} = \frac{1}{z} \sum_{\mu} n_{\mu} \sum_l \sum_k \sum_j KS_{jkl\mu} \hat{=} \text{mittlerer Kollektivschaden}$

wobei

$z = 828\ 000 \hat{=} \text{Zahl der Einzelergebnisse}$

$\Delta KS = \sqrt{\text{VAR}(KS)} \hat{=} \text{Mittlere Abweichung vom mittleren Kollektivschaden}$

wobei

$\text{VAR}(KS) = \overline{KS^2} - \overline{KS}^2 \hat{=} \text{mittlere quadratische Abweichung vom mittleren Kollektivschaden}$

Die Abweichungen entstehen aufgrund der unterschiedlichen Unfallfolgen für die einzelnen Kombinationen von Freisetzungskategorie, Wettersituation, Windrichtung und Standort.

- Neben den Häufigkeitsverteilungen werden als rechnerische Verknüpfungen die Erwartungswerte der somatischen Spätschäden ermittelt. Diese Erwartungswerte errechnen sich für die Kollektivschäden KS bei 25 Anlagen nach

$$\langle KS^{25} \rangle = \sum_{\mu} n_{\mu} \sum_l \sum_k \sum_j KS_{jkl\mu} \cdot f_{jkl\mu} \quad (2.8)$$

Der Erwartungswert $\langle KS^{25} \rangle$ wird auch als Kollektivrisiko bezeichnet. Er gibt den beim Betrieb von 25 Reaktorblöcken pro Jahr im Mittel auftretenden Kollektivschaden an.

- Die Beiträge der verschiedenen Krebsarten (KA) und Expositionspfade (EP) zu den somatischen Spätschäden (Kollektivschäden KS) werden für die einzelnen und die Summe der Freisetzungskategorien aufgeschlüsselt. Bei der Berechnung der Beiträge durch Aufsummierung der Einzelfälle werden dabei die Kollektivschäden mit der zugehörigen Eintrittshäufigkeit gewichtet. Es gilt:

$$Q_{KA,EP} = \frac{\sum_{\mu} \sum_l \sum_k \sum_j KS_{jkl\mu}^{KA,EP} \cdot f_{jkl\mu}}{\sum_{KA} \sum_{EP} \sum_{\mu} \sum_l \sum_k \sum_j KS_{jkl\mu}^{KA,EP} \cdot f_{jkl\mu}} \quad (2.9)$$

wobei

$Q_{KA,EP} \hat{=}$ Anteil der Krebsart KA und des Expositionspfadepades EP an den Kollektivschäden (Spätschäden)

$KS_{jkl\mu}^{KA,EP} \hat{=}$ Beitrag der Krebsart KA und des Expositionspfadepades EP zum Kollektivschaden des Einzelerignisses $KS_{jkl\mu}$

Insbesondere gilt für jede Freisetzungskategorie l nach Gleichung (2.2)

$$Q_{KA,EP}^l = \frac{\sum_{\mu} \sum_k \sum_j KS_{jkl\mu}^{KA,EP} \cdot P_{W,j,\mu} \cdot P_{D,k,\mu}}{\sum_{KA} \sum_{EP} \sum_{\mu} \sum_k \sum_j KS_{jkl\mu}^{KA,EP} \cdot P_{W,j,\mu} \cdot P_{D,k,\mu}} \quad (2.10)$$

Die o. g. Häufigkeitsverteilungen, ihre Kenngrößen, die Kollektiv- und Individualrisiken sowie die Beiträge der einzelnen Krebsarten und Expositionspfade an den somatischen Spätschäden können in den folgenden Abschnitten nicht in voller Ausführlichkeit für alle Problemkombinationen dargestellt werden. Sie werden entsprechend ihrer Aussagefähigkeit für spezielle Fragestellungen ausgewählt und miteinander verglichen.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, wurden die Unfallfolgenrechnungen mittels modifizierter Versionen des Rechenprogramms UFOMOD [7] durchgeführt. Insbesondere werden im vorliegenden Bericht die Ergebnisse mit folgenden Versionen dargestellt.

- Version V1

Unverändertes Rechenprogramm UFOMOD, jedoch mit konsequenter Implementierung der effektiven Schadensfaktoren nach [4] und Ergebnisdarstellung für zum Zeitpunkt des Unfalls lebende Personen (LG), nach dem Unfall Geborene (FG), sowie alle Generationen (AG).

- Version V2

Wie Version V1, jedoch unter Vernachlässigung der Kollektivschäden, die jenseits einer Entfernung von 540 km vom Kernkraftwerk auftreten.

- Version V3

Wie Version V1, jedoch unter Verwendung einer nicht-linearen Dosis-Risiko-Beziehung, die der stückweise linearen Funktion nach WASH 1400 [6] gleicht. Sie ist in Abschnitt 4. genauer beschrieben.

Zum besseren Vergleich der Ergebnisse sind in den Abbildungen und Tabellen häufig die Resultate der drei genannten Versionen gegenübergestellt.

3. Aufschlüsselung der somatischen Spätschäden

3.1. Beitrag der zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen und der danach Geborenen zum Schadensumfang.

Die somatischen Spätschäden, die aufgrund der Bestrahlung der Bevölkerung nach einer unfallbedingten Aktivitätsfreisetzung aus einer kerntechnischen Anlage auftreten können, manifestieren sich i.a. erst nach einer Latenzperiode von Jahren bis Jahrzehnten in dem bestrahlten Gewebe (Leukämie und Krebs) [1,3]. Aufgrund der Tatsache, daß bei der Freisetzung Radionuklide mit sehr unterschiedlichen Halbwertszeiten im Bereich von mehreren Stunden bis zu einigen Jahrzehnten emittiert werden, beschränkt sich die potentielle Bestrahlung der Bevölkerung nicht nur auf die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen, sondern kann sich über mehrere Jahrzehnte erstrecken und dabei auch bei den nach der Freisetzung geborenen Generationen somatische Schäden hervorrufen. Diese Tatsache ist insofern von Bedeutung, als der Verlust an gesunden Lebensjahren aufgrund des Ablebens durch strahlungsinduzierten Krebs für ein Individuum der Personengruppe, die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebt, im Mittel um etwa die Hälfte geringer ist als für Personen, die erst nach der Freisetzung geboren werden [8].

Die mathematischen Grundlagen zur Berechnung der somatischen Spätschäden in den o.g. Personengruppen sind für die relevanten Expositionspfade in [4] dargestellt. Mit Hilfe des dort entwickelten Konzepts der effektiven Schadensfaktoren werden die bei der Schadensberechnung auftretenden mehrfachen Zeitintegrale, die u.a. über die Lebenserwartungsverteilung der Bevölkerung, den differentiellen Dosisfaktor und den differentiellen Dosis-Risiko-Faktor auszuführen sind, vermieden und durch vorberechnete Zahlenwerte ersetzt. Dadurch reduziert sich die Berechnung des Schadens im wesentlichen auf eine Multiplikation von

- Aktivitätskonzentration und
- effektivem Schadensfaktor.

Die in [4] für die zum Zeitpunkt des Unfalls lebenden und die danach geborenen Personen berechneten effektiven Schadensfaktoren wurden getrennt in das Rechenprogramm UFOMOD [7] implementiert. Die Unfallfolgen lieferten als Ergebnis dementsprechend die somatischen Spätschäden, aufgeschlüsselt nach den o.g. Personengruppen.

In den Abb. 2a, b sind die komplementären Häufigkeitsverteilungen der Kollektivschäden für die zum Zeitpunkt des Unfalls lebenden Personen (LG) und die danach Geborenen (FG) nach den einzelnen Freisetzungskategorien aufgeschlüsselt dargestellt. Die charakteristischen Daten der errechneten somatischen Spätschäden enthalten die Tab. 2a - c.

Die numerische Verknüpfung von Schadensumfang und Eintrittshäufigkeit erfolgt durch Berechnung der Risiken. In Tab. 3 und Abb. 3 sind die Kollektivrisiken $\langle KS^{25} \rangle$ aufgrund des Betriebs von 25 Anlagen für die Personengruppen LG und FG aufgeschlüsselt nach den einzelnen Freisetzungskategorien dargestellt.

Gemittelt über alle Freisetzungskategorien beträgt der Anteil der Folgegenerationen am gesamten Kollektivrisiko etwa 11 %. Bei den einzelnen Freisetzungskategorien weicht der Anteil der FG um etwa 50 % von diesem Zahlenwert ab, er liegt zwischen 4,5 % (FK6) und 14 % (FK2, FK3). Der geringe Beitrag der Personengruppe der nach dem Unfall Geborenen (FG) zu den Spätschäden bei der FK5 und FK6 ist bedingt durch die Tatsache, daß bei diesen Freisetzungskategorien die Schadensfälle durch Schilddrüsenkrebs besonders hoch sind (siehe Abschnitt 3.2). Wegen der kurzen Halbwertszeit der Jod-Isotope werden die nach der Freisetzung geborenen Personen über den hierbei wirksamen Ingestionspfad nur gering belastet.

Bei den Freisetzungskategorien FK2 und FK3 liegt der Anteil der Personengruppe FG an den Spätschäden bei etwa 14 %. Dieser gegenüber den anderen Freisetzungen hohe Beitrag resultiert aus der überwiegenden Bestrahlung über den Expositionspfad "Langfristige externe Bestrahlung vom Boden EB (>7d)" (siehe Abschnitt 3.2). Die hierbei wirksamen Radionuklide (u.a. Cs, Aktiniden) besitzen lange Halbwertszeiten und sind somit über mehrere Generationen von Bedeutung.

3.2. Anteil der jenseits von 540 km auftretenden Krebsfälle

Zur Berechnung der Kollektivschäden wird die tatsächliche Wohnbevölkerung um die einzelnen Standorte in Kreisringsektoren mit einem festen Winkel von 10° zueinander bis zu einer Entfernung von 80 km erfaßt. Die Radien der Kreisringe liegen bei den Entfernungen

0.8 km, 1.2 km, 1.6 km, 2.4 km, 3.6 km, 5.4 km, 8.0 km
12 km, 16 km, 24 km, 36 km, 54 km, 80 km.

Darüber hinaus wird bis zu 540 km eine durchschnittliche Bevölkerung von 250 Einwohnern/km² (repräsentativ für Mitteleuropa) zugrunde gelegt. Liegen innerhalb dieses Bereichs größere Gewässer, wird die Bevölkerungsdichte entsprechend reduziert.

Bei der Entfernung 540 km enden die Ausbreitungs- und Ablagerungsrechnungen sowie alle Schutz- und Gegenmaßnahmen. Es wird vereinfachend angenommen, daß die über die 540 km-Grenze hinausgetragene Aktivität bis zur Entfernung 2 500 km niedergeschlagen wird; dementsprechend wird die innerhalb dieses Kreisrings um Mitteleuropa vorliegende mittlere Bevölkerungsdichte von 25 Einwohnern/km² zur Berechnung der Kollektivschäden zugrunde gelegt.

Um abzuschätzen, in welchem Umfang die aufgrund dieses sehr einfachen Modells berechneten Ergebnisse zu den Kollektivschäden beitragen, wurden die Unfallfolgenrechnungen mittels Version V2 (siehe Abschnitt 2) des Rechenprogramms UFOMOD durchgeführt. Die Ergebnisse für die charakteristischen Größen und die Kollektivrisiken somatischer Spätschäden im Entfernungsbereich bis 540 km sind in den Tab. 4a - b und Tab. 5, sowie in der Abb. 4 dargestellt.

Der Vergleich mit den Tab. 2a - c bzw. 3 zeigt, daß insgesamt die Kollektivschäden sowohl bzgl. der Maximal- als auch der Mittelwerte kleiner sind. Demgemäß liegt auch das Kollektivrisiko niedriger, und zwar um 22,8 % (von $9,03 \text{ a}^{-1}$ auf $6,98 \text{ a}^{-1}$). Der Beitrag der Personengruppe FG zu den Kollektivschäden ist sowohl insgesamt als auch bei den einzelnen Freisetzungskategorien etwa gleich geblieben und liegt bei 11 %. Allerdings liefern die Personenschäden jenseits

540 km bei den einzelnen Freisetzungskategorien unterschiedliche Beiträge zu den Kollektivschäden. In Tab. 6 sind die prozentualen Anteile der jenseits 540 km auftretenden Kollektivschäden eingetragen, Abb. 5 zeigt den entsprechenden Risikovergleich.

Der größte Anteil von Personenschäden jenseits von 540 km liegt bei der Freisetzungskategorie FK1 vor. Hier wird nahezu die Hälfte der Spätschäden außerhalb der Modellgrenze berechnet. Dies liegt zum einen an dem gegenüber den anderen Freisetzungskategorien höchsten Anteil des freigesetzten Aktivitätsinventars, sowie an der hohen thermischen Energie, mit der die Radionuklide aus dem Reaktor freigesetzt werden. Hierdurch wird die Aktivitätsfahne in große Höhen getragen und kann sich infolgedessen weitreichend ausbreiten.

Aber auch bei den anderen Freisetzungskategorien ergibt sich ein erheblicher Anteil der Kollektivschäden bei Entfernungen jenseits 540 km. Entsprechend den geringeren Aktivitätsfreisetzungen und thermischen Energien sinkt der Anteil von etwa 36 % beim FK2 auf 13 % beim FK4. Der Anstieg beim FK5 und FK6 auf 20 % bzw. 25 % erklärt sich aus den hohen thermischen Energiefreisetzungen bei diesen Freisetzungskategorien. Im Mittel werden etwa 23 % der Kollektivschäden jenseits von 540 km berechnet.

Dieser hohe Anteil von Spätschäden jenseits von 540 km ist hauptsächlich bedingt durch zwei Modelleigenschaften:

- die lineare Dosis-Risiko-Beziehung; darauf wird genauer in Abschnitt 4 eingegangen
- die Unstetigkeit im Schutz- und Gegenmaßnahmenmodell in 540 km Entfernung vom Unfallort.

Aufgrund der im 2. Punkt angesprochenen Vereinfachung erfolgt trotz Überschreitens der entsprechenden Dosiskriterien jenseits von 540 km keine Umsiedlung und kein Verwerfen landwirtschaftlicher Produkte. Dies wird anhand der Abb. 6a, b und Abb. 7a - d für die Freisetzungskategorien mit den höchsten Aktivitätsfrei-

setzungen verdeutlicht. Dort ist entfernungsabhängig der Erwartungswert der von den Schutz- und Gegenmaßnahmen betroffenen Flächen aufgetragen. Er wurde analog zu Gl. (2.3) berechnet:

$$\langle F(r) \rangle = A(r) \cdot \sum_j \sum_k \sum_l f_{jkl\mu} \cdot \frac{1}{36} \sum_{k'=1}^{36} F_{jk'l}(\phi_{k'}, r) \quad (3.1)$$

wobei $A(r)$ Fläche des Kreisrings am Aufpunkt r (siehe auch Abschnitt 3.3, Tab. 7)

$F_{jkl\mu}(\phi_k, r)$ Wahrscheinlichkeit, daß im Sektor mit den Koordinaten (ϕ_k, r) die entsprechende Schutz- und Gegenmaßnahme ergriffen wird

Die Abb. 6a zeigt den Erwartungswert, der von der Gegenmaßnahme "Umsiedlung" betroffenen Flächen. Hier ist deutlich zu erkennen, daß die Gebiete C innerhalb von 540 km Entfernung vom Unfallort liegen, bezüglich dieser Gegenmaßnahme die Rechengrenze also keine Unstetigkeit erzeugt.

In Abb. 6b wird der Erwartungswert für die zu dekontaminierenden Flächen (Gebiete D1) dargestellt. Bei den Freisetzungskategorien FK1 und FK2 ist aufgrund des "Abschneidens" bei 540 km zu erwarten, daß die Dosisgrenzwerte auch in größeren Entfernungsbereichen überschritten werden, die Rechengrenze die Gebiete D1 also in ihrer Ausdehnung beschränkt.

Die Abb. 7a - d zeigen den entfernungsabhängigen Verlauf des Erwartungswerts der Flächen, auf denen Einschränkungen von

- Milch im 1. Jahr
- anderen landwirtschaftlichen Produkten im 1. Jahr
- Milch in den Folgejahren
- anderen landwirtschaftlichen Produkten in den Folgejahren

erfolgen. Aufgrund der niedrigen Dosisgrenzwerte (siehe Abschnitt 2.1) sind diese Gegenmaßnahmen weitreichend und werden durch die Rechengrenze bei 540 km in erheblichem Maß in ihrer flächenhaften Ausdehnung beschränkt. Dies betrifft vor allem die Maßnahmen im 1. Jahr.

Aufgrund dieser Ergebnisse wird deutlich, daß die ähnlich wie in WASH 1400 gewählte Rechengrenze in bezug auf das Schutz- und Gegenmaßnahmenmodell inkonsistent ist und dadurch auch den hohen Anteil von Spätschäden jenseits von 540 km mitverursacht. Bei der Überarbeitung des Unfallfolgenmodells innerhalb der Phase B der Risikostudie sollte die Grenze der Ausbreitungs- und Ablagerungsrechnungen derart gewählt werden, daß in nahezu allen Unfallsituationen die Gebiete eingeschlossen sind, in denen aufgrund von Dosiskriterien Schutz- und Gegenmaßnahmen erfolgen müssen.

3.3 Zum entfernungsabhängigen Auftreten somatischer Spätschäden

Wie im vorangegangenen Abschnitt dargestellt, wird im Mittel etwa ein Viertel der Kollektivschäden in Entfernungsbereichen jenseits 540 km berechnet. Somatische Spätschäden treten also in großem Umfang weit entfernt vom Ort der Freisetzung auf. Im folgenden wird diese pauschale Aussage genauer untersucht.

Zusätzlich zu den Kollektivschäden wurden die entfernungsabhängigen Individualrisiken bis zu 540 km Abstand vom Ort der Freisetzung ermittelt (siehe Abschnitt 2.2). In den Abb. 8a, b sind die Ergebnisse nach Freisetzungskategorien aufgeschlüsselt dargestellt. Für die Personengruppe LG ergibt sich das schon aus [1,3] bekannte Verhalten: die Kurven verlaufen ab etwa 10 km umgekehrt proportional zur Entfernung parallel zueinander und verhalten sich in ihrer relativen Lage wie die Kollektivrisiken.

Im Gegensatz dazu zeigen die Individualrisiken für die Personengruppe FG einen deutlich anderen Verlauf. Bei den Freisetzungskategorien FK1 bis FK3 steigt das Individualrisiko mit zunehmender Entfernung vom Reaktor bis etwa 10 km an, durchläuft dann ein breites Maximum und fällt erst bei großen Entfernungen (>50 - 80 km) deutlich ab. Auch die anderen Freisetzungskategorien (außer FK8) zeigen bei kleinen Entfernungen einen deutlich flacheren Verlauf als im Fernbereich.

Die beschriebenen Kurvenverläufe der Abb. 8b erklären sich aus der Tatsache, daß die Berechnung der Individualrisiken auf den ortsabhängigen Aktivitätskonzentrationen und Gegenmaßnahmen basiert. Mit zunehmendem Abstand vom Ort der Freisetzung wird die Aktivitätskonzentration kleiner, mit ihr werden jedoch auch die an Dosisgrenzwerten orientierten Gegenmaßnahmen reduziert. Bei FK1 bis FK3 ist im Mittel die Abnahme der Gegenmaßnahmen wirkungsvoller als die Abnahme der Konzentrationen, so daß sich zunächst ein Anstieg der Individualrisiken ergibt. Aber auch bei den anderen Freisetzungskategorien wird durch die Gegenmaßnahmen Umsiedlung, Dekontamination sowie Verwerfen landwirtschaftlicher Produkte das Individualrisiko für nach der Freisetzung geborene Personen deutlich reduziert. Einzige Ausnahme ist die Freisetzungskategorie

FK8, bei der aufgrund der geringen Aktivitätskonzentrationen keine langfristig wirksamen Gegenmaßnahmen ergriffen werden, so daß der Kurvenverlauf dem der Abb. 7a gleicht.

Ein Vergleich der Summenkurven in Abb. 8a, b zeigt, daß das Individualrisiko für die Folgegenerationen FG im gesamten Entfernungsbereich im Mittel etwa 1 Zehnerpotenz kleiner ist als für die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen (LG). Dieser Zahlenwert entspricht dem Verhältnis bei den Kollektivrisiken (Tab. 3).

Die Berechnung entfernungsabhängiger Kollektivrisiken ist im Rechenprogramm UFOMOD nicht vorgesehen. Nach Gl. (2.3), (2.6) und (2.7) müßte sie nach der Vorschrift

$$\langle KS_1^{25}(r) \rangle = \sum_j \sum_k \sum_{\mu} n_{\mu} f_{jkl\mu} \int_0^{2\pi} S_{jkl}(\phi - \phi_0, r) \cdot p_{\mu}(\phi, r) d\phi \quad (3.2)$$

erfolgen. Die Implementierung dieser Gleichung hätte eine umfangreiche Umstrukturierung des Rechenprogramms erfordert. Darum wurde zur Abschätzung der entfernungsabhängigen Kollektivrisiken folgende Näherungsformel herangezogen:

$$\langle KS_1^{25}(r) \rangle = 25 \cdot f_{A_1} \cdot \bar{p}(r) \cdot \langle S_1(r) \rangle \quad (3.3)$$

mit

$$\bar{p}(r) = \frac{1}{19} \sum_{\mu=1}^{19} \int_0^{2\pi} p_{\mu}(\phi, r) d\phi \quad (3.4)$$

Die Berechnung der Kollektivrisiken durch Aufsummierung der Beiträge der einzelnen Unfallsituationen wird also ersetzt durch Multiplikation der über 19 Standorte gemittelten entfernungsabhängigen Bevölkerungsverteilung nach Gl. (3.4) mit dem mittleren entfernungsabhängigen Individualrisiko. Die Werte für $\bar{p}(r)$ sind in Tab. 7 dargestellt.

Die nach Gl. (3.3) berechneten entfernungsabhängigen Kollektivrisiken sind in Abb. 9 exemplarisch für die Freisetzungskategorien FK1, FK2 und FK7, sowie für die Summe aller Freisetzungskategorien wiedergegeben. Daraus geht sehr deutlich hervor, daß das Kollektivrisiko proportional mit der Entfernung vom Standort des Kernkraftwerks ansteigt. Dies ist trivialerweise darauf zurückzuführen, daß die entfernungsabhängigen Individualrisiken proportional $1/r$

verlaufen, die Bevölkerungszahl jedoch mit dem Quadrat des Abstandes r ansteigt. In Abb. 10 ist das relative kumulierte entfernungsabhängige Kollektivrisiko aufgetragen. Es wurde berechnet nach

$$\langle KS_R^{25}(r) \rangle = \frac{\int_0^r \langle KS^{25}(r') \rangle dr'}{\int_0^\infty \langle KS^{25}(r') \rangle dr'} \quad (3.5)$$

Bei jeder Entfernung r kann also abgelesen werden, wieviel Prozent des gesamten Kollektivschadens in dem davor liegenden Entfernungsbereich auftreten. Gemittelt über alle Freisetzungskategorien berechnen sich danach bis etwa 170 km Entfernung vom Ort der Freisetzung nur ein Viertel der Kollektivschäden. Bei der FK1 wird dieser Prozentsatz erst bei etwa 230 km erreicht. Durchschnittlich werden mit den Rechenmodellen 50 % der somatischen Spätschäden erst jenseits von etwa 300 km berechnet, also im Mittel außerhalb der Grenzen der Bundesrepublik Deutschland. Dadurch wird wiederum die Bedeutung sichtbar, die den Rechenmodellen zur Ermittlung der Kollektivschäden in großen Entfernungsbereichen zukommt. Dies betrifft - wie schon im letzten Abschnitt deutlich wurde - den Bereich jenseits von 540 km, als auch die Modelle der Ausbreitungs- und Ablagerungsvorgänge sowie Schutz- und Gegenmaßnahmenmodelle. Schließlich ist die zugrundeliegende Dosis-Risiko-Beziehung von wesentlicher Bedeutung für den Umfang der Kollektivschäden in größeren Entfernungen. Hierauf wird in Abschnitt 4 ausführlich eingegangen.

Die Anwendbarkeit der Näherungsformel Gl. (3.3) für die Abschätzung des entfernungsabhängigen Kollektivrisikos wird durch einen numerischen Vergleich mit dem in Abschnitt 3.2 angegebenen Kollektivrisiko verifiziert. Aus Gl. (3.3) folgt für das Kollektivrisiko näherungsweise

$$\langle \tilde{KS}_1^{25} \rangle = \int_0^{540 \text{ km}} \langle KS_1^{25}(r) \rangle dr$$

In der folgenden Tabelle sind die Zahlenwerte $\langle \tilde{KS}^{25} \rangle$ für die Freisetzungskategorien FK1, FK2, FK6, FK7 und die Summe aller Freisetzungskategorien mit den Zahlenwerten aus Tab. 5 verglichen.

	$\langle \tilde{K}_S^{25} \rangle$	$\langle K_S^{25} \rangle$
FK1	1.07 a ⁻¹	1.11 a ⁻¹
FK2	0.17 a ⁻¹	0.17 a ⁻¹
FK6	0.53 a ⁻¹	0.55 a ⁻¹
FK7	4.64 a ⁻¹	4.79 a ⁻¹
alle FK	6.77 a ⁻¹	6.98 a ⁻¹

Die Gegenüberstellung bestätigt die Anwendbarkeit von Gl. (3.3) in guter Näherung.

3.4 Relative Anteile der Expositionspfade und Krebsarten

Eine detaillierte Übersicht über die Beiträge der verschiedenen Krebsarten und Expositionspfade zu den Kollektivschäden geben die in den Tabellen 8a - h (LG), 9a - h (FG) und 10 a - h (AG) zusammengestellten Zahlenwerte. Das Berechnungsverfahren ist in Abschnitt 2.2 beschrieben. In den Abb. 11 und 12 sowie in den Abb. 13a - h sind die Ergebnisse graphisch dargestellt. Im folgenden werden nur die mit den Versionen V1 und V2 des Rechenprogramms UFOMOD (siehe Abschnitt 2.2) ermittelten Resultate für die einzelnen und die Summe aller Freisetzungskategorien diskutiert.

Spätschäden resultieren aus der Strahlenbelastung über die in Abschnitt 2.1 beschriebenen Expositionspfade. Aufgrund des Durchzugs der Abluftfahne ist der Expositionspfad EF für die Spätschäden von untergeordneter Bedeutung. Er ist für die Folgegenerationen FG unwirksam und liegt für die zur Zeit der Freisetzung lebenden Personen (LG) bei im Mittel 0,11 % (V1). Der maximale Beitrag liegt bei der Freisetzungskategorie 4 mit 0,65 % noch immer sehr niedrig. Bei allen anderen Expositionspfaden erfolgt eine längerandauernde Bestrahlung der einzelnen Organe, sodaß sich höhere Beiträge zu den Spätschäden ergeben.

Während des Durchzugs der Abluft werden aufgrund der Inhalation mit der Atemluft Radionuklide inkorporiert. Dementsprechend wird der Anteil des Expositionspfades IH an den Spätschäden abhängen von der aus dem Reaktor freigesetzten Aktivitätsmenge: je größer die Nuklidkonzentration in der Wolke, um so größer ist die während der Inhalationsdauer inkorporierte Aktivität. Abb. 14 zeigt die bei den einzelnen Freisetzungskategorien aus dem Reaktor freigesetzten Aktivitätsmengen. Der Vergleich mit Abb. 12 bestätigt obige Überlegung. Der Anteil der Inhalation an den Spätschäden (LG) sinkt von FK1 bis FK7 von 12 % auf 0,9 % und liegt im Mittel bei 4,6 % (V1). Der bei der Freisetzungskategorie FK6 gegenüber FK5 etwas höhere Anteil ist bedingt durch den starken Rückgang der Bodenstrahlung aufgrund der geringen Freisetzung von Cs bei der Freisetzungskategorie FK6, der jedoch gleichen Freisetzung der Radionuklide Xe-Kr und J-Br. Wie aus den Tabellen 8a - g (V1) hervorgeht, dominiert - außer bei FK1 - beim Expositions-

pfad Inhalation der Schilddrüsenkrebs als Todesursache. Dies weist auf die große Bedeutung der freigesetzten Jodisotope hin.

Die auf der Bodenoberfläche abgelagerten Radionuklide bedingen eine externe Bestrahlung der sich in den betreffenden Gebieten befindlichen Personen. Die Unterscheidung von kurz- und längerfristiger Bestrahlung (EB (0-7d) und EB (\geq 7d)) ist bedingt durch die im Zusammenhang mit der Berechnung der Frühschäden zu berücksichtigenden Schutz- und Gegenmaßnahmen, die sich u.a. an der innerhalb von 7d akkumulierten Knochenmarksdosis durch EB orientieren. Sie ist für die Berechnung der Spätschäden ohne besondere Bedeutung und nur aus Gründen der Vollständigkeit mit aufgeführt.

Die externe Bestrahlung vom Boden verursacht Spätschäden sowohl bei den zur Zeit der Freisetzung lebenden Personen (LG) als auch den danach Geborenen (FG). Entsprechend dem hohen Anteil der Bodenstrahler Co, Ru und Cs an den Aktivitätsfreisetzungen der FK1 und FK2, dominiert der Expositionspfad EB bei der FK2; bei der Freisetzungskategorie FK1 wird wegen des weitreichenden Aktivitätstransports über große Entfernungen (jenseits 540 km) und der einfachen Modellierung in diesen Entfernungsbereichen die Ingestion überschätzt, da dort Schutz- und Gegenmaßnahmen unberücksichtigt bleiben. Bei Entfernungen kleiner als 540 km dominiert bei den Freisetzungskategorien FK1 - FK3 der Expositionspfad EB (siehe V2). Nach Abb. 14 nimmt die freigesetzte Aktivität der Radionuklide Co, Ru und Cs im Vergleich zu J-Br von FK1 bis FK6 ab; dementsprechend reduziert sich auch der Beitrag des Expositionspfades EB; dies ist besonders deutlich bei der Personengruppe FG, für die nur die Expositionspfade EB und IG von Bedeutung sind. Bei der Freisetzungskategorie FK7 steigt der Anteil der Cs-Rb Radionuklide im Vergleich zu den Jodisotopen deutlich an; dementsprechend wächst bei FK7 der Einfluß des Expositionspfades EB.

Über die Nahrungsmittelaufnahme, also den Expositionspfad Ingestion IG, erfolgt eine langfristige interne Bestrahlung des menschlichen Körpers, deren zeitlicher Verlauf durch den radioaktiven Zerfall und den Metabolismus bestimmt ist. In dem Maß, in dem die Bodenstrahlung an Bedeutung verliert, wächst der Anteil des Ingestionspfades an der Zahl der Spätschäden. Die Ursache hierfür ist im Schutz- und Gegenmaßnahmenmodell zu suchen. Mit abnehmender Bodenstrahlung werden

weniger Personen umgesiedelt, da das Umsiedlungskriterium $D_{EB}^{KM} \geq 250$ rad in 30a nicht mehr erfüllt ist. Bei den Freisetzungskategorien FK1 bis FK3 werden die Verwerfkriterien für landwirtschaftliche Produkte bei den meisten Unfallsituationen bis hin zu großen Entfernungen (bei FK1 bis zur Rechengrenze von 540 km) überschritten (s. Abb. 7a - d). Infolgedessen entfällt bei diesen Freisetzungskategorien in den meisten Fällen die interne Bestrahlung über den Ingestionspfad. Die Ergebnisse in den Tabellen 8 - 10 (V2) und Abb. 13a - c (V2) bestätigen diese Aussage: Bei den Freisetzungskategorien FK1 bis FK3 ist im Entfernungsbereich bis 540 km der Anteil der Kollektivschäden infolge Ingestion gering. Aufgrund der fehlenden Gegenmaßnahme "Verwerfen landwirtschaftlicher Produkte" werden jedoch jenseits von 540 km in ganz erheblichem Umfang Spätschäden vor allem über den Expositionspfad IG berechnet. Infolgedessen treten bei Version V1 für die Freisetzungskategorien FK1 bis FK3 derart hohe Beiträge infolge Ingestion auf. Diese hohen Beiträge resultieren - vor allem bei FK1 und FK2 - aus den fehlenden Gegenmaßnahmen jenseits 540 km.

Die Freisetzungskategorien FK4 bis FK7 zeigen bei beiden Versionen V1 und V2 gute Übereinstimmung der Anteile von EB und IG an den Kollektivschäden. Der Beitrag der Ingestion ist allerdings bei V2 immer etwas geringer, da - wie schon in Abschnitt 3.2 dargestellt - ein gewisser Anteil der Spätschäden aus den Entfernungsbereichen jenseits 540 km resultiert, in denen vor allem der Ingestionspfad von Bedeutung ist.

Die dominierende Rolle der Ingestion bei den Freisetzungskategorien FK4 - FK7 erklärt sich wiederum aus den an Dosisgrenzwerten orientierten Kriterien bezüglich des Verwerfens landwirtschaftlicher Produkte. In dem Maß, in dem diese Gegenmaßnahmen wegen Unterschreitens der Dosisgrenzwerte unterbleiben, wächst die Zahl der Personen, die Nahrungsmittel mit geringer Kontamination verzehren. Da sich die Grenzen der Gebiete, in denen landwirtschaftliche Produkte verworfen werden, mit abnehmenden Aktivitätsfreisetzungen von großen Entfernungen (540 km) zu kleineren Entfernungen hin bewegen, werden zunächst sehr viele Personen infolge der fehlenden Gegenmaßnahmen betroffen. Daraus erklärt sich der steile Anstieg des Beitrags der Ingestion von FK2 nach FK3 und vor allem von FK3 nach FK4. Bei weiterer Reduktion der von den Gegenmaßnahmen betroffenen Flächen werden im Vergleich hierzu nur noch wenige Personen erfaßt (siehe auch Tab. 7), so daß sich die Ver-

hältnisse bei den Freisetzungskategorien FK5 und FK6 ähneln (siehe Abb. 13e,f,g).

Die Freisetzungskategorie FK7 ist gekennzeichnet durch eine im Vergleich zu den Jodisotopen hohe Aktivitätsfreisetzung von Cs-Rb-Isotopen (siehe Abb. 14). Infolgedessen sinkt hier der Anteil des Ingestionspfades und der Beitrag der externen Strahlung vom Boden nimmt gegenüber FK5 und FK6 zu.

Wegen der Unstetigkeitsstelle bei 540 km und den damit verbundenen oben beschriebenen Besonderheiten der mit diesen Rechenmodellen erzielten Ergebnisse verschieben sich im Entfernungsbereich bis 540 km (V2) vor allem bei den Freisetzungskategorien FK1 bis FK3 auch die Beiträge der anderen Expositionspfade zu den Kollektivschäden. Insbesondere erhöht sich deutlich der Anteil der Inhalation von Aktivität aus der Abluftfahne (IH) und von am Boden abgelagerten und in die Atemluft resuspendierten Radionukliden (IHr).

Entsprechend der Belastung über die verschiedenen Expositionspfade verschiebt sich auch der Beitrag der einzelnen Organe an den Krebsfällen. Ein hoher Anteil der Inhalation (FK1, FK2) bedingt eine große Zahl von Lungenkrebsfällen (vgl. Abb. 11a,11b, V1 und V2). Ein Anwachsen der Ingestion verursacht - vor allem bei den zur Zeit der Freisetzung lebenden Personen (LG) - eine starke Zunahme des Anteils der Schilddrüsenkrebsfälle an den Kollektivschäden (vgl. Abb. 13d,e,f,V1 und V2, sowie Abb. 12a). Diese Aussage bezieht sich auf jene Freisetzungen, bei denen der Anteil der Jodisotope groß ist im Vergleich zu den anderen Radionukliden (FK4 - FK6).

Bei den nach der Freisetzung geborenen Personen (FG) sind die Jodisotope wegen ihrer kurzen Halbwertszeit von geringerer Bedeutung. Infolgedessen ist der Schilddrüsenkrebs trotz großer Beiträge von seiten des Ingestionspfades mit wesentlich geringeren Anteilen an den Kollektivschäden beteiligt (siehe Abb. 12b). Hier ist vor allem die Leukämie (Knochenmarkskrebs) von Bedeutung, was auch auf den hohen Beitrag der externen Bodenstrahlung zurückzuführen ist.

3.5. Anteil der Krebsfälle durch Strahlendosen unterhalb der Grenzwerte der deutschen Strahlenschutzverordnung

Nach der deutschen Strahlenschutzverordnung [5] sind für beruflich strahlenexponierte Personen die jährlichen Strahlendosen durch Grenzwerte D_{GR} limitiert (§ 49). Nach § 23 (3) ist bei der Planung eines Kernkraftwerks davon auszugehen, daß im ungünstigsten Störfall in der Umgebung der Anlage die selben Dosisgrenzwerte D_{GR} (außer SD) nicht überschritten werden. Nach den in Tab. 11 angegebenen Zahlenwerten beträgt z.B. für den Ganzkörper die Grenzdosis $D_{GR}(GK) = 5 \text{ rem}$. Eine Dosis in dieser Größe wird den in Mitteleuropa lebenden Personen durchschnittlich infolge der natürlichen Strahlenexposition während ihrer Lebensdauer appliziert.

Zur Beurteilung der bei den einzelnen Freisetzungen auftretenden stochastischen somatischen Schäden in bezug auf die o.g. Grenzwerte wurden mit den Versionen V1 und V2 des Rechenprogramms UFOMOD die Zahl der Krebsfälle berechnet, die aufgrund von Strahlendosen unterhalb D_{GR} auftreten. Die Ergebnisse sind organspezifisch in der Tab. 11 und Abb. 15 dargestellt.

Strahlendosen größer als D_{GR} treten in nennenswertem Umfang nur bei den Freisetzungskategorien FK1 bis FK3 auf. Bei allen anderen Freisetzungskategorien und insbesondere bei FK7 mit dem größten Beitrag zum Kollektivrisiko werden die Kollektivschäden zu mehr als 95 % durch Organdosen unterhalb der zugehörigen Grenzwerte erzeugt. Die starken Unterschiede der prozentualen Anteile für Entfernungen $\leq 540 \text{ km}$ und für alle Entfernungen bei den Freisetzungskategorien FK1 bis FK3 deuten darauf hin, daß die Kollektivschäden jenseits 540 km hauptsächlich aufgrund von Strahlendosen unterhalb der Grenzwerte D_{GR} berechnet werden.

In Verbindung mit den Ergebnissen der vorangegangenen Abschnitte zeigen diese Rechenergebnisse, daß die Kollektivschäden vor allem infolge der in großen Entfernungsbereichen einer großen Anzahl von Personen applizierten kleinen Strahlendosis berechnet werden.

Das Organ mit der im Mittel höchsten Strahlenbelastung ist die Schilddrüse. Bei den Freisetzungskategorien FK1 und FK2 werden im Entfernungsbereich bis 540 km etwa 60 % der Schilddrüsenkrebsfälle durch Strahlendosen ≥ 30 rem erzeugt. Bei der FK3 sind es noch 25 %. Ähnlich belastet wird das Organ Lunge; bei der Freisetzungskategorie FK1 und FK2 werden 85 % bzw. 37,5 % der Fälle von Lungenkrebs aufgrund von Strahlendosen ≥ 15 rem berechnet (V2).

4. Berechnung der somatischen Spätschäden unter Zugrundelegung einer nichtlinearen Dosis-Risiko-Beziehung

Die vorangegangenen Abschnitte haben deutlich gezeigt, daß der überwiegende Anteil der somatischen Spätschäden aufgrund von kleinen Strahlendosen berechnet wird, die einer großen Bevölkerungszahl weit entfernt vom Ort der Freisetzung appliziert werden. Da im Rechenprogramm UFOMOD die Dosen nicht explizit ausgewiesen werden, soll eine Abschätzung der mittleren entfernungsabhängigen Individualdosis nochmals dieses Ergebnis veranschaulichen.

Im Abschnitt 3.3 wurde das entfernungsabhängige Auftreten somatischer Spätschäden diskutiert. Insbesondere wurden in den Abb. 9a,b die entfernungsabhängigen Individualrisiken $\langle S_1(r) \rangle$ für die einzelnen Freisetzungskategorien 1 dargestellt. Aus ihnen kann eine mittlere entfernungsabhängige Individualdosis $\langle D_1(r) \rangle$ abgeschätzt werden nach

$$\langle D_1(r) \rangle = \frac{\langle S_1(r) \rangle}{a \cdot f_1} \quad (4.1)$$

wobei

a Dosis-Risikofaktor für die Summe aller Organe

$$a = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ Fälle/rem (Gl. 2.1)}$$

f_1 Eintrittshäufigkeit der Freisetzungskategorie 1

Die derart berechneten Individualdosen sind in den Abb. 16a,b für alle Generationen (AG) und die nach dem Unfall Geborenen (FG) dargestellt. Auf der rechten Ordinatenkala sind die bedingten Individualdosen $\langle D_1^{\text{bed}}(r) \rangle$ aufgetragen für den Fall, daß sich das Individuum unter der Aktivitätsfahne befindet. Nimmt man an, daß sich die Abluftfahne mit einem Öffnungswinkel von $\alpha = 36^\circ$ ausbreitet, so gilt vereinfacht

$$\langle D_1^{\text{bed}}(r) \rangle = 10 \cdot \langle D_1(r) \rangle \quad (4.2)$$

Bei größeren oder kleineren Öffnungswinkeln reduziert sich bzw. wächst die bedingte Individualdosis proportional zu $360^\circ/\alpha$. Aus den Abbildungen ist zu entnehmen, daß nur bei den Freisetzungskategorien FK1 und FK2 auch bei großen Entfernungen (>100 km) Strahlendosen > 10 rem unter der Abluftfahne auftreten. Bei allen anderen Freisetzungskategorien sind solche Strahlendosen nur bis einige 10 km Entfernung zu erwarten. Vor allem die Freisetzungskategorie FK7, die den höchsten Beitrag zum Kollektivrisiko liefert (siehe Tab. 3 bzw. 5) weist nur im Nahbereich bis zu 15 km bedingte Individualdosen > 10 rem auf. Bei allen Freisetzungskategorien (außer FK1 und FK2) sind jenseits von 100 km Entfernung die bedingten Individualdosen deutlich kleiner als 5 rem. Der Personengruppe der nach dem Unfall Geborenen (FG) werden im Mittel in keinem Entfernungsbereich und bei keiner Freisetzungskategorie bedingte Individualdosen > 5 rem (Abb. 16b) appliziert.

Die Erfahrungen über das Strahlenkrebsrisiko beim Menschen basieren bis auf wenige Ausnahmen auf Beobachtungen im Bereich hoher Dosen (> 100 rem bei locker ionisierenden Strahlen). Für eine Abschätzung des Strahlenkrebsrisikos bei niedrigen Dosen, insbesondere unterhalb 10 rem, ist daher eine Extrapolation von dem beobachteten Risikowert aus notwendig [3].

In der DRS wird zur Berechnung der stochastischen somatischen Schäden eine rein proportionale Dosis-Risiko-Beziehung angenommen (siehe Abschnitt 2.1), d.h. jeder auch noch so kleinen Dosis ist eine endliche Schadenseintrittswahrscheinlichkeit bei linearer Abhängigkeit zugeordnet. Allerdings weist die ICRP 26 darauf hin, daß diese rein lineare Extrapolation eher zu einer Überschätzung des Strahlenkrebsrisikos führt. Auch in neueren Veröffentlichungen wird die Berechtigung einer linearen Dosis-Risiko-Beziehung in Frage gestellt und z.B. in [9] die Einführung einer Schwellendosis nahegelegt, unterhalb der keine gesundheitlichen Gefahren für bestrahlte Personen resultieren. Auch in WASH 1400 wurde eine linear-quadratische Dosis-Risiko-Beziehung zur Berechnung der Spätschäden angenähert und durch die in Abb. 17 dargestellte stückweise lineare Funktion realisiert, die bei kleinen Strahlendosen und Dosisraten die Schadenseintrittswahrscheinlichkeit deutlich reduziert.

Um den Einfluß einer nicht-linearen Dosis-Risiko-Beziehung auf die Rechenergebnisse für Kollektivschäden abzuschätzen, wurde mangels neuerer Empfehlungen bzgl. quantifizierter nichtlinearer Kurvenverläufe die in Abb. 17 dargestellte Funktion vereinfacht und zur Schadensberechnung herangezogen. Es gilt für die Schadenseintrittswahrscheinlichkeit s die Beziehung

$$s(D,OR) = a(OR) \cdot b(D) \cdot D(OR) \quad (4.3)$$

mit

$$b(D) = \begin{cases} 0.2 & D < 10 \text{ rem} \\ 0.4 & 10 \text{ rem} \leq D < 25 \text{ rem} \\ 1.0 & D \geq 25 \text{ rem} \end{cases}$$

und $a(OR)$ Dosis-Risiko-Faktor
für das Organ OR
(siehe Gl. 2.1)

Bei Strahlendosen unterhalb 10 rem wird also eine lineare, aber um den Faktor 5 reduzierte, Dosis-Risiko-Beziehung angenommen.

Die Unfallfolgenrechnungen wurden mit der Version V3 des Rechenprogramms UFOMOD durchgeführt (siehe Abschnitt 2.2). Die Ergebnisse sind in der üblichen Weise aufgeschlüsselt nach den Personengruppen LG, FG und AG dargestellt. Die Abb. 18a,b zeigen die komplementären Häufigkeitsverteilungen der Kollektivschäden für die einzelnen und die Summe der Freisetzungskategorien, in Tab. 12a - c sind die Zahlenwerte der zugehörigen charakteristischen Größen wiedergegeben und Tab. 13 zeigt die ermittelten Kollektivrisiken aufgrund des Betriebs von 25 Kernkraftwerken.

Die genannten Ergebnisse sind nun zu vergleichen mit den bei linearer Dosis-Risiko-Beziehung berechneten Kollektivschäden (Version V1), die in den Tab. 2a - c und Tab. 3, sowie in Abb. 2a,b dargestellt sind. Diese Gegenüberstellung ist in Abb. 19 und Tab. 14 quantitativ durchgeführt. Bei allen Freisetzungskategorien werden erheblich weniger Kollektivschäden ermittelt. Bei den zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen (LG) liegen die Reduktionsfaktoren für die Kollektivrisiken zwischen den Zahlenwer-

ten 2,47 (FK1) und 5,0 (FK8). Dies entspricht dem Verlauf der mittleren entfernungsabhängigen Individualdosen (Abb. 16a). Bei den Freisetzungskategorien FK1 und FK2 treten noch in großen Entfernungen hohe Dosen (> 25 rem) auf, sodaß die Nichtlinearität in der Dosis-Risiko-Beziehung (4.3) nur beschränkt wirksam ist. Mit abnehmender Aktivitätsfreisetzung von FK3 bis FK8 nimmt der Entfernungsbereich hoher Dosen deutlich ab, sodaß in immer größerem Umfang einer großen Personenzahl Dosen < 10 rem appliziert werden; infolgedessen nähert sich der Reduktionsfaktor immer stärker dem maximal möglichen Zahlenwert von $1/b = 5$ (siehe G. (4.3)).

Die nach der Freisetzung Geborenen (FG) erhalten nach Abb. 16b keine Dosen > 10 rem. Infolgedessen nimmt der Reduktionsfaktor der Kollektivrisiken bei allen Freisetzungskategorien den Zahlenwert 5 an (Tab. 14). Dadurch sinkt der Beitrag der Personengruppe FG zum gesamten Kollektivrisiko von 11 % (Tab. 3) auf 8,6 % (Tab. 13).

Im Mittel über alle Freisetzungskategorien und für alle Generationen (AG) werden die Kollektivrisiken bei der angewandten nichtlinearen Dosis-Risiko-Beziehung um etwa den Faktor 4 reduziert, d.h. das Kollektivrisiko beträgt $2,3 a^{-1}$ anstatt $9,0 a^{-1}$.

Eine direkte Folge der nichtlinearen Dosis-Risiko-Beziehung ist die Abnahme des Individualrisikos zu großen Entfernungen hin (Abb. 20a,b im Vergleich zu Abb. 9a,b). Außer bei FK1 und FK2 liegen die Zahlenwerte bei der Personengruppe LG im Entfernungsbereich um 540 km um den Faktor 5 unterhalb den Ergebnissen mit Version V1. Für die nach der Freisetzung Geborenen (FG) liegen die Individualrisiken entsprechend obigen Ergebnissen im gesamten Entfernungsbereich um den Faktor 5 niedriger als bei linearer Dosis-Risiko-Beziehung.

Zugleich wird in Abb. 20a,b jedoch deutlich, daß auch eine stückweise lineare Dosis-Risiko-Beziehung, die im Bereich kleiner Dosen ebenfalls wieder Proportionalität zur - allerdings reduzierten - Schadenseintrittswahrscheinlichkeit bis hin zu kleinsten Dosen voraussetzt, die in Abschnitt 3.3 aufgezeigte Problematik nicht lösen

kann. Auch mit dieser Funktion verläuft das Individualrisiko bei größeren Entfernungen etwa proportional $1/r$, das Kollektivrisiko wächst also ungefähr proportional zu r an. In Abb. 21 ist dieses Ergebnis nochmals verdeutlicht. Es zeigt die nach Gl. (3.2) berechneten entfernungsabhängigen Kollektivrisiken auf der Grundlage der Ergebnisse mit den UFOMOD-Versionen V1 und V3. Zu Vergleichszwecken ist das entfernungsabhängige Kollektivrisiko aufgrund der natürlichen Strahlenbelastung von 100 mrem/a mit eingetragen ($\sim r^2$). Aufgrund der Modelleigenschaft linearer Dosis-Risiko-Beziehungen werden rein rechnerisch bei Fortführung der Ausbreitungsrechnungen auf Gebiete jenseits 540 km zunehmend mehr Kollektivschäden ermittelt. Nur die Modelländerung bei 540 km (Ende der Ausbreitungsvorgänge sowie der Schutz- und Gegenmaßnahmen) und die vereinfachte Annahme des Niederschlags der Restaktivität in einem Kreisring bis 2 500 km Entfernung (Bevölkerungsdichte von 25 Einw./km²) begrenzte die Anzahl der Kollektivschäden auf die in der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke [1,3] und in diesem Bericht angegebenen Zahlenwerte. Realistische Ergebnisse für große Entfernungen sind erst zu erwarten, wenn bei Fortführung der Ausbreitungsrechnungen über größere Entfernungen die Schadensberechnungen auf der Grundlage von Dosis-Risiko-Beziehungen mit Schwellwert durchgeführt werden.

Die aufgrund der nichtlinearen Dosis-Risiko-Beziehung reduzierte Wirkung kleiner Strahlendosen verändert direkt den Beitrag der verschiedenen Expositionspfade und Organe zu den Kollektivschäden. In den Tab. 8a-h, 9a-h und 10a-h sowie in den Abb. 11, 12 und 13a - h sind die mittels Version V3 des Rechenprogramms UFOMOD ermittelten prozentualen Beiträge zum Vergleich mit den Ergebnissen bei linearer Dosis-Risiko-Beziehung mit aufgeführt.

Zunächst ist festzustellen, daß die verwendete nichtlineare Dosis-Risiko-Beziehung nur die prozentualen Beiträge der einzelnen Organe und Expositionspfade bei der Gruppe der zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen (LG) verändert. Die den nach dem Unfall Geborenen (FG) applizierten Dosen liegen immer unterhalb 10 rem, sodaß - wie auch nach Tab. 14 zu erwarten - alle Einzelbeträge um den Faktor $b = 1/5$ reduziert und in ihrem Verhältnis zueinander folglich nicht verändert werden.

Bei den Freisetzungskategorien mit vergleichsweise geringen Aktivitätsfreisetzungen (FK5 - FK8) ändern sich die Beiträge nach Version V3 gegenüber Version V1 nur wenig. Die leichte Zunahme des Expositionspfades IH bei gleichzeitigem Anstieg der Schilddrüsenkrebsfälle deutet darauf hin, daß die Inhalation der maßgeblichen Jod-Isotope zu höheren Dosen führt als dies über den Ingestionspfad der Fall ist.

Bei den Freisetzungskategorien FK1 bis FK4 erhöht sich sehr deutlich der Beitrag der Inhalation gegenüber Version V1 und reduziert den starken Einfluß des Ingestionspfades, der - wie schon in Abschnitt 3.4 erwähnt - vor allem aus den einer großen Personenzahl applizierten kleinen Strahlendosen resultiert. Infolge der nicht-linearen Dosis-Risiko-Beziehung werden diese kleinsten Dosen in ihrer Wirksamkeit reduziert, sodaß die aufgrund der Inhalation einer kleineren Personenzahl applizierten hohen Strahlendosen an Bedeutung zunehmen. Bei den Freisetzungskategorien FK2 bis FK4 erhöht sich folglich der Beitrag der Schilddrüsen- und Lungenkrebsfälle zu Ungunsten von stochastischen somatischen Schäden in Knochenmark, Brust und Restkörper. Bei FK1 ist vor allem die Zunahme von Lungenkrebs bemerkenswert, was auf das hohe Aktivitätsinventar der Abluftfahne zurückzuführen ist. Dieses Ergebnis ist konsistent mit den in Abschnitt 3.5 dargestellten Resultaten, wonach bei der Freisetzungskategorie FK1 etwa 63 % der Fälle von Lungenkrebs durch Strahlendosen ≥ 15 rem erzeugt werden, aber nur etwa 14 % der Schilddrüsenkrebsfälle durch Dosen ≥ 30 rem. Bei FK2 und FK3 dagegen werden nur etwa 38 % bzw. 13 % der Fälle von Lungenkrebs, aber etwa 25 % bzw. 13 % der Schilddrüsenkrebsfälle durch Strahlendosen oberhalb der genannten Zahlenwerte verursacht (s. Abb. 15).

Bei Anwendung nichtlinearer Dosis-Risiko-Beziehungen ist folglich zu erwarten, daß die Bedeutung des Expositionspfades Inhalation ansteigt und infolgedessen der prozentuale Anteil der Lungenkrebsfälle zunimmt. Aufgrund der mit der Inhalation inkorporierten Jod-Isotope wird eine deutliche Änderung des relativen Beitrags der Schilddrüsenkrebsfälle nicht erfolgen, obwohl der Expositionspfad Ingestion an Einfluß verliert.

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Im Unfallfolgenmodell der deutschen Risikostudie (Phase A) wird unter Berücksichtigung von Schutz- und Gegenmaßnahmen die Anzahl der aufgrund von Aktivitätsfreisetzungen nach Reaktorunfällen zu erwartenden stochastischen somatischen Schäden berechnet. Als Schutz- und Gegenmaßnahmen sind bezüglich dieser Spätschäden vor allem wirksam

- Umsiedlung der Bevölkerung
- Dekontamination
- Verwerfen landwirtschaftlicher Produkte.

Die Modelle der ortsabhängigen Ausbreitung und Ablagerung freigesetzter Radionuklide, der Schutz- und Gegenmaßnahmen sowie der standortspezifischen Bevölkerungsverteilung enden bei der Entfernung 540 km vom Ort der Freisetzung. Jenseits dieses Radius wird die Restaktivität in einem Kreisring mit der Bevölkerungsdichte von 25 Einwohnern/km² gleichverteilt niedergeschlagen und trägt somit nur noch über die Expositionspfade EB, IHR und IG zur Strahlenbelastung bei. Diese Modellierung entspricht dem Vorgehen in WASH 1400.

In Abschnitt 3.1 wurden die somatischen Spätschäden aufgeschlüsselt nach den betroffenen Personen der zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Generationen (LG) und der Folgegenerationen (FG). Die Ergebnisse haben gezeigt, daß nur etwa 10 % der Krebsfälle in den folgenden Generationen auftreten. Sie wurden aufgrund von applizierten Strahlendosen kleiner 10 rem berechnet; mit einer nichtlinearen Dosis-Risiko-Beziehung - evtl. mit Schwellwert - würde sich ein geringeres Kollektivrisiko für die Personengruppe der nach der Freisetzung Geborenen ergeben und den Anteil am gesamten Kollektivrisiko noch verkleinern.

Wie aus Abschnitt 3.2 deutlich hervorgeht, wird aufgrund der sich ändernden Modelleigenschaften im Abstand 540 km eine Sprung- bzw. Unstetigkeitsstelle erzeugt. Dies gilt insbesondere für die Gegenmaßnahme "Einschränkung beim Verzehr landwirtschaftlicher Produkte", da die Extrapolation der Wahrscheinlichkeit für Maßnahmen in größe-

ren Entfernungen das Überschreiten der zugehörigen Dosiskriterien je nach Freisetzungskategorie in erheblich weiter entfernten Gebieten erwarten läßt (siehe Abb. 7 a-d). Aus diesem Grund sind die Kollektivschäden vor allem bei den Freisetzungskategorien FK1 und FK2, aber auch bei FK3 bis FK7 überschätzt; außerdem wird hierdurch der Expositionspfad Ingestion überbewertet. Im Rahmen der Phase B sollte darum im Zusammenhang mit der Überarbeitung des Schutz- und Gegenmaßnahmenmodells eine Neufestlegung der Rechengrenze von 540 km für die Ausbreitungs- und Ablagerungsrechnungen erfolgen.

Zur Berechnung der somatischen Spätschäden aufgrund der Strahlenexposition über den Ingestionspfad wurde das Rechenmodell aus WASH 1400 übernommen. In diesem zunächst schon sehr vereinfachten Modell (siehe auch [3]) sind noch die Zahlenwerte der amerikanischen Studie bzgl. Verzehrgeohnheiten und Transferfaktoren enthalten. Aufgrund der nach Abschnitt 3.3. erheblichen Bedeutung des Ingestionspfades, vor allem auch bei den Unfällen mit niedrigen Aktivitätsfreisetzungen (FK4 - FK7), ist im Rahmen der Phase B eine Neumodellierung des Ingestionspfades unter Berücksichtigung mitteleuropäischer Verhältnisse dringend erforderlich.

Der indirekt mit der Bedeutung des Ingestionspfades verknüpfte hohe Anteil von Schilddrüsenkrebs wird hauptsächlich durch die über die Aufnahme kontaminierter Nahrungsmittel (Milch!) erfolgte Inkorporation von Jodisotopen verursacht. Infolgedessen sollte bei zukünftigen Untersuchungen auch eine Überprüfung der Jodfreisetzung aus dem Sicherheitsbehälter sowie der Wirksamkeit möglicher Schutzmaßnahmen (Jod-Tabletten) angestrebt werden.

Die Ergebnisse der vorangegangenen Abschnitte zeigen sehr deutlich, daß die Kollektivschäden vornehmlich infolge des weitreichenden Aktivitätstransports und der damit verbundenen geringen Dosisbelastung großer Bevölkerungsteile berechnet werden. Aufgrund der linearen Dosis-Risiko-Beziehung tragen auch kleinste Dosen, die einer großen Bevölkerungszahl appliziert werden, in erheblichem Umfang zu der Zahl der Spätschäden bei. Der Anstieg des Kollektivrisikos proportional zur Entfernung r ist ein direktes Abbild dieser Modelleigenschaft. Allerdings widerspricht dieses Ergebnis der physikalischen Vorstellung bezüglich der Auswirkung einer einmaligen und endlichen Schadstoffemission: Der resultierende Schadensumfang bleibt

räumlich beschränkt, da in genügend großen Entfernungen die Schadstoffkonzentrationen unterhalb gesundheitsgefährdenden Werten liegen. Hier kann nur die Anwendung einer nichtlinearen Dosis-Risiko-Beziehung realistischere Ergebnisse liefern, die bei sehr kleinen Strahlendosen das Schadensrisiko stark reduziert. In einer ersten Abschätzung unter Zugrundelegung einer nichtlinearen Dosis-Risiko-Beziehung ähnlich der in WASH 1400 wird das Kollektivrisiko für somatische Spätschäden im Mittel um den Faktor 4 reduziert.

Literaturverzeichnis

- [1] Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Hauptband
Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1979
- [2] ICRP. Annals of the ICRP, Publication 26 Recommendations of
the International Commission on Radiological Protection
Pergamon Press, Oxford-New York, 1977
- [3] Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Fachband 8
Unfallfolgenrechnungen und Risikoergebnisse
Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1981
- [4] Bayer, A., Ehrhardt, J., Schückler, M.
Das Konzept der effektiven Schadensfaktoren zur Ermittlung
stochastischer somatischer Schäden nach unfallbedingten Strah-
lenexpositionen
KfK-Bericht 3037, Dezember 1980
- [5] Strahlenschutzverordnung vom 13.10.1976
Bundesgesetzblatt, Teil I, Bonn, 20.10.1976
- [6] Reactor Safety Study, Appendix VI
U.S. Nuclear Regulatory Commission WASH 1400 (NUREG 75/014),
October 1975
- [7] Schückler, M., Vogt, S.
UFOMOD-Programm zur Berechnung der radiologischen Folgen von
Reaktorunfällen im Rahmen von Risikostudien
KfK-Bericht 3092, Januar 1981
- [8] Ehrhardt, J.
Zur Ermittlung der Lebenszeitverkürzung infolge strahlungsin-
duzierter stochastischer somatischer Schäden nach unfallbeding-
ten Strahlenexpositionen
KfK-Bericht 3181, Juni 1981

[9] Hickey, J. R. et al.

Low level ionizing radiation and human mortality: multi-regional epidemiological studies. A preliminary report
Health Physics, Vol. 40, No. 5, May 1981
p. 625 - 641

Schadensart	Zugrundegelegte Organ- dosis	Risikofaktor a_{ICRP} [Fälle/ 10^6 man·rem]
Leukämie	Knochenmarks-Dosis	20
Knochenkrebs	Knochenhaut-Dosis	5
Lungenkrebs	Lungen-Dosis	20
Schilddrüsenkrebs	Schilddrüsen-Dosis	5
Brustkrebs	Brust-Dosis ⁺⁾	25 ⁺⁺⁾
Andere Krebs- arten	Ganzkörper-Dosis ⁺⁺⁺⁾	50 ⁺⁺⁺⁾

+) Es wurden die Dosisfaktoren für den Ganzkörper verwendet

++) Bezogen auf die Gesamtbevölkerung

+++) 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

Tab. 1: Mortalitäts-Risikofaktoren für Spätschäden nach ICRP 26 [2]

Freisetzungskategorie	Kleinster Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\min}	Größter Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\max}	Mittlerer Kollektivschaden \overline{KS} (b/c) ²⁾	Mittlere Abweichung ΔKS
FK1	156	101300	39065 (38,2/61,8)	10500
FK2	165	30500	15949 (44,9/55,1)	5200
FK3	45	9230	3674 (45,9/54,1)	1030
FK4	9	3100	1068 (47,3/52,7)	360
FK5	16	1410	550 (46,7/53,3)	140
FK6	6	1060	397 (45,7/54,3)	110
FK7	11	5230	1892 (48,5/51,5)	620
FK8	<<1	< 1	<<1	<1

¹⁾ Der größte Kollektivschaden KS_{\max} resultiert aus einem der $115 \times 36 \times 19 = 78\ 660$ betrachteten Unfallabläufe der betroffenen Freisetzungskategorie.

²⁾ Bei b % der Fälle ist der Kollektivschaden kleiner, bei c % größer als \overline{KS} .

Tab. 2a Charakteristische Größen der Spätschäden (25 Anlagen) für die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen (EG)

Freisetzungskategorie	Kleinster Kollektivschaden ¹⁾	Größter Kollektivschaden ¹⁾	Mittlerer Kollektivschaden	Mittlere Abweichung
	KS _{min}	KS _{max}	\overline{KS} (b/c) ²⁾	ΔKS
FK1	5	6970	4361 (37,8/62,2)	1230
FK2	2	5340	2595 (44,8/55,2)	910
FK3	5	1700	598 (49,7/50,3)	200
FK4	1	640	120 (52,3/47,7)	45
FK5	1	190	39 (54,3/45,7)	12
FK6	<1	92	19 (57,3/42,7)	6
FK7	3	1170	267 (50,3/49,7)	85
FK8	<<1	<1	<<1	<<1

1) Der größte Kollektivschaden KS_{max} resultiert aus einem der 115 x 36 x 19 = 78 660 betrachteten Unfallabläufe der betroffenen Freisetzungskategorie.

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

Tab.2b Charakteristische Größen der Spätschäden (25 Anlagen) für die nach der Freisetzung geborenen Personen (FG)

Freisetzungskategorie	Kleinster Kollektivschaden ¹⁾ KS _{min}	Größter Kollektivschaden ¹⁾ KS _{max}	Mittlerer Kollektivschaden \overline{KS} (b/c) ²⁾	Mittlere Abweichung ΔKS
FK1	162	107000	43430 (38,1/61,9)	11700
FK2	177	35000	18544 (45,0/55,0)	6060
FK3	51	10900	4271 (45,7/54,3)	1210
FK4	11	3730	1188 (47,8/52,2)	400
FK5	17	1590	589 (47,0/53,0)	150
FK6	6	1120	416 (45,4/54,6)	110
FK7	14	6400	2158 (48,5/51,5)	700
FK8	<<1	< 1	<<1	<1

1) Der größte Kollektivschaden KS_{max} resultiert aus einem der $115 \times 36 \times 19 = 78\ 660$ betrachteten Unfallabläufe der betroffenen Freisetzungskategorie.

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

Tab.2c Charakteristische Größen der Spätschäden (25 Anlagen)

Freisetzungskategorie	Kollektivrisiko $\langle K_S^{25} \rangle$ [a ⁻¹]			
	LG	FG	Summe	FG /%/
FK1	1,95	$2,18 \cdot 10^{-1}$	2,17	10,0
FK2	$2,39 \cdot 10^{-1}$	$3,89 \cdot 10^{-2}$	$2,78 \cdot 10^{-1}$	14,0
FK3	$5,51 \cdot 10^{-2}$	$8,96 \cdot 10^{-3}$	$6,41 \cdot 10^{-2}$	14,0
FK4	$8,01 \cdot 10^{-2}$	$9,00 \cdot 10^{-3}$	$8,91 \cdot 10^{-2}$	10,1
FK5	$2,75 \cdot 10^{-1}$	$1,97 \cdot 10^{-2}$	$2,95 \cdot 10^{-1}$	6,7
FK6	$6,96 \cdot 10^{-1}$	$3,30 \cdot 10^{-2}$	$7,29 \cdot 10^{-1}$	4,5
FK7	4,73	$6,67 \cdot 10^{-1}$	5,40	12,4
FK8	$4,15 \cdot 10^{-4}$	$2,60 \cdot 10^{-5}$	$4,14 \cdot 10^{-4}$	5,9
alle FK	8,03	$9,95 \cdot 10^{-1}$	9,02	11,0

Tab. 3 Kollektivrisiken der somatischen Spätschäden

Freisetzungskategorie	Kleinster Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\min}	Größter Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\max}	Mittlerer Kollektivschaden \overline{KS} (b/c) ²⁾	Mittlere Abweichung ΔKS
FK1	59	83300	19746 (53,2/46,8)	7650
FK2	41	27600	9833 (52,1/47,9)	3530
FK3	13	8470	2812 (54,8/45,2)	960
FK4	3	3090	924 (51,9/48,1)	330
FK5	2	1260	437 (49,9/50,1)	130
FK6	1	970	297 (49,8/50,2)	97
FK7	4	5000	1676 (49,6/50,4)	590
FK8	<<1	<1	<<1	<<1

- 1) Der größte Kollektivschaden KS_{\max} resultiert aus einem der $115 \times 36 \times 19 = 78\ 660$ betrachteten Unfallabläufe der betroffenen Freisetzungskategorie.
- 2) Bei b % der Fälle ist der Kollektivschaden kleiner, bei c % größer als \overline{KS} .

Tab. 4a Charakteristische Größen der Spätschäden (25 Anlagen) für die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen, Entfernungen <540 km

Freisetzungskategorie	Kleinster Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\min}	Größter Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\max}	Mittlerer Kollektivschaden \overline{KS} (b/c) ²⁾	Mittlere Abweichung ΔKS
FK1	2	5000	2376 (50,3/49,7)	890
FK2	2	4560	1920 (50,7/49,3)	760
FK3	2	1600	505 (55,9/44,1)	200
FK4	<1	640	109 (54,5/45,5)	45
FK5	<1	190	35 (55,7/44,3)	13
FK6	<1	92	16 (57,4/42,6)	6
FK7	1	1140	239 (51,9/48,1)	86
FK8	<<1	<<1	<<1	<<1

1) Der größte Kollektivschaden KS_{\max} resultiert aus einem der $115 \times 36 \times 19 = 78\ 660$ betrachteten Unfallabläufe der betroffenen Freisetzungskategorie.

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

Tab. 4b Charakteristische Größen der Spätschäden (25 Anlagen) für die nach der Freisetzung geborenen Personen, Entfernungen ≤ 540 km.

Freisetzungskategorie	Kleinster Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\min}	Größter Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\max}	Mittlerer Kollektivschaden $\overline{KS} (b/c)^{2)}$	Maß der Abweichung ΔKS
FK1	62	87100	22122 (52,5/47,5)	8460
FK2	46	29800	11753 (51,3/48,7)	4230
FK3	15	10000	3320 (55,1/44,9)	1150
FK4	4	3730	1033 (52,3/47,7)	370
FK5	2	1440	472 (50,5/49,5)	145
FK6	1	1030	313 (50,2/49,8)	102
FK7	5	6130	1916 (49,6/50,4)	670
FK8	<<1	<1	<<1	<<1

1) Der größte Kollektivschaden KS_{\max} resultiert aus einem der $115 \times 36 \times 19 = 78\ 660$ betrachteten Unfallabläufe der betroffenen Freisetzungskategorie.

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

Tab. 4c Charakteristische Größen der Spätschäden (25 Anlagen) für Entfernungen ≤ 540 km

Freisetzungskategorie	Kollektivrisiko $\langle KS^{25} \rangle$ [a ⁻¹]			
	LG	FG	Summe	FG / % /
FK1	$9,87 \cdot 10^{-1}$	$1,19 \cdot 10^{-1}$	1,11	10,7
FK2	$1,47 \cdot 10^{-1}$	$2,88 \cdot 10^{-2}$	$1,76 \cdot 10^{-1}$	16,3
FK3	$4,22 \cdot 10^{-2}$	$7,58 \cdot 10^{-3}$	$4,98 \cdot 10^{-2}$	15,2
FK4	$6,93 \cdot 10^{-2}$	$8,17 \cdot 10^{-3}$	$7,75 \cdot 10^{-2}$	10,5
FK5	$2,19 \cdot 10^{-1}$	$1,74 \cdot 10^{-2}$	$2,36 \cdot 10^{-1}$	7,4
FK6	$5,20 \cdot 10^{-1}$	$2,74 \cdot 10^{-2}$	$5,48 \cdot 10^{-1}$	5,0
FK7	4,19	$5,98 \cdot 10^{-1}$	4,79	12,5
FK8	$4,06 \cdot 10^{-4}$	$2,49 \cdot 10^{-5}$	$4,31 \cdot 10^{-4}$	5,8
alle FK	6,18	$8,06 \cdot 10^{-1}$	6,98	11,5

Tab. 5 Kollektivrisiken der somatischen Spätschäden im Entfernungsbereich ≤ 540 km

Freisetzungskategorie	Anteil der Spätschäden jenseits 540 km /%/		
	LG	FG	AG
FK1	49.7	45.8	49.3
FK2	38.1	26.0	36.4
FK3	23.6	15.7	22.5
FK4	13.5	9.5	13.1
FK5	20.7	11.9	20.1
FK6	25.4	17.5	25.0
FK7	11.6	10.7	11.5
FK8	2.7	4.8	2.9
alle FK	23.0	19.0	22.8

Tab.6 Anteil der mittleren Kollektivschäden bzw. des Kollektivrisikos jenseits von 540 km.

Entfernung r [km]	\bar{p} (r) [Anzahl]
0 - 0,8	92
0,8 - 1,2	241
1,2 - 1,6	427
1,6 - 2,4	1856
2,4 - 3,6	5224
3,6 - 5,4	11139
5,4 - 8,0	28054
8,0 - 12,0	69901
12 - 16	83134
16 - 24	226113
24 - 36	670968
36 - 54	1387970
54 - 80	2630980
80 - 120	6025830
120 - 160	8307460
160 - 240	23883100
240 - 360	52243800
360 - 540	111417000
Summe	$2,07 \cdot 10^8$

Tab.7 Mittlere entfernungsabhängige Bevölkerungszahl

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.02	0.01	0.02	0.0	0.02	0.04	0.11
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.48	0.13	0.37	0.10	0.49	0.98	2.54
BODENSTRAHLUNG (>7D)	5.32	1.32	4.62	1.15	6.16	12.33	30.90
INHALATION AUS DER WOLKE	0.12	0.04	7.75	3.30	0.27	0.55	12.03
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.09	0.04	9.14	0.01	0.25	0.51	10.05
INGESTION	4.97	1.41	4.85	14.99	6.05	12.11	44.37
TEILSUMME	10.99	2.96	26.74	19.55	13.26	26.51	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.04	0.01	0.03	0.01	0.04	0.08	0.20
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.92	0.24	0.71	0.19	0.95	1.90	4.91
BODENSTRAHLUNG (>7D)	8.65	2.16	7.51	1.86	10.03	20.05	50.26
INHALATION AUS DER WOLKE	0.23	0.09	15.04	6.40	0.53	1.06	23.35
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.15	0.07	14.77	0.02	0.41	0.82	16.24
INGESTION	0.99	0.45	0.65	0.21	0.92	1.83	5.04
TEILSUMME	10.98	3.01	38.71	8.69	12.87	25.74	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.06	0.17
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.63	0.17	0.92	0.20	0.62	1.25	3.69
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.57	1.18	8.10	1.75	5.14	10.27	31.01
INHALATION AUS DER WOLKE	0.15	0.06	17.04	6.97	0.34	0.67	25.23
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.08	0.04	16.44	0.02	0.23	0.45	17.25
INGESTION	2.55	0.76	2.70	7.46	3.06	6.13	22.65
TEILSUMME	8.00	2.21	45.13	16.41	9.42	18.83	100.00

Tab. 8a Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK1 und die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Generationen (LG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.06	0.16
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.53	0.14	0.41	0.11	0.54	1.09	2.81
BODENSTRAHLUNG (>7D)	7.58	1.87	6.62	1.62	8.85	17.70	44.23
INHALATION AUS DER WOLKE	0.21	0.08	2.65	6.28	0.29	0.57	10.08
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.13	0.07	1.70	0.02	0.18	0.36	2.46
INGESTION	4.96	1.48	4.72	11.33	5.93	11.85	40.26
TEILSUMME	13.44	3.64	16.12	19.35	15.82	31.63	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.05	0.01	0.04	0.01	0.05	0.10	0.25
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.84	0.22	0.65	0.17	0.87	1.73	4.47
BODENSTRAHLUNG (>7D)	11.16	2.75	9.74	2.38	13.02	26.05	65.09
INHALATION AUS DER WOLKE	0.33	0.13	4.23	10.02	0.46	0.91	16.08
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.20	0.10	2.51	0.02	0.26	0.53	3.62
INGESTION	1.90	0.77	1.42	0.65	1.91	3.83	10.48
TEILSUMME	14.47	3.97	18.59	13.25	16.57	33.15	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.05	0.01	0.05	0.02	0.05	0.11	0.29
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.77	0.21	0.72	0.25	0.76	1.52	4.23
BODENSTRAHLUNG (>7D)	7.28	1.87	7.20	2.79	8.10	16.20	43.43
INHALATION AUS DER WOLKE	0.36	0.14	5.37	16.29	0.48	0.96	23.59
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.14	0.07	2.09	0.03	0.18	0.36	2.86
INGESTION	3.20	1.00	3.03	7.11	3.75	7.51	25.59
TEILSUMME	11.80	3.30	18.46	26.47	13.33	26.65	100.00

Tab. 8b Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK2 und die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Generationen (LG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.05	0.01	0.04	0.01	0.05	0.10	0.26
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.41	0.11	0.32	0.08	0.42	0.85	2.20
BODENSTRAHLUNG (>7D)	6.94	1.71	6.07	1.48	8.10	16.21	40.50
INHALATION AUS DER WOLKE	0.15	0.06	2.31	4.88	0.22	0.43	8.04
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.13	0.07	2.01	0.01	0.19	0.39	2.79
INGESTION	6.06	1.79	5.80	10.78	7.26	14.53	46.21
TEILSUMME	13.74	3.74	16.54	17.24	16.25	32.50	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.07	0.02	0.05	0.01	0.06	0.13	0.33
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.53	0.14	0.41	0.11	0.55	1.09	2.83
BODENSTRAHLUNG (>7D)	8.52	2.10	7.45	1.82	9.95	19.90	49.73
INHALATION AUS DER WOLKE	0.19	0.07	2.99	6.31	0.28	0.56	10.41
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.16	0.08	2.47	0.02	0.24	0.47	3.44
INGESTION	4.97	1.55	4.59	4.74	5.80	11.61	33.26
TEILSUMME	14.44	3.96	17.95	13.01	16.88	33.76	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.08	0.02	0.07	0.02	0.08	0.15	0.43
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.54	0.15	0.49	0.16	0.54	1.08	2.96
BODENSTRAHLUNG (>7D)	6.57	1.66	6.28	2.06	7.45	14.89	38.92
INHALATION AUS DER WOLKE	0.26	0.10	4.81	12.25	0.39	0.77	18.58
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.13	0.07	2.26	0.02	0.19	0.37	3.03
INGESTION	4.73	1.42	4.53	8.51	5.63	11.26	36.09
TEILSUMME	12.31	3.42	18.44	23.03	14.27	28.53	100.00

Tab. 8c Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK3 und die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Generationen (LG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.13	0.04	0.09	0.03	0.12	0.25	0.65
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.30	0.08	0.23	0.06	0.31	0.63	1.61
BODENSTRAHLUNG (>7D)	3.20	0.79	2.79	0.68	3.73	7.45	18.63
INHALATION AUS DER WOLKE	0.07	0.02	1.03	4.99	0.10	0.20	6.41
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.06	0.03	0.95	0.01	0.09	0.18	1.31
INGESTION	8.23	2.23	8.26	21.79	10.24	20.47	71.38
TEILSUMME	11.99	3.19	13.35	27.72	14.59	29.17	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.15	0.04	0.10	0.03	0.14	0.29	0.75
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.35	0.09	0.27	0.07	0.36	0.71	1.85
BODENSTRAHLUNG (>7D)	3.51	0.86	3.06	0.75	4.09	8.18	20.45
INHALATION AUS DER WOLKE	0.07	0.03	1.18	5.72	0.12	0.23	7.34
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.07	0.03	1.04	0.01	0.10	0.20	1.44
INGESTION	8.48	2.30	8.49	17.32	10.52	21.05	68.17
TEILSUMME	12.63	3.36	14.15	23.90	15.32	30.65	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.17	0.05	0.14	0.05	0.16	0.33	0.90
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.33	0.09	0.28	0.09	0.34	0.68	1.81
BODENSTRAHLUNG (>7D)	3.06	0.77	2.83	0.89	3.53	7.07	18.14
INHALATION AUS DER WOLKE	0.12	0.04	2.18	12.33	0.18	0.36	15.20
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.06	0.03	1.02	0.01	0.09	0.18	1.38
INGESTION	7.19	1.95	7.21	19.50	8.91	17.82	62.57
TEILSUMME	10.92	2.93	13.64	32.87	13.21	26.43	100.00

Tab. 8d Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK4 und die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Generationen (LG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.08	0.02	0.04	0.01	0.07	0.13	0.36
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.28	0.07	0.22	0.06	0.29	0.57	1.49
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.69	0.42	1.46	0.36	1.95	3.90	9.78
INHALATION AUS DER WOLKE	0.03	0.01	0.50	4.87	0.05	0.10	5.56
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.03	0.01	0.52	0.0	0.05	0.09	0.71
INGESTION	5.61	1.50	5.68	48.12	7.07	14.13	82.10
TEILSUMME	7.72	2.03	8.41	53.42	9.47	18.93	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.10	0.03	0.05	0.02	0.08	0.16	0.45
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.35	0.09	0.27	0.07	0.36	0.71	1.85
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.98	0.49	1.71	0.43	2.29	4.59	11.50
INHALATION AUS DER WOLKE	0.04	0.01	0.62	6.07	0.06	0.13	6.93
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.03	0.02	0.62	0.0	0.06	0.11	0.84
INGESTION	6.41	1.71	6.48	39.73	8.04	16.07	78.43
TEILSUMME	8.92	2.35	9.75	46.32	10.89	21.78	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.08	0.02	0.04	0.02	0.06	0.13	0.36
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.27	0.07	0.21	0.08	0.28	0.56	1.47
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.68	0.42	1.52	0.51	1.92	3.85	9.90
INHALATION AUS DER WOLKE	0.04	0.01	0.75	8.12	0.06	0.12	9.10
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.03	0.01	0.55	0.0	0.05	0.09	0.74
INGESTION	5.32	1.42	5.38	46.21	6.70	13.41	78.44
TEILSUMME	7.41	1.96	8.46	54.94	9.08	18.15	100.00

Tab. 8e Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK5 und die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Generationen (LG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.11	0.03	0.06	0.02	0.09	0.17	0.48
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.32	0.09	0.25	0.07	0.33	0.67	1.72
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.07	0.27	0.91	0.23	1.21	2.43	6.11
INHALATION AUS DER WOLKE	0.02	0.01	0.34	6.00	0.04	0.08	6.48
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.01	0.01	0.35	0.0	0.03	0.05	0.46
INGESTION	3.27	0.87	3.33	64.69	4.20	8.39	84.75
TEILSUMME	4.81	1.26	5.22	71.01	5.90	11.79	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.15	0.04	0.07	0.03	0.12	0.23	0.64
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.43	0.11	0.33	0.09	0.44	0.87	2.27
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.29	0.32	1.10	0.28	1.47	2.95	7.42
INHALATION AUS DER WOLKE	0.03	0.01	0.44	7.92	0.05	0.10	8.55
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.02	0.01	0.43	0.0	0.03	0.07	0.56
INGESTION	3.87	1.03	3.92	56.97	4.92	9.84	80.55
TEILSUMME	5.78	1.52	6.30	65.29	7.03	14.07	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.11	0.03	0.05	0.03	0.08	0.17	0.47
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.31	0.08	0.24	0.09	0.32	0.64	1.68
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.03	0.26	0.88	0.31	1.17	2.33	5.97
INHALATION AUS DER WOLKE	0.02	0.01	0.32	9.28	0.04	0.07	9.74
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.01	0.01	0.34	0.0	0.03	0.05	0.44
INGESTION	3.13	0.83	3.18	62.54	4.01	8.02	81.70
TEILSUMME	4.61	1.21	5.01	72.24	5.64	11.29	100.00

Tab. 8f

Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK6 und die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Generationen (LG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.01	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01	0.03
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.09	0.02	0.07	0.02	0.09	0.19	0.48
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.35	1.07	3.82	0.93	5.11	10.23	25.51
INHALATION AUS DER WOLKE	0.04	0.01	0.06	0.64	0.05	0.11	0.92
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.04	0.01	0.04	0.01	0.05	0.99	0.23
INGESTION	10.16	2.58	10.51	10.93	12.88	25.77	72.83
TEILSUMME	14.68	3.69	14.51	12.53	18.20	36.39	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.01	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01	0.03
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.10	0.03	0.08	0.02	0.11	0.21	0.54
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.66	1.14	4.10	1.00	5.48	10.95	27.32
INHALATION AUS DER WOLKE	0.05	0.01	0.07	0.72	0.06	0.12	1.03
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.04	0.01	0.04	0.01	0.05	0.10	0.25
INGESTION	9.88	2.51	10.22	10.66	12.52	25.05	70.92
TEILSUMME	14.72	3.70	14.51	12.40	18.22	36.44	100.00

(V3)

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)	0.10	0.03	0.08	0.03	0.11	0.22	0.57
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.67	1.14	4.06	1.12	5.44	10.89	27.32
INHALATION AUS DER WOLKE	0.05	0.01	0.08	1.23	0.06	0.13	1.57
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.04	0.01	0.04	0.01	0.05	0.10	0.25
INGESTION	9.74	2.47	10.07	10.92	12.35	24.69	70.25
TEILSUMME	14.61	3.67	14.34	13.32	18.02	36.05	100.00

Tab. 8g Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK7 und die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Generationen (LG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.02	0.01	0.01	0.0	0.02	0.04	0.11
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.23	0.06	0.18	0.05	0.24	0.47	1.22
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.31	1.06	3.77	0.92	5.04	10.08	25.19
INHALATION AUS DER WOLKE	0.06	0.02	2.07	2.14	0.11	0.23	4.64
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.05	0.02	2.37	0.01	0.10	0.20	2.75
INGESTION	7.94	2.07	8.12	17.97	10.00	19.99	66.09
TEILSUMME	12.62	3.24	16.53	21.09	15.51	31.02	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.05	0.14
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.29	0.08	0.23	0.06	0.30	0.60	1.56
BODENSTRAHLUNG (>7D)	5.09	1.26	4.45	1.09	5.95	11.90	29.73
INHALATION AUS DER WOLKE	0.08	0.03	2.65	2.74	0.15	0.29	5.93
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.06	0.02	2.54	0.01	0.11	0.23	2.97
INGESTION	7.59	1.97	7.76	13.71	9.55	19.09	59.67
TEILSUMME	13.14	3.36	17.64	17.62	16.08	32.17	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.05	0.15
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.35	0.09	0.40	0.11	0.35	0.71	2.01
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.39	1.10	5.41	1.35	5.03	10.06	27.34
INHALATION AUS DER WOLKE	0.10	0.03	6.74	4.87	0.18	0.37	12.29
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.06	0.02	6.34	0.01	0.12	0.24	6.79
INGESTION	6.16	1.62	6.37	14.11	7.73	15.45	51.43
TEILSUMME	11.08	2.88	25.27	20.46	13.44	26.87	100.00

Tab. 8h Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Generationen (LG)

(V1)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	9.65	2.82	9.74	2.44	13.08	26.15	63.88
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.04	0.02	0.41	0.0	0.02	0.03	0.52
INGESTION	16.91	6.09	1.82	4.72	2.02	4.04	35.60
TEILSUMME	26.59	8.93	11.97	7.17	15.11	30.23	100.00

(V2)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	13.19	3.93	13.12	3.33	17.64	35.29	86.51
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.06	0.03	0.60	0.0	0.03	0.05	0.77
INGESTION	5.95	3.94	0.28	0.35	0.73	1.46	12.72
TEILSUMME	19.20	7.90	14.01	3.69	18.40	36.80	100.00

(V3)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	9.65	2.82	9.74	2.44	13.08	26.15	63.88
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.04	0.02	0.41	0.0	0.02	0.03	0.52
INGESTION	16.91	6.09	1.82	4.72	2.02	4.04	35.60
TEILSUMME	26.59	8.93	11.97	7.17	15.11	30.23	100.00

Tab. 9a Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK¹ und die nach der Freisetzung geborenen Generationen (FG)

(V1)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	10.91	3.21	11.38	2.80	15.17	30.35	73.82
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.04	0.02	0.06	0.0	0.02	0.04	0.18
INGESTION	12.49	5.01	1.24	2.79	1.50	2.99	25.99
TEILSUMME	23.42	8.24	12.68	5.58	16.69	33.38	100.00

(V2)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	12.85	3.82	13.34	3.29	17.77	35.54	86.62
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.05	0.03	0.07	0.0	0.03	0.05	0.23
INGESTION	6.24	3.78	0.37	0.48	0.76	1.53	13.16
TEILSUMME	19.14	7.63	13.77	3.78	18.56	37.12	100.00

(V3)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	10.91	3.21	11.38	2.80	15.17	30.35	73.82
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.04	0.02	0.06	0.0	0.02	0.04	0.18
INGESTION	12.48	5.01	1.24	2.79	1.50	2.99	25.99
TEILSUMME	23.42	8.24	12.68	5.58	16.69	33.38	100.00

Tab. 9b Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK2 und die nach der Freisetzung geborenen Generationen (FG)

(V1)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	10.11	2.99	10.51	2.60	14.03	28.07	68.32
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.04	0.02	0.07	0.0	0.02	0.05	0.21
INGESTION	15.31	6.02	1.55	3.09	1.84	3.67	31.47
TEILSUMME	25.47	9.04	12.13	5.68	15.90	31.79	100.00

(V2)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	11.01	3.28	11.40	2.82	15.22	30.43	74.17
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.05	0.03	0.08	0.0	0.03	0.05	0.23
INGESTION	12.54	5.56	1.14	1.83	1.51	3.02	25.60
TEILSUMME	23.59	8.86	12.62	4.66	16.76	33.51	100.00

(V3)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	10.11	2.99	10.51	2.60	14.03	28.07	68.32
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.04	0.02	0.07	0.0	0.02	0.05	0.21
INGESTION	15.31	6.02	1.55	3.09	1.84	3.67	31.47
TEILSUMME	25.47	9.04	12.13	5.68	15.90	31.79	100.00

Tab. 9c Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK3 und die nach der Freisetzung geborenen Generationen (FG)

(V1)

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 (0-70)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>70)	6.63	1.97	6.89	1.70	9.19	18.39	44.77
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.03	0.02	0.05	0.0	0.02	0.03	0.15
INGESTION	26.67	8.24	3.14	7.54	3.17	6.34	55.09
TEILSUMME	33.33	10.22	10.07	9.24	12.38	24.76	100.00

(V2)

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 (0-70)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>70)	6.83	2.04	7.07	1.75	9.44	18.89	46.03
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.03	0.02	0.05	0.0	0.02	0.04	0.15
INGESTION	26.49	8.27	3.10	6.52	3.15	6.29	53.82
TEILSUMME	33.35	10.32	10.22	8.28	12.61	25.22	100.00

(V3)

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 (0-70)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>70)	6.63	1.97	6.89	1.70	9.19	18.39	44.77
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.03	0.02	0.05	0.0	0.02	0.03	0.15
INGESTION	26.67	8.24	3.14	7.54	3.17	6.34	55.09
TEILSUMME	33.33	10.22	10.07	9.24	12.38	24.76	100.00

Tab. 9d Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK4 und die nach der Freisetzung geborenen Generationen (FG)

(V1)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.98	1.47	5.15	1.27	6.86	13.73	33.46
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.02	0.01	0.04	0.0	0.02	0.03	0.12
INGESTION	27.66	8.08	3.35	17.48	3.28	6.57	66.42
TEILSUMME	32.66	9.56	8.54	18.75	10.16	20.32	100.00

(V2)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	5.20	1.55	5.37	1.33	7.16	14.31	34.92
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.02	0.01	0.04	0.0	0.02	0.03	0.13
INGESTION	28.69	8.42	3.47	14.16	3.41	6.81	64.95
TEILSUMME	33.91	9.98	8.88	15.50	10.58	21.15	100.00

(V3)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.98	1.47	5.15	1.27	6.86	13.73	33.46
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.02	0.01	0.04	0.0	0.02	0.03	0.12
INGESTION	27.66	8.08	3.35	17.48	3.28	6.57	66.42
TEILSUMME	32.66	9.56	8.54	18.75	10.16	20.32	100.00

Tab. 9e Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK5 und die nach der Freisetzung geborenen Generationen (FG)

(V1)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	3.96	1.17	4.06	1.01	5.42	10.84	26.46
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.02	0.01	0.04	0.0	0.02	0.03	0.11
INGESTION	23.97	6.88	2.93	31.07	2.86	5.71	73.43
TEILSUMME	27.95	8.06	7.04	32.08	8.29	16.58	100.00

(V2)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.26	1.27	4.36	1.09	5.82	11.63	28.42
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.02	0.01	0.05	0.0	0.02	0.03	0.13
INGESTION	25.84	7.45	3.15	25.79	3.07	6.15	71.45
TEILSUMME	30.11	8.72	7.56	26.88	8.91	17.82	100.00

(V3)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	3.96	1.17	4.06	1.01	5.42	10.84	26.46
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.02	0.01	0.04	0.0	0.02	0.03	0.11
INGESTION	23.97	6.88	2.93	31.07	2.86	5.71	73.43
TEILSUMME	27.95	8.06	7.04	32.08	8.29	16.58	100.00

Tab. 9f Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK6 und die nach der Freisetzung geborenen Generationen (FG)

(V1)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	7.83	2.32	8.19	2.01	10.90	21.81	53.06
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.01	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.03
INGESTION	24.19	5.77	3.19	5.19	2.86	5.71	46.92
TEILSUMME	32.03	8.09	11.38	7.21	13.76	27.53	100.00

(V2)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	8.10	2.41	8.44	2.08	11.23	22.47	54.73
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.01	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.03
INGESTION	23.33	5.57	3.07	5.01	2.75	5.51	45.25
TEILSUMME	31.44	7.98	11.51	7.09	13.99	27.98	100.00

(V3)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	7.83	2.32	8.19	2.01	10.90	21.81	53.06
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.01	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.03
INGESTION	24.19	5.77	3.19	5.19	2.86	5.71	46.92
TEILSUMME	32.03	8.09	11.38	7.21	13.76	27.53	100.00

Tab. 9g Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK7 und die nach der Freisetzung geborenen Generationen (FG)

(V1)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	8.17	2.41	8.47	2.09	11.30	22.59	55.03
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.02	0.01	0.10	0.0	0.01	0.01	0.15
INGESTION	22.14	5.92	2.79	6.10	2.62	5.25	44.82
TEILSUMME	30.33	8.34	11.35	8.19	13.93	27.85	100.00

(V2)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	8.84	2.63	9.11	2.26	12.16	24.32	59.32
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.02	0.01	0.10	0.0	0.01	0.01	0.15
INGESTION	20.29	5.42	2.56	5.05	2.40	4.81	40.53
TEILSUMME	29.15	8.06	11.77	7.32	14.57	29.14	100.00

(V3)

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)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BODENSTRAHLUNG (>7D)	8.17	2.41	8.47	2.09	11.30	22.59	55.03
INHALATION AUS DER WOLKE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.02	0.01	0.10	0.0	0.01	0.01	0.15
INGESTION	22.14	5.92	2.79	6.10	2.62	5.25	44.82
TEILSUMME	30.33	8.34	11.35	8.19	13.93	27.85	100.00

Tab. 9h Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die nach der Freisetzung geborenen Generationen (FG)

(V1)

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	0.04	0.10
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.43	0.11	0.33	0.09	0.44	0.88	2.28
BODENSTRAHLUNG (>7D)	5.76	1.48	5.14	1.28	6.87	13.73	34.25
INHALATION AUS DER WOLKE	0.11	0.04	6.96	2.97	0.25	0.49	10.91
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.09	0.04	8.25	0.01	0.23	0.46	9.08
INGESTION	6.18	1.89	4.54	13.94	5.64	11.29	43.48
TEILSUMME	12.57	3.56	25.24	18.29	13.44	26.89	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.03	0.01	0.03	0.01	0.04	0.07	0.18
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.82	0.22	0.63	0.17	0.85	1.69	4.37
BODENSTRAHLUNG (>7D)	9.15	2.35	8.12	2.02	10.86	21.71	54.21
INHALATION AUS DER WOLKE	0.21	0.08	13.40	5.71	0.47	0.95	20.80
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.14	0.07	13.23	0.02	0.37	0.73	14.55
INGESTION	1.53	0.83	0.61	0.23	0.90	1.79	5.88
TEILSUMME	11.87	3.54	36.02	8.15	13.47	26.95	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.05	0.16
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.59	0.16	0.78	0.19	0.59	1.19	3.49
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.84	1.26	8.19	1.79	5.56	11.12	32.75
INHALATION AUS DER WOLKE	0.14	0.05	16.14	6.60	0.32	0.64	23.90
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.08	0.04	15.59	0.02	0.22	0.43	16.37
INGESTION	3.31	1.04	2.65	7.32	3.01	6.01	23.34
TEILSUMME	8.99	2.56	43.37	15.92	9.72	19.44	100.00

Tab. 10a Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK1 und alle Generationen (AG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.05	0.14
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.45	0.12	0.35	0.09	0.47	0.93	2.41
BODENSTRAHLUNG (>7D)	8.05	2.06	7.29	1.78	9.75	19.49	48.42
INHALATION AUS DER WOLKE	0.18	0.07	2.28	5.39	0.25	0.49	8.65
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.12	0.06	1.47	0.01	0.16	0.31	2.14
INGESTION	6.02	1.98	4.23	10.12	5.30	10.60	38.24
TEILSUMME	14.85	4.29	15.63	17.40	15.94	31.88	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.04	0.01	0.03	0.01	0.04	0.08	0.21
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.70	0.18	0.54	0.14	0.72	1.45	3.74
BODENSTRAHLUNG (>7D)	11.44	2.92	10.33	2.53	13.81	27.61	68.64
INHALATION AUS DER WOLKE	0.27	0.10	3.54	8.37	0.38	0.76	13.43
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.17	0.09	2.11	0.02	0.23	0.45	3.06
INGESTION	2.62	1.27	1.25	0.62	1.72	3.45	10.92
TEILSUMME	15.24	4.58	17.79	11.69	16.90	33.80	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.10	0.27
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.70	0.19	0.65	0.23	0.69	1.37	3.84
BODENSTRAHLUNG (>7D)	7.62	1.99	7.59	2.79	8.76	17.52	46.26
INHALATION AUS DER WOLKE	0.32	0.13	4.87	14.77	0.44	0.87	21.40
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.13	0.07	1.90	0.02	0.16	0.33	2.61
INGESTION	4.06	1.37	2.86	6.71	3.55	7.09	25.63
TEILSUMME	12.87	3.76	17.92	24.53	13.64	27.28	100.00

Tab. 10b Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK2 und alle Generationen (AG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.04	0.01	0.03	0.01	0.04	0.09	0.22
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.36	0.09	0.27	0.07	0.36	0.73	1.89
BODENSTRAHLUNG (>7D)	7.38	1.89	6.69	1.64	8.93	17.86	44.38
INHALATION AUS DER WOLKE	0.13	0.05	1.99	4.20	0.19	0.37	6.92
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.12	0.06	1.74	0.01	0.17	0.34	2.43
INGESTION	7.35	2.38	5.21	9.70	6.51	13.01	44.15
TEILSUMME	15.37	4.48	15.92	15.63	16.20	32.40	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.06	0.01	0.04	0.01	0.05	0.11	0.28
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.45	0.12	0.35	0.09	0.46	0.93	2.40
BODENSTRAHLUNG (>7D)	8.89	2.27	8.05	1.97	10.75	21.49	53.43
INHALATION AUS DER WOLKE	0.16	0.06	2.54	5.35	0.24	0.48	8.83
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.14	0.07	2.11	0.02	0.20	0.41	2.95
INGESTION	6.12	2.16	4.07	4.30	5.15	10.31	32.10
TEILSUMME	15.82	4.70	17.15	11.74	16.86	33.73	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.07	0.02	0.06	0.02	0.07	0.14	0.38
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.48	0.13	0.43	0.14	0.48	0.96	2.63
BODENSTRAHLUNG (>7D)	6.96	1.81	6.75	2.12	8.18	16.36	42.19
INHALATION AUS DER WOLKE	0.23	0.09	4.27	10.88	0.34	0.69	16.50
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.12	0.06	2.01	0.02	0.17	0.33	2.71
INGESTION	5.91	1.93	4.20	7.91	5.21	10.42	35.58
TEILSUMME	13.77	4.05	17.74	21.10	14.45	28.90	100.00

Tab. 10c Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK3 und alle Generationen (AG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.12	0.03	0.08	0.02	0.11	0.22	0.59
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.27	0.07	0.21	0.06	0.28	0.56	1.45
BODENSTRAHLUNG (>7D)	3.54	0.91	3.20	0.78	4.27	8.54	21.24
INHALATION AUS DER WOLKE	0.06	0.02	0.93	4.49	0.09	0.18	5.77
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.06	0.03	0.86	0.01	0.08	0.17	1.20
INGESTION	10.07	2.83	7.75	20.52	9.53	19.07	69.76
TEILSUMME	14.11	3.89	13.02	25.88	14.37	28.73	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.14	0.04	0.09	0.03	0.13	0.25	0.67
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.31	0.08	0.24	0.06	0.32	0.64	1.66
BODENSTRAHLUNG (>7D)	3.85	0.99	3.48	0.85	4.64	9.29	23.10
INHALATION AUS DER WOLKE	0.07	0.02	1.06	5.13	0.10	0.21	6.58
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.06	0.03	0.94	0.01	0.09	0.18	1.31
INGESTION	10.34	2.92	7.93	16.20	9.76	19.52	66.68
TEILSUMME	14.77	4.08	13.74	22.28	15.04	30.09	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.16	0.04	0.13	0.05	0.15	0.29	0.82
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.30	0.08	0.25	0.09	0.31	0.62	1.65
BODENSTRAHLUNG (>7D)	3.38	0.87	3.18	0.96	4.03	8.06	20.48
INHALATION AUS DER WOLKE	0.11	0.04	1.98	11.24	0.16	0.33	13.86
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.06	0.03	0.93	0.01	0.08	0.17	1.27
INGESTION	8.89	2.50	6.85	18.45	8.41	16.81	61.92
TEILSUMME	12.89	3.57	13.33	30.79	13.14	26.28	100.00

Tab. 10d Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK4 und alle Generationen (AG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.08	0.02	0.04	0.01	0.06	0.12	0.34
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.26	0.07	0.20	0.05	0.27	0.53	1.39
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.91	0.49	1.70	0.42	2.27	4.55	11.34
INHALATION AUS DER WOLKE	0.03	0.01	0.46	4.55	0.05	0.09	5.19
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.03	0.01	0.49	0.0	0.04	0.09	0.67
INGESTION	7.07	1.93	5.53	46.10	6.82	13.63	81.07
TEILSUMME	9.37	2.53	8.42	51.14	9.51	19.03	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.10	0.03	0.05	0.02	0.08	0.15	0.42
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.32	0.09	0.25	0.07	0.33	0.66	1.72
BODENSTRAHLUNG (>7D)	2.22	0.57	1.98	0.49	2.65	5.29	13.19
INHALATION AUS DER WOLKE	0.04	0.01	0.57	5.63	0.06	0.12	6.43
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.03	0.02	0.59	0.0	0.05	0.11	0.79
INGESTION	8.02	2.19	6.26	37.88	7.70	15.41	77.46
TEILSUMME	10.72	2.90	9.69	44.09	10.87	21.73	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.08	0.02	0.04	0.02	0.06	0.12	0.34
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.26	0.07	0.20	0.07	0.26	0.52	1.38
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.88	0.48	1.75	0.55	2.23	4.47	11.37
INHALATION AUS DER WOLKE	0.03	0.01	0.70	7.61	0.06	0.11	8.53
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.03	0.01	0.52	0.0	0.04	0.09	0.70
INGESTION	6.72	1.84	5.25	44.41	6.49	12.97	77.69
TEILSUMME	8.99	2.44	8.47	52.67	9.14	18.29	100.00

Tab. 10e Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK5 und alle Generationen (AG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.11	0.03	0.05	0.02	0.08	0.17	0.46
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.31	0.09	0.24	0.07	0.32	0.63	1.65
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.20	0.31	1.05	0.26	1.40	2.80	7.02
INHALATION AUS DER WOLKE	0.02	0.01	0.32	5.73	0.04	0.07	6.19
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.01	0.01	0.34	0.0	0.03	0.05	0.44
INGESTION	4.20	1.14	3.31	63.19	4.14	8.27	84.24
TEILSUMME	5.85	1.57	5.31	69.27	6.30	12.01	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.14	0.04	0.07	0.02	0.11	0.22	0.61
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.41	0.11	0.31	0.09	0.42	0.83	2.16
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.44	0.37	1.26	0.32	1.69	3.37	8.45
INHALATION AUS DER WOLKE	0.03	0.01	0.42	7.53	0.05	0.10	8.14
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.02	0.01	0.41	0.0	0.03	0.07	0.54
INGESTION	4.94	1.34	3.89	55.44	4.83	9.66	80.11
TEILSUMME	6.98	1.87	6.36	63.41	7.13	14.25	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.10	0.03	0.05	0.03	0.08	0.16	0.45
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.30	0.08	0.23	0.08	0.30	0.61	1.61
BODENSTRAHLUNG (>7D)	1.15	0.30	1.01	0.34	1.35	2.70	6.85
INHALATION AUS DER WOLKE	0.02	0.01	0.31	8.88	0.04	0.07	9.32
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.01	0.01	0.32	0.0	0.03	0.05	0.43
INGESTION	4.02	1.09	3.17	61.20	3.96	7.92	81.35
TEILSUMME	5.61	1.50	5.10	70.52	5.76	11.51	100.00

Tab. 10f Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK6 und alle Generationen (AG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.02
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.08	0.02	0.06	0.02	0.08	0.17	0.42
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.77	1.22	4.36	1.06	5.82	11.63	28.87
INHALATION AUS DER WOLKE	0.04	0.01	0.05	0.56	0.05	0.09	0.81
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.03	0.01	0.04	0.01	0.04	0.08	0.21
INGESTION	11.87	2.97	9.62	10.23	11.66	23.33	69.67
TEILSUMME	16.80	4.23	14.13	11.88	17.66	35.31	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01	0.03
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.09	0.02	0.07	0.02	0.09	0.19	0.47
BODENSTRAHLUNG (>7D)	5.08	1.30	4.63	1.13	6.18	12.37	30.69
INHALATION AUS DER WOLKE	0.04	0.01	0.06	0.63	0.05	0.11	0.90
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.09	0.22
INGESTION	11.53	2.88	9.34	9.96	11.32	22.65	67.68
TEILSUMME	16.78	4.23	14.14	11.75	17.70	35.40	100.00

(V3)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.01	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01	0.03
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.09	0.02	0.07	0.02	0.10	0.19	0.51
BODENSTRAHLUNG (>7D)	5.04	1.28	4.54	1.23	6.08	12.17	30.33
INHALATION AUS DER WOLKE	0.04	0.01	0.07	1.09	0.06	0.11	1.39
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.09	0.22
INGESTION	11.43	2.86	9.27	10.25	11.24	22.47	67.52
TEILSUMME	16.64	4.18	13.99	12.60	17.52	35.05	100.00

Tab. 10g Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für die Freisetzungskategorie FK7 und alle Generationen (AG)

(V1)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.02	0.01	0.01	0.0	0.02	0.04	0.10
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.20	0.05	0.16	0.04	0.21	0.42	1.08
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.74	1.21	4.29	1.05	5.73	11.45	28.46
INHALATION AUS DER WOLKE	0.06	0.02	1.84	1.90	0.10	0.20	4.13
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.05	0.02	2.12	0.01	0.09	0.18	2.46
INGESTION	9.49	2.49	7.54	16.66	9.19	18.39	63.77
TEILSUMME	14.56	3.80	15.95	19.67	15.34	30.68	100.00

(V2)

EXPOSITIONSPFAD	KREBSART						TEIL-SUMME
	LEUKAEMIE	KNOCHEN-KREBS	LUNGEN-KREBS	SCHILDDR.-KREBS	BRUST-KREBS	ANDERE KREBSART.	
WOLKENSTRAHLUNG	0.03	0.01	0.02	0.0	0.02	0.05	0.13
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.26	0.07	0.20	0.05	0.27	0.53	1.38
BODENSTRAHLUNG (>7D)	5.52	1.41	4.98	1.22	6.66	13.32	33.12
INHALATION AUS DER WOLKE	0.07	0.02	2.34	2.42	0.13	0.26	5.25
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.05	0.02	2.25	0.01	0.10	0.20	2.64
INGESTION	9.03	2.37	7.17	12.73	8.74	17.47	57.50
TEILSUMME	14.96	3.90	16.96	16.44	15.92	31.83	100.00

(V3)

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	0.13
BODENSTRAHLUNG (0-7D)	0.32	0.09	0.37	0.10	0.32	0.64	1.83
BODENSTRAHLUNG (>7D)	4.72	1.21	5.67	1.41	5.57	11.14	29.73
INHALATION AUS DER WOLKE	0.09	0.03	6.15	4.45	0.17	0.33	11.22
INHALATION NACH RESUSPENSION	0.05	0.02	5.79	0.01	0.11	0.22	6.21
INGESTION	7.53	1.99	6.06	13.42	7.29	14.58	50.87
TEILSUMME	12.74	3.35	24.06	19.40	13.48	26.97	100.00

Tab. 10h Relative Aufteilung der Spätschäden nach Krebsarten und Expositionspfaden für alle Generationen (AG)

Freisetzungskategorie		Ganzkörper $D_{GR} = 5\text{rem}$	Knochenmark $D_{GR} = 5\text{ rem}$	Lunge $D_{GR} = 15\text{rem}$	Knochenoberfläche $D_{GR} = 30\text{ rem}$	Schilddrüse $D_{GR} = 30\text{rem}$
FK1	V2	71.7	70.2	85.0	4.9	61.2
	V1	37.4	34.5	63.1	2.5	14.1
FK2	V2	57.7	57.9	37.5	2.7	57.6
	V1	39.4	38.3	27.5	1.8	24.7
FK3	V2	21.9	21.5	15.7	0.9	24.8
	V1	17.8	17.3	13.2	0.7	14.5
FK4	V2	5.0	4.7	5.2	0.4	10.0
	V1	4.6	4.3	4.8	0.4	7.5
FK5	V2	2.1	2.0	2.0	0.0	2.1
	V1	1.9	1.8	1.9	0.0	1.5
FK6	V2	0.8	0.9	0.3	0.0	1.5
	V1	0.7	0.8	0.2	0.0	1.0
FK7	V2	6.5	6.0	0.5	0.0	1.3
	V1	5.8	5.3	0.4	0.0	1.2

Tab.11 Prozentualer Anteil der Krebsfälle durch Strahlendosen oberhalb der Grenzwerte D_{GR} der deutschen Strahlenschutzverordnung (Ergebnisse für Entfernungsbereiche $\leq 540\text{ km}$ (V2) und alle Entfernungen (V1)).

Freisetzungskategorie	Kleinster Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\min}	Größter Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\max}	Mittlerer Kollektivschaden $\overline{KS} (b/c)^{2)}$	Maß der Abweichung ΔKS
FK1	140	77500	15821 (54,6/45,4)	5400
FK2	93	21600	5211 (55,4/44,6)	1830
FK3	22	5450	961 (66,0/34,0)	350
FK4	4	1490	242 (51,0/49,0)	83
FK5	4	390	116 (50,0/50,0)	31
FK6	2	350	84 (49,3/50,7)	25
FK7	4	1660	400 (49,5/50,5)	130
FK8	<<1	<<1	<<1	<<1

1) Der größte Kollektivschaden KS_{\max} resultiert aus einem der $115 \times 36 \times 19 = 78\ 660$ betrachteten Unfallabläufe der betroffenen Freisetzungskategorie.

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

Tab.12a Charakteristische Größen der Spätschäden (25 Anlagen) für die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen (LG) und nichtlineare Dosis-Risiko-Beziehung.

Freisetzungskategorie	Kleinsten Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\min}	Größter Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\max}	Mittlerer Kollektivschaden \overline{KS} (b/c) ²⁾	Maß der Abweichung ΔKS
FK1	1	1400	872 (37,8/62,2)	248
FK2	<1	1070	519 (44,8/55,2)	180
FK3	1	340	120 (49,8/50,2)	40
FK4	<1	130	24 (52,2/47,8)	9
FK5	<1	40	8 (54,4/45,6)	2
FK6	<1	20	4 (57,3/42,7)	1
FK7	<1	230	53 (50,3/49,7)	17
FK8	<<1	<<1	<<1	<<1

1) Der größte Kollektivschaden KS_{\max} resultiert aus einem der $115 \times 36 \times 19 = 78\ 660$ betrachteten Unfallabläufe der betroffenen Freisetzungskategorie.

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

Tab.12b Charakteristische Größen der Spätschäden (25 Anlagen) für nach der Freisetzung geborene Personen (FG) und nichtlineare Dosis-Risiko-Beziehung

Freisetzungskategorie	Kleinster Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\min}	Größter Kollektivschaden ¹⁾ KS_{\max}	Mittlerer Kollektivschaden \overline{KS} (b/c) ²⁾	Maß der Abweichung ΔKS
FK1	140	78700	16693 (54,1/45,9)	5550
FK2	95	21900	5730 (53,1/46,9)	1950
FK3	23	5630	1081 (63,3/36,7)	380
FK4	4	1500	266 (51,0/49,0)	90
FK5	4	410	124 (50,1/49,9)	33
FK6	2	360	88 (49,2/50,8)	26
FK7	5	1900	453 (49,4/50,6)	150
FK8	<<1	<<1	<<1	<<1

1) Der größte Kollektivschaden KS_{\max} resultiert aus einem der $115 \times 36 \times 19 = 78\ 660$ betrachteten Unfallabläufe der betroffenen Freisetzungskategorie.

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

Tab. 12c Charakteristische Größen der Spätschäden (25 Anlagen) bei nichtlinearer Dosis-Risiko-Beziehung (AG)

Freisetzungskategorie	Kollektivrisiko $\langle KS^{25} \rangle$ [a^{-1}]			
	LG	FG	AG	FG /%/
FK1	$7,91 \cdot 10^{-1}$	$4,36 \cdot 10^{-1}$	$8,35 \cdot 10^{-1}$	5,2
FK2	$7,82 \cdot 10^{-2}$	$7,78 \cdot 10^{-3}$	$8,59 \cdot 10^{-1}$	9,1
FK3	$1,44 \cdot 10^{-2}$	$1,79 \cdot 10^{-3}$	$1,62 \cdot 10^{-2}$	11,1
FK4	$1,81 \cdot 10^{-2}$	$1,80 \cdot 10^{-3}$	$1,99 \cdot 10^{-2}$	9,0
FK5	$5,82 \cdot 10^{-2}$	$3,93 \cdot 10^{-3}$	$6,21 \cdot 10^{-2}$	6,3
FK6	$1,47 \cdot 10^{-1}$	$6,61 \cdot 10^{-3}$	$1,53 \cdot 10^{-1}$	4,3
FK7	$9,98 \cdot 10^{-1}$	$1,33 \cdot 10^{-1}$	1,13	11,8
FK8	$8,31 \cdot 10^{-5}$	$5,20 \cdot 10^{-6}$	$8,83 \cdot 10^{-5}$	5,9
alle FK	2,10	$1,99 \cdot 10^{-1}$	2,30	8,6

Tab. 13 Kollektivrisiken der somatischen Spätschäden bei nichtlinearer Dosis-Risiko-Beziehung

Freisetzungskategorie	Reduktionsfaktor der Kollektivrisiken		
	LG	FG	AG
FK1	2,47	5,00	2,60
FK2	3,06	5,00	3,24
FK3	3,82	5,00	3,95
FK4	4,42	5,00	4,47
FK5	4,73	5,00	4,75
FK6	4,74	5,00	4,76
FK7	4,74	5,00	4,77
FK8	5,00	5,00	5,00
alle FK	3,81	5,00	3,92

Tab. 14 Reduktionsfaktor der Kollektivrisiken bzgl. somatischer Spätschäden nach Einführung einer nichtlinearen Dosis-Risiko-Beziehung.

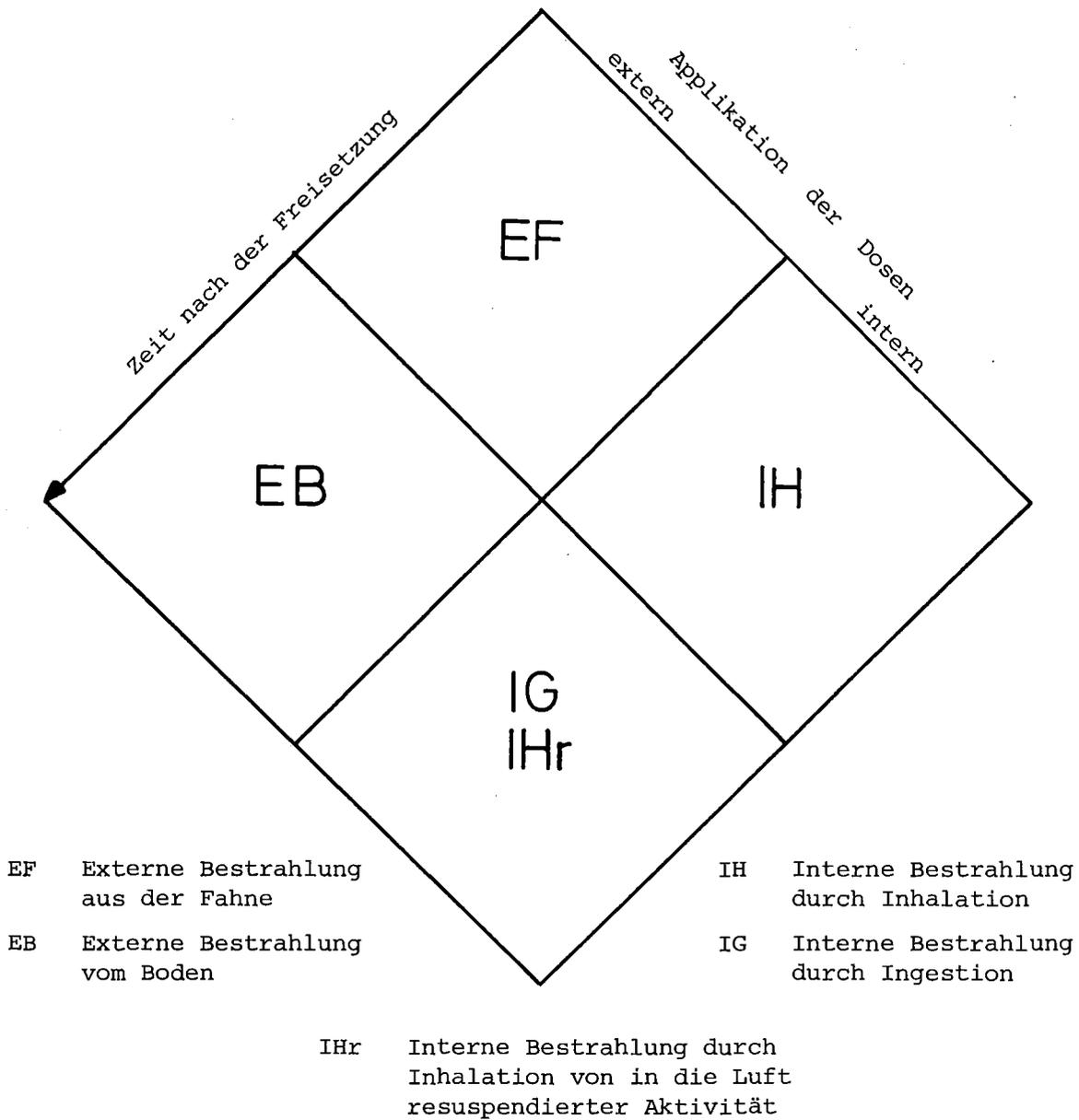


Abb. 1 : Zeitliche Einordnung der extern und intern applizierten Dosen über die verschiedenen Expositionspfade

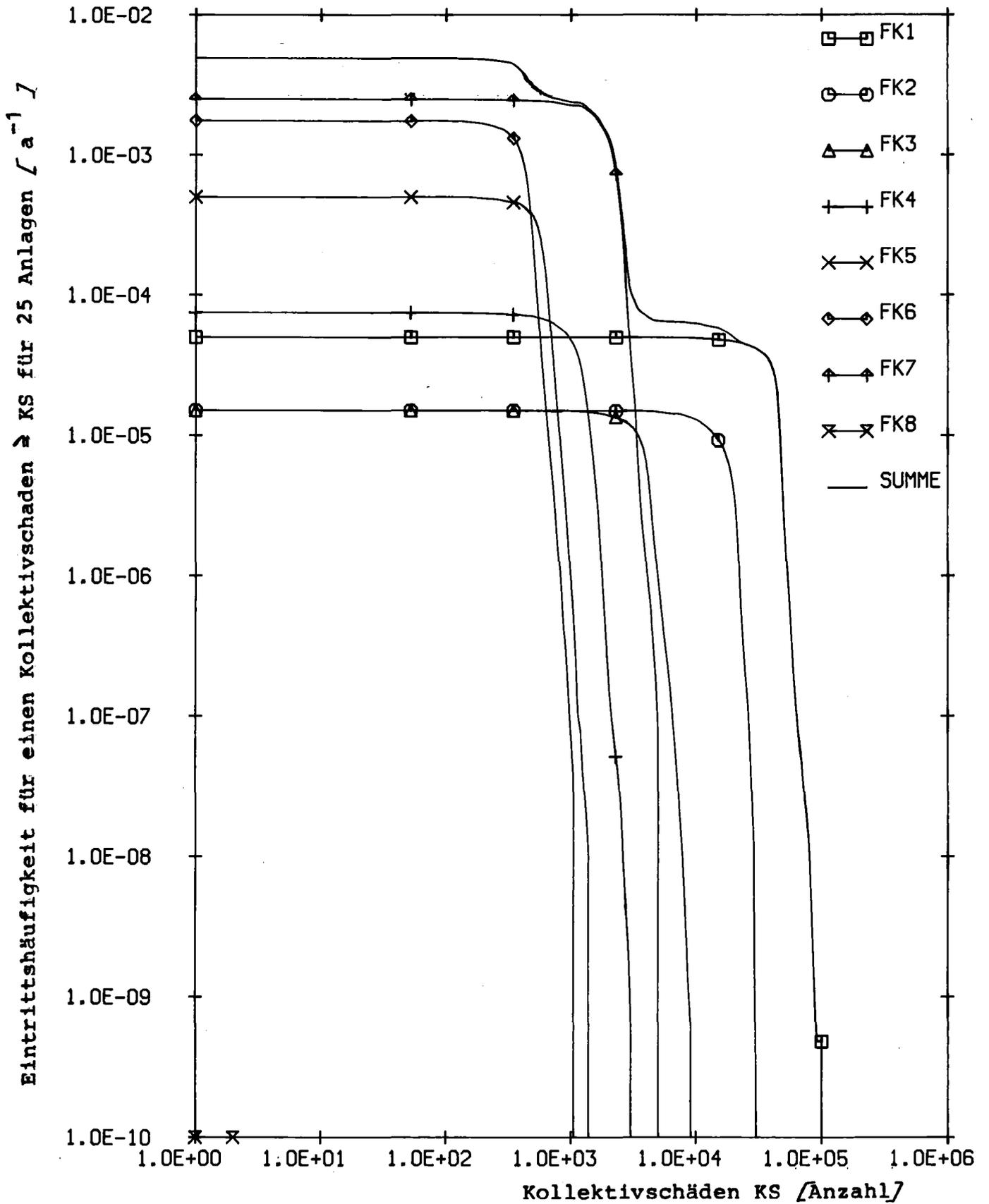


Abb. 2a Komplementäre Häufigkeitsverteilung der somatischen Spätschäden für die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen (LG), aufgeschlüsselt nach Freisetzungskategorien

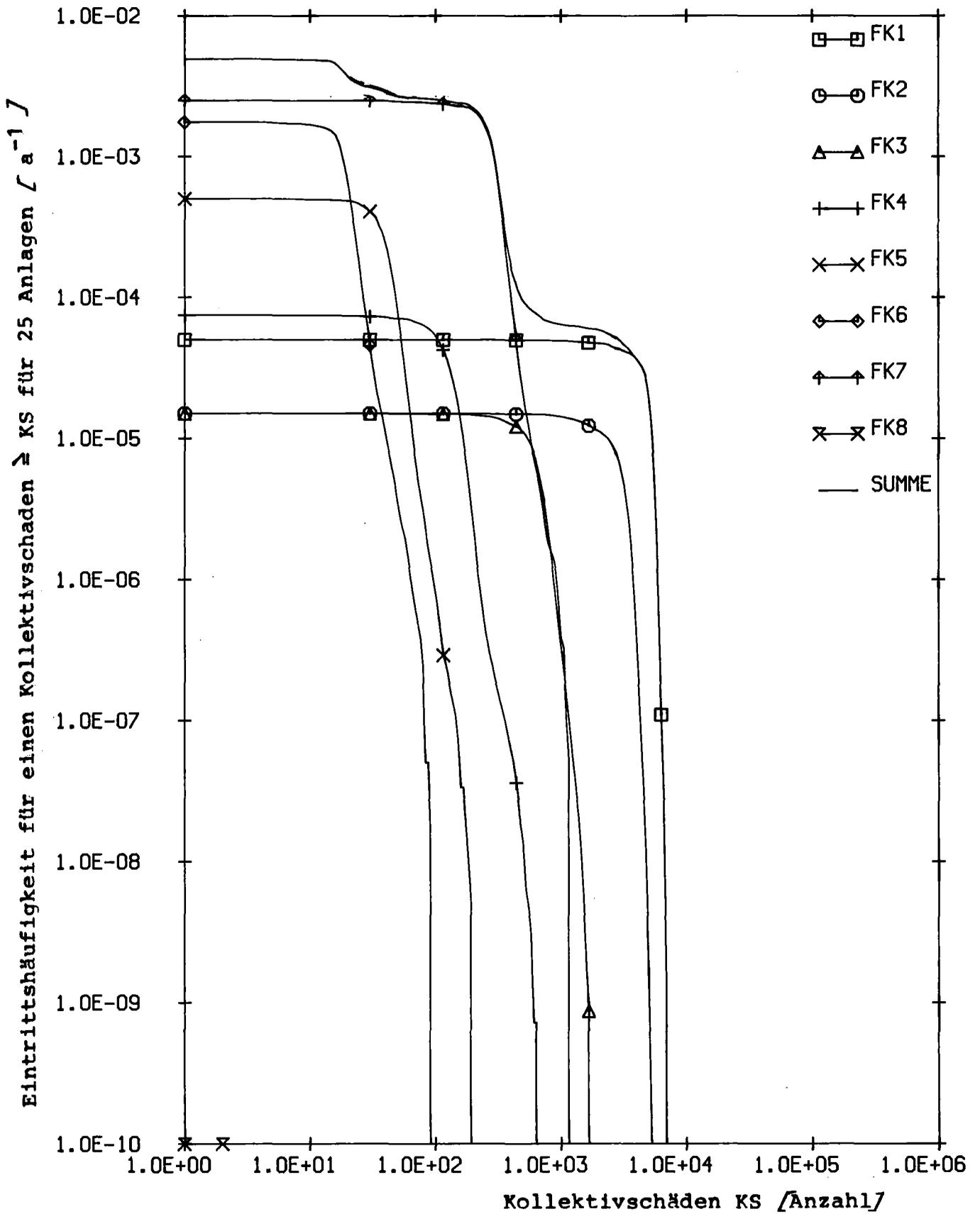


Abb. 2b Komplementäre Häufigkeitsverteilung der somatischen Spätschäden für die nach der Freisetzung geborenen Personen (FG), aufgeschlüsselt nach Freisetzungskategorien

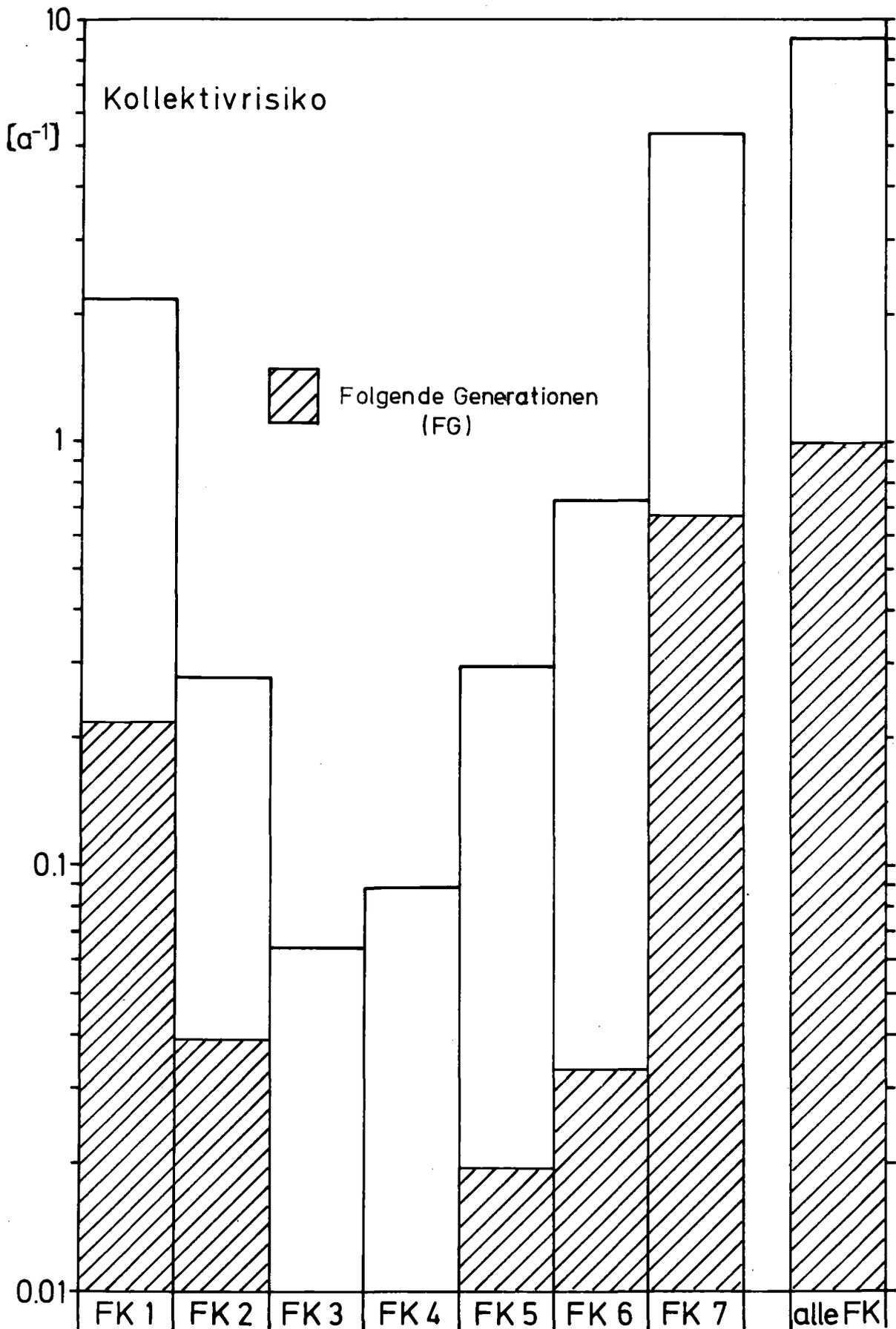


Abb. 3 Kollektivrisiko für somatische Spätschäden, aufgeschlüsselt nach Freisetzungskategorien

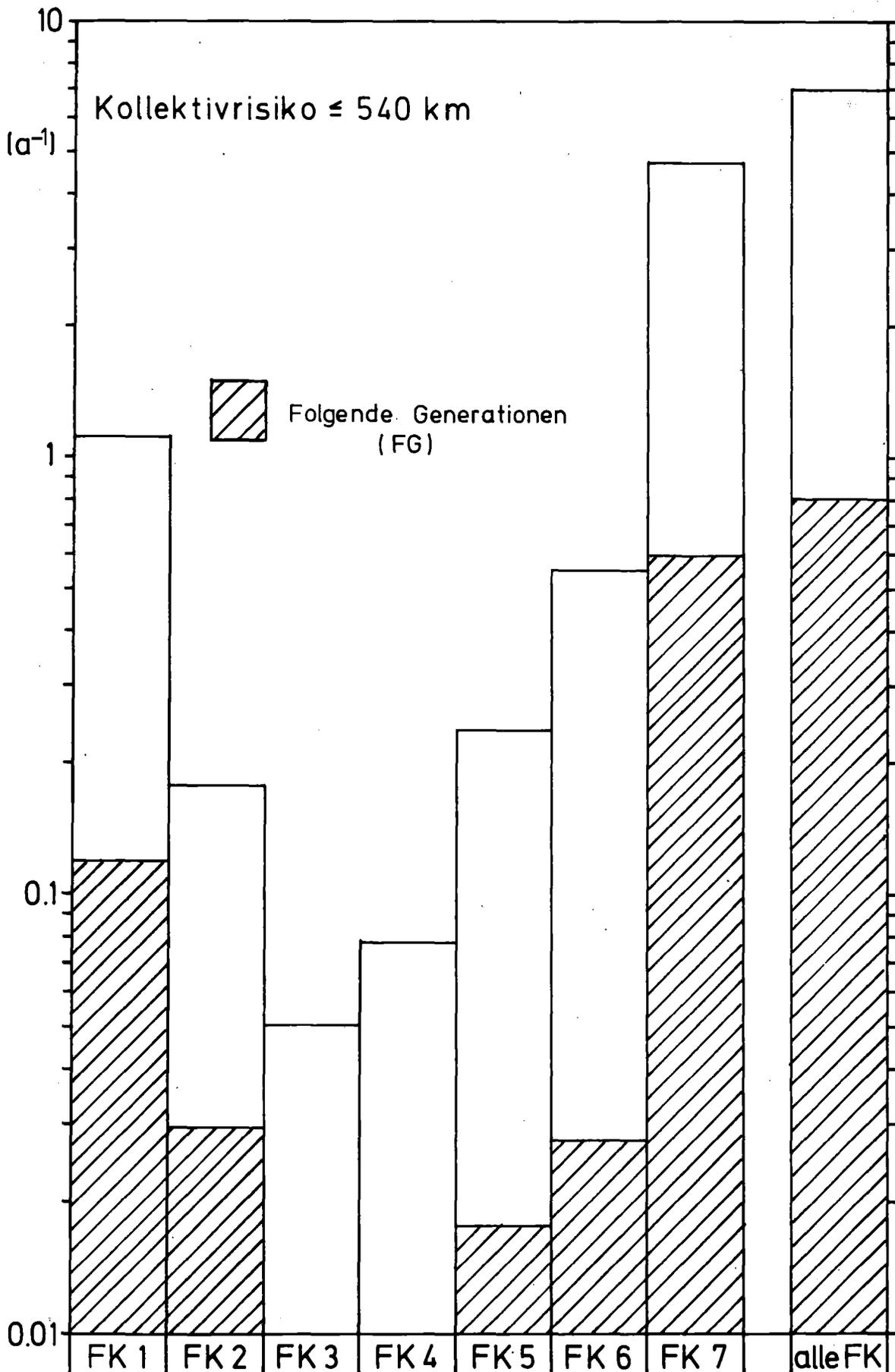


Abb. 4 Kollektivrisiko für somatische Spätschäden ≤ 540 km ,
aufgeschlüsselt nach Freisetzungskategorien

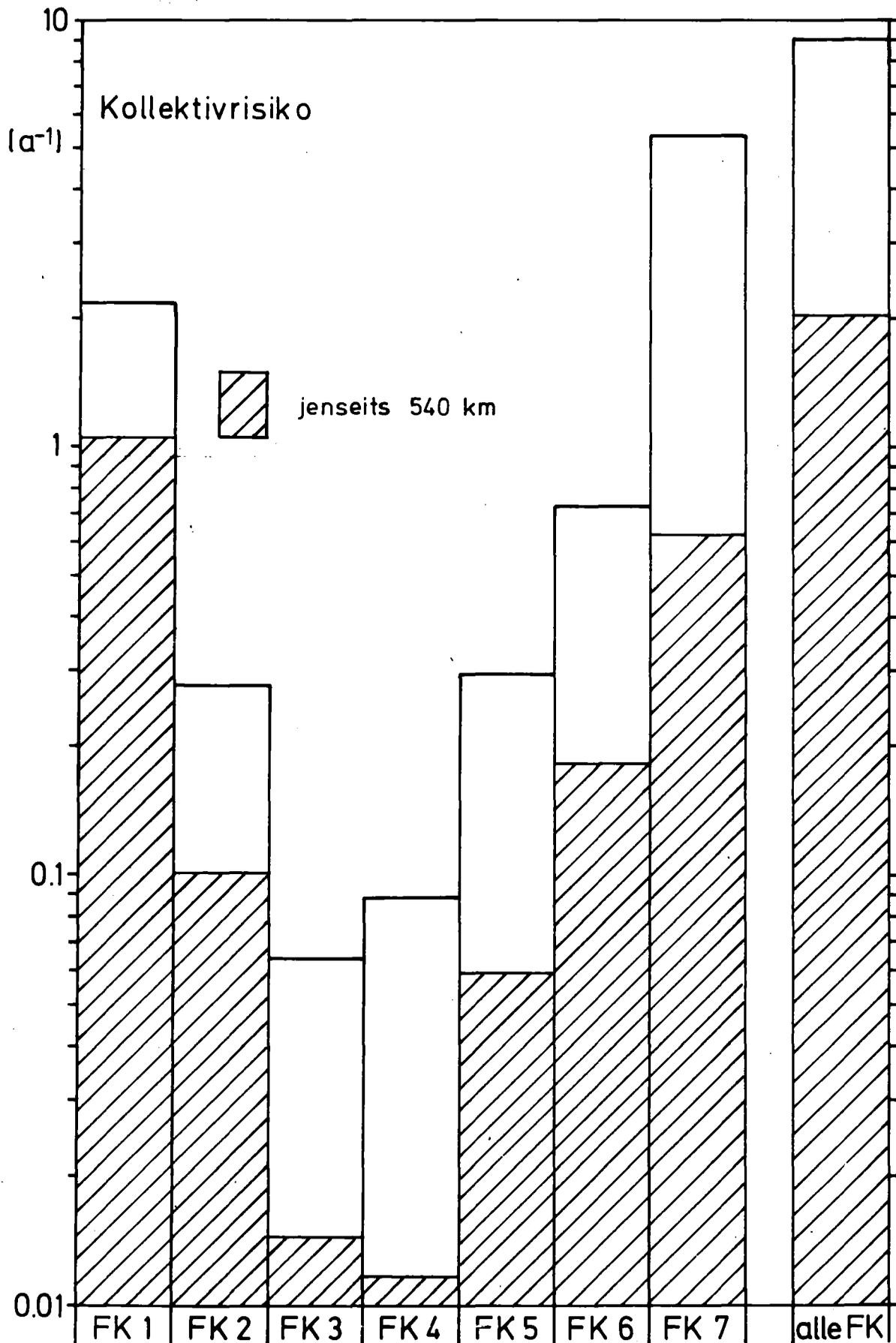


Abb. 5 Kollektivrisiko für somatische Spätschäden, aufgeschlüsselt nach Freisetzungskategorien

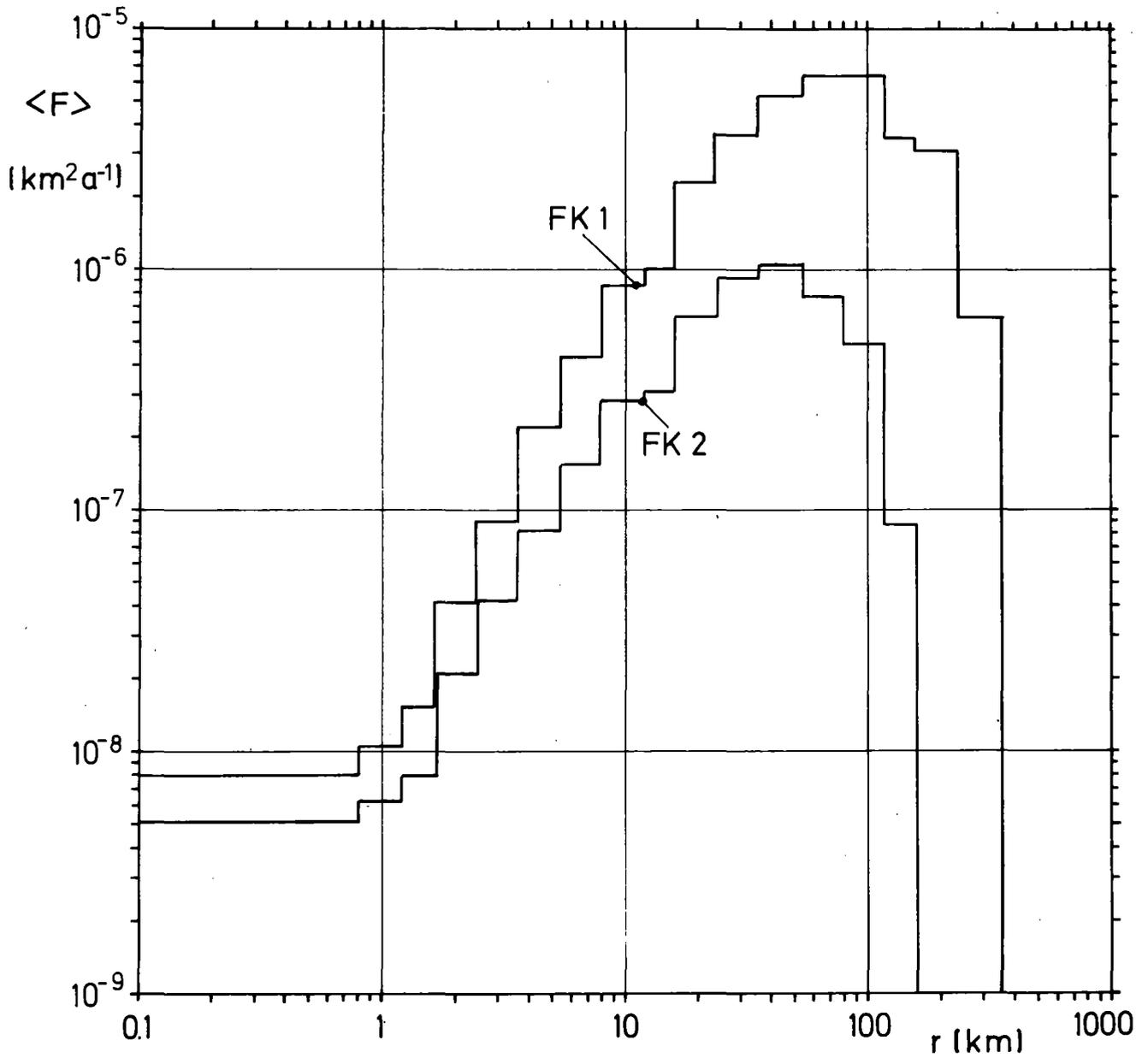


Abb.6a Abstandsabhängiger Erwartungswert der von der Gegenmaßnahme "Umsiedlung" (Gebiet C) betroffenen Flächen

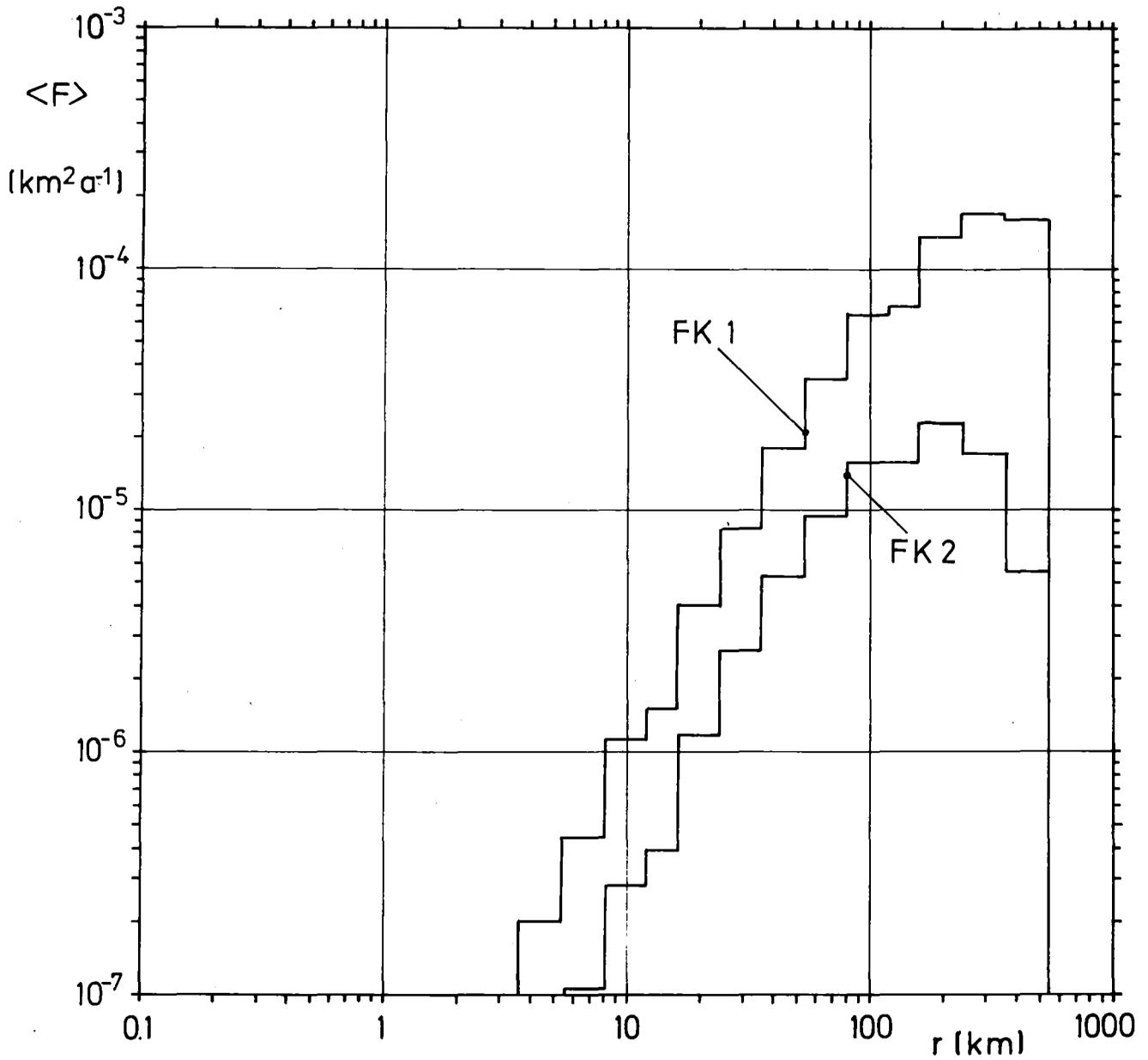


Abb.6b Abstandsabhängiger Erwartungswert der von der Gegenmaßnahme "Dekontamination" (Gebiet D1) betroffenen Flächen

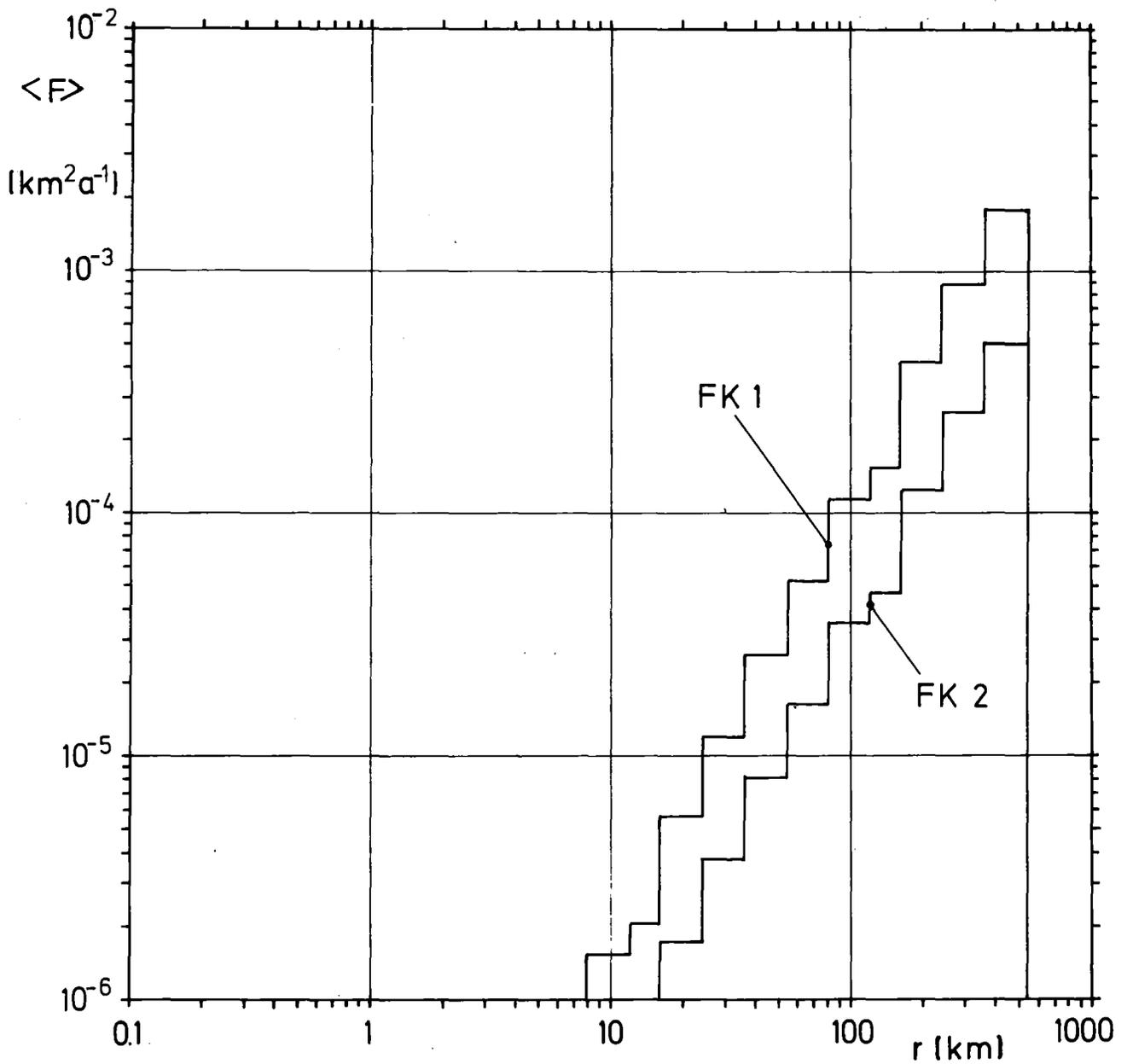


Abb.7a Abstandsabhängiger Erwartungswert der von der Gegenmaßnahme "Einschränkungen beim Verzehr von Milch im 1.Jahr" betroffenen Flächen

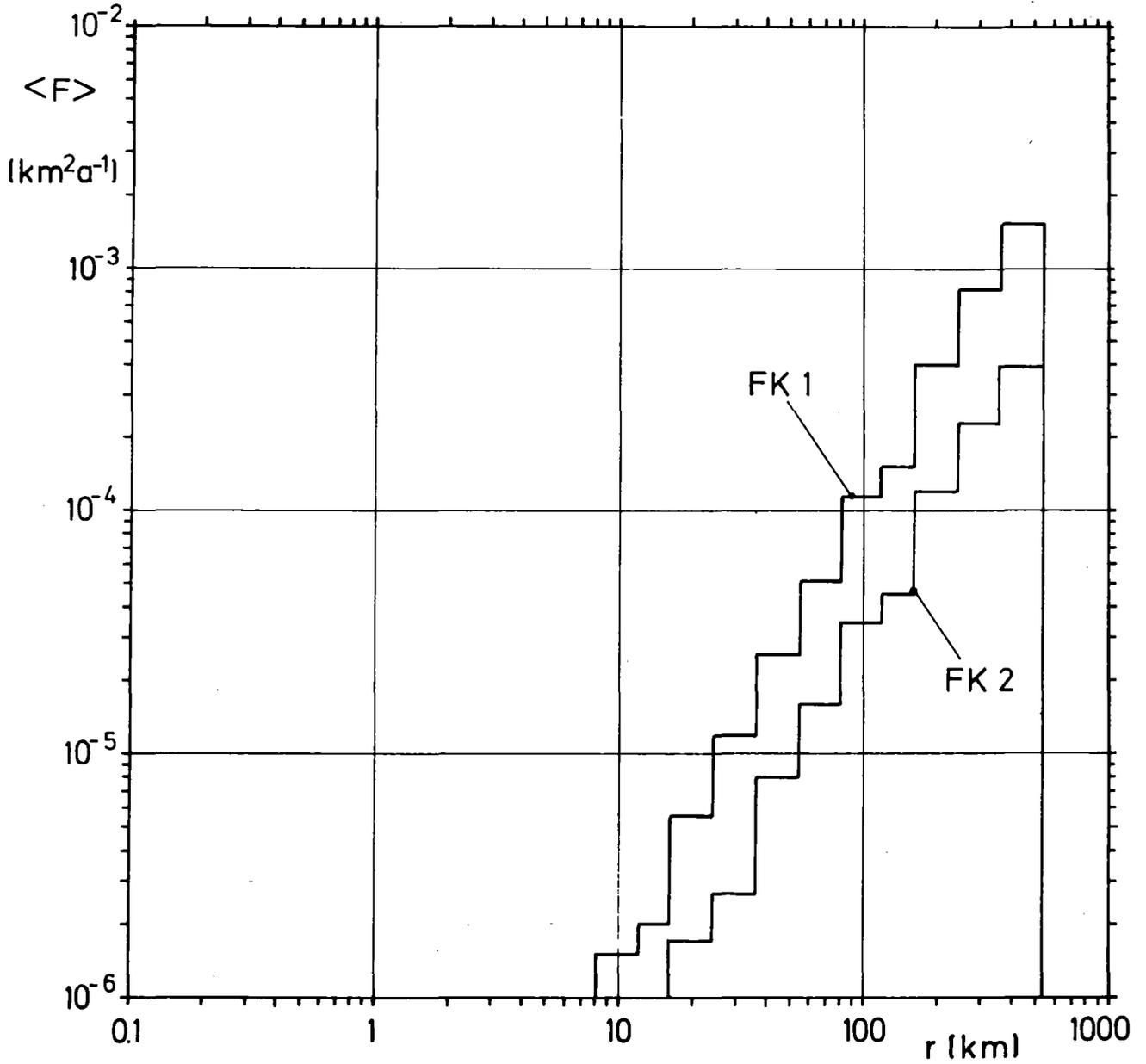


Abb.7b Abstandsabhängiger Erwartungswert der von der Gegenmaßnahme "Einschränkungen beim Verzehr anderer landwirtschaftlicher Produkte im 1.Jahr" betroffenen Flächen

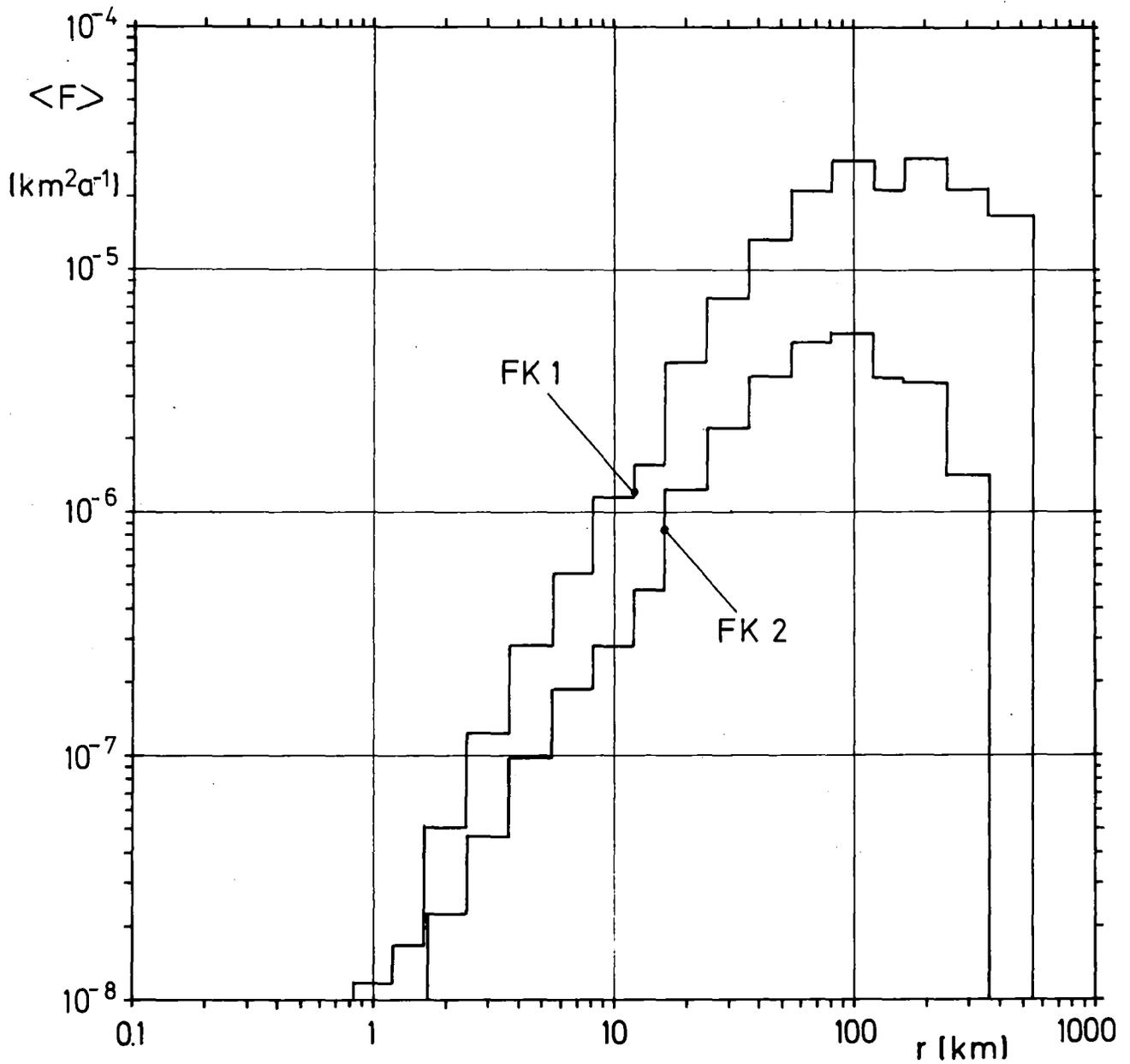


Abb.7c Abstandsabhängiger Erwartungswert der von der Gegenmaßnahme "Einschränkungen beim Verzehr von Milch in den Folgejahren" betroffenen Flächen

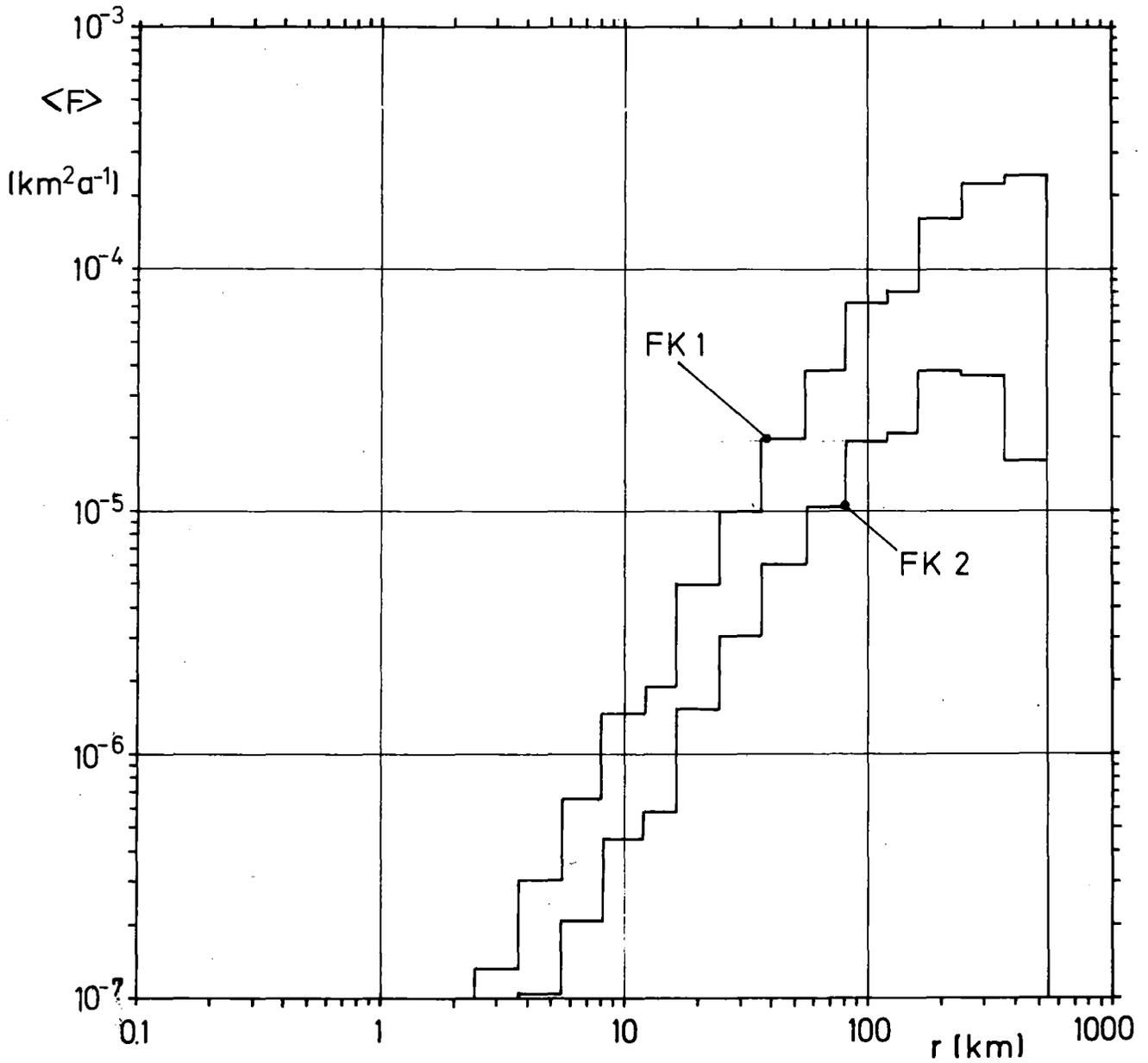


Abb.7d Abstandsabhängiger Erwartungswert der von der Gegenmaßnahme "Einschränkungen beim Verzehr anderer landwirtschaftlicher Produkte in den Folgejahren" betroffenen Flächen

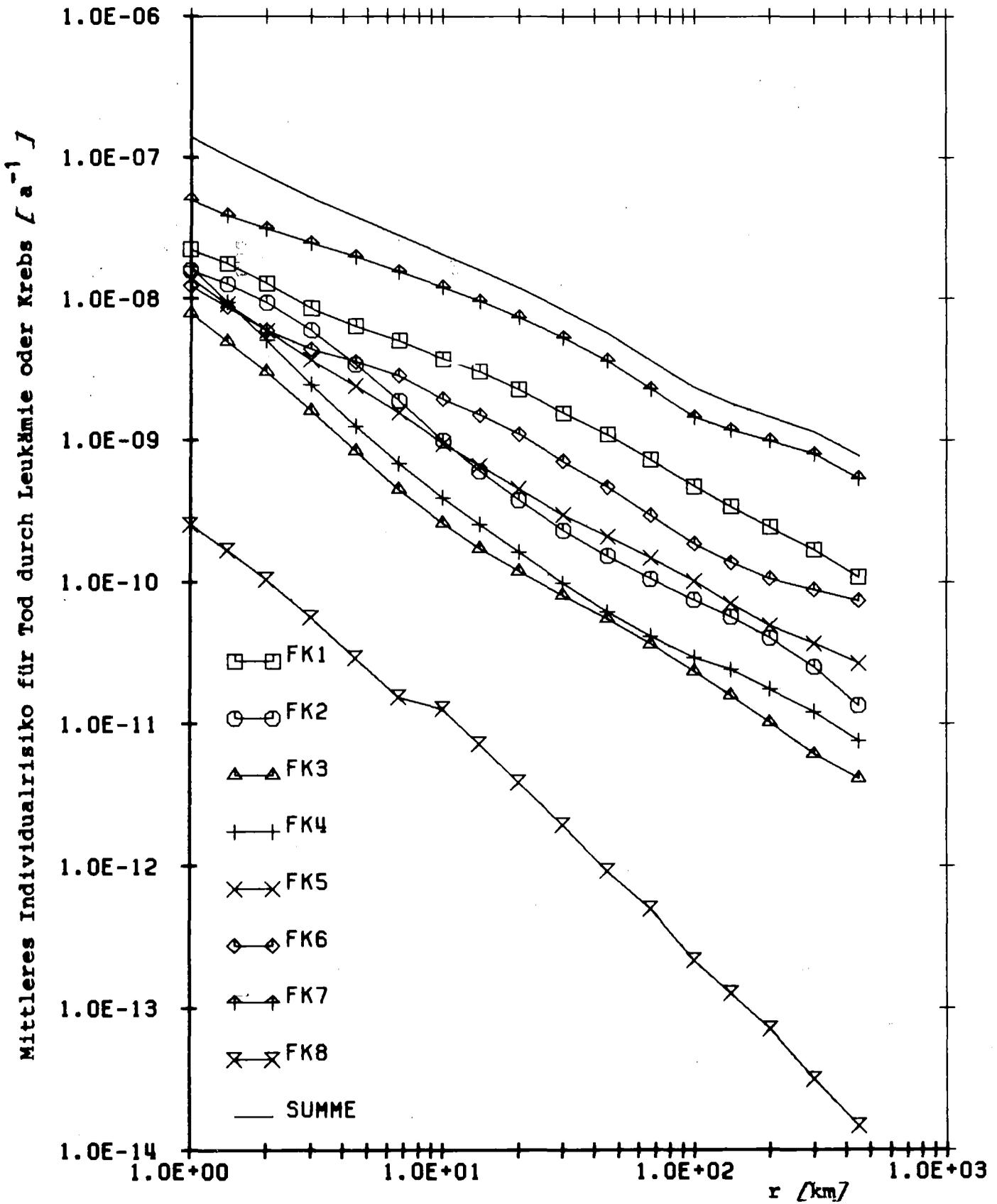


Abb.8a Abstandsabhängige mittlere Individualrisiken für somatische Spätschäden bei den zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen (LG), bezogen auf ein Kernkraftwerk

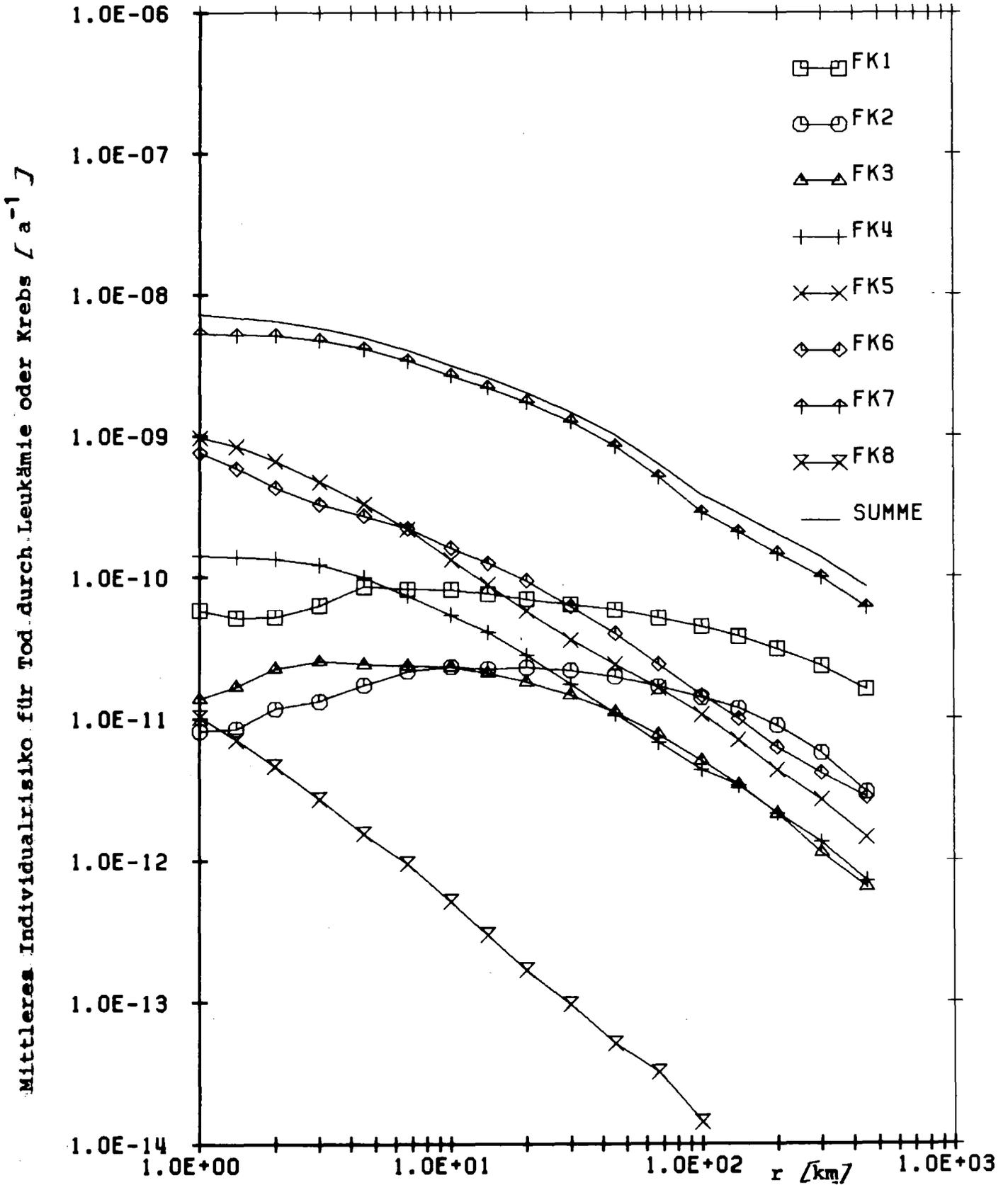


Abb.8b Abstandsabhängige mittlere Individualrisiken für somatische Spätschäden bei den nach der Freisetzung geborenen Personen (FG), bezogen auf ein Kernkraftwerk

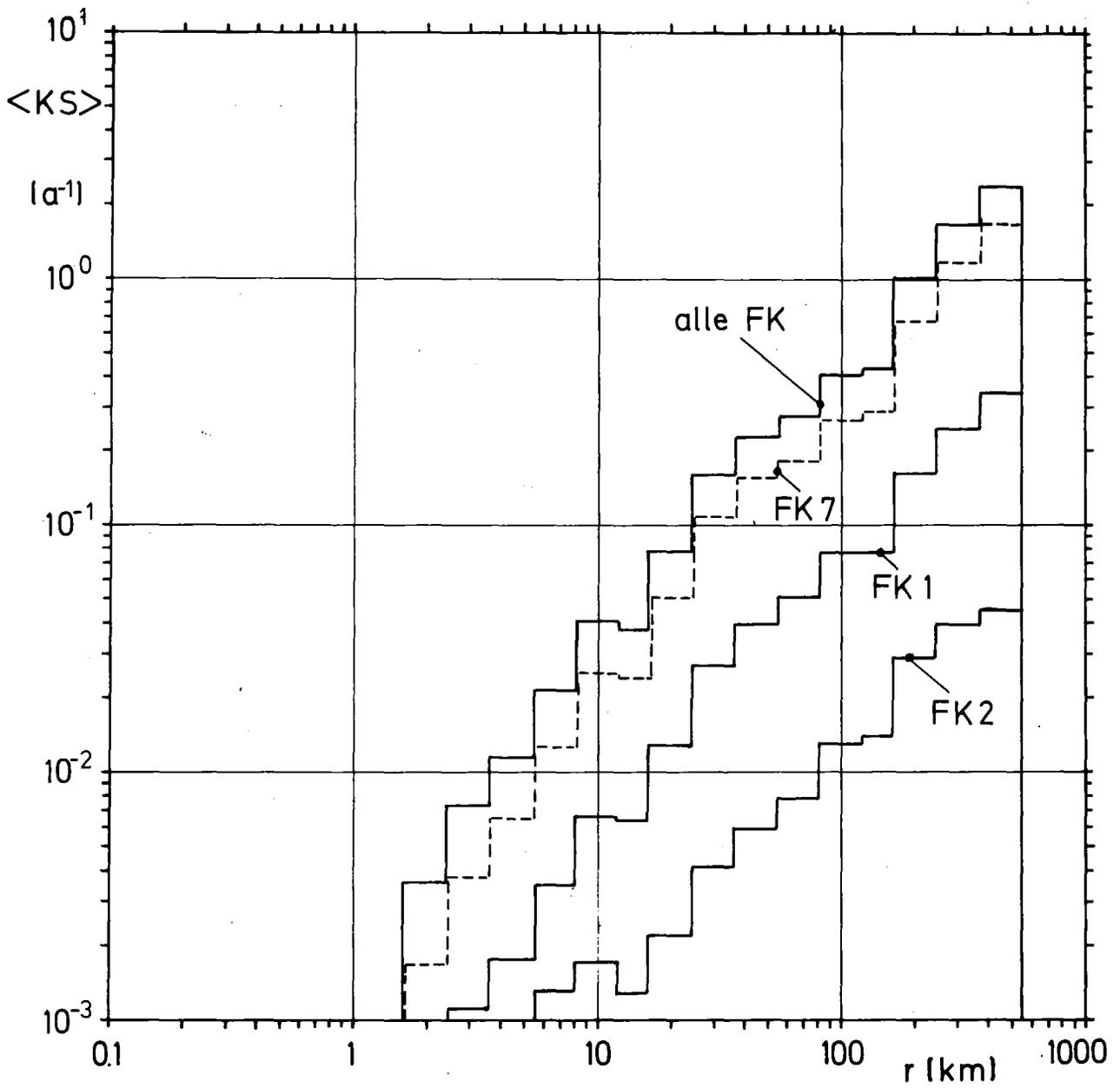


Abb. 9 Entfernungabhängiges Kollektivrisiko

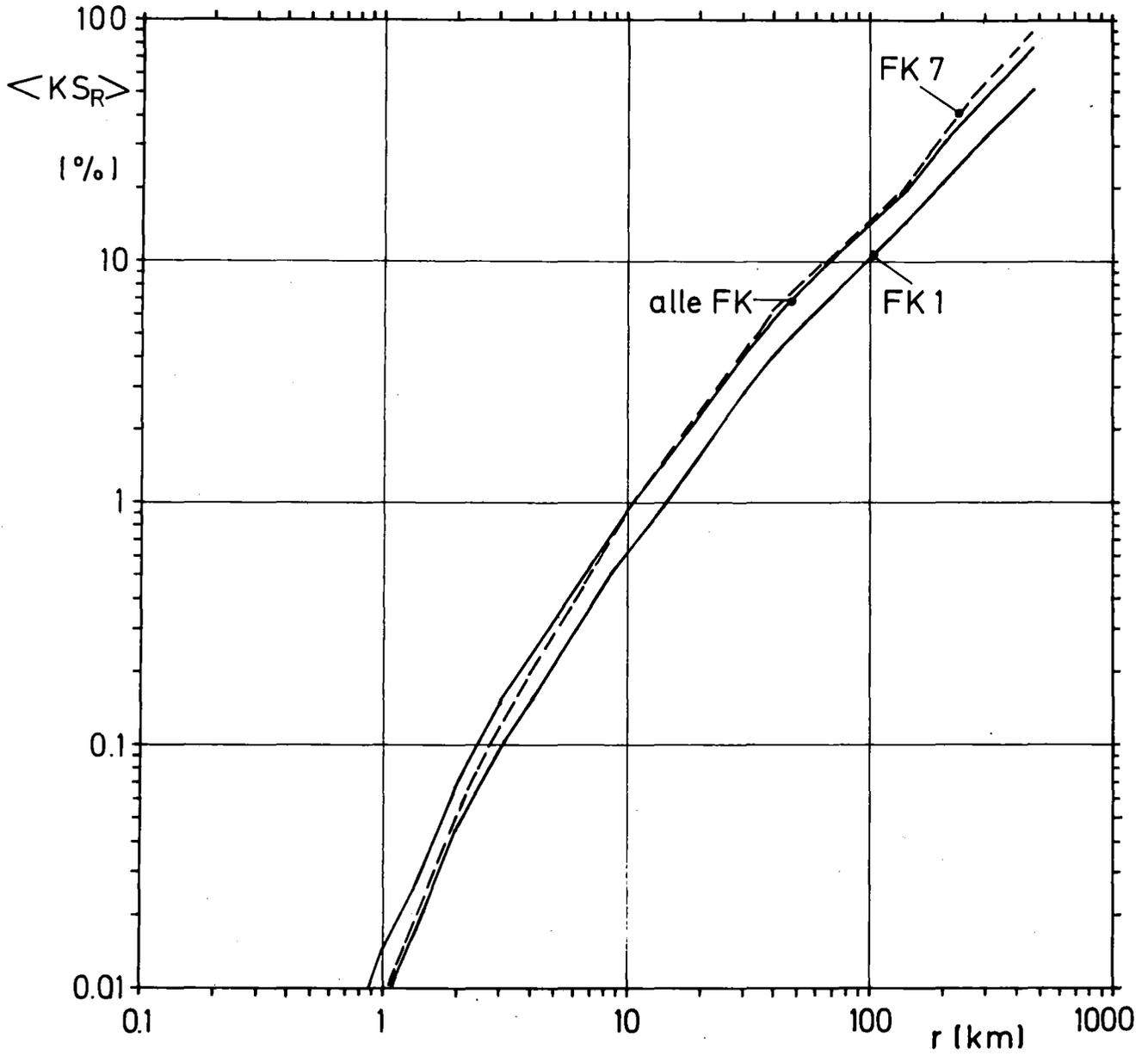


Abb.10 Entfernungabhängiges relatives kumulatives Kollektivrisiko

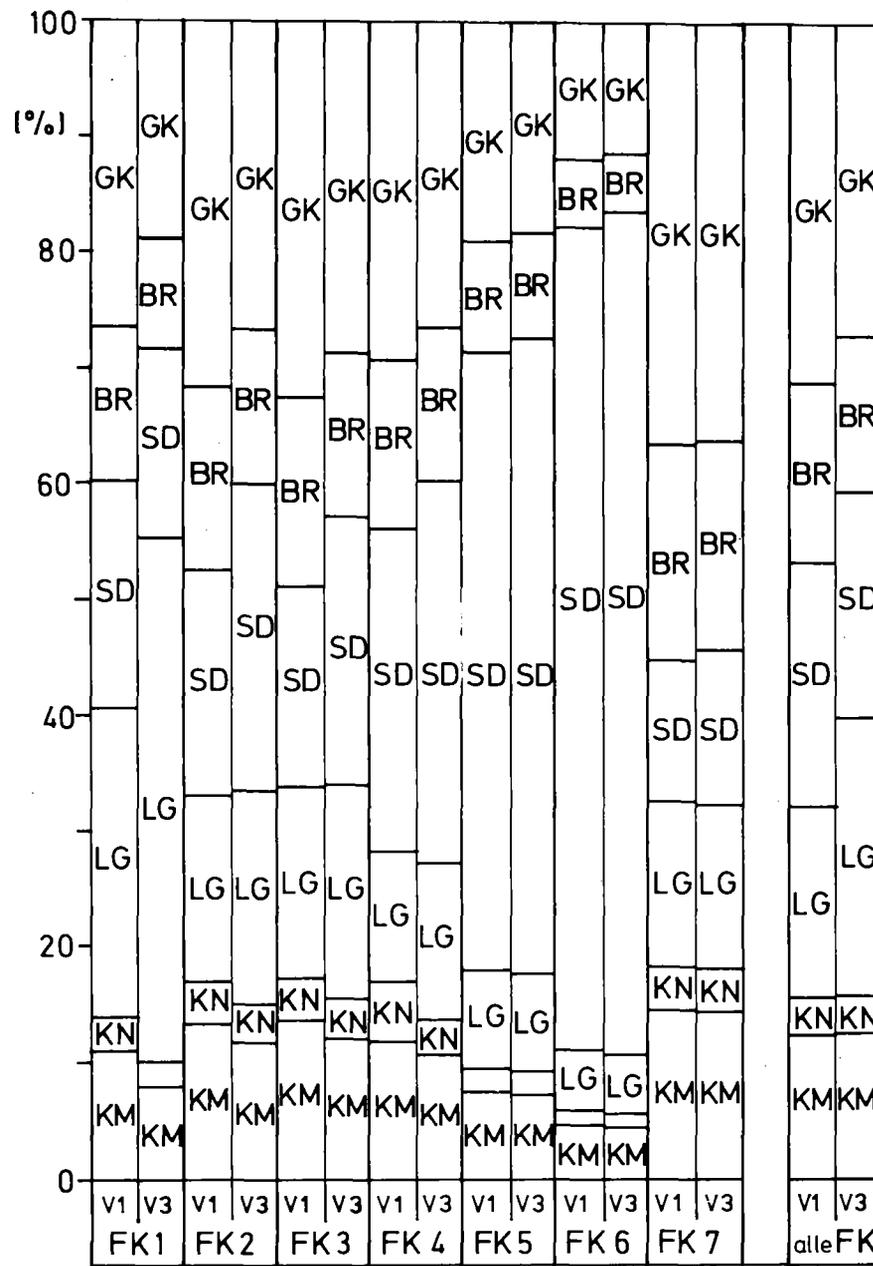
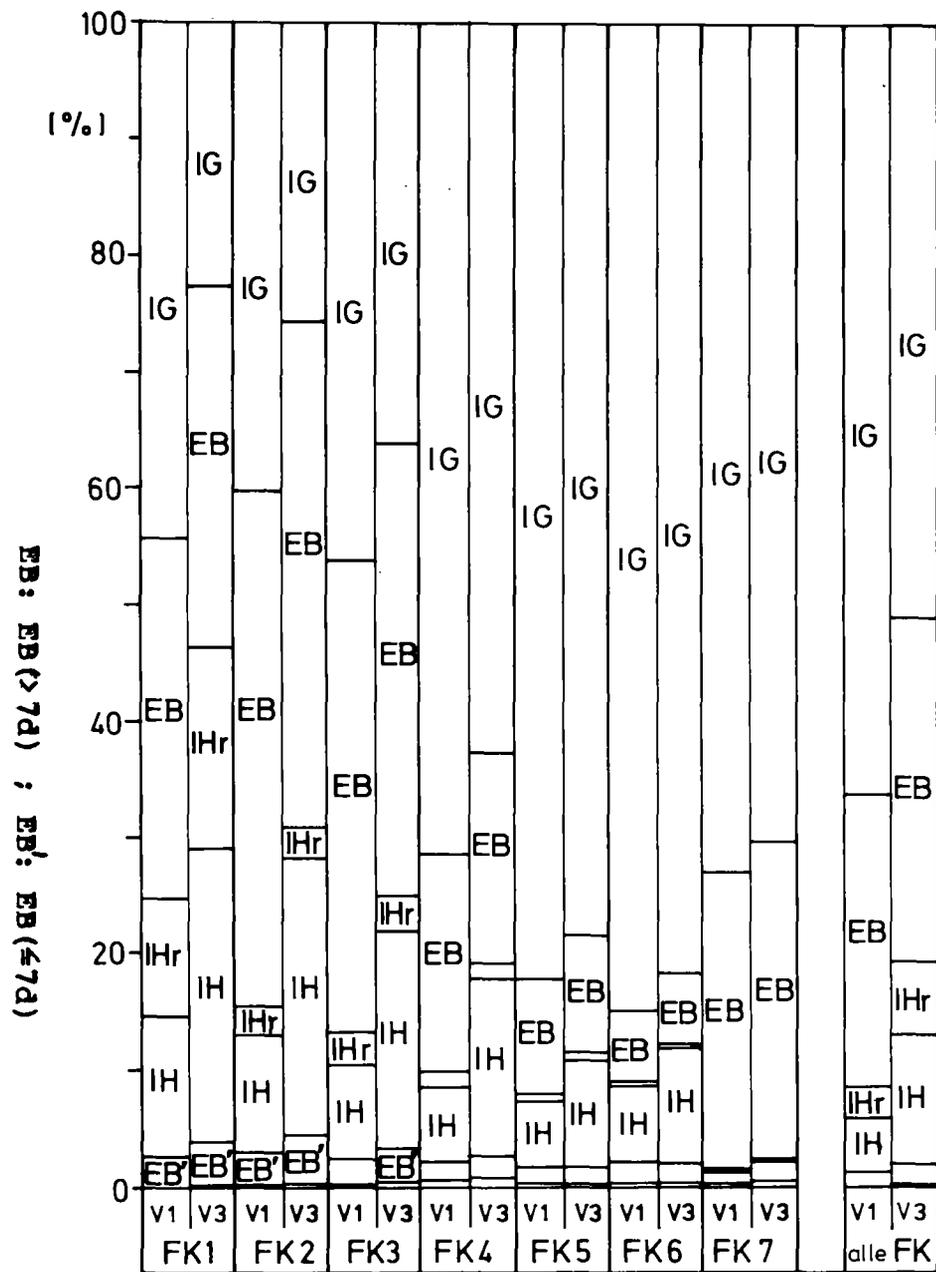


Abb.11 Relative Aufteilung der somatischen Spätschäden nach Expositionspfaden und Krebsarten (zur Zeit der Freisetzung lebende Personen)

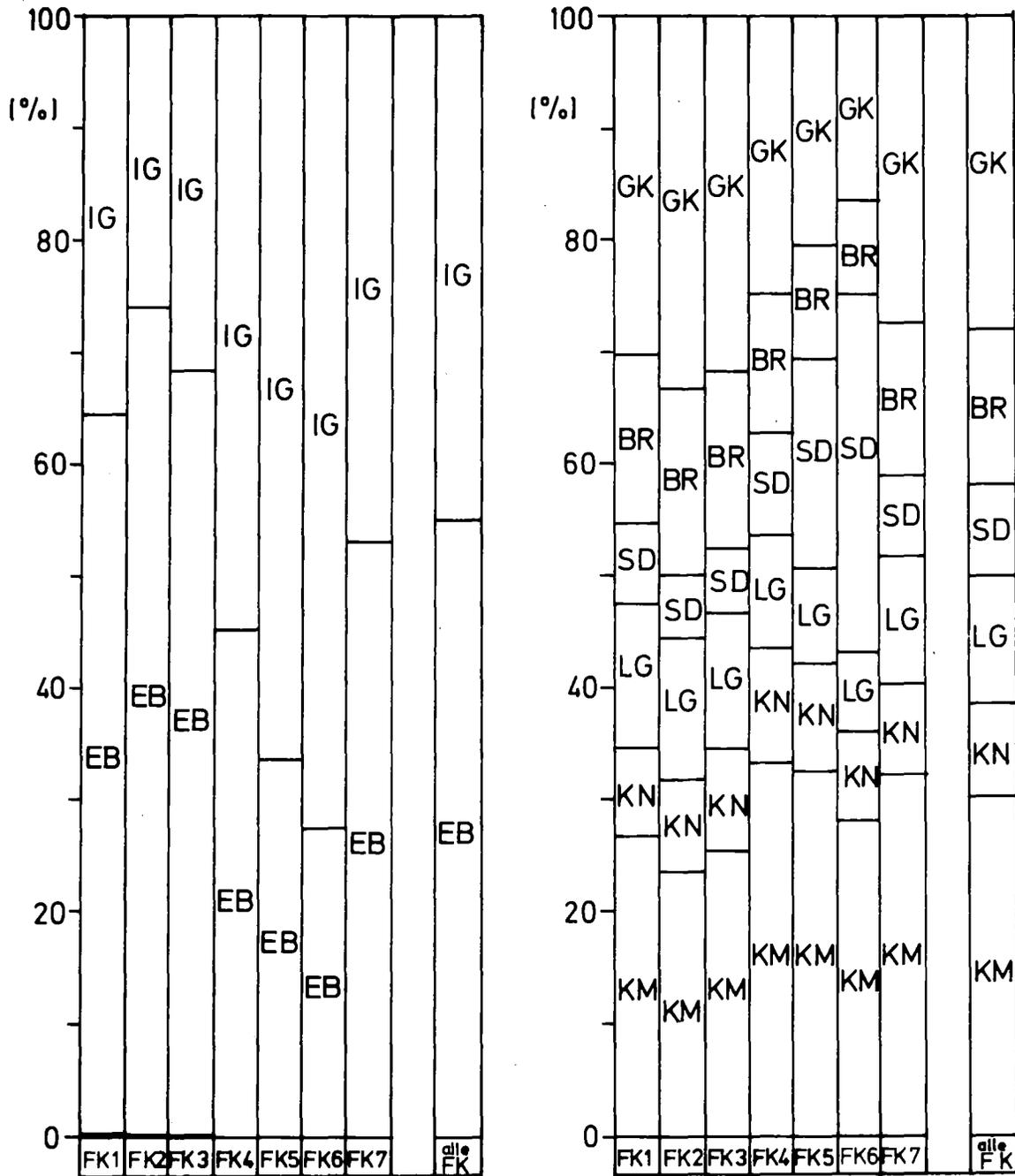


Abb.12 Relative Aufteilung der somatischen Spätschäden nach Expositionspfaden und Krebsarten (nach der Freisetzung geborene Personen FG)

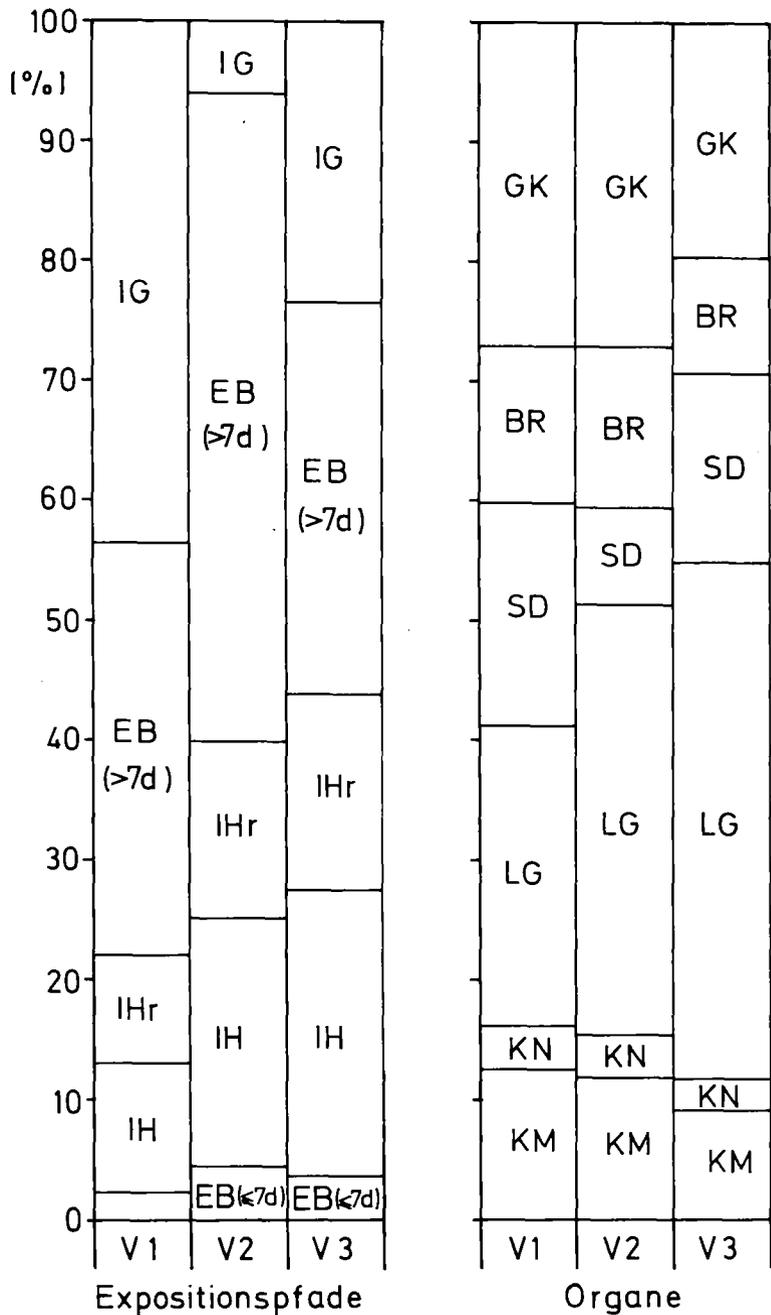


Abb.13a Relative Aufteilung der somatischen Spätschäden (FK1)

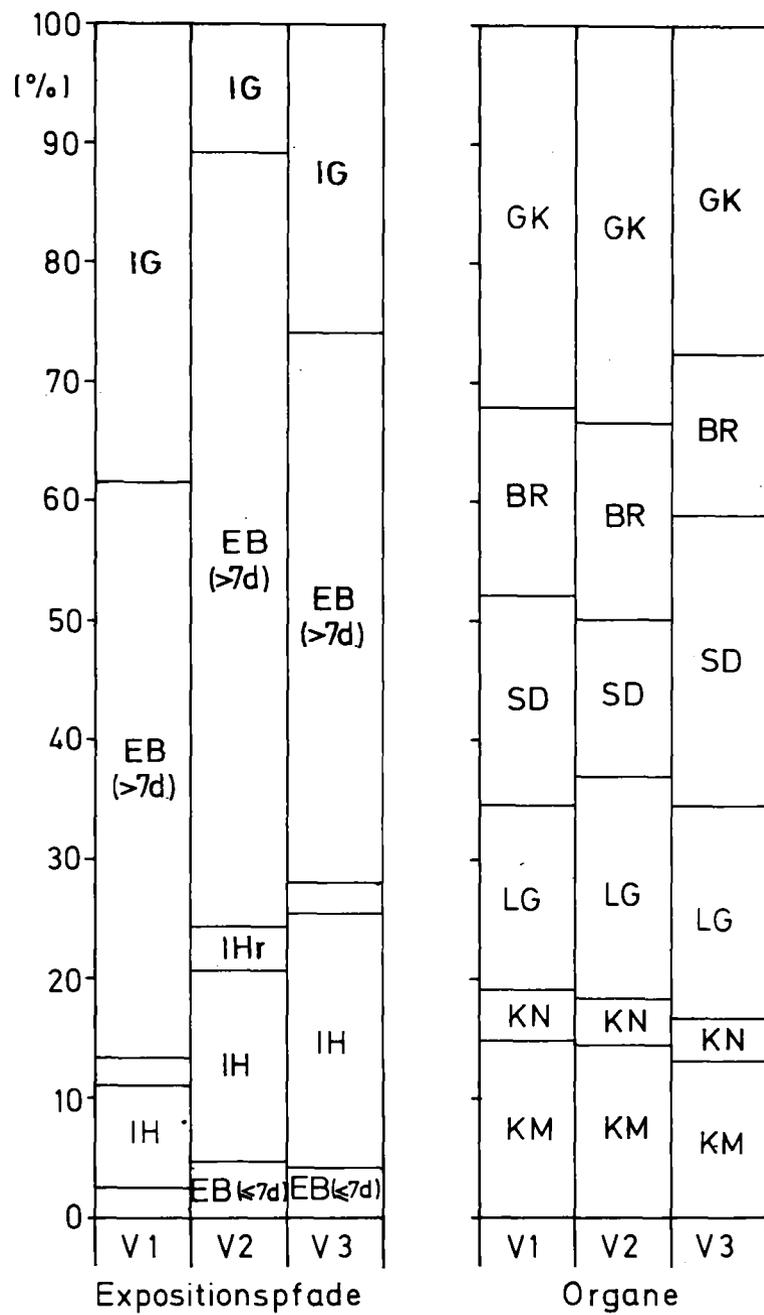


Abb.13b Relative Aufteilung der somatischen Spätschäden (FK2)

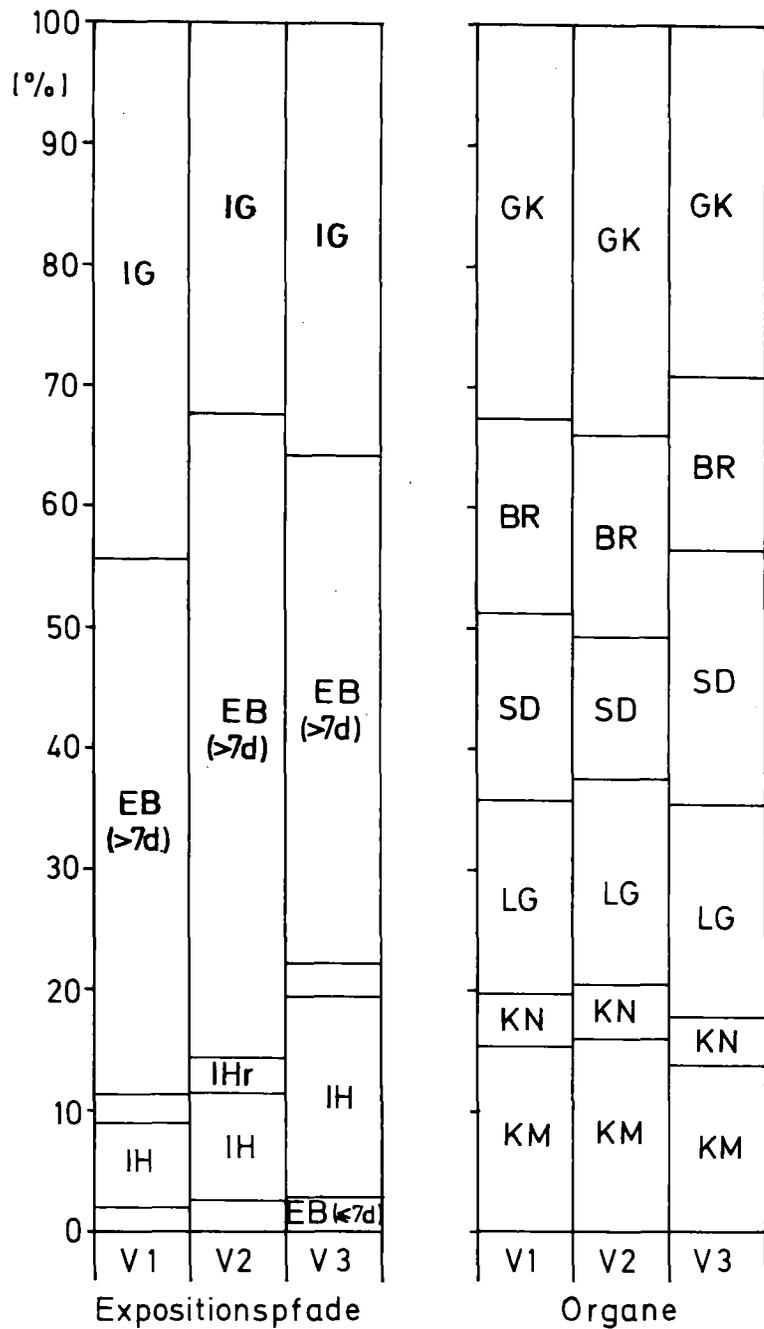


Abb.13c Relative Aufteilung der somatischen Spätschäden (FK3)

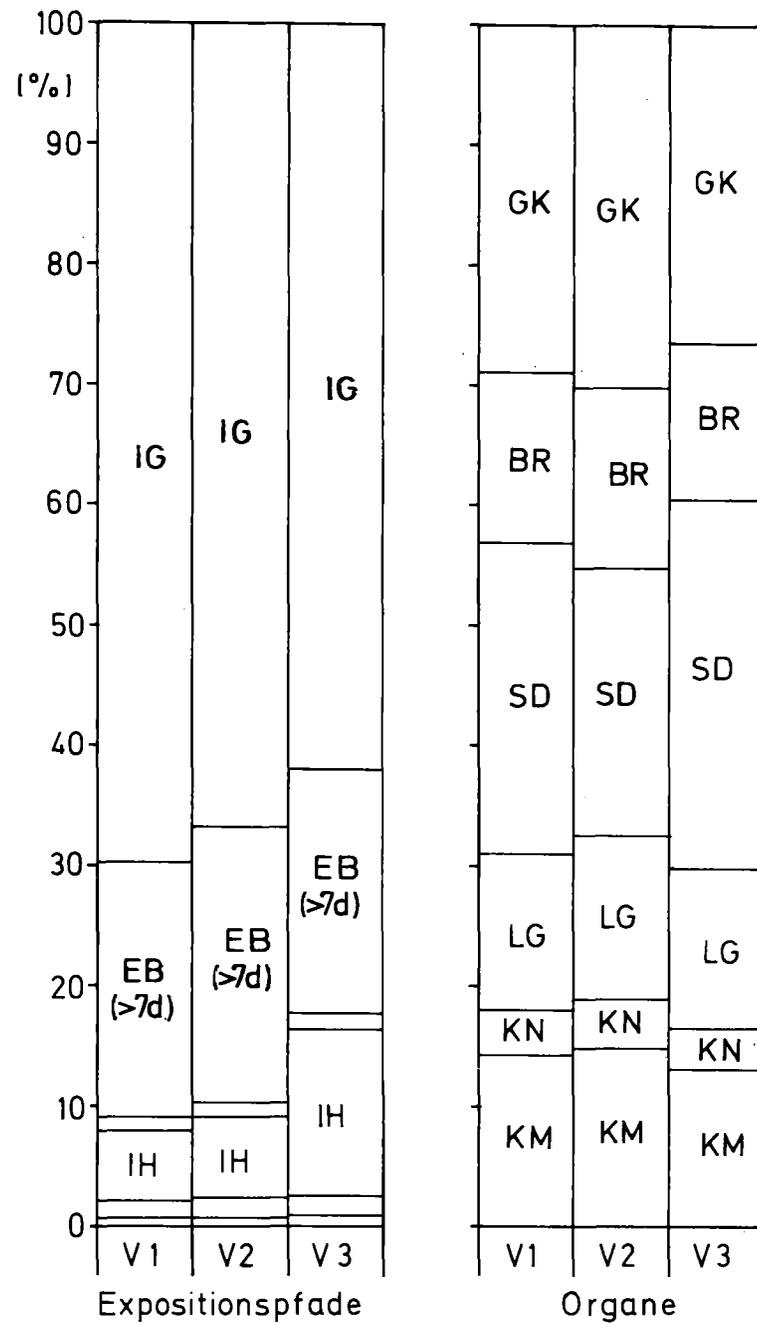


Abb.13d Relative Aufteilung der somatischen Spätschäden (FK4)

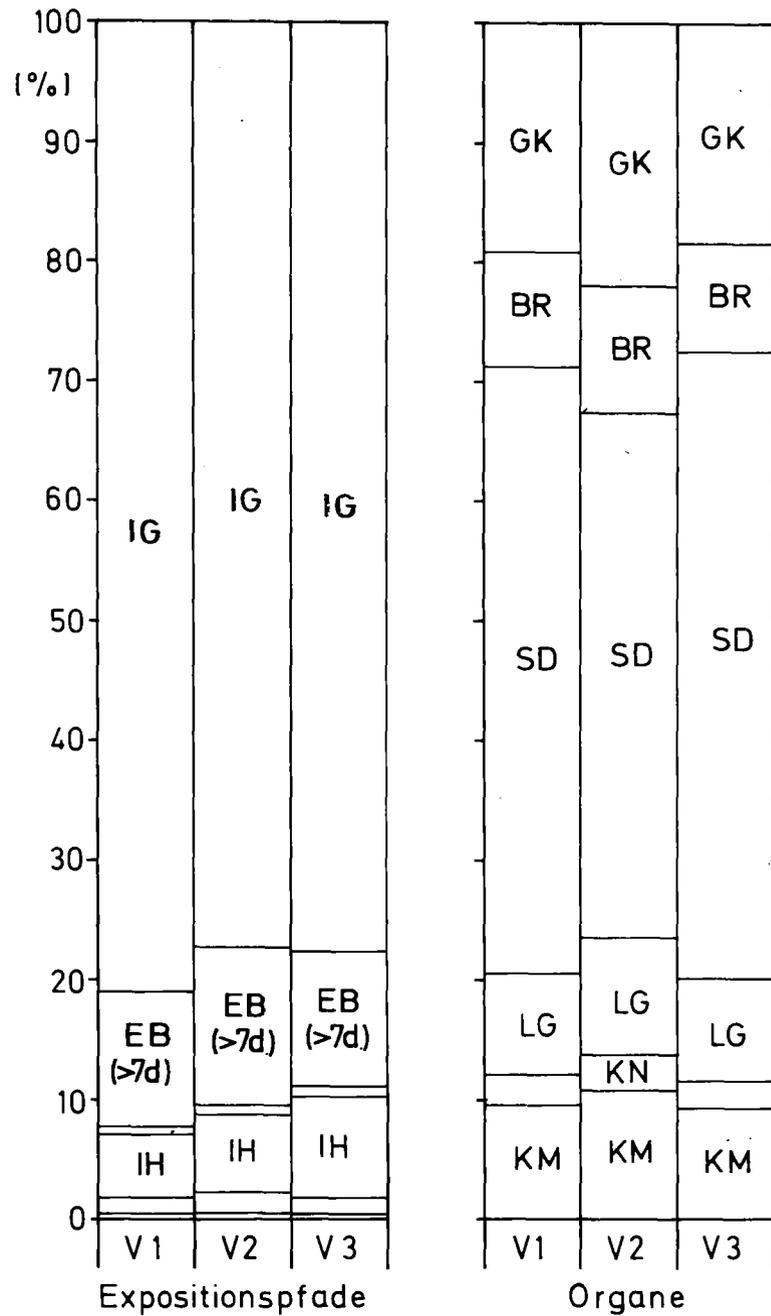


Abb.13e Relative Aufteilung der somatischen Spätschäden (FK5)

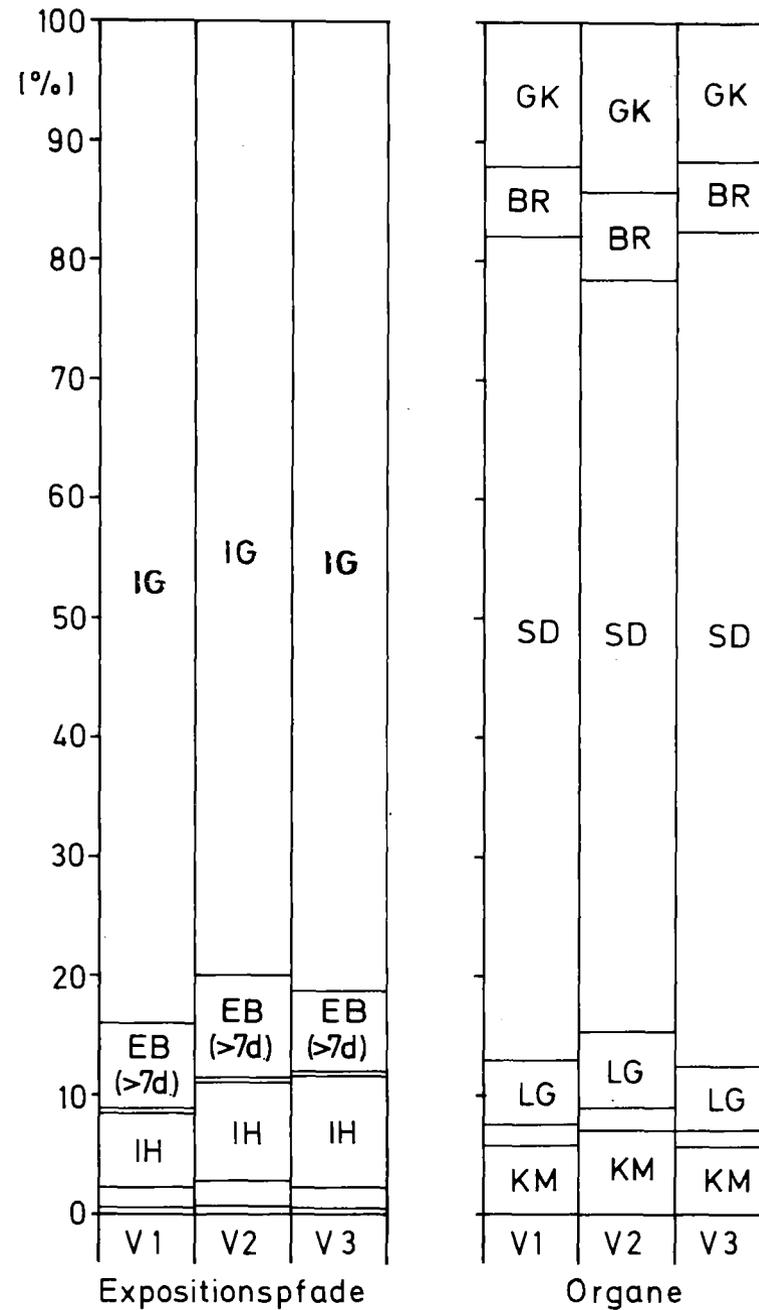


Abb.13f Relative Aufteilung der somatischen Spätschäden (FK6)

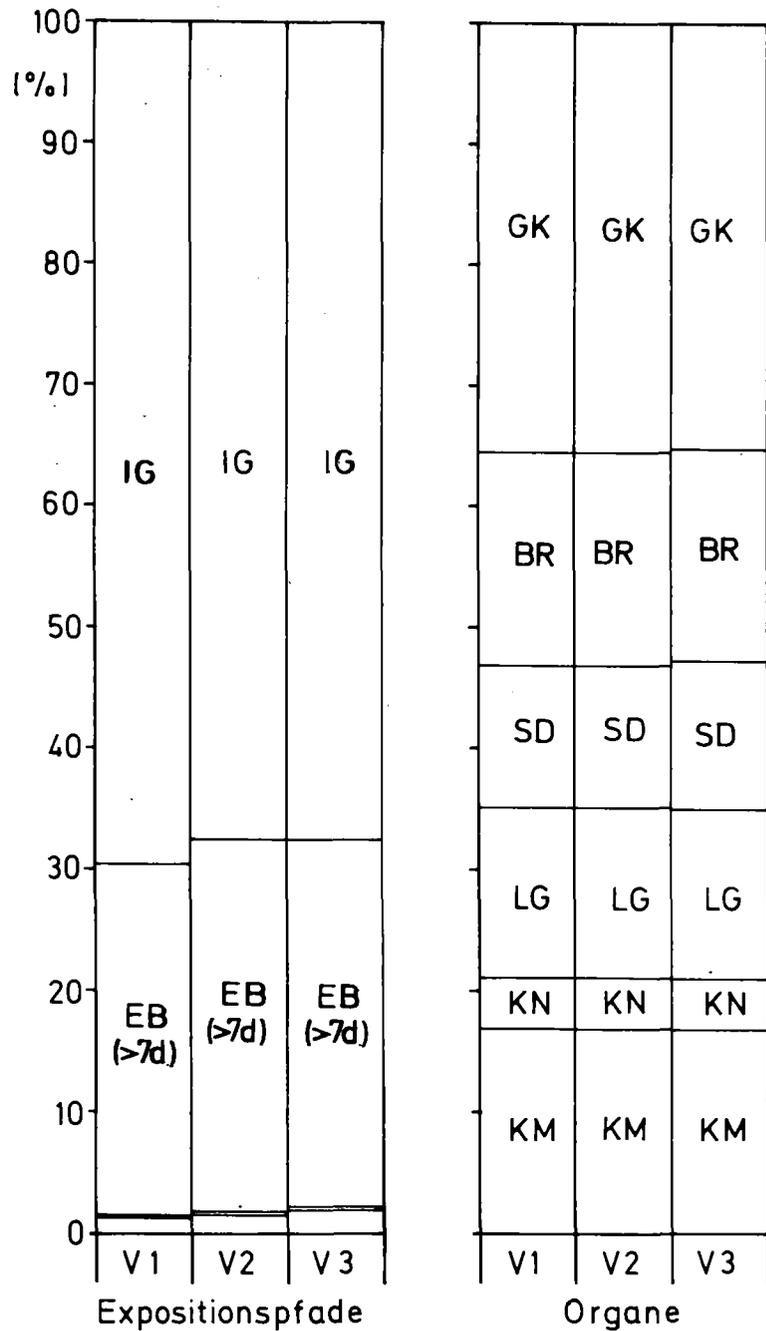


Abb.13g Relative Aufteilung der somatischen Spätschäden (FK7)

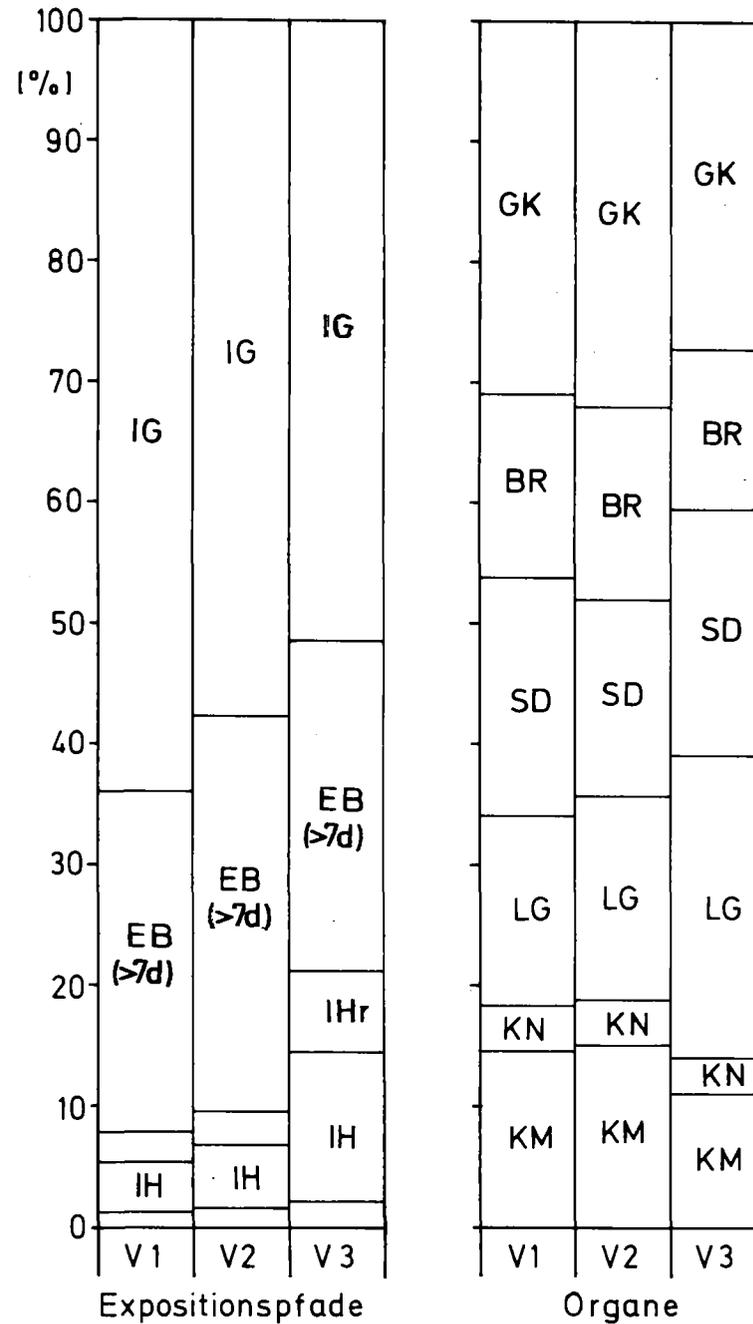


Abb.13h Relative Aufteilung der somatischen Spätschäden (alle FK)

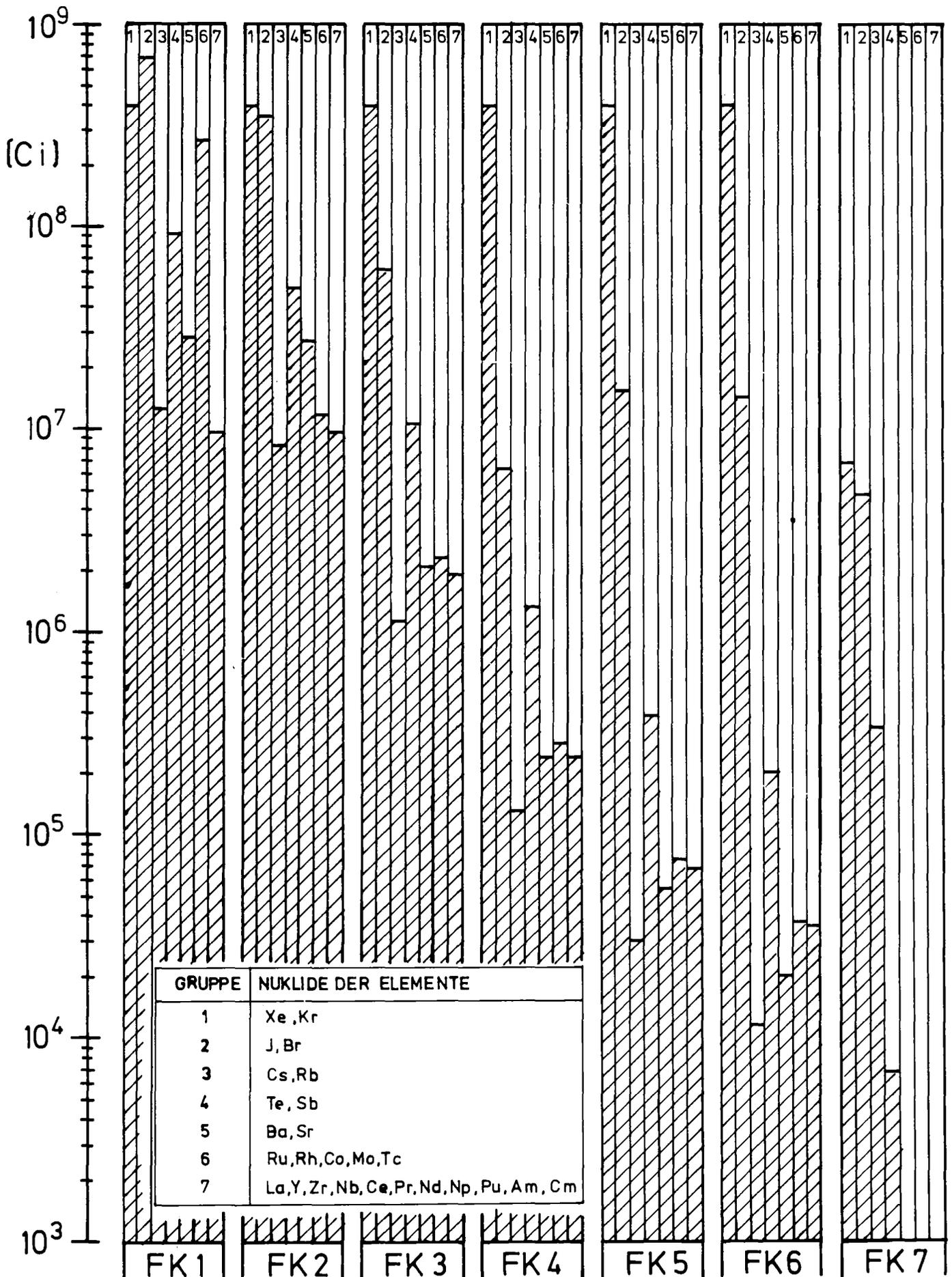


Abb.14 Den Freisetzungskategorien zugeordnete Aktivitätsfreisetzung

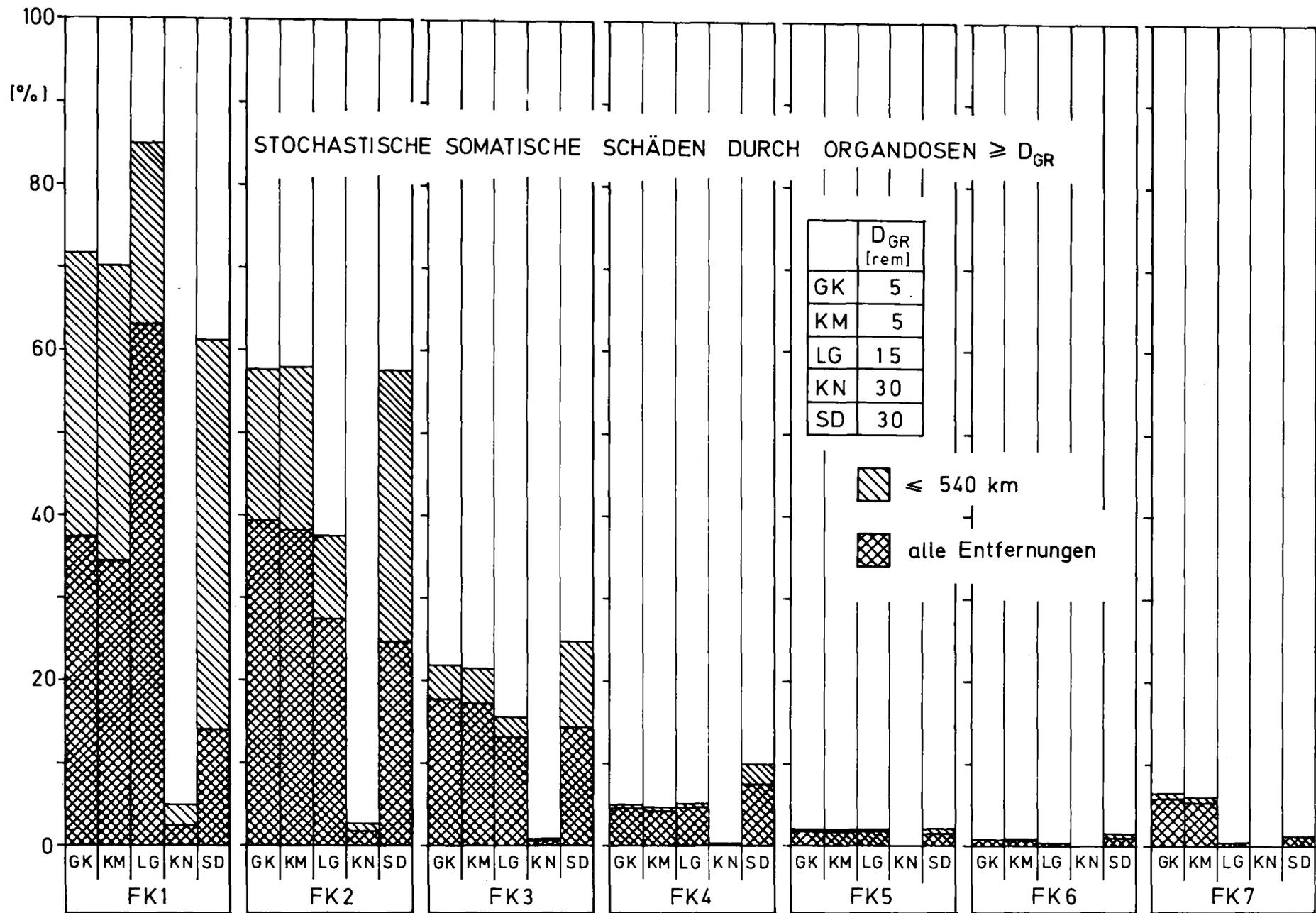


Abb.15 Anteil der somatischen Spätschäden durch Strahlendosen größer als die Grenzwerte der deutschen Strahlenschutzverordnung

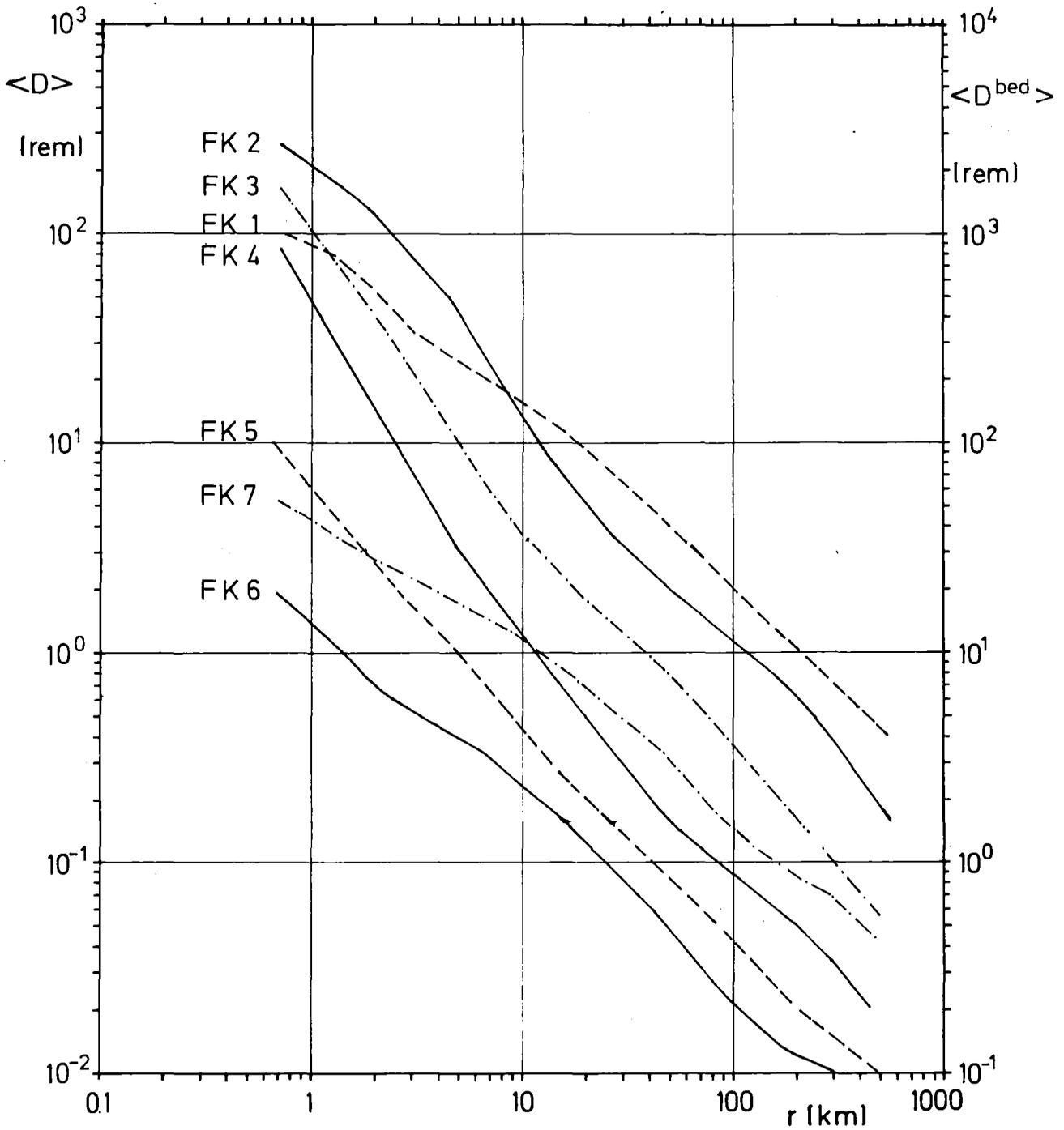


Abb.16a Erwartungswert der entfernungsabhängigen Individualdosis (alle Generationen AG)

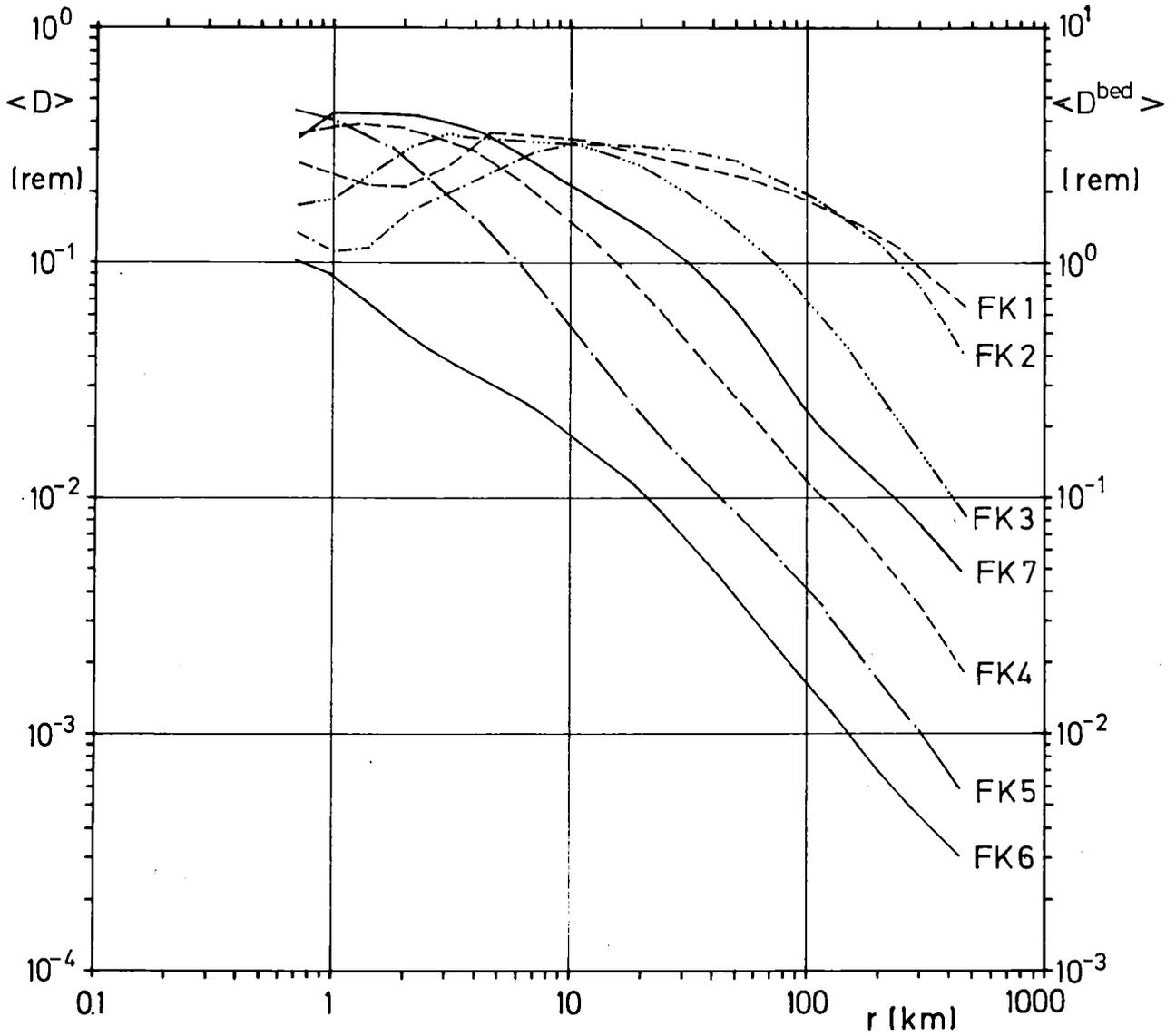


Abb.16b Erwartungswert der entfernungsabhängigen Individualdosis (nach der Freisetzung geborene Personen FG)

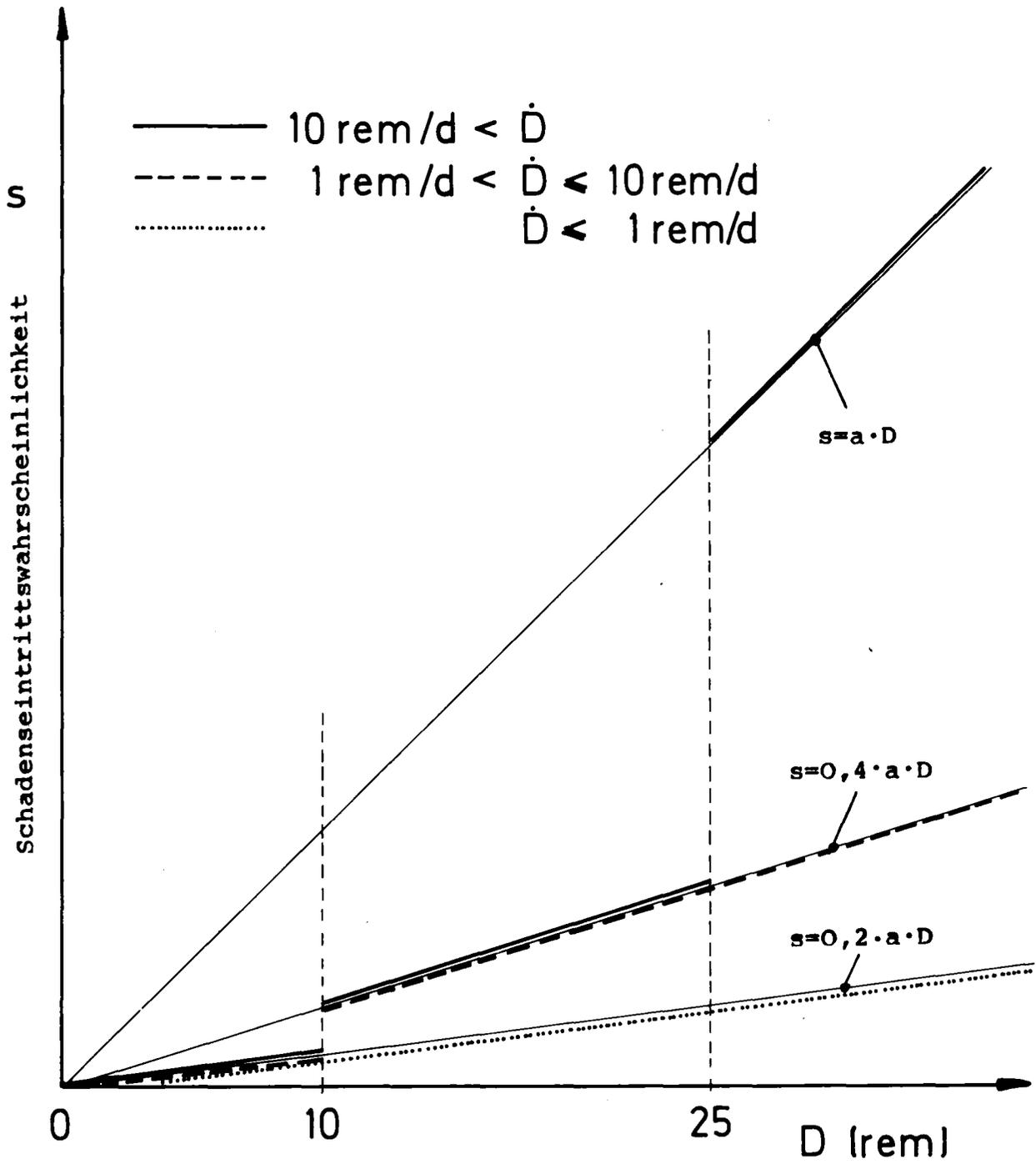


Abb.17 Nichtlineare Dosis-Risiko-Beziehung nach WASH 1400

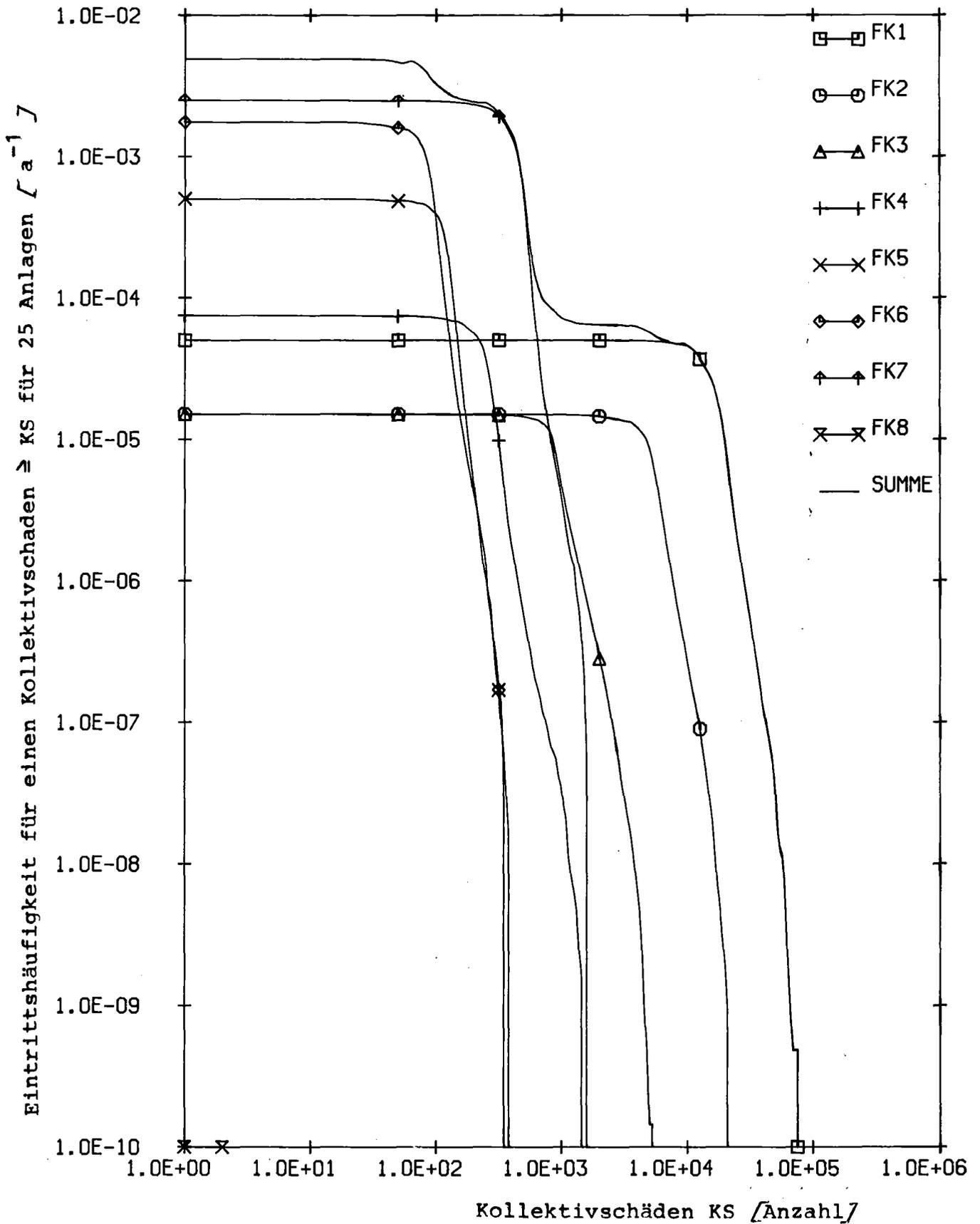


Abb.18a Komplementäre Häufigkeitsverteilung der somatischen Spätschäden für die zum Zeitpunkt der Freisetzung lebenden Personen (LG), aufgeschlüsselt nach Freisetzungskategorien (nichtlineare Dosis-Risiko-Beziehung)

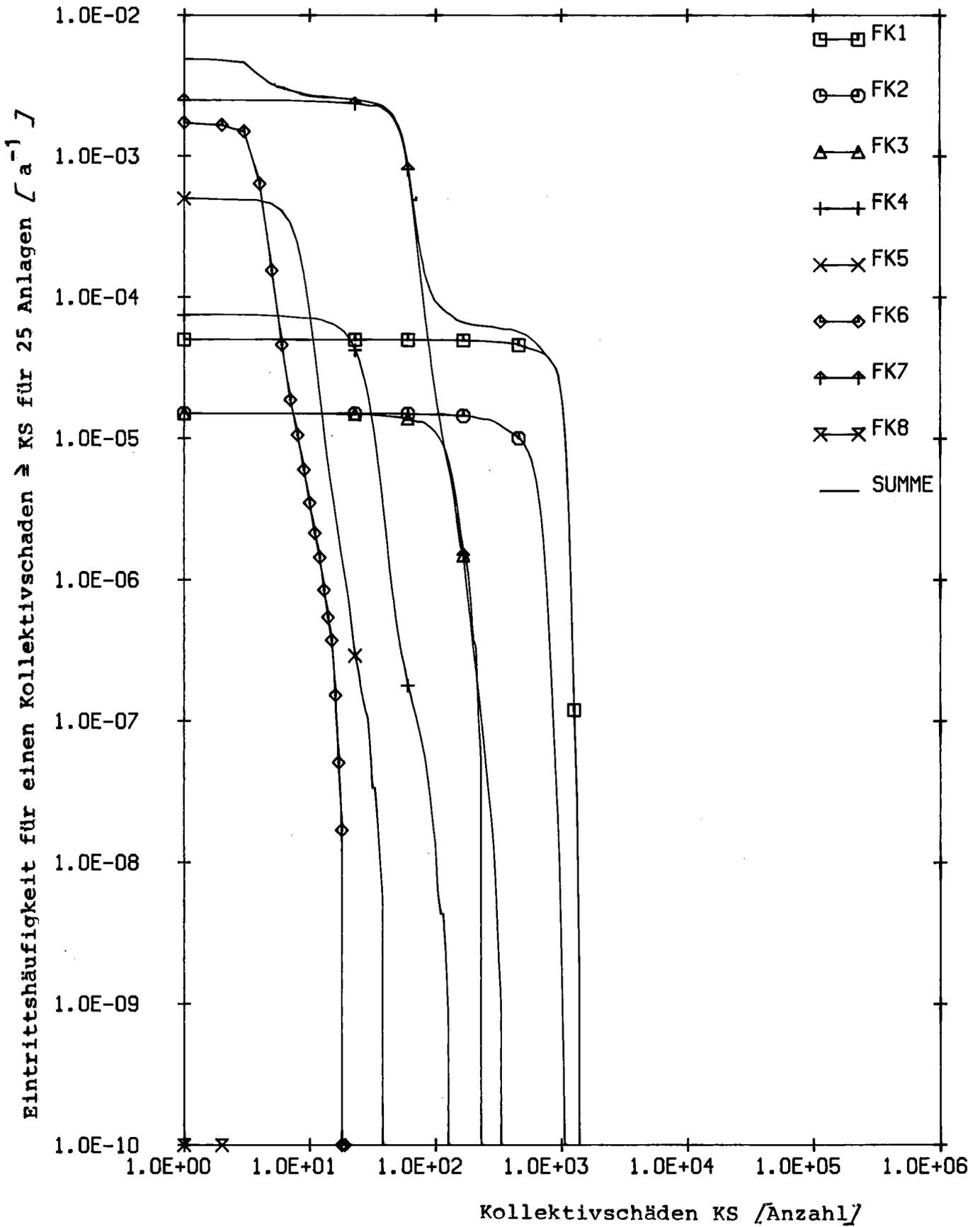


Abb.18b Komplementäre Häufigkeitsverteilung der somatischen Spätschäden für die nach der Freisetzung geborenen Personen (FG), aufgeschlüsselt nach Freisetzungskategorien (nichtlineare Dosis-Risiko-Beziehung)

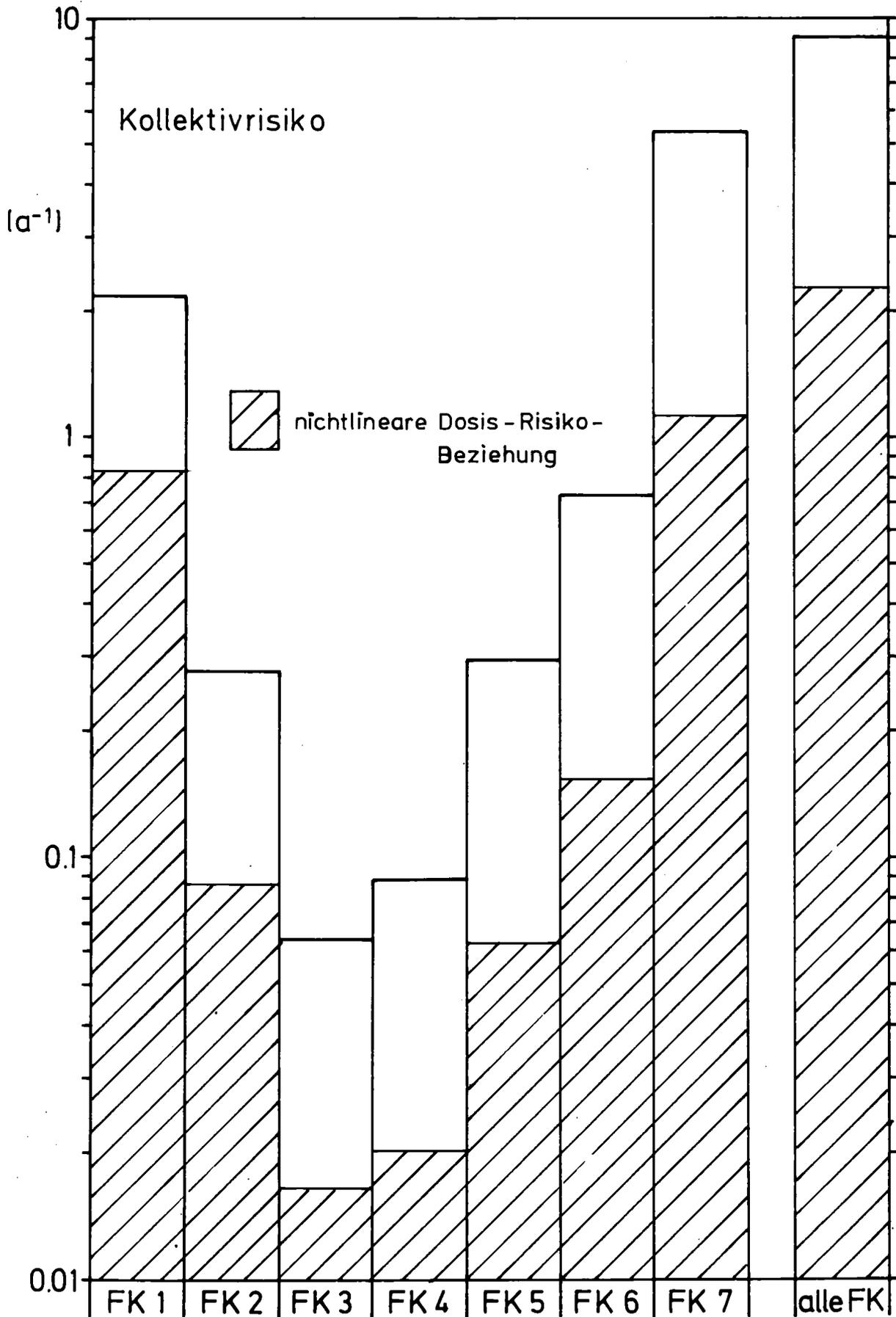


Abb.19 Kollektivrisiko für somatische Spätschäden, aufgeschlüsselt nach Freisetzungskategorien

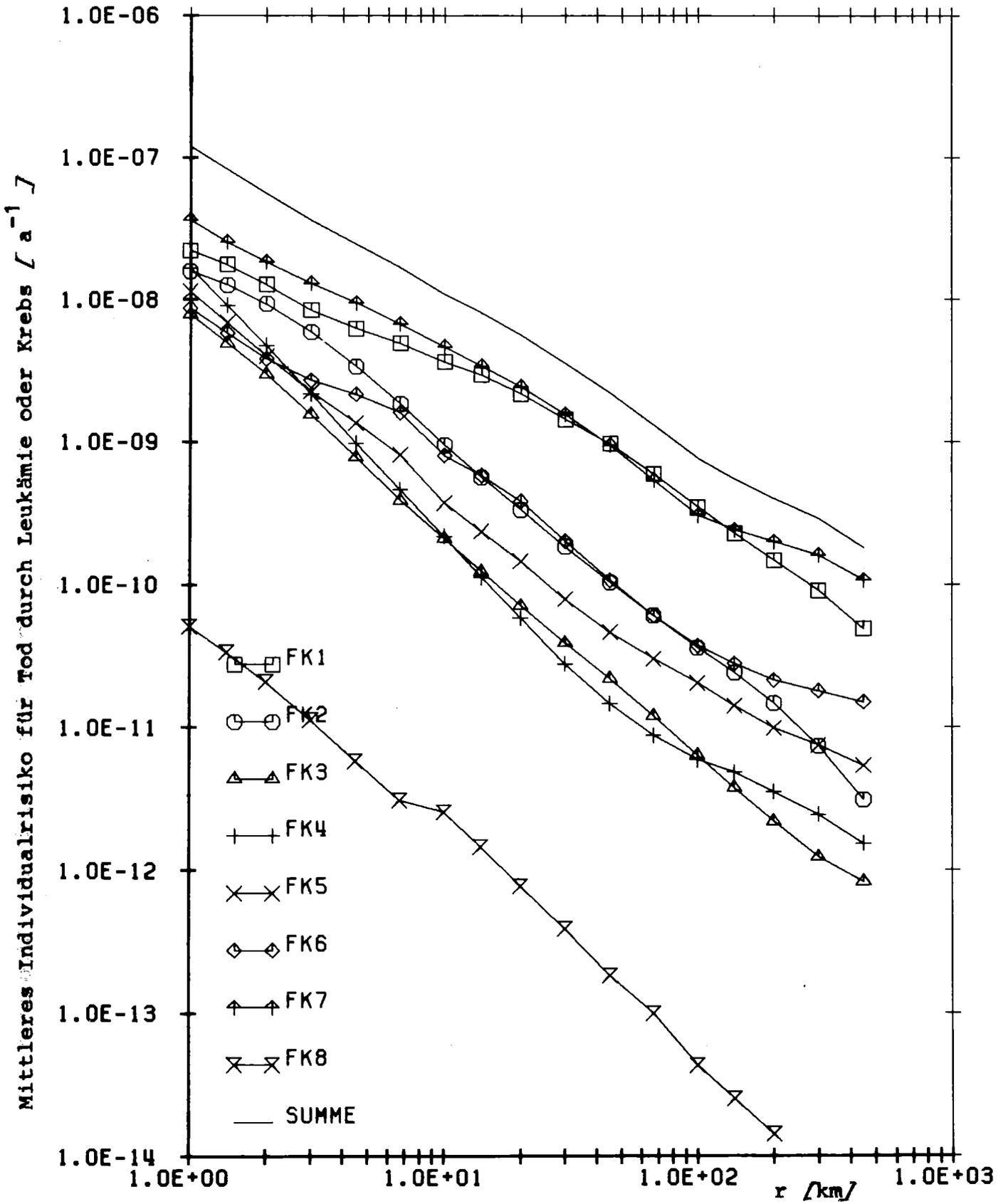


Abb.20a Abstandsabhängige mittlere Individualrisiken für somatische Spätschäden bei den zur Zeit der Freisetzung lebenden Personen (LG), bezogen auf ein Kernkraftwerk (nichtlineare Dosis-Risiko-Beziehung)

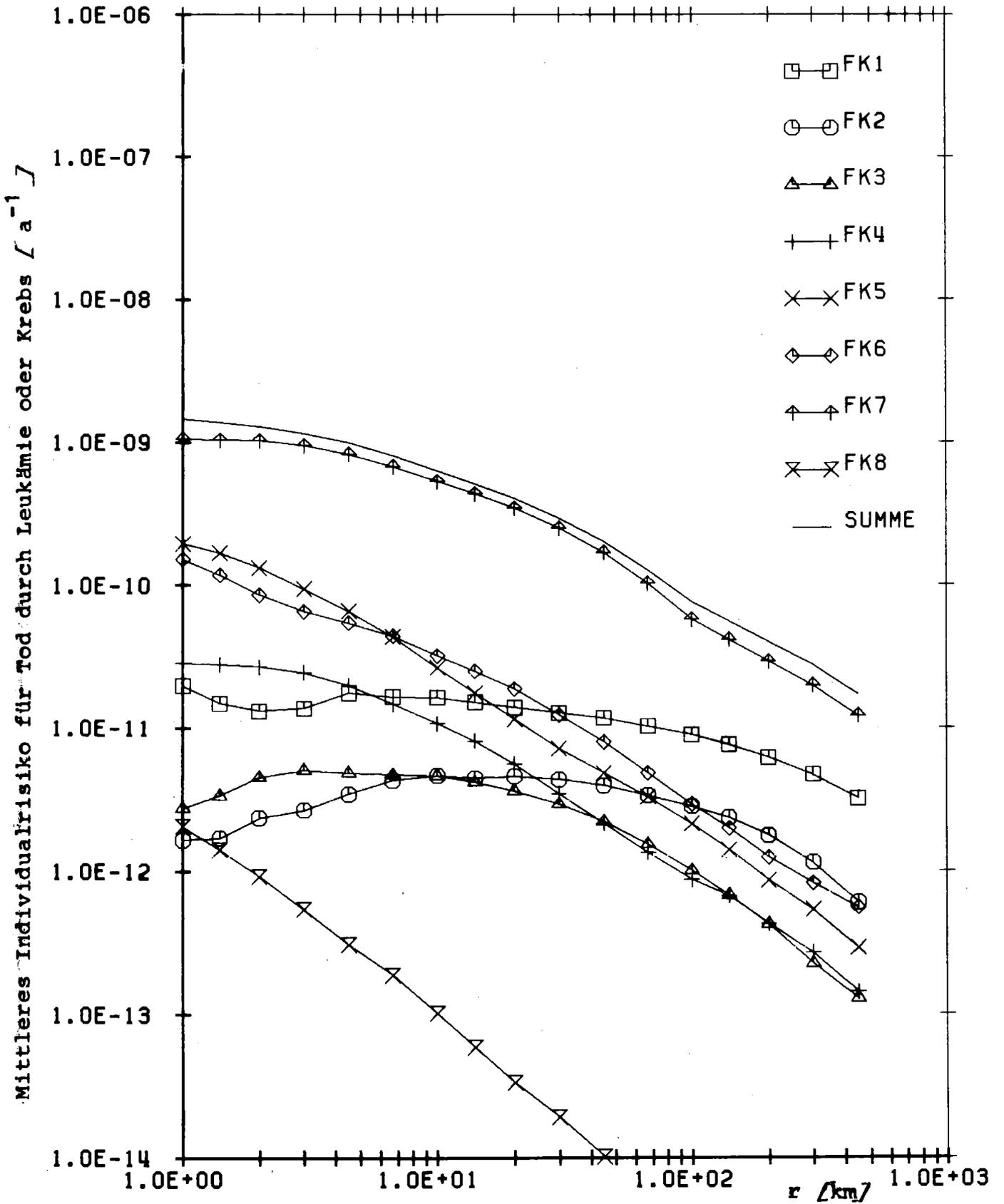


Abb.20b Abstandsabhängige mittlere Individualrisiken für somatische Spätschäden bei den nach der Freisetzung geborenen Personen (FG), bezogen auf ein Kernkraftwerk (nichtlineare Dosis-Risiko-Beziehung)

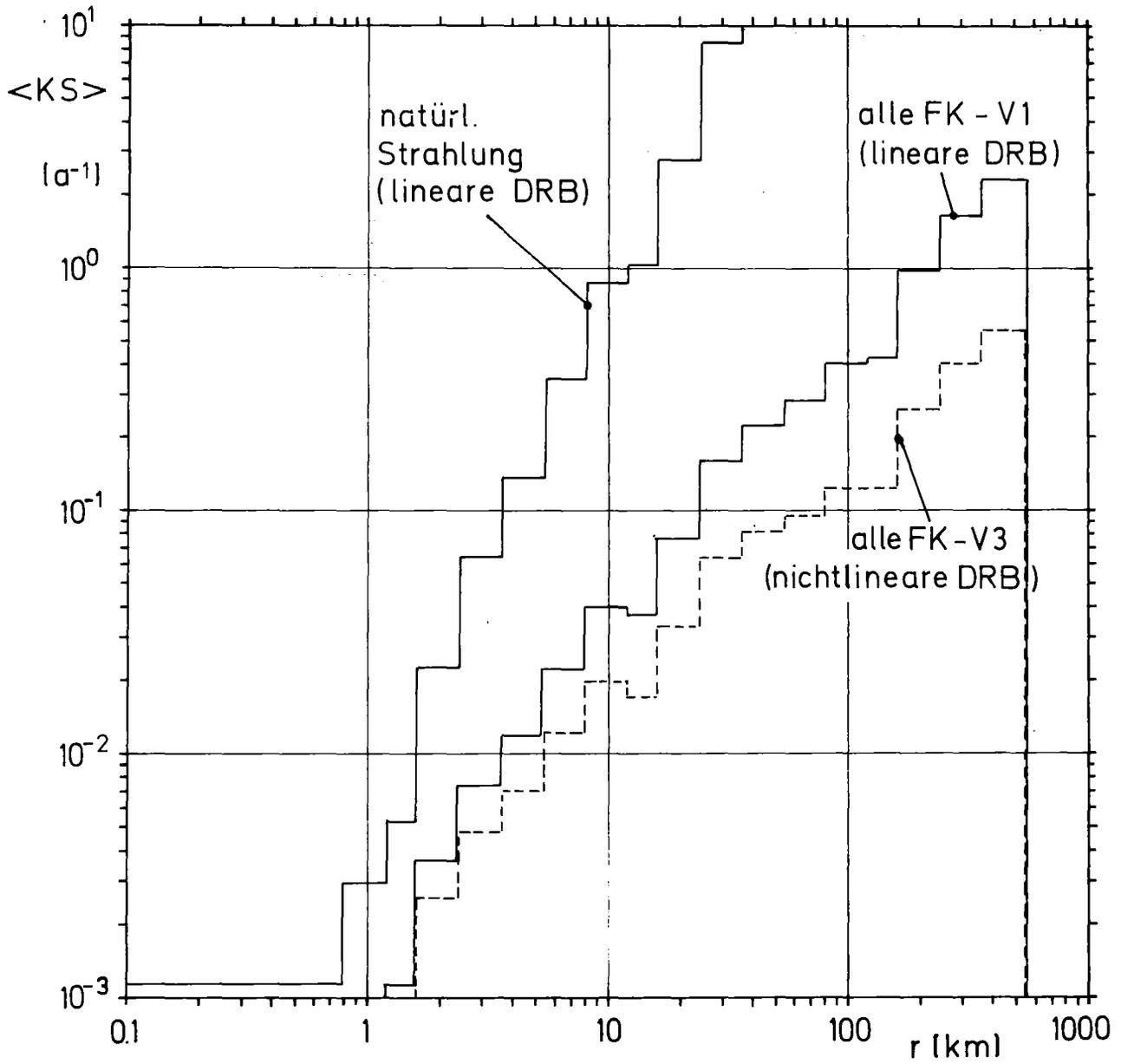


Abb.21 Entfernungabhängige Kollektivrisiken im Vergleich