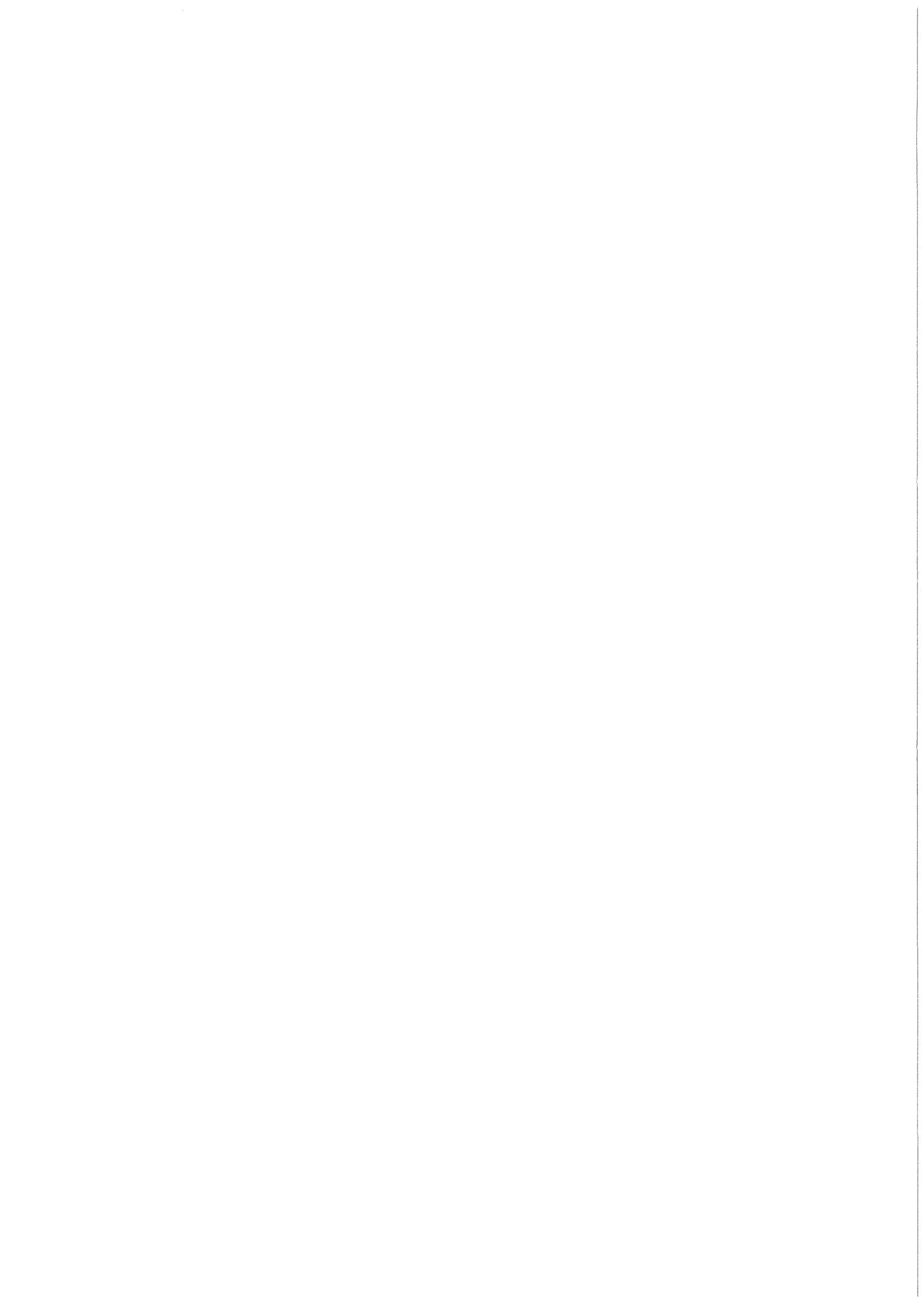


KfK 3770
August 1984

Häufigkeitsbewertete Aktivitätskonzentrationen nach unfallbedingten Radionuklidfreisetzungen

J. Ehrhardt, U. Zöller
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Projekt Nukleare Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Projekt Nukleare Sicherheit

KfK 3770

Häufigkeitsbewertete Aktivitätskonzentrationen nach
unfallbedingten Radionuklidfreisetzungen

J. Ehrhardt, U. Zöller

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Die zunehmende Anwendung von Risikoabschätzungen für kerntechnische Anlagen zur Entscheidungsfindung macht es notwendig, auch Zwischenergebnisse von Unfallfolgenrechnungen ausführlich zu analysieren. Neben den Strahlendosen, die in einem früheren Bericht behandelt wurden, sind die zu erwartenden Aktivitätskonzentrationen eine wichtige Bezugsgröße vor allem zur Beurteilung der Wirksamkeit und Durchführbarkeit technischer, administrativer und medizinischer Schutz- und Gegenmaßnahmen. Aus diesem Grund wurde eine modifizierte Version des Unfallfolgenmodells UFOMOD erstellt, die es erlaubt, Häufigkeitsverteilungen von Aktivitätskonzentrationen auszuweisen. Im Bericht werden graphische und numerische Darstellungsmöglichkeiten zur Veranschaulichung des Zusammenhangs von Häufigkeit, Aktivitätskonzentration, betroffene Flächen und dort lebende Anzahl von Personen vorgestellt und diskutiert. Hierzu werden die Ergebnisse von Unfallfolgenrechnungen für die Freisetzungskategorie FK2 der "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke" exemplarisch für die Radionuklide I-131 und Cs-137 herangezogen.

Frequency Distributions of Activity Concentrations after Accidental Releases of Radionuclides

Abstract

The increasing application of risk assessments for nuclear installations in decision making procedures also requires to analyse intermediate results of accident consequence calculations in detail. Besides the radiation doses, whose evaluation was discussed in a former report, the activity concentrations to be expected are an important quantity especially to judge the effectiveness and feasibility of technical, administrative and medical emergency actions. For this reason, a modified version of the accident consequence code UFOMOD was developed, which allows to calculate frequency distributions of activity concentrations. In the report, graphical and numerical forms of presentation demonstrating the relationships

between frequency, activity concentration, affected areas and the number of persons living there are described and discussed. This is done exemplarily using the results of accident consequence calculations for the nuclides I-131 and Cs-137 based on the release category FK2 of the "German Risk Study".

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Kurze Beschreibung der Berechnung von Aktivitätskonzentrationen im Unfallfolgenmodell	3
3. Berechnungsgrundlagen	5
3.1 Aktivitätskonzentrationen und deren Eintrittshäufigkeiten	5
3.2 Einbeziehung von Flächen und Personen	10
4. Darstellungsformen	12
4.1 Aktivitätskonzentrationen und deren Eintrittshäufigkeiten	12
4.2 Einbeziehung von Flächen und Personen	15
5. Ergebnisse von Konzentrationsberechnungen und ihre exemplarische Darstellung	21
5.1 Aktivitätskonzentrationen und deren Eintrittshäufigkeiten	22
5.1.1 Häufigkeitsverteilungen	22
5.1.2 Charakteristische Größen der Häufigkeitsverteilungen	24
5.2 Häufigkeitsverteilungen von flächenbezogenen Aktivitätskonzentrationen und ihre charakteristischen Größen	26
5.2.1 Dreidimensionale Häufigkeitsverteilungen	26
5.2.2 Zweidimensionale Häufigkeitsverteilungen	27
5.2.3 Charakteristische Größen der zweidimensionalen Häufigkeitsverteilungen	27
5.3 Häufigkeitsverteilungen von personenbezogenen Aktivitätskonzentrationen und ihre charakteristischen Größen	28
Literaturverzeichnis	30
Tabellen	32
Abbildungen	35

1. Einleitung

Sowohl die "Reactor Safety Study" WASH 1400 als auch die "Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke" (DRS) Phase A verwendeten Unfallfolgenmodelle, die unter dem Gesichtspunkt konzipiert wurden, unsichere oder ungenau bekannte Bestimmungsgrößen konservativ abzuschätzen. Die zunehmende Anwendung der Ergebnisse von Risikostudien zur Entscheidungsfindung im Rahmen von vergleichenden Studien erfordern eine Abkehr von der konservativen Modellierung. Darum konzentrieren sich die Forschungsaktivitäten im Rahmen der Phase B der DRS auf die Entwicklung von "best-estimate" Modellen mit realistischen Eingabedaten. Ein wichtiger Schritt im Hinblick auf dieses Ziel ist eine genaue Analyse der Ergebnisse der DRS-Phase A, um inkonsistente und unangemessene Modellvorstellungen zu erkennen und zukünftig zu vermeiden.

Die übliche Darstellung der Endergebnisse von Risikostudien für kerntechnische Anlagen in Form von Häufigkeitsverteilungen der Anzahl von Schäden ist für eine Modellanalyse wenig geeignet. Insbesondere sind keine Rückschlüsse auf die Notwendigkeit, Effektivität und Durchführbarkeit der unterstellten Schutz- und Gegenmaßnahmen möglich. Zur Planung und angemessenen Modellierung des technischen, administrativen und medizinischen Notfallschutzes einschließlich der Entwicklung von Entscheidungskriterien werden Informationen über zu erwartende Aktivitätskonzentrationen und Strahlendosen sowie die Anzahl der davon betroffenen Personen benötigt.

Aus diesem Grund wurden modifizierte Versionen des Unfallfolgenmodells UFOMOD der DRS-Phase A erstellt, die es erlauben, Strahlendosen und Aktivitätskonzentrationen häufigkeitsbewertet auszuweisen. In einem früheren Bericht /1/ wurden die damit möglichen Darstellungsformen für individuelle und kollektive Strahlendosen anhand ausgewählter Rechenergebnisse exemplarisch dokumentiert. Im vorliegenden Bericht werden in ähnlicher Weise graphische und numerische Darstellungsmöglichkeiten zur Veran-

schaulichung des Zusammenhangs von Häufigkeit, Aktivitätskonzentration, betroffene Flächen und Anzahl von Personen vorgestellt und in bezug auf ihre Aussagefähigkeit untersucht. Den Konzentrationsberechnungen wurden die Freisetzungskategorien der "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke" zugrunde gelegt. Wegen der Vielzahl möglicher Darstellungsformen und Ergebnisse konnte keine umfassende Dokumentation erfolgen; die wichtigsten Arten von Häufigkeitsverteilungen einzelner Nuklidkonzentrationen und daraus abgeleitete Zahlenwerte (wie z.B. Mittelwerte, Medianwerte, Perzentilwerte) werden exemplarisch am Beispiel der Freisetzungskategorie FK2 für die Isotope I-131 und Cs-137 dargestellt. Ziel des Berichts ist es, dem Leser und potentiellen Anwender anhand dieser Ergebnisse von häufigkeitsbewerteten Konzentrationsrechnungen die Möglichkeiten vor allem der graphischen Darstellung aufzuzeigen; die Auswahl zum eigenen Gebrauch soll jedoch persönlichen und der jeweiligen Fragestellung angemessenen Gesichtspunkten überlassen bleiben.

2. Kurze Beschreibung der Berechnung von Aktivitätskonzentrationen im Unfallfolgenmodell

Die Berechnung von Radionuklidkonzentrationen in der unfallbedingt freigesetzten Aktivitätsfahne, in der bodennahen Luft sowie auf der Bodenoberfläche erfolgt mit Hilfe des Ausbreitungs- und Ablagerungsmodells der DRS-Phase A /2/. Dieses Modell ist im Unfallfolgenmodell UFOMOD /3,4/ implementiert und Hauptbestandteil des davon abgeleiteten Rechenprogramms UFOMOD/B3-CONC zur Ermittlung häufigkeitsbewerteter Aktivitätskonzentrationen.

Die Ausbreitung der freigesetzten Radionuklide in der Atmosphäre wird durch eine spezielle Lösung der Diffusionsgleichung, dem sogenannten Gauß'schen Ausbreitungsmodell beschrieben. Bei diesem Modell wird die Konzentrationsverteilung senkrecht zur Transportrichtung durch Gauß-Verteilungen angenähert. Um die Berechnung der Aktivitätskonzentration in einem diskreten Raster zu ermöglichen, wird diese Verteilung in azimuthaler Richtung durch eine 7-stufige Treppenfunktion approximiert (s. Abb.1). Als Standardabweichung dieser Verteilung werden die in der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe gemessenen Ausbreitungsparameter $\sigma_y(x)$ und $\sigma_z(x)$ eingesetzt, nachdem sie der jeweils vorliegenden Bodenrauigkeit angepaßt wurden. Es wird berücksichtigt, daß i.a. der vertikale Turbulenzaustausch durch eine Sperrschicht begrenzt ist und innerhalb der sogenannten Mischungsschichthöhe erfolgt. Der Aufstieg der Aktivitätsfahne mit der freigesetzten thermischen Energie und der Einfluß von Gebäuden auf diesen Aufstieg wird ebenfalls in Rechnung gezogen.

Die in die Berechnung der Konzentrationen eingehenden meteorologischen Daten, wie Ausbreitungskategorie, Windgeschwindigkeit und Niederschlagsmenge, werden aus stündlich gemessenen, realen Wetterabläufen übernommen. Dies wird für 115 Wetterabläufe, deren Startzeiten um jeweils 3 Tage plus 5 Stunden gegeneinander versetzt sind, durchgeführt. Die Windrichtung bleibt während der Ausbreitung der Aktivitätsfahne starr und es wird angenommen,

daß jede Windrichtung gleich wahrscheinlich ist. Diese Modellvereinfachungen werden im Rahmen der Weiterentwicklung des Unfallfolgenmodelles (Phase B) fallengelassen.

Zur Durchführung der Ausbreitungsrechnungen werden die betrachteten Standorte von Kernkraftwerken vier Regionen zugeordnet, für die die meteorologischen Aufzeichnungen einer jeweils repräsentativen Wetterstation benutzt werden. Diese vier Regionen sind: Norddeutsche Tiefebene, Oberrheinische Tiefebene, Süddeutsche Hochebene und Tallagen.

Die Ablagerung von Radionukliden auf der Erdoberfläche wird bei Regenfällen mit Hilfe von "Washout"-Koeffizienten beschrieben, bei trockenen Wettersituationen erfolgt sie mit Hilfe der Ablagerungsgeschwindigkeit. Aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse seit Abschluß der DRS Phase A werden seit einiger Zeit für Ablagerung und Auswaschung andere Parameterwerte verwendet /4/. Danach betragen die Ablagerungsgeschwindigkeiten (trockene Ablagerung) für elementares Jod $v_d=0,01$ m/s und für Aerosole $v_d=0,001$ m/s. Der Wert für Aerosole fügt sich gut in den Wertebereich neuerer Untersuchungen ein /5,6/.

Die nasse Ablagerung, charakterisiert durch die in folgender Tabelle angegebenen "washout"-Koeffizienten, beruht im wesentlichen auf Ergebnissen, die in /7,8/ beschrieben sind. Neueste Untersuchungen zur nassen Ablagerung und eine Gegenüberstellung der verschiedenen Parametersätze befinden sich in /9/.

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

Edelgase werden weder trocken noch naß abgelagert.

3. Berechnungsgrundlagen

3.1 Aktivitätskonzentrationen und deren Eintrittshäufigkeiten

Nach dem Konzept der DRS-Phase A werden mögliche Freisetzungen aus Kernkraftwerken in verschiedenen Freisetzungskategorien zusammengefaßt. Jede Freisetzungskategorie ist charakterisiert durch

- die Menge freigesetzter Radionuklide
- die freigesetzte thermische Energie
- die Höhe der Freisetzung
- den Zeitverlauf der Freisetzung
- die Häufigkeit der Freisetzung.

Die zu erwartenden Häufigkeiten für Aktivitätskonzentrationen setzen sich aus zwei Komponenten zusammen:

- die Häufigkeit der Freisetzungskategorie
- die bedingte Wahrscheinlichkeit der Wettersituationen.

Die Ausbreitungsrechnungen erfolgen für jeweils n_ℓ mehrstündige Wetterabläufe mit gleicher Wahrscheinlichkeit $p_\ell = 1/n_\ell$. Die Wetteraufzeichnungen entstammen der meteorologischen Standortregion m , in der sich N_m Kernkraftwerke befinden. Die Wahrscheinlichkeit der meteorologischen Standortregion p_m^*) berechnet sich aus der Gesamtzahl N und der jeder einzelnen Region m zugeordneten Zahl N_m von Kernkraftwerken:

$$p_m = \frac{N_m}{N} \quad , \quad N = \sum_{m=1}^4 N_m = 25 \quad (3.1)$$

Im Einzelnen gilt nach der DRS-Phase A:

- $P_1 = 0.28$ ("Oberrhein")
- $P_2 = 0.16$ ("Süddeutschland")
- $P_3 = 0.32$ ("Norddeutschland")
- $P_4 = 0.24$ ("Tallage")

*) Nach dem Vorgehen der DRS-Phase A werden die Ergebnisse von Unfallfolgenrechnungen zunächst auf einen Standort normiert. Die Anzahl von Anlagen wird dann bei der Berechnung der Eintrittshäufigkeiten berücksichtigt.

Derzeit können maximal $m_{\max}=4$ meteorologische Standortregionen berücksichtigt werden. Mit $n_j=115$ Wetterabläufen ergeben sich maximal $4 \times 115 = 460$ verschiedene Wettersituationen. Ihre Wahrscheinlichkeit ist gegeben durch

$$P_{lm} = p_l \cdot p_m = \frac{1}{115} \cdot p_m \quad (3.2)$$

Jede dieser Wettersituationen führt zu einer ortsabhängigen Verteilung der Aktivitätskonzentration der freigesetzten Radionuklide. Zur Berechnung der Aktivitätskonzentration in einem diskreten Raster werden die in azimuthaler Richtung resultierenden Gauß-Verteilungen durch 7-stufige Treppenfunktionen approximiert (s. Abb.1). In radialer Richtung werden die Konzentrationen für Teilflächen mit Aufpunkten des Abstandes \bar{r}_i vom Ort der Freisetzung ermittelt. Diese Abstände sind repräsentativ für Kreisringe zwischen den Radien r_i und r_{i+1} , die die Teilflächen in radialer Richtung begrenzen (s. Tab.1).

Bei längeren Freisetzungsvorgängen, die durch bis zu max.5 ein-stündige Freisetzungsphasen approximiert werden können und während derer sich i.a auch die Wetterbedingungen ändern, wird der beschriebene Vorgang der Teilflächenbildung entsprechend oft wiederholt. Durch Übereinanderlegen der einzelnen Teilflächen jedes Kreisringes werden wegen ihrer voneinander abweichenden Begrenzung in azimuthaler Richtung neue, in ihrer Anzahl erhöhte, aber kleinere Teilflächen gebildet (s. Abb.2). Innerhalb dieser endgültigen Teilflächen wird die vorhandene Aktivitätskonzentration als konstant angenommen. Jeder Teilfläche $F(ND, l, m, \bar{r}_i)$, die sich innerhalb des Kreisrings zwischen r_i und r_{i+1} im Winkelsektor

$$\Delta\varphi(ND, l, m, \bar{r}_i)$$

befindet, ist also der Konzentrationswert

$$C(ND, l, m, \bar{r}_i; k)$$

des Radionuklids k für die Wettersituation ℓ in der meteorologischen Standortregion m zugeordnet. Die Maximalzahl ND_{\max} azimuthaler Teilflächen hängt für jede Freisetzungskategorie von der jeweiligen Wettersituation ℓ , meteorologischen Standortregion m und Entfernung \bar{r}_i ab und wird für jede mögliche Kombination dieser Parameter berechnet. In der Entfernung \bar{r}_i erstreckt sich die Aktivitätsfahne in azimuthaler Richtung folglich über die "Fahnenbreite" $\phi(\ell, m, \bar{r}_i)$, für die gilt

$$\phi(\ell, m, \bar{r}_i) = \sum_{ND=1}^{ND_{\max}} \Delta\varphi(ND, \ell, m, \bar{r}_i) \quad (3.3)$$

Im verbleibenden Bereich des Kreisrings, der durch den Winkelsektor $360^\circ - \phi(\ell, m, \bar{r}_i)$ gegeben ist, hat sich die Aktivitätsfahne nicht ausgebreitet, dort sind folglich keine Konzentrationswerte zu erwarten. Die bedingte Wahrscheinlichkeit, mit der die berechneten Konzentrationswerte nach vorgegebenen Freisetzungen auftreten, hängt folglich davon ab, auf welches Gebiet des Kreisrings diese Aussage bezogen wird. Insbesondere sind folgende Fälle von Interesse:

a) Konzentrationswerte unter der Fahnenachse (FA)

Unter der Fahnenachse ergibt sich im Abstand \bar{r}_i die Aktivitätskonzentration $C(ND_{FA}, \ell, m, \bar{r}_i; k)$; die bedingte Wahrscheinlichkeit für diesen Konzentrationswert ist folglich durch G1. (3.2) gegeben:

$$p_{FA}(ND_{FA}, \ell, m, \bar{r}_i)^* = p_{\ell m} \quad (3.4)$$

*) Zur Vereinfachung der Schreibweise wird im folgenden die Abhängigkeit von der Aktivitätskonzentration anstatt exakt $p(C(ND, \ell, m, \bar{r}_i; k))$ als in $p(ND, \ell, m, \bar{r}_i)$ implizit enthalten vorausgesetzt.

b) Konzentrationswerte unter der Aktivitätsfahne (UF)

Im Abstand \bar{r}_i werden bei jeder Wettersituation l in azimuthaler Richtung ND_{\max} verschiedene Konzentrationswerte unter der Aktivitätsfahne berechnet. Jeder Konzentrationswert $C(ND, l, m, \bar{r}_i; k)$ tritt im Winkelsektor $\Delta\varphi(ND, l, m, \bar{r}_i)$ auf. Folglich ist die Wahrscheinlichkeit für diesen Konzentrationswert gegeben durch

$$p_{UF}(ND, l, m, \bar{r}_i) = p_{lm} \cdot \frac{\Delta\varphi(ND, l, m, \bar{r}_i)}{\phi(l, m, \bar{r}_i)} \quad (3.5)$$

mit ϕ Fahnenbreite aus Gl.(3.3).

c) Konzentrationswerte innerhalb eines festen Winkelsektors in Ausbreitungsrichtung

Es ist ein Winkelsektor α vorgegeben, dessen Mitte in Ausbreitungsrichtung liegt. Innerhalb dieses Winkelsektors treten Konzentrationswerte $C(ND, l, m, \bar{r}_i; k)$ auf, deren Stufenindex den Wert ND_α nicht überschreiten darf. ND_α ist definiert durch die Bedingung

$$\sum_{ND=ND_{FA}}^{ND_\alpha} \Delta\varphi(ND, l, m, \bar{r}_i) = \frac{1}{2} \alpha \quad (3.6)$$

Die bedingte Wahrscheinlichkeit für die derart möglichen Konzentrationswerte ist gegeben durch

$$p_\alpha(ND, l, m, \bar{r}_i) = p_{lm} \cdot \frac{\Delta\varphi(ND, l, m, \bar{r}_i)}{\alpha} \quad (3.7)$$

d) Konzentrationswerte in festem Abstand zur Anlage

Im Abstand \bar{r}_i vom Ort der Freisetzung treten Aktivitätskonzentrationen nur im Winkelsektor ϕ nach Gl. (3.3) auf. In allen sonstigen Gebieten des Kreisring befindet sich keine Aktivität. Die bedingte Wahrscheinlichkeit für die Konzentration $C(ND, \ell, m, \bar{r}_i; k)$ nach unfallbedingten Aktivitätsfreisetzungen ist folglich gegeben durch

$$p(ND, \ell, m, \bar{r}_i) = p_{\ell m} \cdot \frac{\Delta\varphi(ND, \ell, m, \bar{r}_i)}{360^\circ} \quad (3.8)$$

Daraus ergibt sich die bedingte Wahrscheinlichkeit, daß im Falle von Freisetzungen überhaupt Aktivitätskonzentrationen auftreten, zu

$$p(\ell, m, \bar{r}_i) = \sum_{ND=1}^{ND_{max}} p(ND, \ell, m, \bar{r}_i) = p_{\ell m} \cdot \frac{\phi(\ell, m, \bar{r}_i)}{360^\circ} \quad (3.9)$$

mit ϕ Fahnenbreite aus Gl. (3.3).

Unterschiedliche Fahnenbreiten für verschiedene Wettersituationen und Entfernungen beeinflussen folglich direkt die so definierten bedingten Wahrscheinlichkeiten.

Wenn nicht speziell auf die unter den Punkten a) bis c) aufgeführten bedingten Wahrscheinlichkeiten hingewiesen wird, sind im vorliegenden Bericht die Wahrscheinlichkeiten von Konzentrationswerten immer auf einen festen Abstand zur Anlage ohne Einschränkungen der azimutalen Richtung bezogen (Fall d).

Die verschiedenen Bedingungen, unter denen die Wahrscheinlichkeitsbewertung von Konzentrationswerten erfolgen kann, beeinflussen die quantitative Auswertung. In Abschnitt 5.1 werden hierzu exemplarische Rechenergebnisse gegenübergestellt.

3.2 Einbeziehung von Flächen und Personen

Der Entfernungsbereich bis 540 km ist in 20 Kreisringe mit logarithmisch nahezu äquidistanter Teilung aufgelöst (s.Tab.1). Innerhalb dieser Kreisringe sind die Teilflächen $F(ND, \ell, m, \bar{r}_i)$ mit Aktivität belegt. Der Zusammenhang zwischen Winkelsektor $\Delta\varphi(ND, \ell, m, \bar{r}_i)$ und Teilfläche ist gegeben durch

$$F(ND, \ell, m, \bar{r}_i) = \pi \cdot (r_{i+1}^2 - r_i^2) \cdot \frac{\Delta\varphi(ND, \ell, m, \bar{r}_i)}{360^\circ} \quad (3.10)$$

Damit besteht eine direkte Verknüpfung zwischen Konzentrationswerten, Flächenelementen und bedingten Eintrittswahrscheinlichkeiten.

Für die o.g. radiale Rasterung liegen die Bevölkerungszahlen in azimutalen 10° -Winkelsektoren vor:

$$BE(m, n_s, j, \bar{r}_i)$$

mit

$n_s = 1, \dots, N_{S,m}$ Index der Standorte $N_{S,m}$ in der meteorologischen Zone N_m

$j = 1, \dots, 36$ Index des azimutalen 10° -Sektors.

Unter der Voraussetzung, daß sich die Aktivitätsfahne mit Fahnenachse im 10° -Sektor $j=j_0$ ausbreitet, ergibt sich im Flächenelement $F(ND, \ell, m, \bar{r}_i)$ die Bevölkerungszahl

$$B(ND, \ell, m, n_s, j_0, \bar{r}_i) = \sum_{j=1}^{36} BE(m, n_s, j, \bar{r}_i) \cdot q(\ell, m, ND, j, j_0, \bar{r}_i) \quad (3.11)$$

wobei mit q der Beitrag des 10° -Sektors j zum Flächenelement $F(ND, \ell, m, \bar{r}_i)$ bei Ausbreitungsrichtung j_0 bezeichnet ist. Die q -Werte werden für jede Kombination ℓ, m, \bar{r}_i, j_0 im Rechenprogramm ermittelt. Die Wahrscheinlichkeit der nach Gl.(3.11) berechneten Bevölkerungszahlen ergibt sich mit Gl.(3.8) zu

$$p(ND, \ell, m, n_s, j_0, \bar{r}_i) = p_{\ell m} \cdot \frac{\Delta\varphi(ND, \ell, m, \bar{r}_i)}{360^\circ} \cdot p_{j_0} \cdot p_{m, n_s} \quad (3.12)$$

wobei

p_{j_0} Wahrscheinlichkeit für die Windrichtung j_0
($p_{j_0} = 1/36$ bei Gleichverteilung)

p_{m, n_s} Wahrscheinlichkeit des Standorts n_s in der
meteorologischen Zone m .

Der Zahlenwert von p_{m, n_s} hängt ab von der Anzahl der Anlagen Z_{m, n_s} am jeweiligen Standort n_s :

$$p_{m, n_s} = \frac{Z_{m, n_s}}{\sum_{n_s} Z_{m, n_s}} = \frac{Z_{m, n_s}}{N_m} \quad (3.13)$$

Bei 25 Anlagen an 19 Standorten ergeben sich für jeden Konzentrationswert $C(ND, \ell, m, \bar{r}_i; k)$, der in allen 4 meteorologischen Zonen auftritt, wegen der 36 möglichen Ausbreitungsrichtungen $36 \cdot 19 = 684$ Bevölkerungszahlen.

4. Darstellungsformen

4.1 Aktivitätskonzentrationen und deren Eintrittshäufigkeiten

Aus der Gesamtzahl von Rechenergebnissen werden Häufigkeitsverteilungen und bedingte Wahrscheinlichkeitsverteilungen berechnet und graphisch dargestellt. Hierzu werden die Konzentrationswerte einzelnen Konzentrationsklassen n zugeordnet, deren Intervallbreite ΔC_n derart gewählt wurde, daß jede Dekade im logarithmischen Maßstab in 200 gleiche Abschnitte aufgeteilt ist. Der analysierte Wertebereich der Konzentrationen kann 9 Dekaden umfassen und wird auf der Abszisse zweidimensionaler Abbildungen aufgetragen. In den einzelnen Konzentrationsintervallen werden die bedingten Wahrscheinlichkeiten aller Einzelwerte C mit

$$C_n - \frac{\Delta C_n}{2} < C \leq C_n + \frac{\Delta C_n}{2} \quad (3.14)$$

aufsummiert. Die Rechenvorschrift für die so ermittelten Verteilungen lautet also

$$H(C_n, \Delta C_n, \bar{r}_i) = \sum_{ND, \ell, m} p(ND, \ell, m, \bar{r}_i), \quad (3.15)$$

wobei die Konzentrationswerte C die Nebenbedingung (3.14) erfüllen müssen. Die komplementären kumulativen Verteilungen berechnen sich daraus nach der Vorschrift

$$\bar{H}(C_n, \Delta C_n, \bar{r}_i) = \sum_{n'=n}^{\infty} H(C_{n'}, \Delta C_{n'}, \bar{r}_i) \quad (3.16)$$

Als bedingte Verteilungen enthalten sie eine quantitative Wahrscheinlichkeitsbewertung der nach einer Aktivitätsfreisetzung möglicherweise auftretenden Konzentrationswerte im Abstand \overline{r}_i von der Anlage.

Die komplementären kumulativen Verteilungen (3.16) geben für jeden Konzentrationswert C_n die Wahrscheinlichkeit an, mit der diese Konzentration aufgrund der Unfallfolgenrechnung nach Aktivitätsfreisetzungen der betrachteten Freisetzungskategorie am Ort \overline{r}_i erreicht oder überschritten wird.

Die Randbedingung erfolgter Freisetzung entfällt, wenn die Wahrscheinlichkeitswerte mit der Eintrittshäufigkeit der zugehörigen Freisetzungskategorie multipliziert werden. Dann geben die Häufigkeitsverteilungen die pro Reaktorbetriebsjahr zu erwartenden Häufigkeiten für Aktivitätskonzentrationen an.

Zur graphischen Darstellung können die Ergebnisse in Form von dreidimensionalen Verteilungen, zweidimensionalen Höhenlinien der bedingten Wahrscheinlichkeiten und zweidimensionalen Verteilungen ausgewiesen werden. In Abb.3 sind die möglichen Darstellungsformen der Verteilungen und der daraus ableitbaren charakteristischen Größen dargestellt und mit Kennziffern zur besseren Identifizierung versehen. Freie Parameter sind immer die Nuklide k und die Freisetzungskategorien FK , d.h. die 2-dimensionalen Abbildungen können sowohl für ein Wertepaar (k, FK) als auch für Kurvenscharen mit k bzw. FK als Parameter erstellt werden. Dabei ist es auch möglich, mehrere Nuklide zu einer Gruppe zusammenzufassen und deren Gesamtaktivität auszuweisen. Die 3-dimensionalen Abbildungen A31 sind jeweils nur für Wertepaare (k, FK) darstellbar; das gleiche gilt für ihre Höhenliniendarstellungen HA31.

Als charakteristische Größen der Verteilungen können folgende Werte ausgewiesen werden:

- Kenngrößen der Aktivitätskonzentrationen C^{CH} :

$$C^{\text{CH}} = \left\{ C_{\min}, \bar{C}, C_{\max}, C_{\alpha} \text{ mit } 0 \leq \alpha \leq 100\% \right\}$$

wobei: C_{\min} kleinste berechnete Aktivitätskonzentration
 \bar{C} mittlere Aktivitätskonzentration
 C_{\max} höchste berechnete Aktivitätskonzentration
 C_{α} Perzentilwerte der Aktivitätskonzentrationen

- Kenngrößen der Häufigkeiten h^{CH} :

$$h^{\text{CH}} = h(C \geq C_{\text{GR}})$$

Häufigkeit, mit der die Aktivitätskonzentrationen größer sind als ein vorgegebener Grenzwert C_{GR} .

Außer in graphischer Darstellung können die Ergebnisse auch in Tabellenform angegeben werden. Insbesondere sind von Bedeutung die 50%-Fraktilen (Medianwert $C_{50\%}$) und die weiteren Perzentilen $C_{90\%}$, $C_{95\%}$ und $C_{99\%}$, sowie der Mittelwert \bar{C} . Er berechnet sich direkt aus den einzelnen Aktivitätskonzentrationen zu

$$\bar{C}(\bar{r}_i; k) = \frac{\sum_{ND, \ell, m} C(ND, \ell, m, \bar{r}_i; k) \cdot p(ND, \ell, m, \bar{r}_i)}{\sum_{ND, \ell, m} p(ND, \ell, m, \bar{r}_i)} \quad (3.17)$$

Die Perzentilen $C_{\alpha}(\bar{r}_i)$ sind definiert durch

$$(1 - \alpha) = \bar{H}(C_{\alpha}(\bar{r}_i; k); \bar{r}_i) \quad , \quad (3.18)$$

also direkt aus der komplementären kumulativen Verteilung Gl.(3.16) zu entnehmen.

Entsprechend der derzeitigen Modellierung werden bei einstündigen Freisetzungen wegen des beschränkten Wertebereichs der einzelnen Parameter (Maximalwerte: $ND=7$, $\ell=115$, $m=4$) in jeder Entfernung \bar{r}_i höchstens $7 \times 115 \times 4 = 3220$ Konzentrationswerte berechnet. Bei mehrstündigen Freisetzungen, die in 2 bis 5 Freisetzungsphasen kondensiert sind, erhöht sich die Maximalzahl um den Faktor 2 bis 5.

Bei Charakterisierung einer Verteilungsfunktion durch ihren Perzentilwert von z.B. $C_{90\%}$ bleiben bei einer Freisetzung mit 3 einstündigen Freisetzungsphasen max. 966 der höchsten Konzentrationswerte unberücksichtigt. Diese Konzentrationswerte entstammen unterschiedlichen Wetterabläufen, da es sich vor allem um die Aktivitätskonzentrationen unter der Fahnenachse handelt; die Konzentrationswerte am Rand der Aktivitätsfahne sind bis etwa um den Faktor 17 geringer (s.Abb.1).

Die charakteristischen Größen der Verteilungen werden auch graphisch als Funktion der Entfernung als zweidimensionale Funktionen dargestellt.

4.2 Einbeziehung von Flächen und Personen

Über die Gl.(3.10), (3.11) und (3.12) sind die Flächen $F(ND, \ell, m, \bar{r}_i)$, Personenzahlen $B(ND, \ell, m, n_S, j_O, \bar{r}_i)$ und zugehörige bedingte Wahrscheinlichkeiten $p(ND, \ell, m, n_S, j_O, \bar{r}_i)$ mit den Aktivitätskonzentrationen $C(ND, \ell, m, \bar{r}_i; k)$ verknüpft. Zur Darstellung und Auswertung der großen Zahl von Rechenergebnissen werden sowohl die einzelnen Aktivitätskonzentrationen, als auch die Flächen und Personenzahlen, die zu diesen Konzentrationswerten gehören, einzelnen Klassen n zugeordnet. Wegen der veränderten Fragestellung ist es nicht notwendig, die Klasseneinteilung so fein wie in Abschnitt 4.1

zu wählen. Die Konzentrationsklassen ΔC_n wurden derart gewählt, daß jede Dekade im logarithmischen Maßstab in 4 gleiche Abschnitte aufgeteilt ist. Für die Flächen- und Personenklassen ΔF_n bzw. ΔB_n wurde die gleiche Einteilung gewählt.

Für jeden Konzentrationswert C_n , der das Intervall

$$C_n - \frac{\Delta C_n}{2} < C \leq C_n + \frac{\Delta C_n}{2} \quad (3.19)$$

repräsentiert, wird in der Entfernung \bar{r}_i die Klassenhäufigkeit der Flächen F , die im Intervall

$$F_n - \frac{\Delta F_n}{2} < F \leq F_n + \frac{\Delta F_n}{2} \quad (3.20)$$

liegen, analog zu Gl.(3.15) berechnet zu

$$H(F_n, \Delta F_n; C_n, \Delta C_n; \bar{r}_i) = \sum_{ND, l, m} p(ND, l, m, \bar{r}_i), \quad (3.21)$$

wobei die Nebenbedingungen (3.19) und (3.20) bei der Summation über die bedingten Wahrscheinlichkeiten erfüllt sein müssen.

Analog dazu errechnet sich in der Entfernung \bar{r}_i die Klassenhäufigkeit der Personenzahlen, die im Intervall

$$B_n - \frac{\Delta B_n}{2} < B \leq B_n + \frac{\Delta B_n}{2} \quad (3.22)$$

liegen, unter Berücksichtigung der Gl. (3.11) bzw. (3.12) zu

$$H(B_n, \Delta B_n; C_n, \Delta C_n; \bar{r}_i) = \sum_{ND, l, m, n_s, j_0} p(ND, l, m, n_s, j_0, \bar{r}_i), \quad (3.23)$$

wobei auch hier bei der Summation über die bedingten Wahrscheinlichkeiten die Einschränkungen (3.19) und (3.22) zu berücksichtigen sind. Die komplementären kumulativen Verteilungen \bar{H} sind entsprechend der Vorschrift Gl. (3.16) für Flächen und Personenzahlen zu ermitteln.

Die Vielzahl der nach den Gl.(3.21) und (3.23) berechneten Ergebnisse (Verteilungen für 20 Entfernungen und sämtliche Intervalle der Flächen, Personenzahlen und Aktivitätskonzentrationen einzelner Nuklide) bedarf einer weiteren Reduktion im Sinne einer anwendungsorientierten Kondensierung. Je nach Aufgabenstellung sind verschiedene Vorgehensweisen denkbar.

a) Summation über die Entfernungsintervalle

Für jeden Konzentrationswert C_n wird die Verteilung $H^r(F'_n, \Delta F'_n; C_n, \Delta C_n; r \leq r_{\max})$ bzw. $H^r(B'_n, \Delta B'_n; C_n, \Delta C_n; r \leq r_{\max})$ der Flächen F'_n bzw. Personenzahlen B'_n berechnet, die im Entfernungsbereich $r \leq r_{\max}$ auftreten:

$$H^r(F'_n, \Delta F'_n; C_n, \Delta C_n; r \leq r_{\max}) = \sum_{\bar{r}_i \leq r_{\max}} H(F'_n, \Delta F'_n; C_n, \Delta C_n; \bar{r}_i) \quad (3.24)$$

Die entsprechenden Verteilungen für die Personenzahlen werden nach der gleichen Rechenvorschrift ermittelt.

b) Summation über die Intervalle der Aktivitätskonzentrationen

Für alle Konzentrationen $C_n \geq C_{GR}$ wird in der Entfernung \bar{r}_i die Häufigkeitsverteilung $H^c(F'_n, \Delta F'_n; C_n \geq C_{GR}; \bar{r}_i)$ der Flächen F'_n berechnet:

$$H^C(\overline{F}_{n'}, \Delta \overline{F}_{n'}; C \geq C_{GR}; \overline{r}_i) = \sum_{C_n \geq C_{GR}} H(\overline{F}_{n'}, \Delta \overline{F}_{n'}; C_n, \Delta C_n; \overline{r}_i) \quad (3.25)$$

Entsprechend werden die Häufigkeitsverteilungen der Personenzahlen $H^C(B_{n'}, \Delta B_{n'}; C_n \geq C_{GR}; \overline{r}_i)$ berechnet.

c) Summation über die Entfernungs- und Konzentrationsintervalle

Für alle Konzentrationswerte $C_n \geq C_{GR}$ wird die Häufigkeitsverteilung $H^{r,C}(\overline{F}_{n'}, \Delta \overline{F}_{n'}; C \geq C_{GR}; r \leq r_{max})$ der Flächen $\overline{F}_{n'}$ berechnet, die im Entfernungsbereich $r \leq r_{max}$ auftreten:

$$H^{r,C}(\overline{F}_{n'}, \Delta \overline{F}_{n'}; C \geq C_{GR}; r \leq r_{max}) = \sum_{\overline{r}_i \leq r_{max}} \sum_{C_n \geq C_{GR}} H(\overline{F}_{n'}, \Delta \overline{F}_{n'}; C_n, \Delta C_n; \overline{r}_i) \quad (3.26)$$

Wie bei den in Abschnitt 4.1 beschriebenen Möglichkeiten der graphischen Darstellung, stehen auch für die flächen- und personenbezogenen Aktivitätskonzentrationen dreidimensionale Verteilungen, zweidimensionale Höhenlinien der bedingten Wahrscheinlichkeiten und zweidimensionale Verteilungen zur Verfügung. Die Vielzahl der graphischen Darstellungsmöglichkeiten ist in Abb. 4a,b schematisch eingezeichnet; zur besseren Identifizierung der einzelnen Verteilungen und der daraus abgeleiteten charakteristischen Größen sind Kennziffern eingetragen. Freie Parameter sind immer die Nuklide k und die Freisetzungskategorie FK , d.h. die 2-dimensionalen Abbildungen können sowohl für Einzelwerte als auch als Kurvenscharen dargestellt werden.

Aufgrund der Berechnungsmodelle - es werden primär immer Klassenhäufigkeitsverteilungen der Flächen oder Personenzahlen ermittelt, die den Aktivitätskonzentrationen im Intervall $C_n < C \leq C_{n+1}$ zugeordnet sind - setzen sich die 3-dimensionalen Abbildungen aus den 2-dimensionalen Verteilungen zusammen (z.B. F31 aus F21 für alle Werte von \bar{r}_i). Demgemäß sind als charakteristische Größen analog zu Abschnitt 4.1 berechenbar:

- Kenngrößen der Flächen F^{CH} und Personenzahlen B^{CH} :

$$F^{CH} = \left\{ F_{\min}, \bar{F}, F_{\max}, F_{\alpha} \text{ mit } 0 \leq \alpha \leq 100\% \right\}$$

$$B^{CH} = \left\{ B_{\min}, \bar{B}, B_{\max}, B_{\alpha} \text{ mit } 0 \leq \alpha \leq 100\% \right\}$$

- Kenngrößen der bedingten Wahrscheinlichkeiten p^{CH} :

$$p_F^{CH} = p(F > F_{GR})$$

bzw.
$$p_B^{CH} = p(B > B_{GR})$$

Wahrscheinlichkeit, mit der nach stattgefundenener Freisetzung die Flächen bzw. Personenzahlen größer sind als ein vorgegebener Grenzwert.

Zusätzlich können außer der graphischen Darstellung die Häufigkeitsverteilungen und ihre charakteristischen Größen in Tabellenform angegeben werden. Die Charakterisierung erfolgt - wie in Abschnitt 4.1 beschrieben - durch Mittelwerte, 50%-Fraktilen (Medianwerte) und weitere Perzentilwerte.

Nach Abschnitt 3.1 werden für jede Freisetzungsphase und jedes Nuklid in der Entfernung \bar{r}_i 3220 Konzentrationswerte berechnet (4 meteorologische Zonen, jeweils 115 Wetterabläufe, 7-stufige Gauß-Verteilung). An jedem Standort n_g treten in der Entfernung \bar{r}_i pro Freisetzungsphase folglich $3220/4=805$ Konzentrationswerte

und zugehörige Flächen auf. Aufgrund der Bevölkerungsverteilung im Umkreis der Standorte und der Möglichkeit von 36 Ausbreitungsrichtungen, die sich aus der azimutalen 10° -Rasterung ergeben, werden jedem dieser Konzentrationswerte maximal 36 verschiedene Personenzahlen zugeordnet. An jedem Standort sind folglich in jeder Entfernung $\overline{r_i}$ pro Freisetzungsphase $805 \cdot 36 = 28980$ Personenzahl-Aktivitätskonzentration-Kombinationen möglich. Unter Einbeziehung aller 19 Standorte erhöht sich dieser Zahlenwert auf 550620. Bei der Freisetzungskategorie FK2 mit 3 Freisetzungsphasen werden die Verteilungsfunktionen jedes Entfernungsintervalls folglich aus maximal 1651860 Personenzahl-Konzentrationswert-Kombinationen ermittelt.

5. Ergebnisse von Konzentrationsberechnungen und ihre exemplarische Darstellung

Die in den Abschnitten 4.1 und 4.2 beschriebenen Darstellungsformen für die Ergebnisse von häufigkeitsbewerteten Konzentrationsberechnungen nach unfallbedingten Aktivitätsfreisetzungen ermöglichen eine Vielzahl unterschiedlicher Abbildungen und Tabellen (siehe Abb.3 und Abb. 4a,b). Sie sind charakterisiert durch die Parameter der Unfallfolgenrechnungen

- Freisetzungskategorie FK
- Radionuklid k

und den Detaillierungsgrad der Ergebnisausweisung hinsichtlich der funktionalen Zusammenhänge von

- Häufigkeit h bzw. bedingter Wahrscheinlichkeit p
- Luft- und/oder Bodenkonzentration C
- Größe der betroffenen Flächen F
- Anzahl der betroffenen Personen B
- Entfernung r.

Unter Berücksichtigung der Möglichkeiten

- 3-dimensionale Darstellung
- Höhenliniendarstellung
- 2-dimensionale Darstellung
- Tabellen mit charakteristischen Größen der Verteilungen

ist eine vollständige Dokumentation aller Ergebnisse im Rahmen dieses Berichts nicht möglich. Hier kann nur anhand von Beispielen aufgezeigt werden, welche Darstellungsformen denkbar und sinnvoll sind und welche Informationen und Aussagen dabei jeweils besonders anschaulich dokumentiert werden. Allerdings wird nicht zuletzt durch die subjektive Beurteilung des Betrachters und seine speziellen Vorstellungen, Neigungen und Ziele eine unterschiedliche Bewertung und Auswahl erfolgen.

Das hauptsächliche Ziel des vorliegenden Berichts ist es darum, exemplarisch die derzeitigen Möglichkeiten des Rechenprogramms aufzuzeigen, sodaß in späteren Dokumentationen unter dem Gesichtspunkt der Aufgabenstellung die bestgeeigneten Darstellungsformen ausgewählt werden können. Darum wurden die Unfallfolgenrechnungen nur für die Freisetzungskategorie FK2 der DRS Phase A /2/ durchgeführt. Von den erzielten Ergebnissen werden im folgenden nur die zeitintegrierten Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft und auf der Bodenoberfläche für die beiden Nuklide I-131 und Cs-137 dargestellt.

5.1 Aktivitätskonzentrationen und deren Eintrittshäufigkeiten

5.1.1 Häufigkeitsverteilungen

Ausgehend von den Rechenergebnissen "Aktivitätskonzentrationen" und "Häufigkeiten" (bzw. "bedingte Wahrscheinlichkeiten", falls die Freisetzung unterstellt wird) bieten sich zunächst 2-dimensionale Darstellungsformen an. Je nach Wahl der freien Parameter k , FK , r ergeben sich für die Luft- und Bodenkonzentrationen die in Abb.3 mit der Kennziffer I21 bezeichneten Verteilungen. In Abb. 5a,b und Abb. 6a,b sind exemplarisch die Klassenhäufigkeitsverteilungen und die komplementären kumulativen Häufigkeitsverteilungen der Luft- und Bodenkonzentrationen für die Nuklide I-131 und Cs-137 im Entfernungintervall $r = (8 \text{ km} \div 12 \text{ km})$ dargestellt.

Der Verlauf der Klassenhäufigkeitsverteilungen zeigt, daß die Konzentrationswerte nur in einem begrenzten Bereich über etwa 4 Dekaden auftreten. Wegen der höheren Jod-Freisetzung /2/ liegen die Konzentrationen für I-131 höher als für Cs-137. Der begrenzte Wertebereich für die berechneten Konzentrationen zeigt sich generell bei allen Ergebnissen unabhängig von der Wahl freier Parameter und ist begründet in der Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung. Nach Abb.1 wird die Gauß'sche Verteilungsfunktion approximiert durch eine Stufenfunktion, die das maximale Konzentrationsverhältnis 17 zwischen Fahnenmitte und Fahnenrand zuläßt.

Daraus folgt - in Verbindung mit der endlichen Zahl betrachteter Wetterabläufe und weiterer "mittlerer" Parameterwerte - eine Begrenzung des Bereichs möglicher Konzentrationswerte. Diese Modelleigenschaft wirkt sich allerdings auf die Ergebnisse von Risikostudien und die Aussagefähigkeit der Konzentrationsverteilungen nur unwesentlich aus, da i.a. kleinste Aktivitätskonzentrationen bei der Beurteilung von Unfallfolgeszenarien nicht von Bedeutung sind.

Die Form der Klassenhäufigkeitsverteilungen von Luftkonzentrationen ist nahezu identisch, da die Ausbreitung unabhängig vom Radionuklid erfolgt. Dagegen sind die Bodenkonzentrationsverteilungen der beiden Nuklide I-131 und Cs-137 unterschiedlich, da die trockene und nasse Ablagerung mit unterschiedlichen Parameterwerten beschrieben wird.

Nach Abschnitt 4.1 berechnen sich die komplementären kumulativen Häufigkeitsverteilungen durch Aufsummieren der Häufigkeiten der einzelnen Konzentrationsklassen von hohen Konzentrationswerten her. Insofern sind die Klassenhäufigkeitsverteilungen das "Differential" der komplementären kumulativen Häufigkeitsverteilungen, was durch Vergleich der Abb.5a,b und Abb.6a,b verifizierbar ist. Der "konstante" Verlauf der komplementären kumulativen Häufigkeitsverteilungen bei niedrigen Konzentrationswerten resultiert aus der Tatsache, daß dort keine Häufigkeiten berechnet werden bzw. die Häufigkeiten klein sind (logarithmische Skalierung auch der Ordinate!).

Die Veränderung der Häufigkeitsverteilungen mit zunehmender Entfernung wird anschaulich in der 3-dimensionalen Darstellung I31. Sie entsteht durch Aneinanderfügen der Verteilungen I21 im Abstand der Aufpunkte \bar{r}_i . Die Abb.7a,b zeigen typische Beispiele für die Luft- und Bodenkonzentrationen von I-131 und Cs-137. Die 3-dimensionale Darstellung ist i.a. für die quantitative Auswertung nicht gut geeignet, da "Berge" und "Täler" sich gegenseitig ver-

decken können und vor allem die Zahlenwertzuweisung der Ordinate schwierig ist. Dafür vermittelt sie einen hohen Grad an Anschaulichkeit, da mit einem Blick die wesentlichen Ergebnisse erfaßbar und qualitativ interpretierbar sind.

5.1.2 Charakteristische Größen der Häufigkeitsverteilungen

Wie in Abschnitt 4.1 dargestellt, besteht die Möglichkeit, charakteristische Größen der Häufigkeitsverteilungen in den 2-dimensionalen Darstellungsformen I21C1 und I21C2 anzugeben (s.Abb.3). Für spezielle Fragestellungen genügen z.B. Mittelwerte oder Perzentilwerte der Aktivitätskonzentrationen zur Beurteilung der Kontamination; auch Wahrscheinlichkeitsangaben zu Konzentrationswerten, die oberhalb eines Grenzwertes liegen, können die Auswertung der Häufigkeitsverteilungen hinsichtlich gewisser Problemstellung erleichtern.

Die Abb. 8a,b, 9a,b und 10a,b zeigen exemplarisch die entfernungsabhängigen Mittelwerte, 95%-Fraktilen und Wahrscheinlichkeiten $p(C > C_{GR})$ der Luft und Bodenkonzentrationen für I-131 und Cs-137 unter Voraussetzung von Freisetzungen der Kategorie FK2. Bei der Interpretation der Darstellungen vom Typ I21C2 (entfernungsabhängige Wahrscheinlichkeiten für das Überschreiten von vorgegebenen Grenzwerten der Konzentration) ist zu berücksichtigen, daß sich die Wahrscheinlichkeit auf den gesamten Kreisring zwischen r_i und r_{i+1} bezieht. Da die Aktivitätsfahne in jedem Abstand eine endlich "Breite" besitzt, die durch den Ausbreitungsparameter σ_y bestimmt wird, schließt die Wahrscheinlichkeit auch die Möglichkeit von Konzentrationswerten Null im Bereich außerhalb der Fahne ein (siehe auch Abschnitt 3.1). Deswegen beginnt der Kurvenverlauf bei Werten $p < 1$, die ein Maß für die Fahnenbreite sind. In Abb.10a ist diese mittlere Fahnenbreite für alle Entfernungen mit eingezeichnet. Sie liegt im Nahbereich im Mittel bei Werten um 45° in Ausbreitungsrichtung, was zu der Aussage führt, daß ein beliebiger Aufpunkt des Kreissektors mit der Wahrscheinlichkeit $45^\circ/360^\circ = 0.125$ kontaminiert ist. Sie nimmt zu größeren Entfernungen hin ab, da der von der Fahne überstrichene Winkelsektor kleiner wird.

Die im vorliegenden Bericht verwendeten Grenzwerte C_{GR} für die Luft- und Bodenkonzentrationen von I-131 bzw. Cs-137 wurden unter folgenden Gesichtspunkten gewählt:

a) Grenzwerte für die Luftkonzentrationen

Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft tragen zum gesundheitlichen Risiko hauptsächlich über den Expositionspfad "Inkorporation von Radionukliden infolge Inhalation mit der Atemluft" bei. Darum wurde für jedes der beiden Isotope I-131 und Cs-137 abgeschätzt, welche Luftkonzentrationen zu 50a-Ganzkörperdosen von 5 rem führen. Mit den Dosisfaktoren $g(I-131) = 8,65 \cdot 10^2 \text{ rem/Ci}$ bzw. $g(Cs-137) = 2,93 \cdot 10^4 \text{ rem/Ci} / 10/$ sowie der Atemrate von $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ergeben sich die Zahlenwerte $C(I-131) = 22,7 \text{ Ci} \cdot \text{s}/\text{m}^3$ bzw. $C(Cs-137) = 0,67 \text{ Ci} \cdot \text{s}/\text{m}^3$. Darum wurden als Grenzwerte überschlägig $C_{GR}(I-131) = 20 \text{ Ci} \cdot \text{s}/\text{m}^3$ und $C_{GR}(Cs-137) = 0,5 \text{ Ci} \cdot \text{s}/\text{m}^3$ gewählt.

b) Grenzwerte für die Bodenkonzentrationen

Hohe Bodenkonzentrationen sind insbesondere für die Notfallschutzplanung zur Vermeidung von Frühschäden von Interesse. In der DRS Phase A /2/ lautete das Kriterium für "schnelle Umsiedlung" der Bevölkerung, daß die potentielle Knochenmarkdosis infolge externer Bestrahlung vom Boden innerhalb von 7 Tagen größer sein muß als der Grenzwert $D_{GR} = 100 \text{ rad}$. Als Grenzwert für die Bodenkonzentrationen von I-131 bzw. Cs-137 wurde darum der Wert berechnet, der zu einer derartigen Strahlenbelastung führt. Mit den Rechenvorschriften des Unfallfolgenmodells UFOMOD für potentielle Strahlendosen /2/ führt dies zum Ergebnis $D_{GR}(I-131) = 0,25 \text{ Ci}/\text{m}^2$ bzw. $D_{GR}(Cs-137) = 0,15 \text{ Ci}/\text{m}^2$.

5.2 Häufigkeitsverteilungen von flächenbezogenen Aktivitätskonzentrationen und ihre charakteristischen Größen

5.2.1 Dreidimensionale Häufigkeitsverteilungen

Bei Einbeziehung der Flächen, über oder auf denen gewisse Konzentrationswerte vorliegen, wird rein rechen-technische für jedes durch die Klasseneinteilung festgelegte Konzentrationsintervall die Häufigkeitsverteilung der Gebietsgrößen ermittelt. Durch Aneinanderreihen dieser Ergebnisse im Abstand der Konzentrationsintervalle ergeben sich die 3-dimensionalen Abbildungen der Form F31 (s. Abb.4a). Da als freie Parameter für die Luft- bzw. Bodenkonzentrationen das Radionuklid, die Freisetzungskategorie und die Entfernung wählbar sind, ist eine Vielzahl von Abbildungen möglich. Exemplarisch werden in der Abb.11 für die FK2 die Luftkonzentrationen von I-131 in 3 verschiedenen Entfernungen dargestellt. Die Bilder zeigen deutlich den mit der Entfernung anwachsenden Bereich möglicher Gebietsgrößen bei gleichzeitiger Reduktion der dort zu erwartenden Konzentrationen. Der optische Eindruck ermöglicht ein schnelles qualitatives Erfassen des Zusammenhangs zwischen Aktivitätskonzentration, betroffene Flächen und Eintrittswahrscheinlichkeit.

Interessieren die in einem gewissen Entfernungsbereich um einen Standort auftretenden Flächen, dann empfiehlt sich die Darstellungsform F311. Die Abb.12 zeigt exemplarisch, mit welcher Wahrscheinlichkeit im Abstand bis zu $r_{\max} = 24$ km Gebiete mit gewissen Luft- und Bodenkonzentrationen an I-131 auftreten. Auf eine weitere Darstellung 3-dimensionaler Abbildungen wird im folgenden verzichtet, da für quantitative Analysen 2-dimensionale Darstellungen besser geeignet sind.

5.2.2 Zweidimensionale Häufigkeitsverteilungen

Die Vielzahl möglicher 2-dimensionaler Darstellungsformen (siehe Abb.4b) macht es notwendig, im Hinblick auf gewisse Fragestellungen eine Auswahl zu treffen und exemplarisch darzustellen. Anhand der 3-dimensionalen Verteilungen F31, F311 und F312, die aus den 2-dimensionalen Verteilungen F21, F211 und F212 zusammengesetzt sind, ist der Verlauf 2-dimensionaler Klassenhäufigkeitsverteilungen der Flächen für die einzelnen Konzentrationsklassen leicht abzuleiten. Eine weitere Kondensation erfolgt durch Kombination der Bedingungen $r \leq r_{\max}$ und $C \geq C_{GR}$ von F211 und F212 in der Form F213. Zur Veranschaulichung sind in den Abb.13 und 14a,b beispielhaft die Klassenhäufigkeitsverteilungen der Flächen mit Luft- bzw. Bodenkonzentrationen im angegebenen Konzentrations- und Entfernungsbereich angegeben (F212 und F213). Aus ihnen können quantitativ die Häufigkeiten abgelesen werden, mit denen nach stattgefunder Freisetzung im jeweiligen Abstand von der Anlage Flächen mit Aktivitätskonzentrationen oberhalb des Grenzwertes C_{GR} auftreten. Insofern sind die Darstellungen der Ergebnisse von Konzentrationsberechnungen nach F211, F212 und F213 vor allem zur quantitativen Beurteilung notwendiger Schutz- und Gegenmaßnahmen geeignet.

5.2.3 Charakteristische Größen der zweidimensionalen Häufigkeitsverteilungen

Ähnlich wie bei den Häufigkeitsverteilungen sind die Darstellungsformen F21C1 und F21C2 schon in den dreidimensionalen Abbildungen vom Typ F31C1 und F31C2 als Einzelkurven der jeweiligen Konzentrationsklassen enthalten. Exemplarisch für die aus F211 und F212 ableitbaren Darstellungsformen für charakteristische Größen (s. Abb. 4b) sind in den Abb. 15a,b und 16a,b die mittleren Flächen in Abhängigkeit von den Aktivitätskonzentrationen im Umkreis bis r_{\max} (F211C1) und in Abhängigkeit vom Radius für $C \geq C_{GR}$ (F212C1) für den Fall einer stattgefundenen Freisetzung angegeben. Die aus den

Häufigkeitsverteilungen F213 ableitbaren charakteristischen Größen können wegen der fehlenden Abhängigkeiten nicht graphisch dargestellt werden. Darum sind in Tab.2 die Mittelwerte, einige Perzentilwerte und die bei den Rechnungen bestimmten Maximalwerte der Flächen im Entfernungsbereich $r \leq 24$ km angegeben, für die die Aktivitätskonzentrationen größer sind als C_{GR} . Wie schon im Zusammenhang mit den zugrundeliegenden Häufigkeitsverteilungen erwähnt, kann die Dokumentation derartiger Zusammenhänge zur quantitativen Beurteilung von Schutz- und Gegenmaßnahmen hilfreich sein.

5.3 Häufigkeitsverteilungen von personenbezogenen Aktivitätskonzentrationen und ihre charakteristischen Größen

Bei Berücksichtigung der Bevölkerungsverteilung im Umkreis der Standorte kann das Rechenergebnis "betroffene Flächen" ersetzt werden durch "Anzahl von Personen", die in Gebieten mit gewissen Aktivitätskonzentrationen leben. Das Rechenverfahren ist in Abschnitt 3.2 beschrieben. Da sich die Häufigkeitsverteilungen der betroffenen Personen aufgrund der unterschiedlichen Bevölkerungsverteilungen im Umkreis von 19 Standorten berechnen, die Flächen dagegen durch die meteorologischen Ausbreitungsbedingungen der 4 meteorologischen Standortregionen, denen die Standorte zugewiesen sind, bestimmt sind, unterscheiden sich die Verteilungsfunktionen in ihrer Struktur, nicht aber im Wertebereich der Konzentrationen.

Grundsätzlich sind die gleichen Darstellungsformen wie bei den Flächen möglich (s. Abb.4a,b) und auch die in Abschnitt 5.2 gemachten Aussagen zu ihren Vor- und Nachteilen behalten ihre Gültigkeit. Darum werden im folgenden die Ergebnisse der personenbezogenen Konzentrationsrechnungen mit den gleichen Abbildungen und Tabellen wie bei den betroffenen Flächen dargestellt. Dadurch ist einerseits der direkte Vergleich zwischen personen- und flächenbezogenen Konzentrationsverteilungen möglich, zum anderen erübrigt sich die Diskussion der Darstellungsformen.

Im Einzelnen sind folgende Ergebnisse ausgewiesen:

- Abb.17 Dreidimensionale Häufigkeitsverteilung B31 der Luftkonzentrationen von I-131 und betroffenen Personen für 3 verschiedene Entfernungen (analog zu Abb.11)
- Abb.18 Dreidimensionale Häufigkeitsverteilung B311 der Luft- und Bodenkonzentrationen von I-131 und betroffenen Personen im Entfernungsbereich bis $r_{\max} = 24$ km. (analog zu Abb.12).
- Abb.19 Klassenhäufigkeitsverteilung B212 der Anzahl von Personen im Entfernungsbereich zwischen 8 km und 12 km und Luftkonzentrationen von I-131 und Cs-137 oberhalb der angegebenen Grenzwerte (analog zu Abb.13).
- Abb.20a,b Klassenhäufigkeitsverteilungen B213 der Anzahl von Personen im Entfernungsbereich bis $r_{\max} = 24$ km und Luft- bzw. Bodenkonzentrationen von I-131 und Cs-137 oberhalb der angegebenen Grenzwerte (analog zu Abb. 14a,b).
- Abb.21a,b Verteilung B211C1 der mittleren Anzahl von Personen mit Luft- bzw. Bodenkonzentrationen von I-131 und Cs-137 im Entfernungsbereich bis $r_{\max} = 24$ km (analog zu Abb. 15a,b).
- Abb.22a,b Entfernungsabhängige Verteilung B212C1 der mittleren Anzahl von Personen mit Luft- bzw. Bodenkonzentrationen von I-131 und Cs-137 oberhalb der angegebenen Grenzwerte (analog zu Abb.16a,b).

Entsprechend den Angaben in Tab.2 sind in Tab.3 die Mittelwerte, Perzentilwerte und die bei den Rechnungen ermittelten Maximalwerte der Anzahl von Personen im Entfernungsbereich $r \leq 24$ km angegeben, für die die Konzentrationen von I-131 und Cs-137 größer sind als C_{GR} .

Literaturverzeichnis

- /1/ J. Ehrhardt, U. Zöller
Darstellungsformen für individuelle und kollektive Strahlendosen nach unfallbedingten Aktivitätsfreisetzungen
Bericht KfK 3562 (1983)
- /2/ Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Fachband 8
Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1981
- /3/ M. Schückler, S. Vogt
UFOMOD-Programm zur Berechnung der radiologischen Folgen von Reaktorunfällen im Rahmen von Risikostudien
Bericht KfK 3092 (1981)
- /4/ J. Ehrhardt, S. Vogt
Unfallfolgenrechnungen und Risikoabschätzungen für Druckwasserreaktoren mit dem Rechenprogramm UFOMOD/B3
Bericht KfK 3373 (1983)
- /5/ R. Jonas, K.J. Vogt
Untersuchungen zur Ermittlung der Ablagerungsgeschwindigkeit von Aerosolen auf Vegetation und anderen Probenahmeflächen
Bericht Jül-1780 (1982)
- /6/ R. Jonas
Ablagerungsgeschwindigkeit von Aerosolen und Gasen auf Vegetation und ebene Oberflächen
Tagung der Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen (AGF) am 3. und 4. November 1983 im Wissenschaftszentrum, Bonn-Bad Godesberg; Tagungsbericht "Luftreinhalteung - Luftverschmutzung", Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen, Bonn-Bad Godesberg, 1983
- /7/ H.D. Brenk, K.J. Vogt
The Calculation of Wet Deposition from Radioactive Plumes
Nuclear Safety Vol. 22 No. 3, S.362-371 (1981)

- /8/ E. Schrödl, H. Urban
Literaturstudie zum Kurzzeit-Washout-Faktor von Aerosolen
GRS-A-609 (1981)
- /9/ P. Wittek, W. Hübschmann, S. Vogt
Influence of the Atmospheric Dispersion Model Modifications
on the Results of the German Reactor Risk Study
5th International Meeting on Thermal Nuclear Reactor
Safety, 9-13 Sept. 1984, Karlsruhe
- /10/ J. Ehrhardt
Dokumentation der Datensätze im Dosismodell des Rechen-
programms UFOMOD/B3
Bericht KfK 3390 (1982)

Nummer i	Innerer Radius r_i [km]	Äußerer Radius r_{i+1} [km]	Repräsentativer Radius \bar{r}_i [km]
1	0,0	0,2	0,15
2	0,2	0,5	0,35
3	0,5	0,8	0,65
4	0,8	1,2	1,0
5	1,2	1,6	1,4
6	1,6	2,4	2,0
7	2,4	3,6	3,0
8	3,6	5,4	4,5
9	5,4	8,0	6,7
10	8,0	12,0	10,0
11	12,0	16,0	14,0
12	16,0	24,0	20,0
13	24,0	36,0	30,0
14	36,0	54,0	45,0
15	54,0	80,0	67,0
16	80,0	120,0	100,0
17	120,0	160,0	140,0
18	160,0	240,0	200,0
19	240,0	360,0	300,0
20	360,0	540,0	450,0

Tab. 1: Rasterung der radialen Entfernungen

Konzentrationen	Betroffene Flächen km ²				
	\bar{F}	F _{50%}	F _{95%}	F _{99%}	F _{max}
Luft Ci · s · m ⁻³					
I-131	5,5	3,7	≤43,1	≤43,1	43,1
Cs-137	15,3	3,0	≤118,5	≤118,5	118,5
Boden Ci · m ⁻²					
I-131	4,5	3,0	18,0	≤28,9	28,9
Cs-137	0,06	-	-	-	0,36

Tab. 2 Charakteristische Größen der Häufigkeitsverteilungen F213 mit der Größe der Flächen im Entfernungsbereich $r \leq 24$ km, auf denen die Aktivitätskonzentrationen größer sind als C_{GR} (s. Abschnitt 5.1.2)

Konzentrationen	Anzahl von Personen				
	\bar{B}	$B_{50\%}$	$B_{95\%}$	$B_{99\%}$	B_{\max}
Luft $C_i \cdot s \cdot m^{-3}$					
I-131	1 341	170	12 000	18 000	87 986
Cs-137	4 063	750	60 000	95 000	180 264
Boden $C_i \cdot m^{-2}$					
I-131	1 060	120	9 900	15 000	69 842
Cs-137	3,2	< 1	< 1	< 1	575

Tab. 3 Charakteristische Größen der Häufigkeitsverteilung B213 mit der Anzahl von Personen im Entfernungsbereich $r \leq 24$ km, die in Gebieten mit Aktivitätskonzentrationen größer als C_{GR} leben (s. Abschnitt 5.1.2)

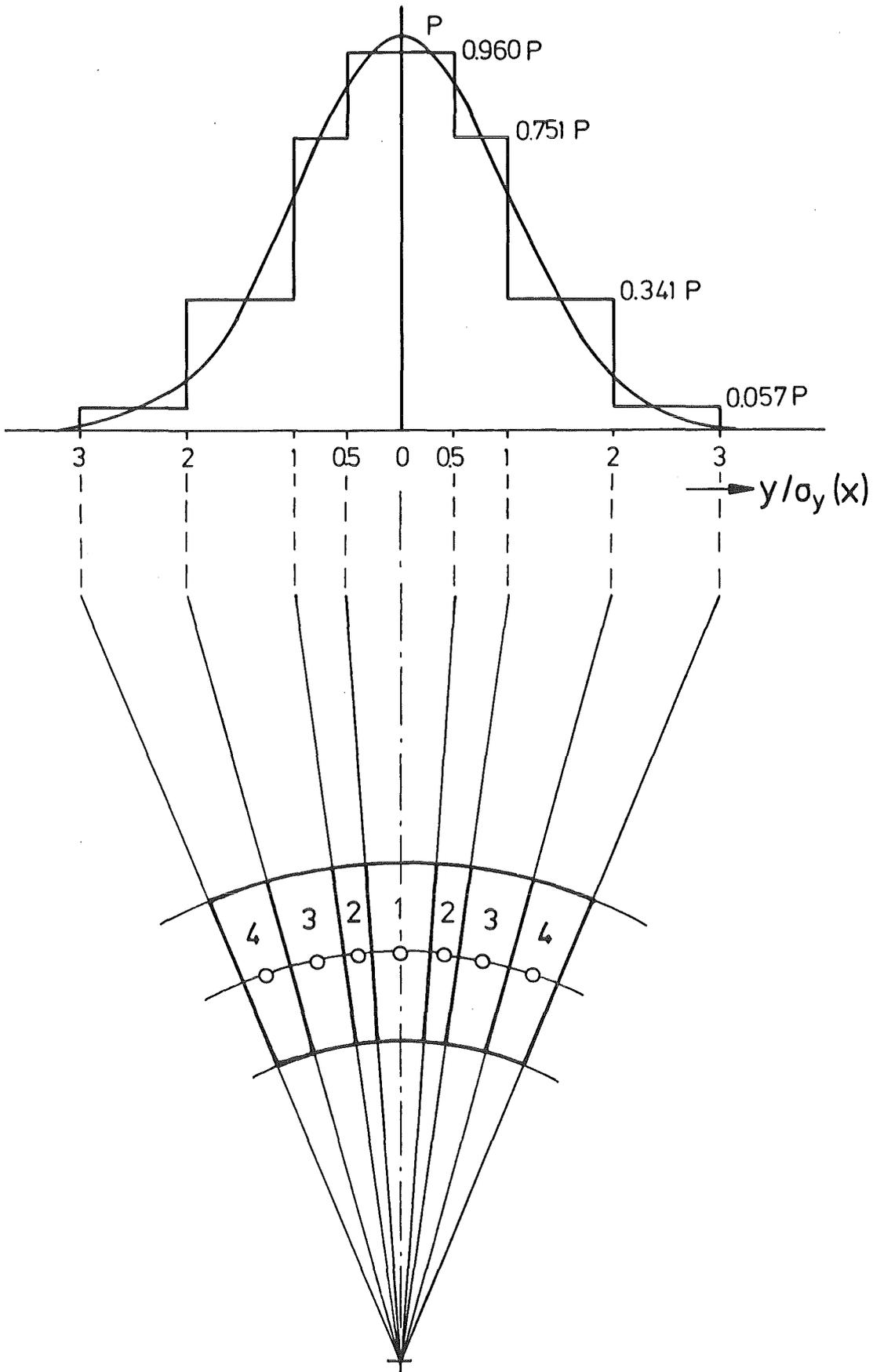


Abb. 1: Schematische Darstellung der Konstruktion repräsentativer Kreisringsektoren

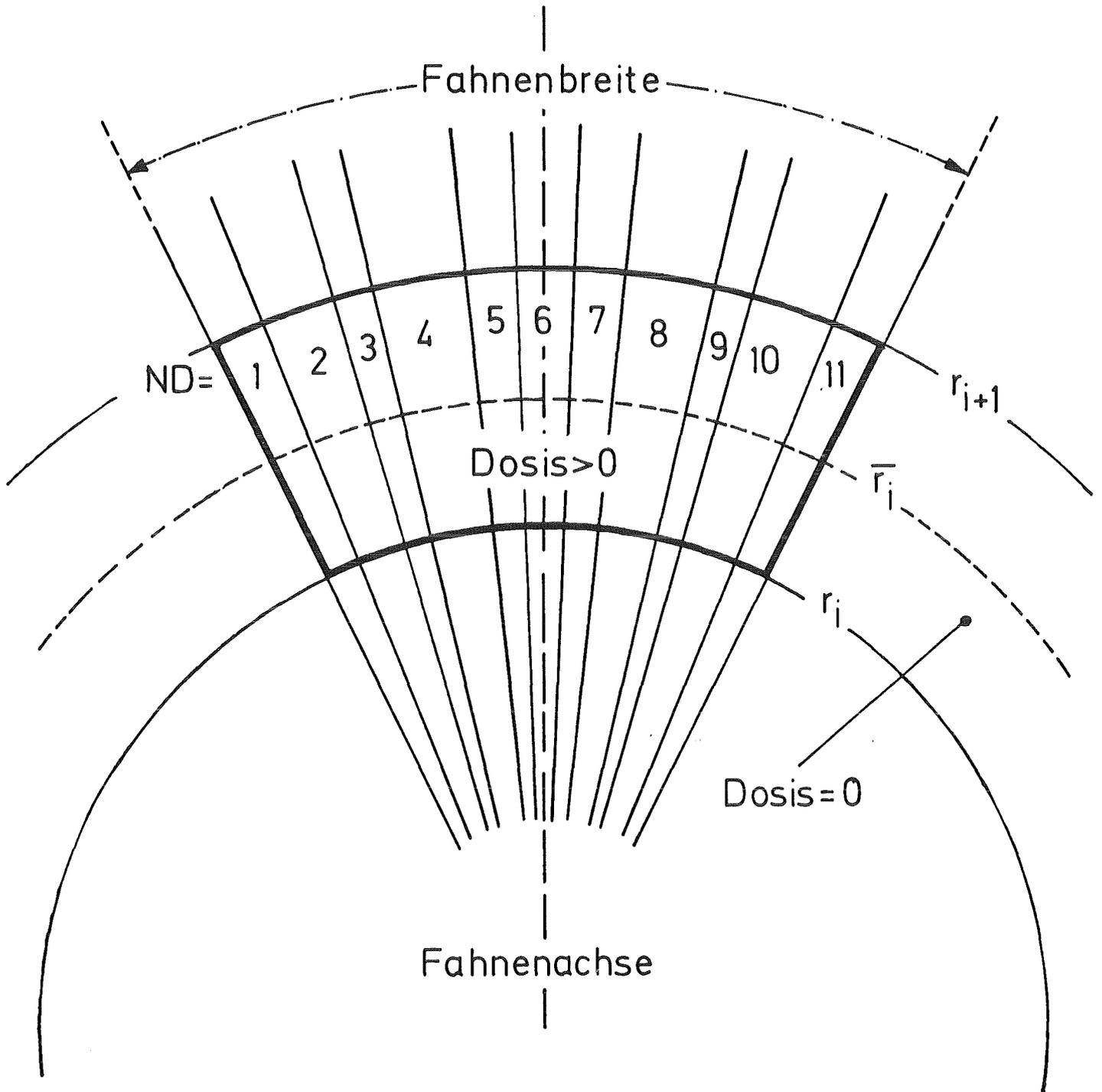
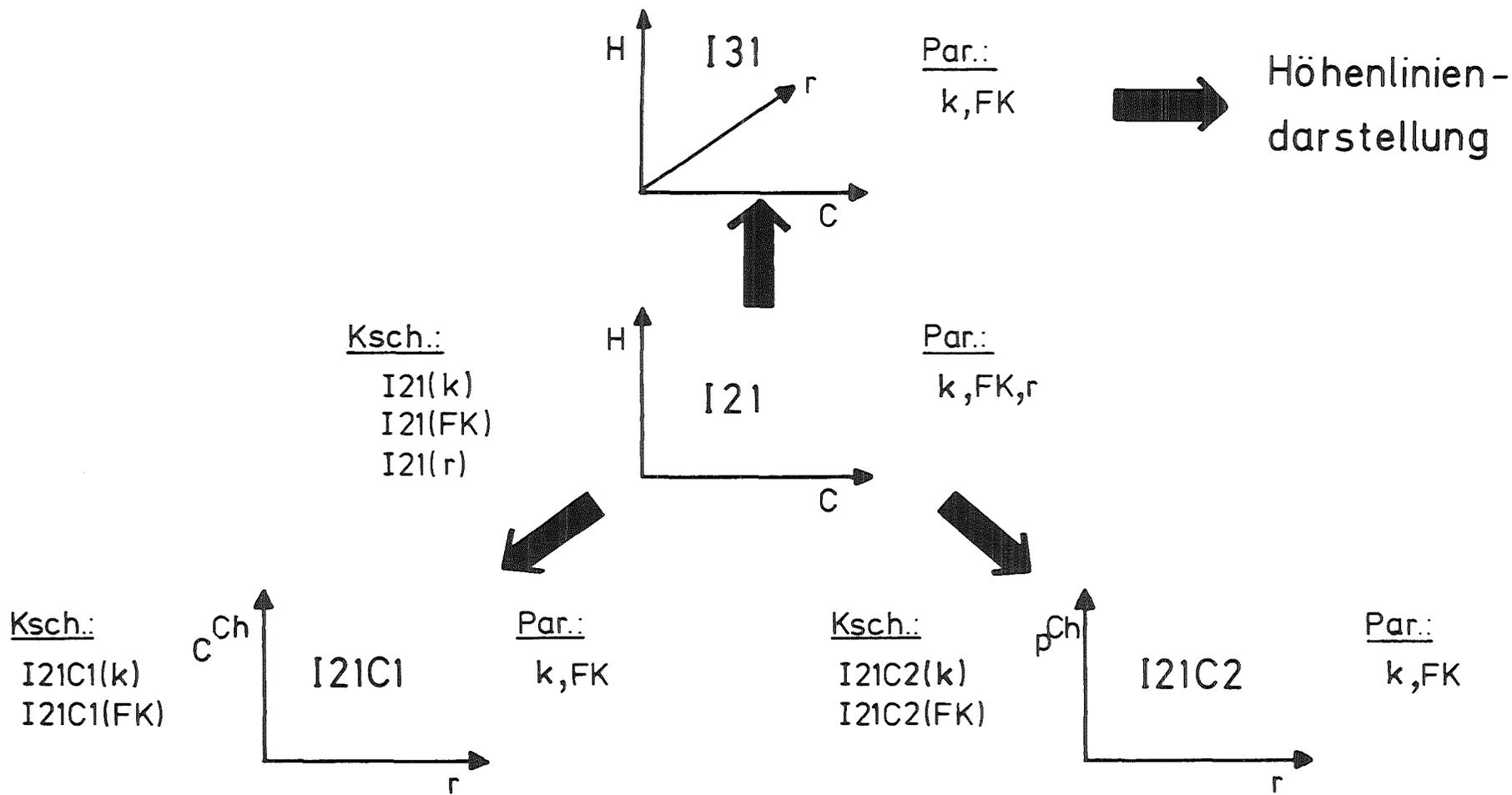


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Dosis und Fahnenbreite



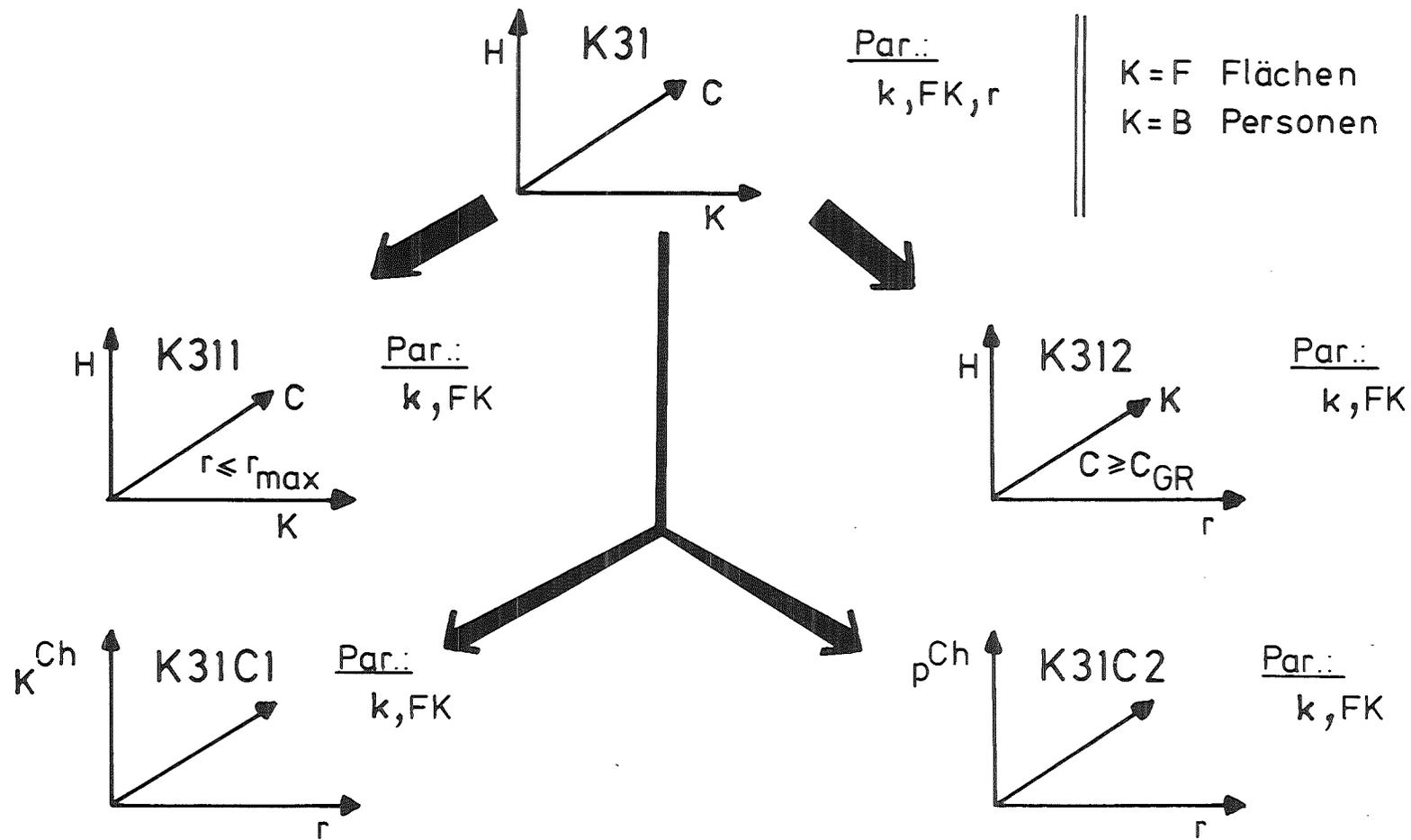
k – Nuklid
 FK – Freisetzungskategorie

Par. – Parameter
 Ksch. – Kurvenschar

$$C^{Ch} = \{ \bar{C}, C_{min}, C_{max}, C_{\alpha} \}$$

$$p^{Ch} = p(C \geq C_{GR})$$

Abb.3: Darstellungsformen für häufigkeitsbewertete Aktivitätskonzentrationen (C)



Höhenliniendarstellungen: HK31, HK311, HK312

Par.—Parameter k —Nuklid FK—Freisetzungskategorie $K^{Ch} = \{ \bar{K}, K_{min}, K_{max}, K_{\alpha} \}$
 $p^{Ch} = p(K \geq K_{GR})$

Abb. 4a: Dreidimensionale Darstellungsformen für flächen (K=F)- und personenbezogene (K=B) Aktivitätskonzentrationen (C)

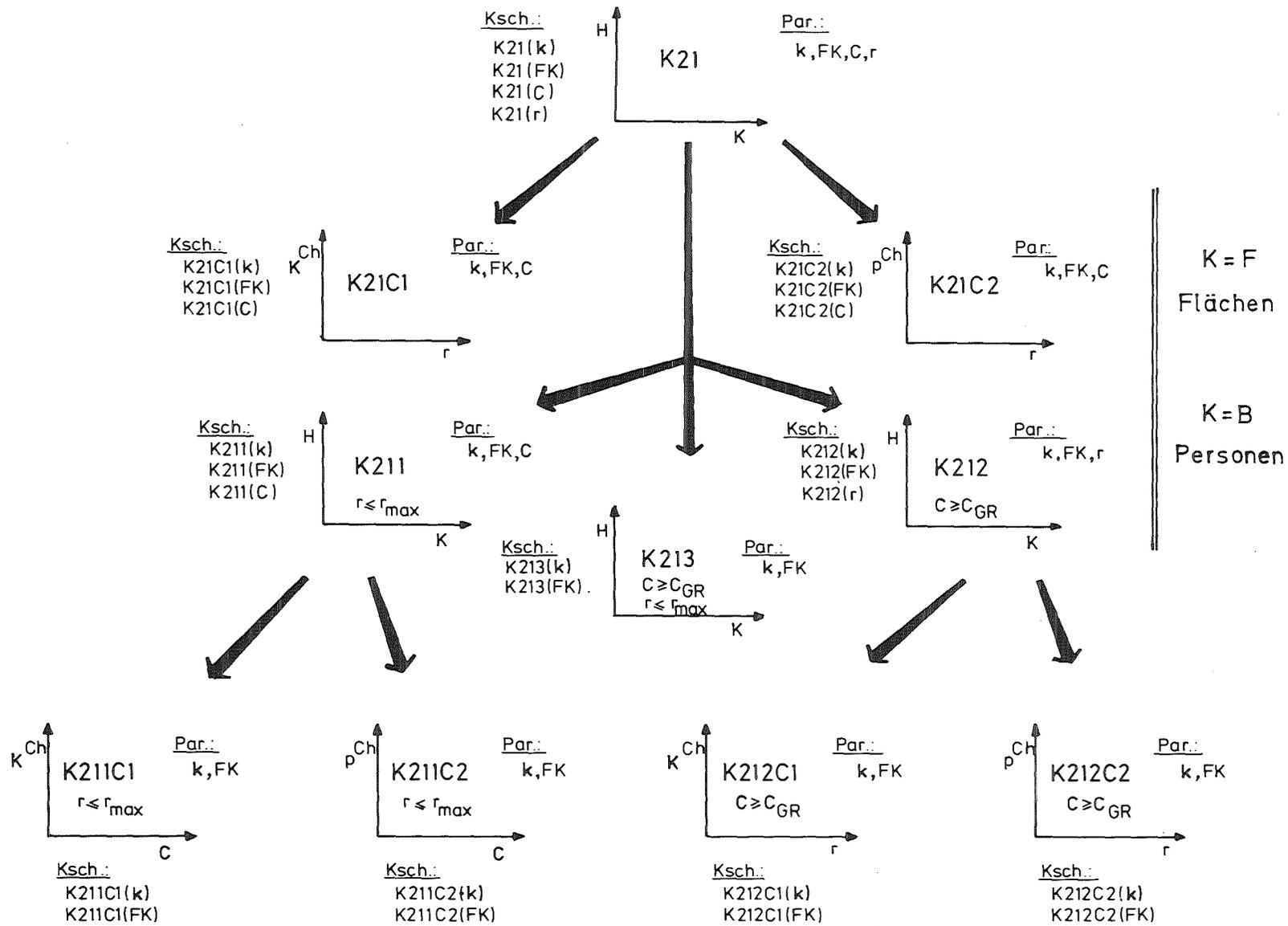


Abb. 4b: Zweidimensionale Darstellungsformen für flächen($K=F$)- und personenbezogene ($K=B$) Aktivitätskonzentrationen ('')

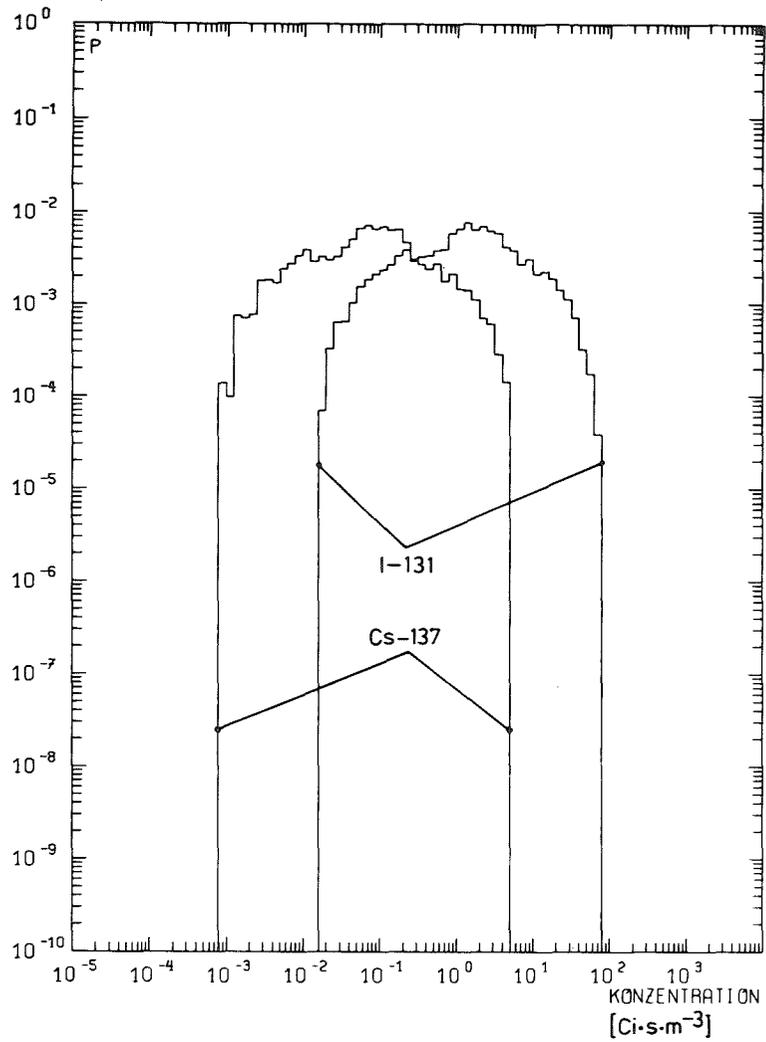


Abb. 5a

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 ENTFERNUNG: 8-12 km
 KLASSENHÄUFIGKEITSDISTRIBUTIONEN
 DER LUFTKONZENTRATIONEN FÜR
 I-131 und Cs-137

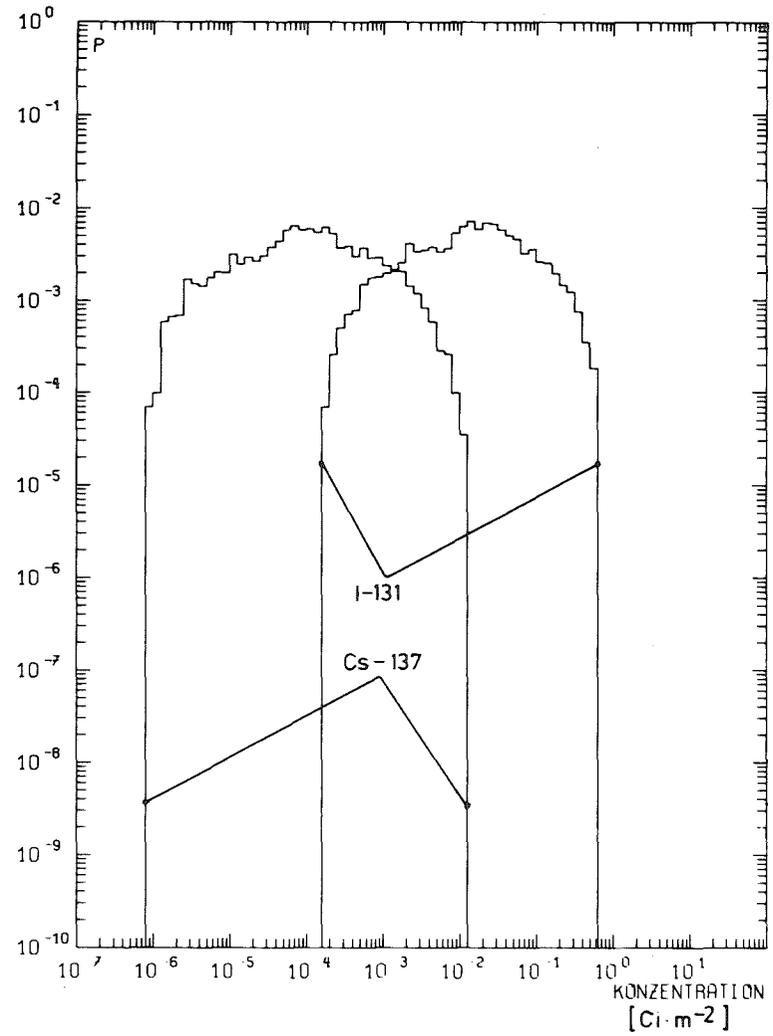


Abb. 5b

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 ENTFERNUNG: 8-12 km
 KLASSENHÄUFIGKEITSDISTRIBUTIONEN
 DER BODENKONZENTRATIONEN
 FÜR Cs-137, I-131

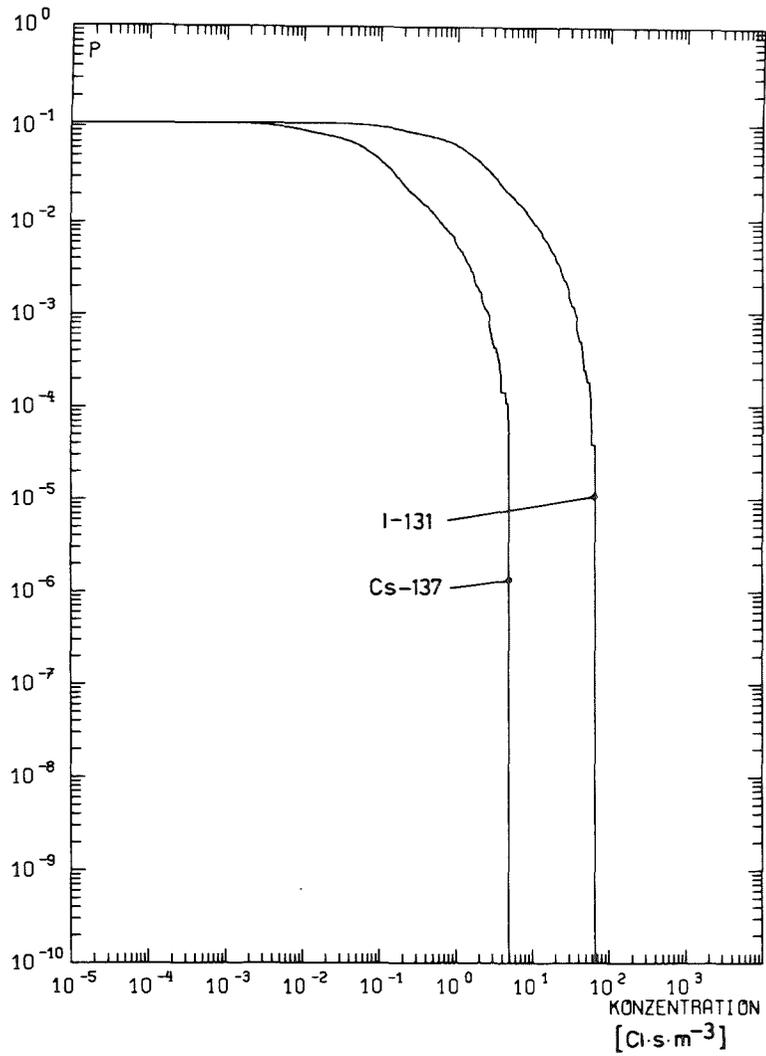


Abb. 6a

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK 2
 ENTFERNUNG: 8 ± 12 km
 KOMPLEMENTÄRE KUMULATIVE
 HÄUFIGKEITSVERTEILUNG
 DER LUFTKONZENTRATIONEN FÜR
 I-131, Cs-137

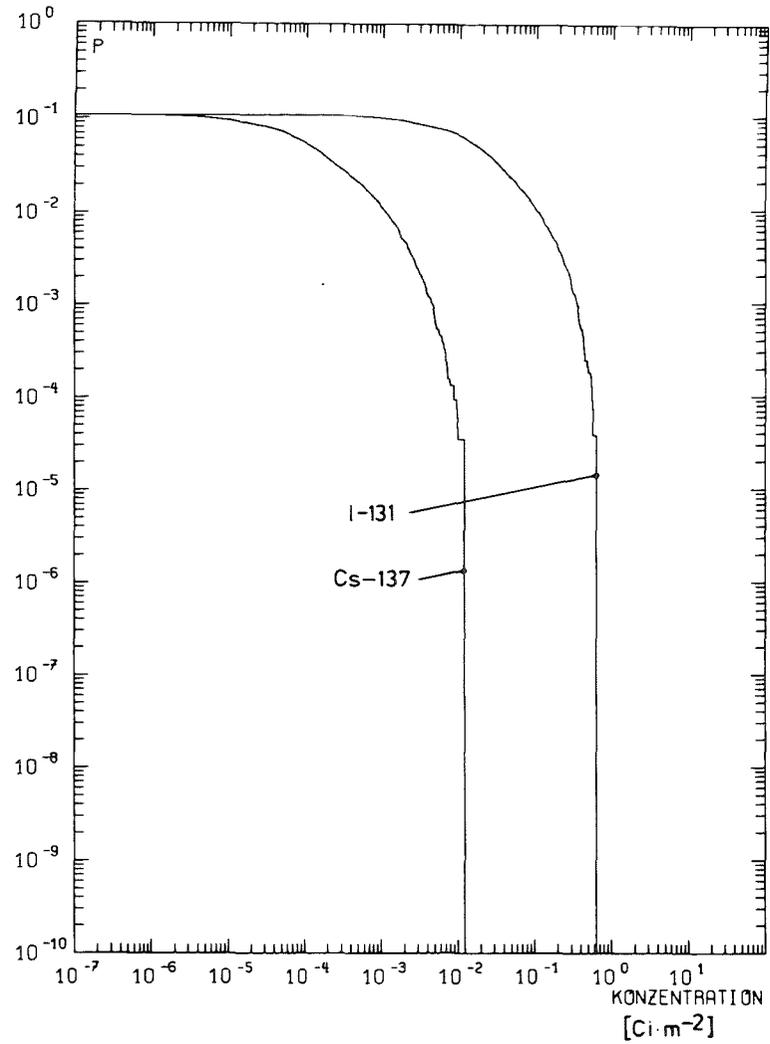


Abb. 6b

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK 2
 ENTFERNUNG: 8 ± 12 km
 KOMPLEMENTÄRE KUMULATIVE
 HÄUFIGKEITSVERTEILUNG
 DER BODENKONZENTRATIONEN
 FÜR I-131, Cs-137

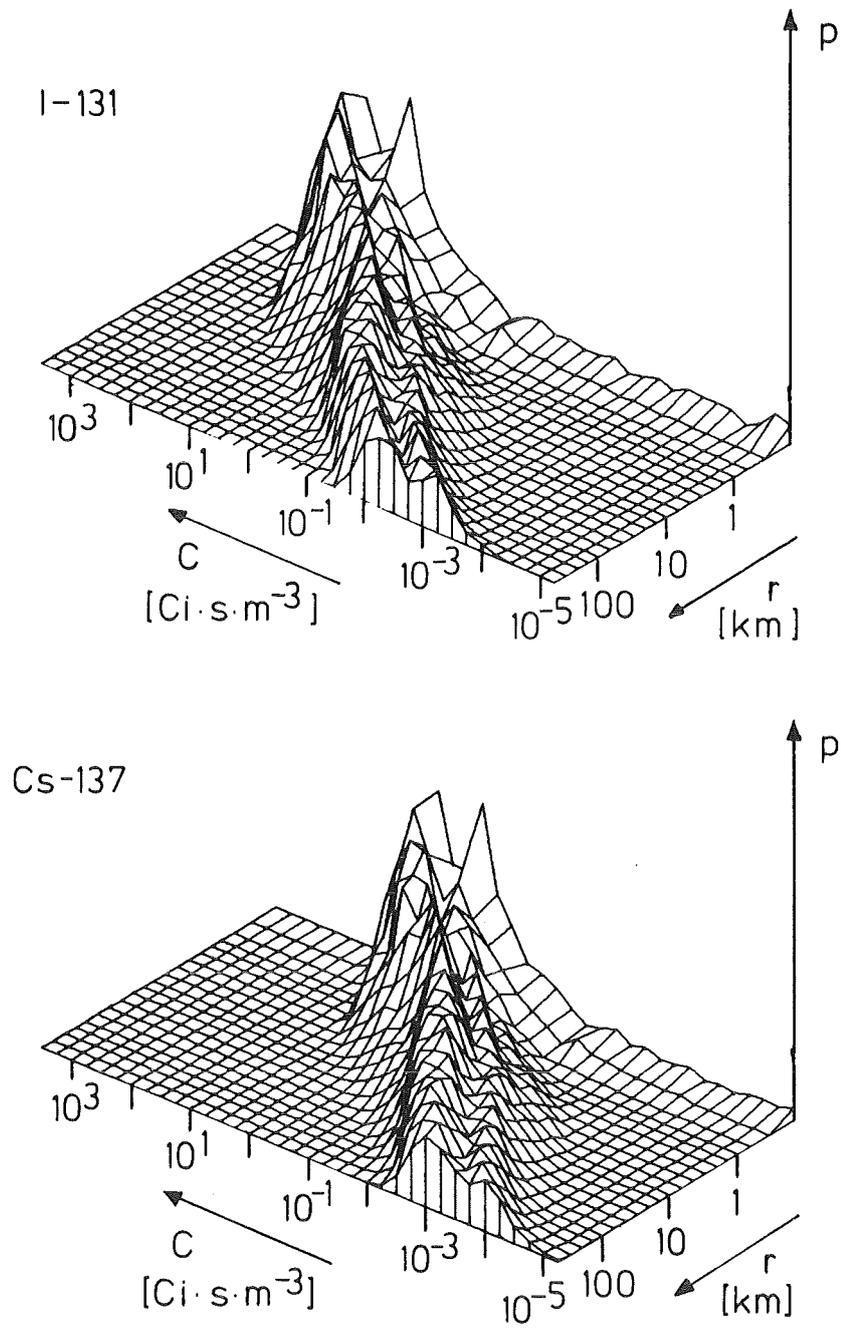


Abb. 7a: Dreidimensionale Häufigkeitsverteilungen der entfernungsabhängigen Luftkonzentrationen von I-131 und Cs-137 (FK2 vorausgesetzt)

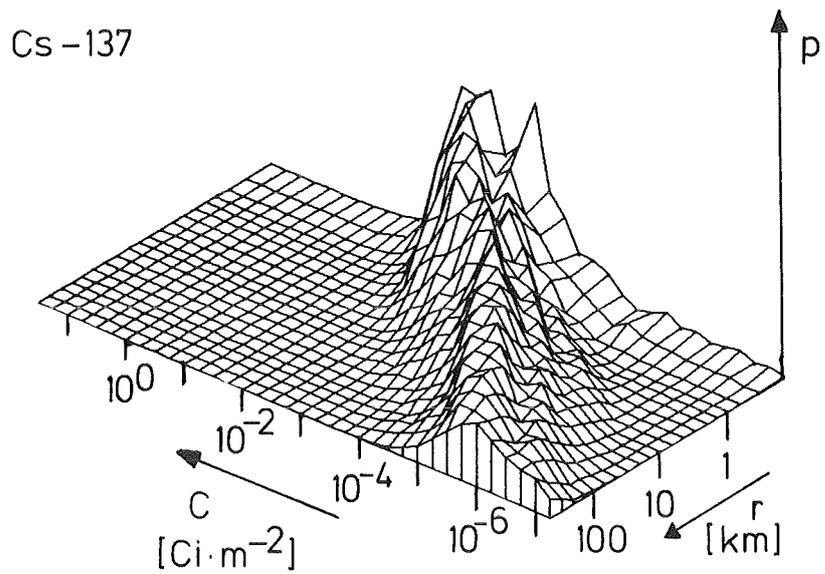
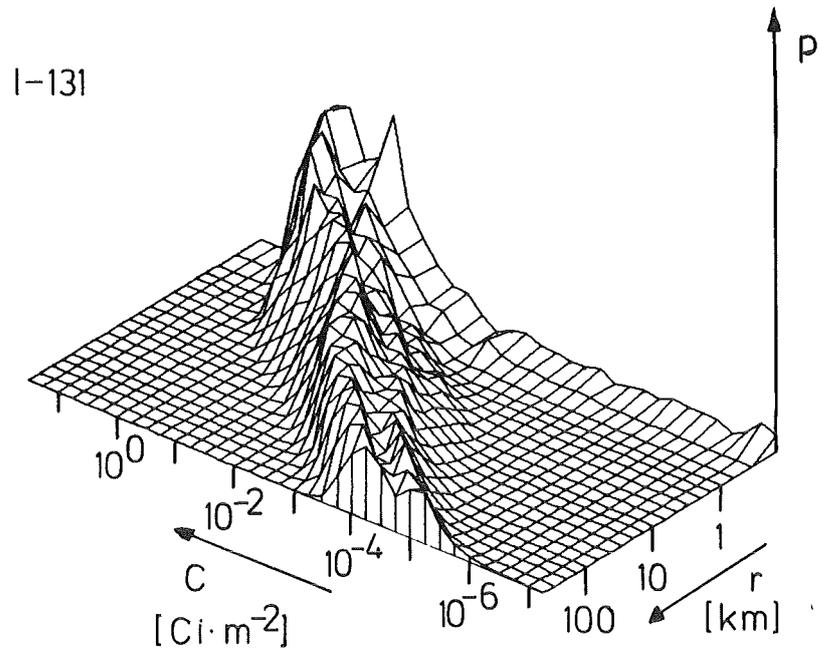


Abb. 7b: Dreidimensionale Häufigkeitsverteilungen der entfernungsabhängigen Bodenkonzentrationen von I-131 und Cs-137 (FK2 vorausgesetzt)

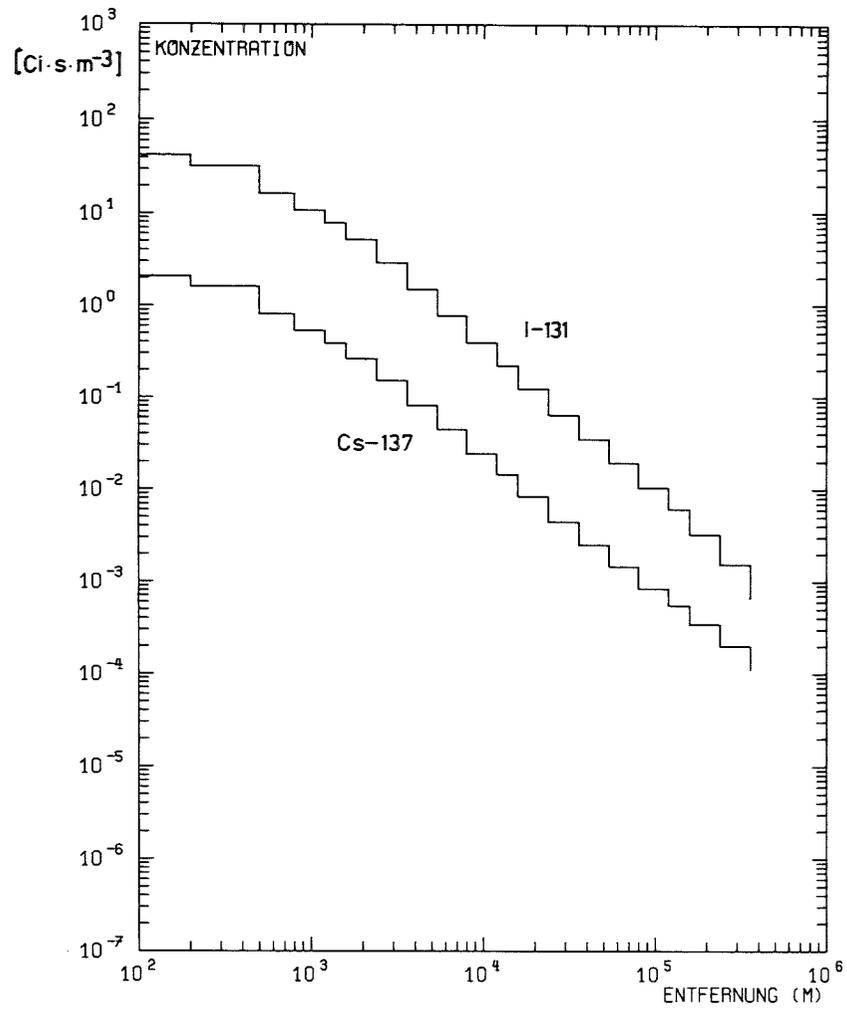


Abb. 8a

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 ENTFERNUNGSABHÄNGIGE
 DURCHSCHNITTLICHE WERTE DER
 LUFTKONZENTRATIONEN FUER
 I-131, Cs-137

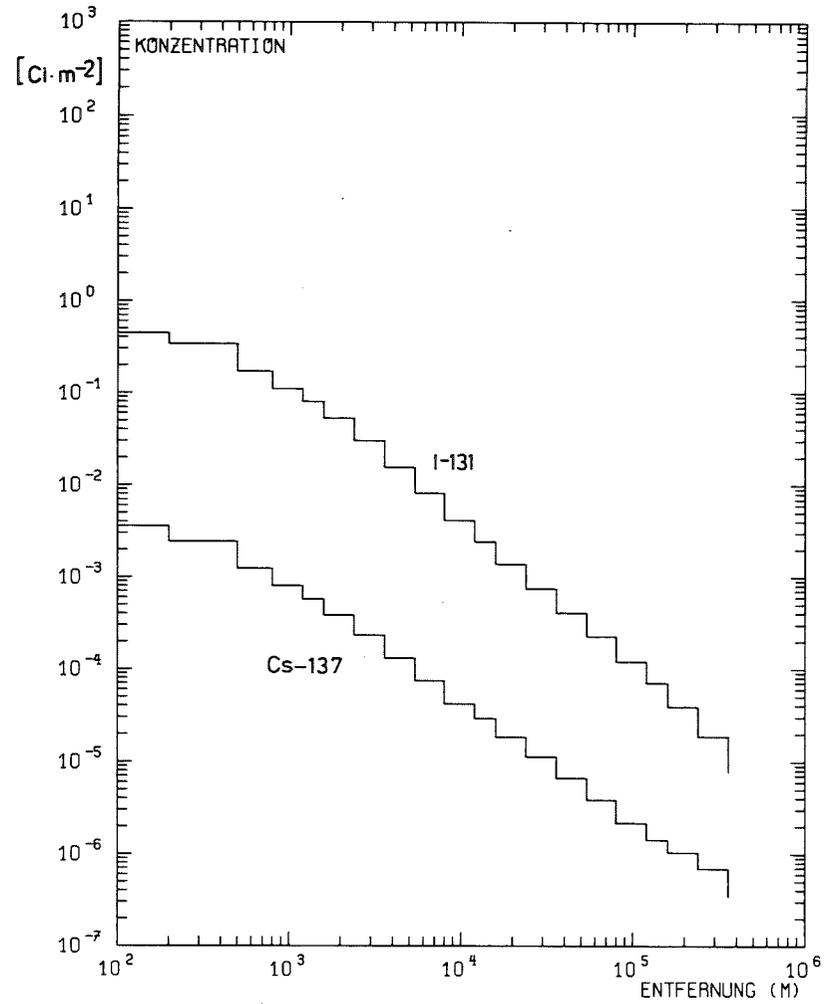


Abb. 8b

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 ENTFERNUNGSABHÄNGIGE
 DURCHSCHNITTLICHE WERTE DER
 BODENKONZENTRATIONEN FUER
 I-131, Cs-137

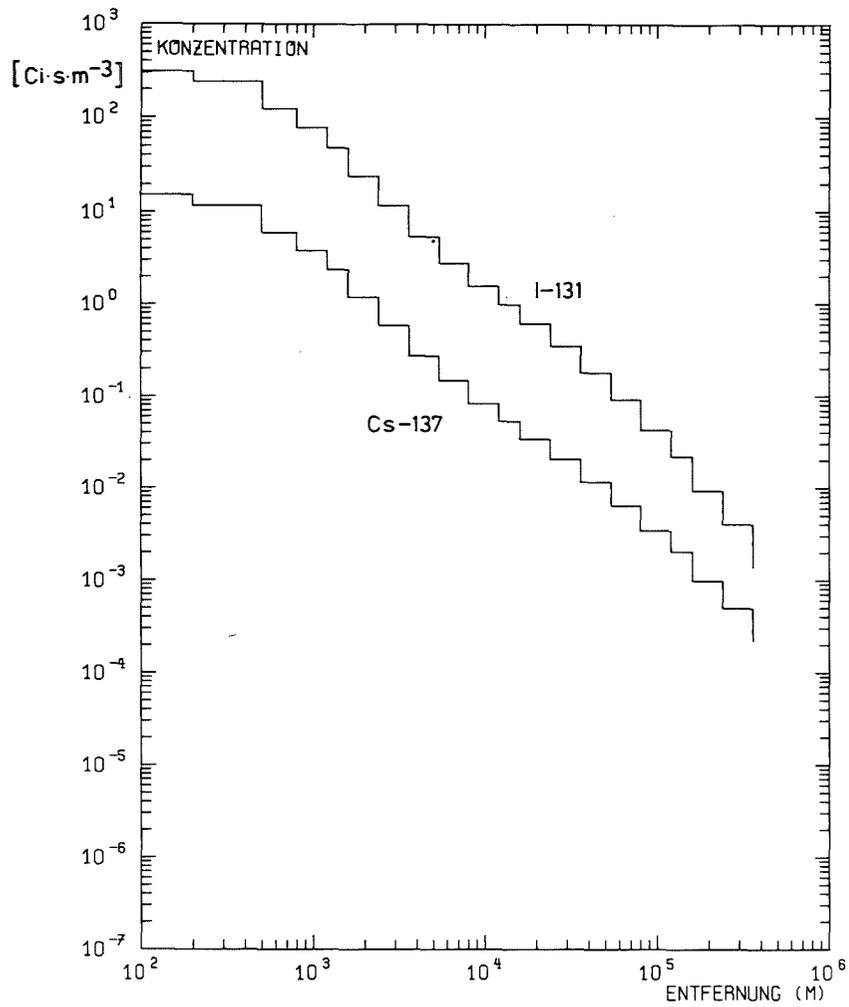


Abb. 9a

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 95% - PERZENTILEN DER
 LUFTKONZENTRATIONEN FUER
 I-131, Cs-137

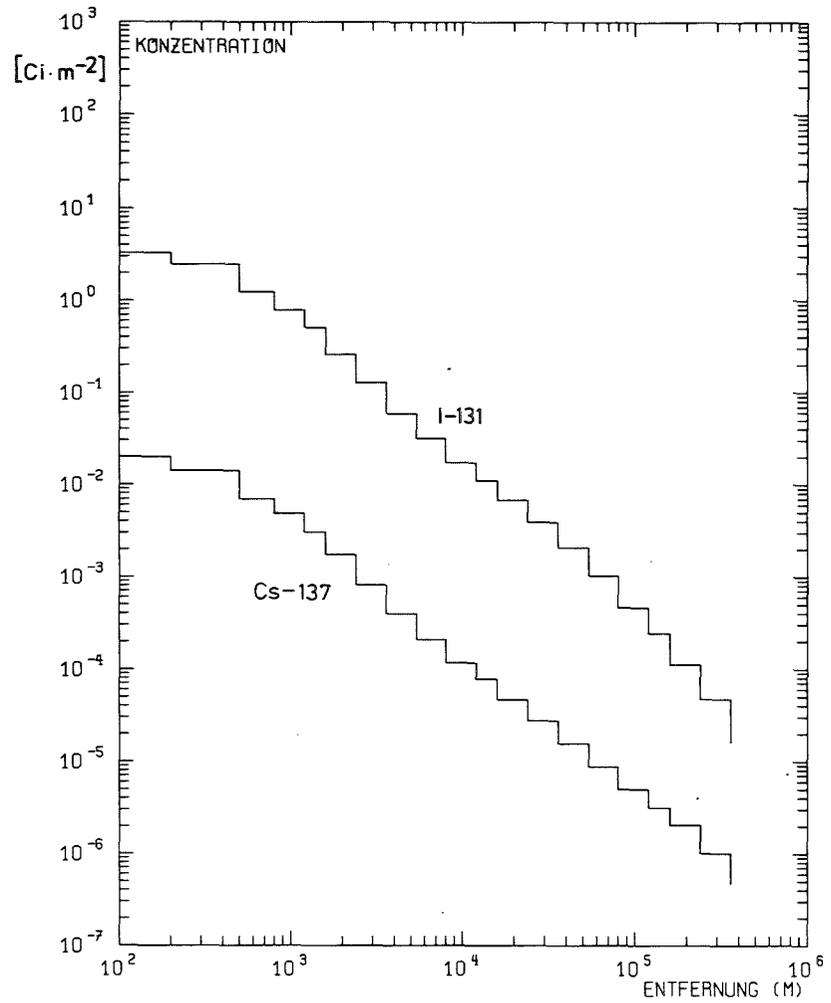


Abb. 9b

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 95% - PERZENTILEN DER
 BÖDENKONZENTRATIONEN FUER
 I-131, Cs-137

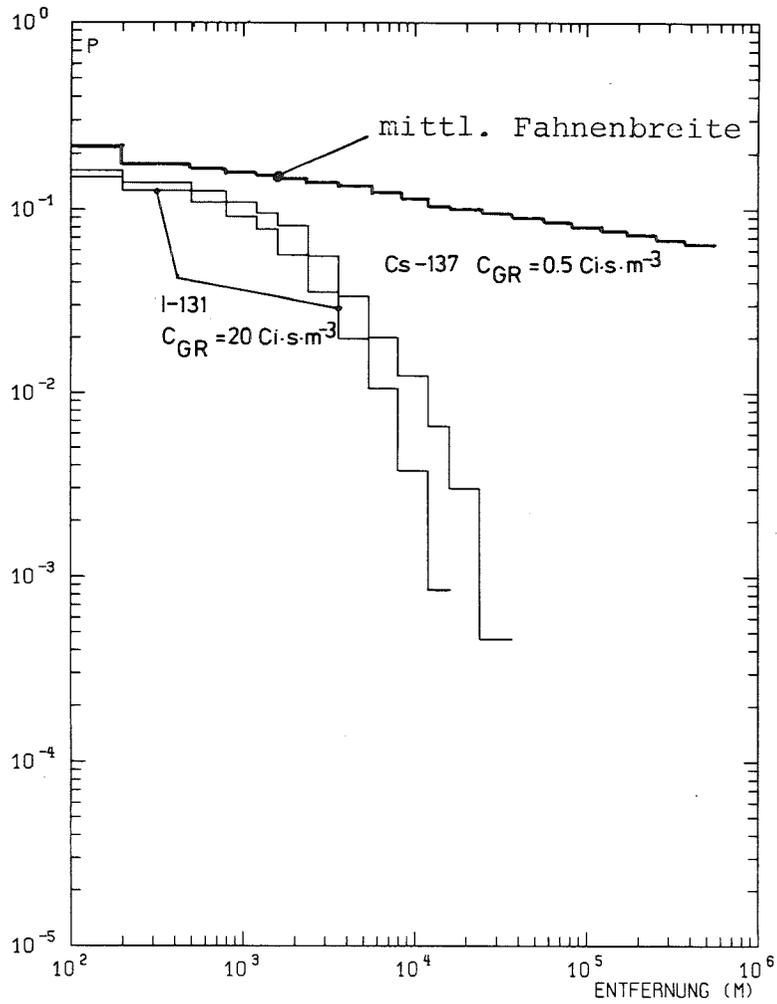


Abb. 10a

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 HAEUFIGKEITSVERTEILUNG DER LUFTKON-
 ZENTRATIONEN UEBER EINEM SCHWELLENWERT

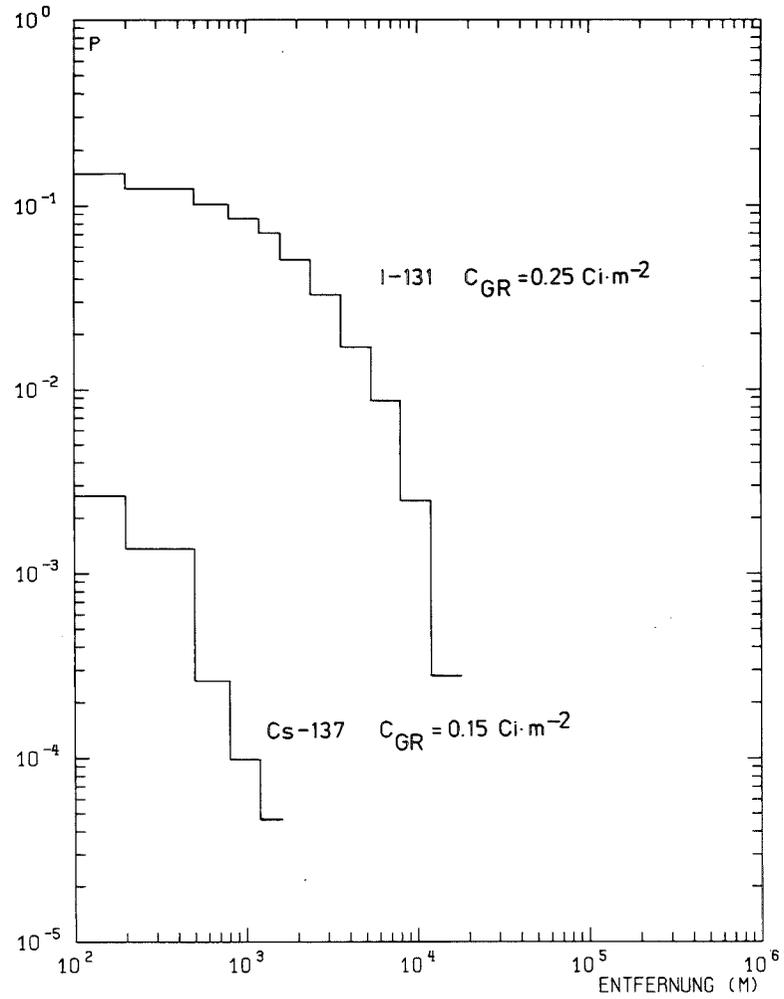


Abb. 10 b

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 HAEUFIGKEITSVERTEILUNG DER BODEN-
 KONZENTRATIONEN UEBER EINEM
 SCHWELLENWERT

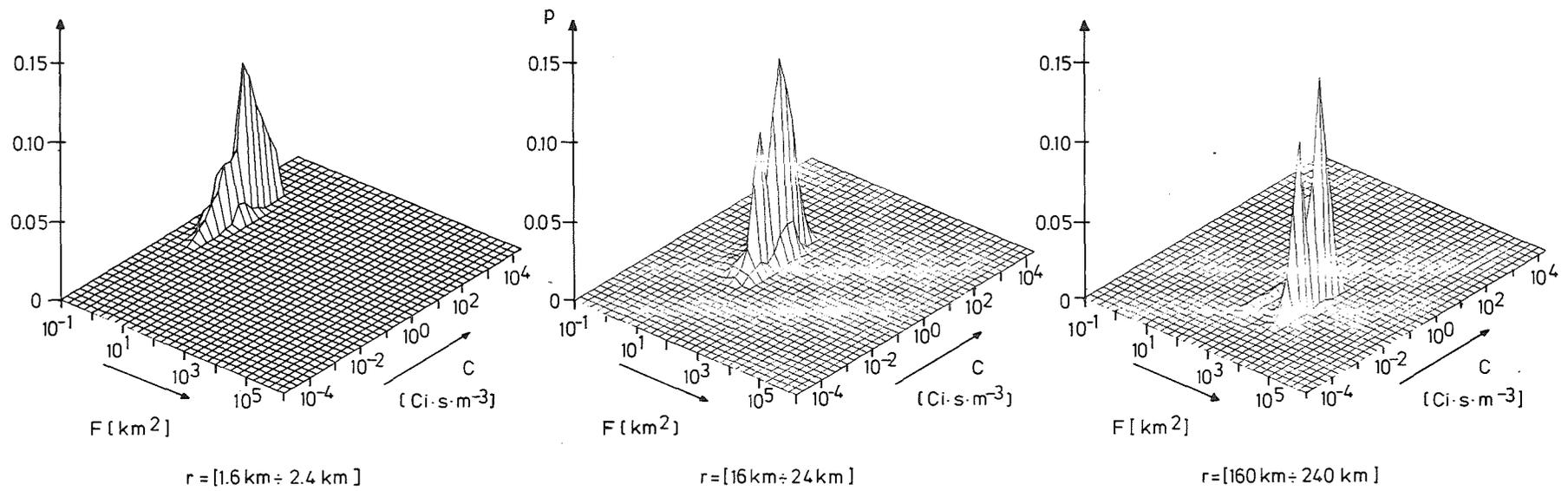


Abb.11: Dreidimensionale Häufigkeitsverteilungen der flächenbezogenen Luftkonzentrationen von I-131 in drei verschiedenen Entfernungintervallen (FK2 vorausgesetzt)

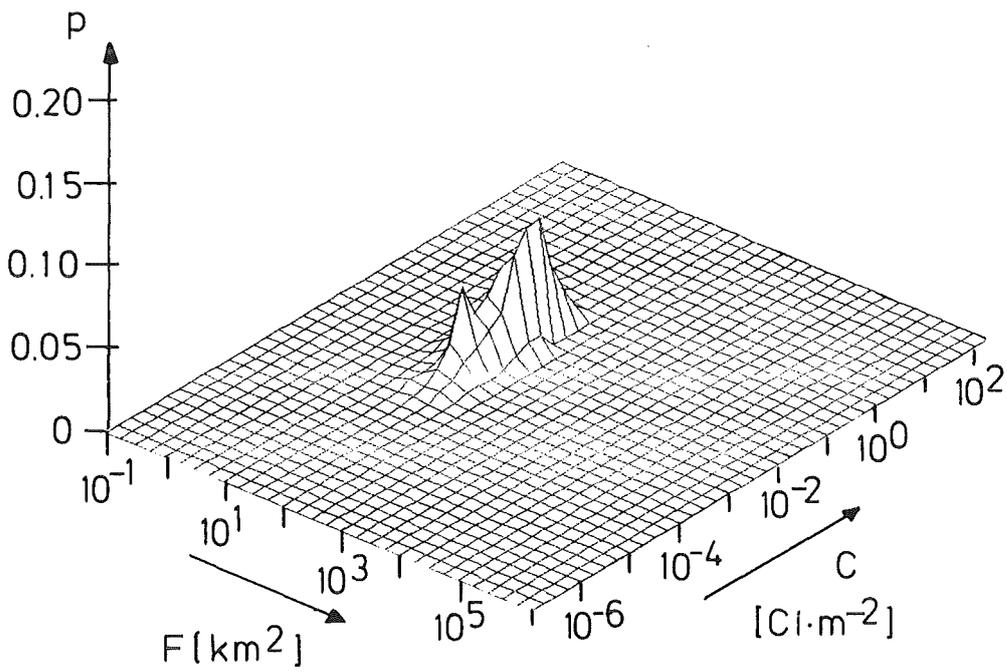
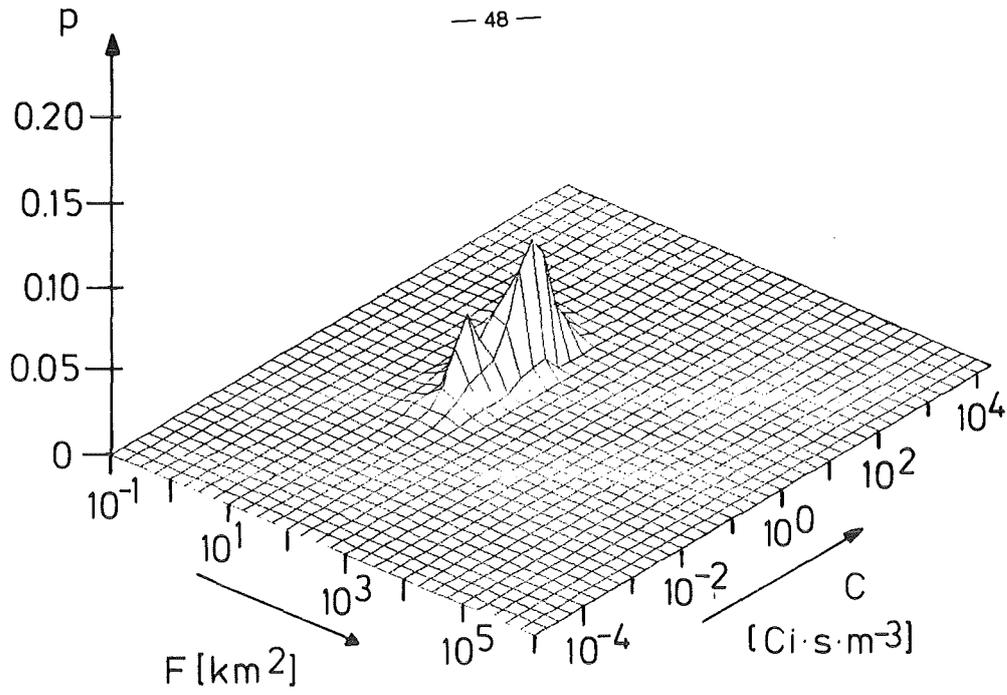


Abb. 12: Dreidimensionale Häufigkeitsverteilungen der flächenbezogenen Luft- und Bodenkonzentrationen von I-131 im Entfernungsbereich ≤ 24 km (FK2 vorausgesetzt)

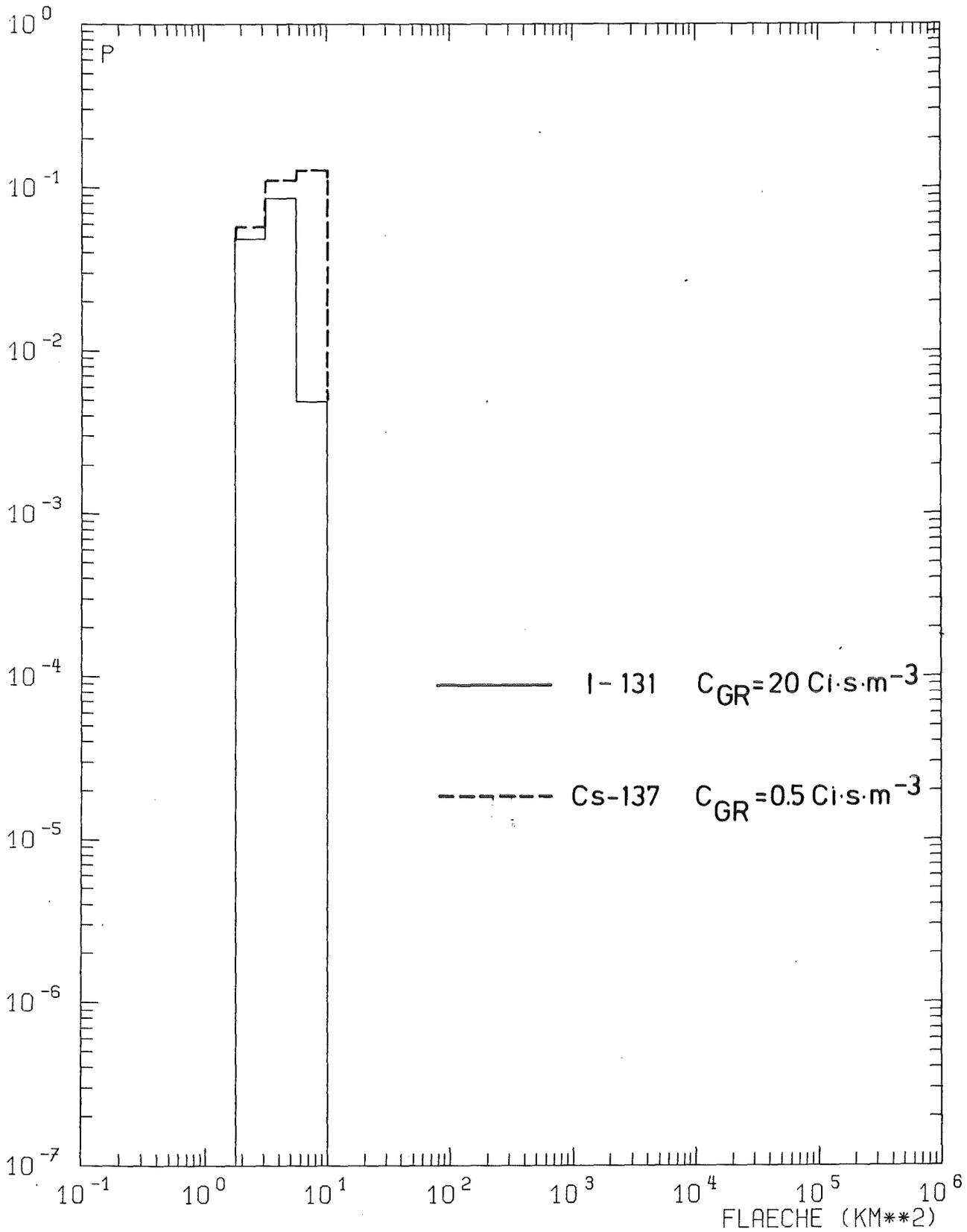


Abb. 13

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
ENTFERNUNG: 8-12 km
HAEUFIGKEITSVERTEILUNG DER VON
LUFTKONZENTRATIONEN GRÖESSER **obenst.**
Schwellenwerten BETROFFENEN FLAECHEN

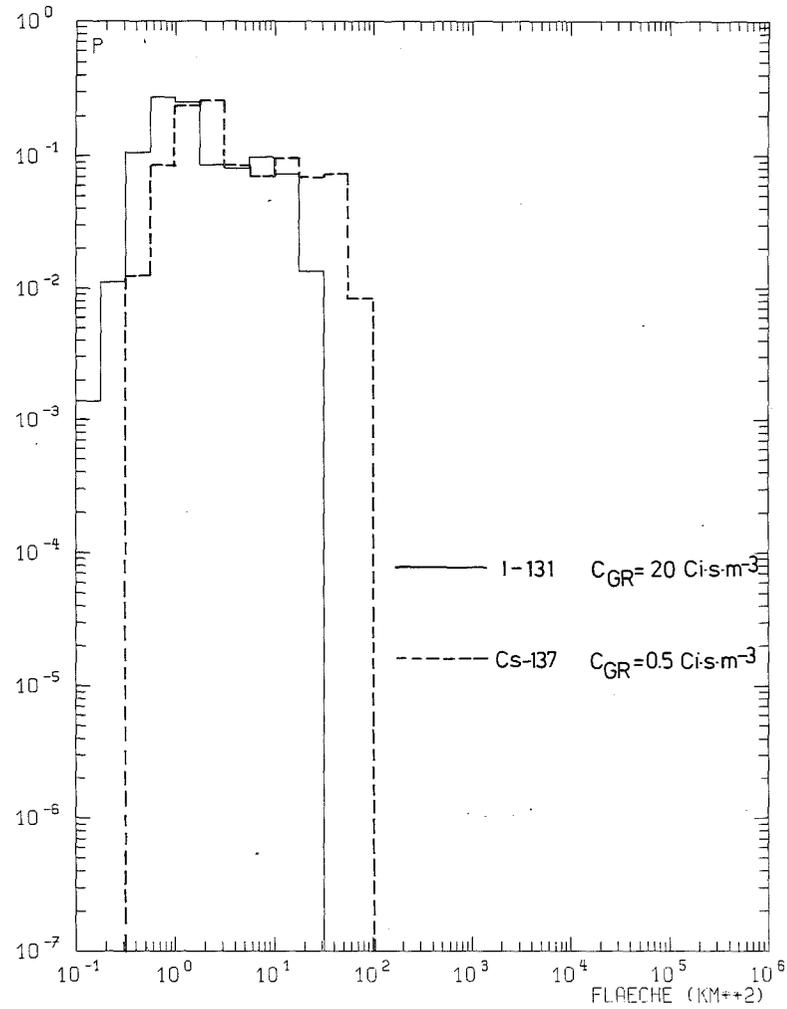


Abb. 14a

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 HAEUFIGKEITSVERTEILUNG DER VON
 LUFTKONZENTRATIONEN GROESSER **obenst.**
Schwellenwerten BETROFFENEN FLAECHEN
 INTEGRATION BIS 24 KM ENTFERNUNG

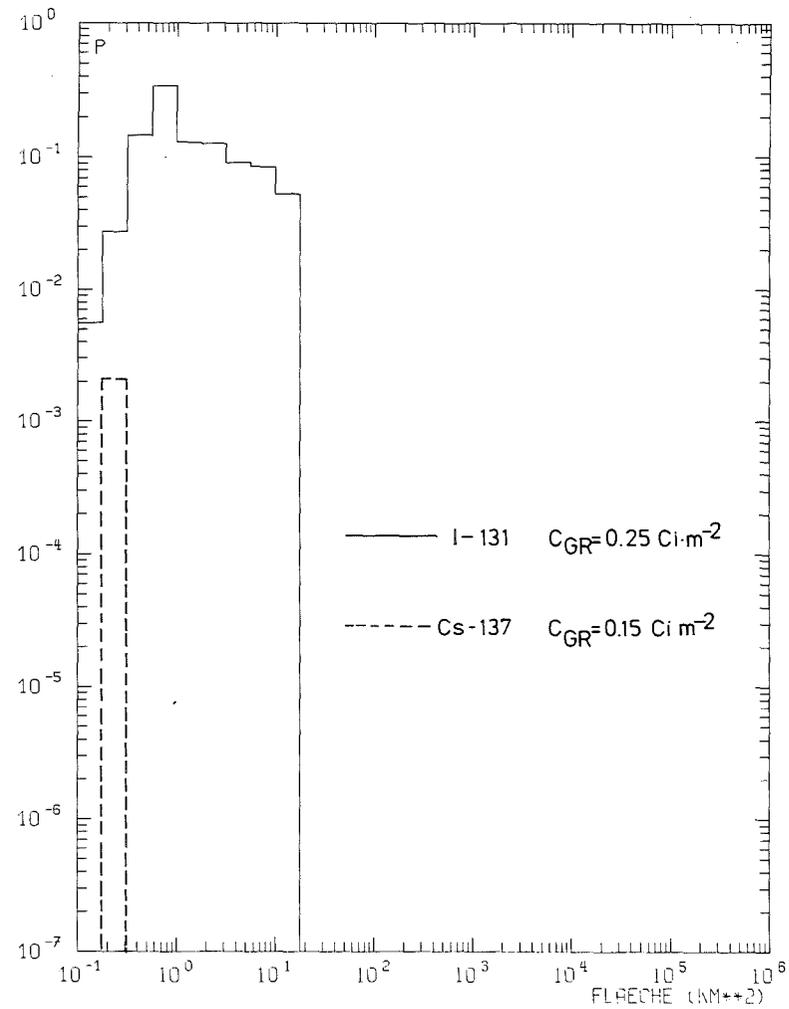


Abb. 14 b

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 HAEUFIGKEITSVERTEILUNG DER VON
 BODENKONZENTRATIONEN
 GROESSER **obenst. Schwellenwerten**
 BETROFFENEN FLAECHEN
 INTEGRATION BIS 24 KM ENTFERNUNG

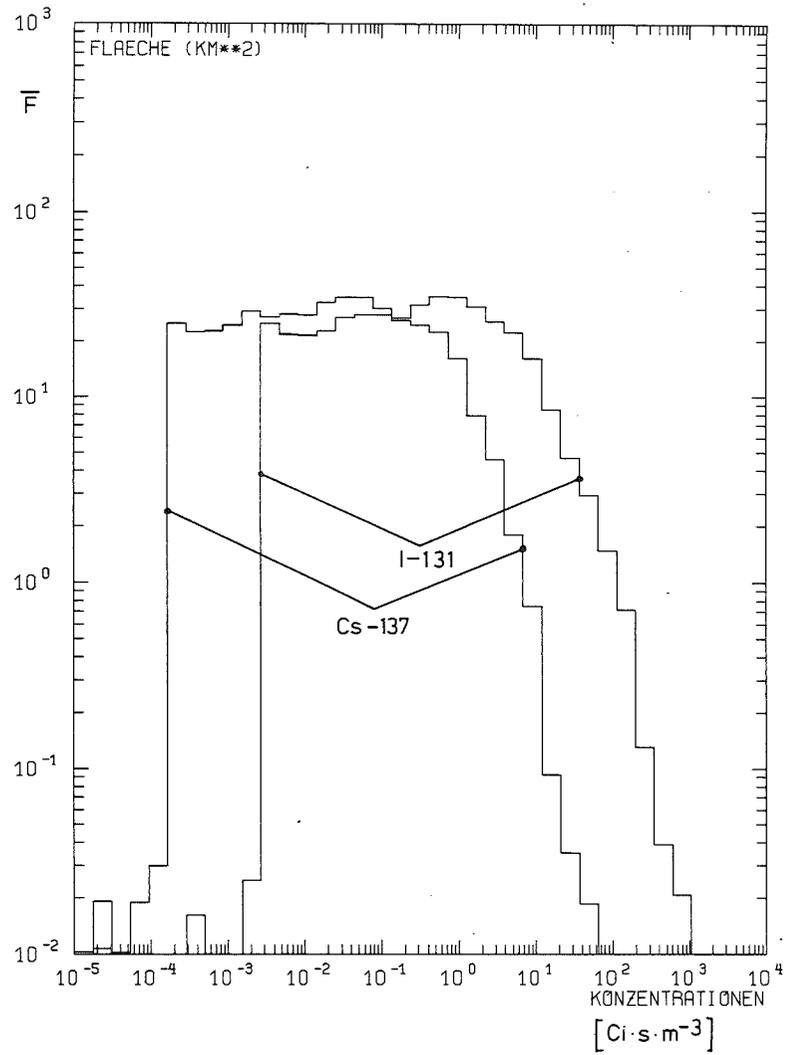


Abb. 15a

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 MITTLERE GRÖSSE DER VON LUFTKONZENTRATIONEN BETROFFENEN FLÄCHEN
 INTEGRATION BIS 24 KM ENTFERNUNG

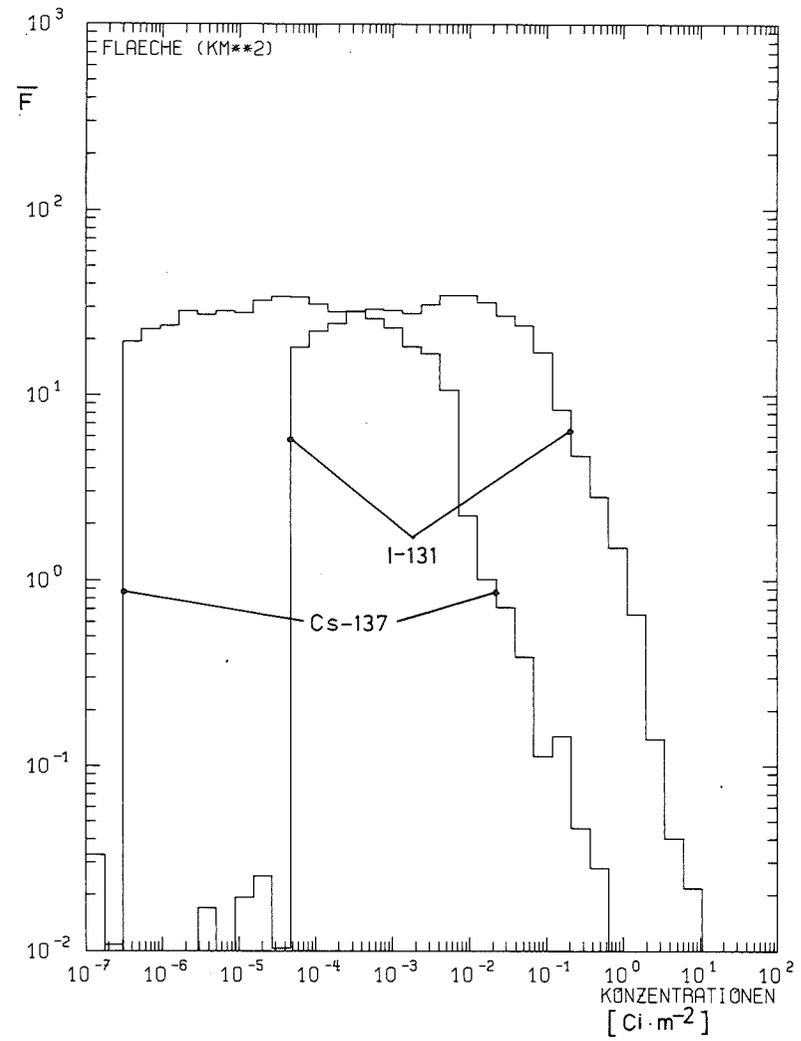


Abb. 15 b

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 MITTLERE GRÖSSE DER VON
 BODENKONZENTRATIONEN
 BETROFFENEN FLÄCHEN
 INTEGRATION BIS 24 KM ENTFERNUNG

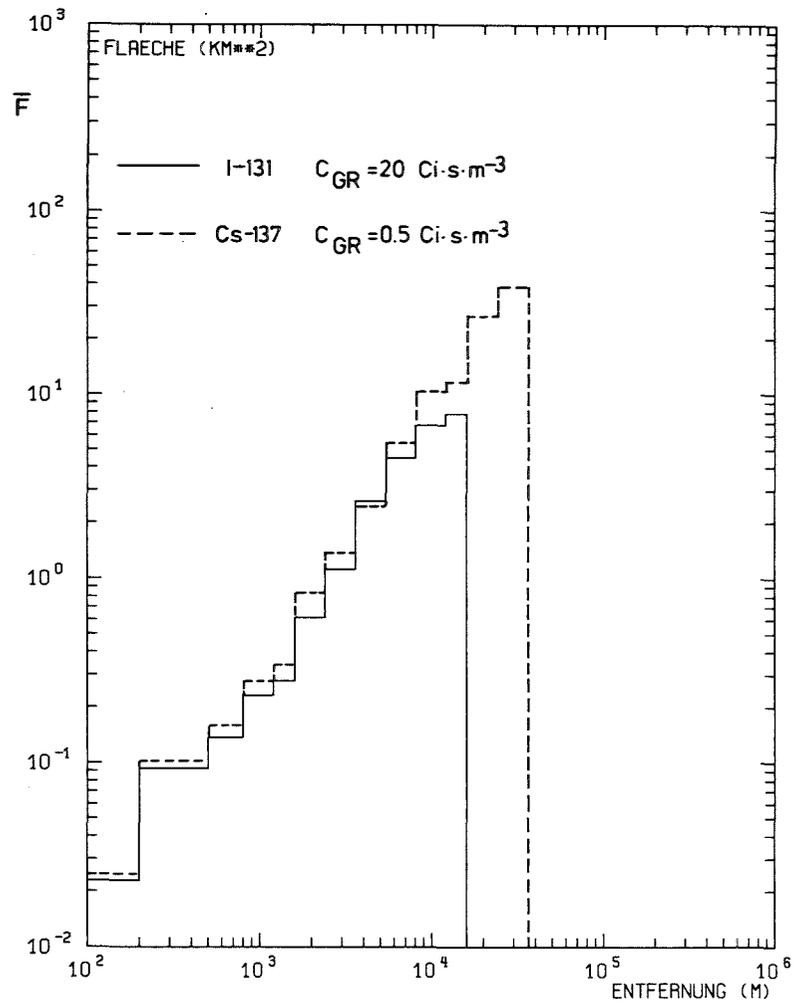


Abb. 16a

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 MITTLERE GRÖSSE DER VON
 LUFTKONZENTRATIONEN
 GRÖßSER oberst. Schwellenwert
 BETROFFENEN FLAECHEN

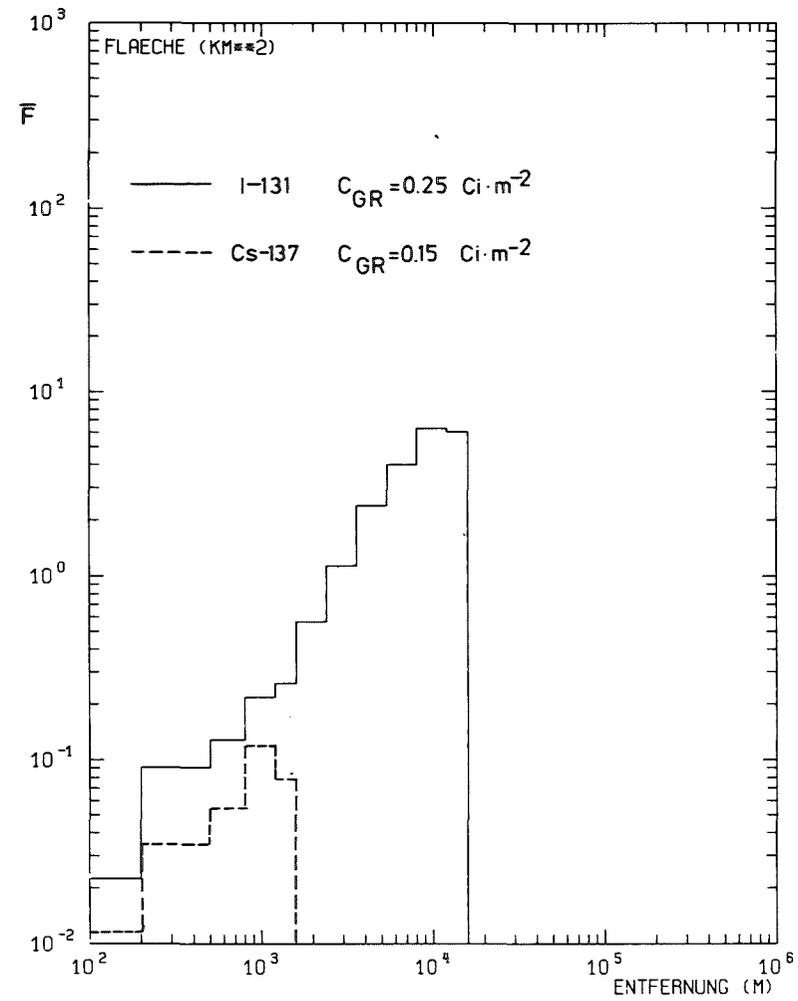


Abb. 16 b

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 MITTLERE GRÖSSE DER VON
 BODENKONZENTRATIONEN
 GRÖßSER oberst. Schwellenwert betr.
 FLAECHEN

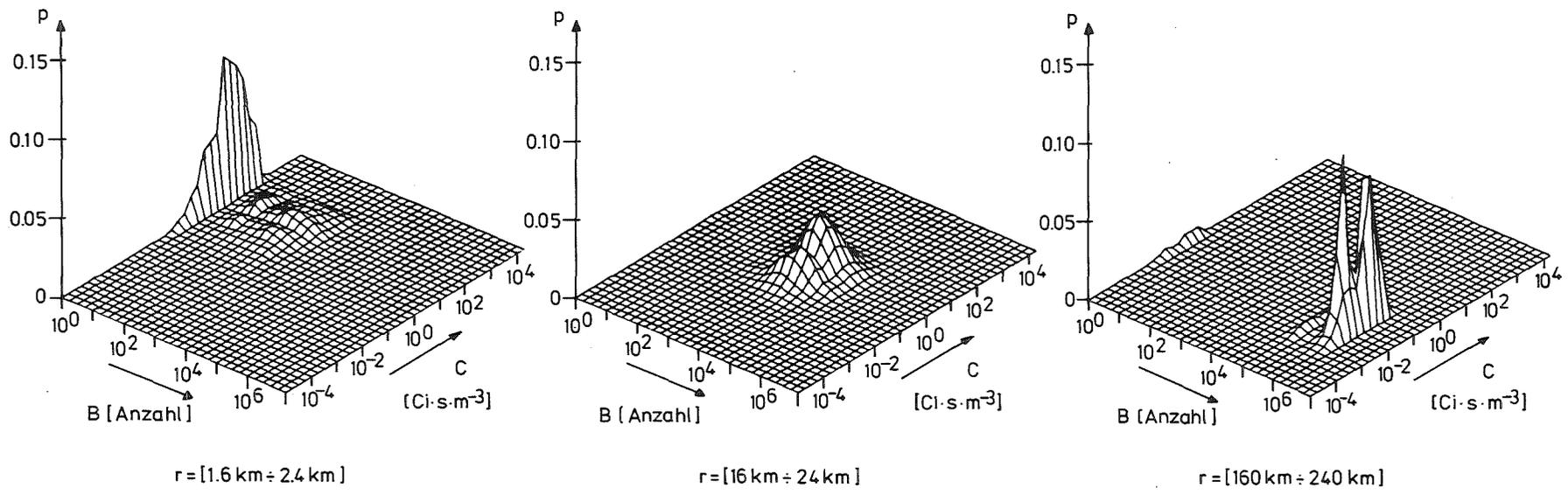


Abb. 17: Dreidimensionale Häufigkeitsverteilungen der personenbezogenen Luftkonzentrationen von I-131 in drei verschiedenen Entfernungsintervallen (FK2 vorausgesetzt)

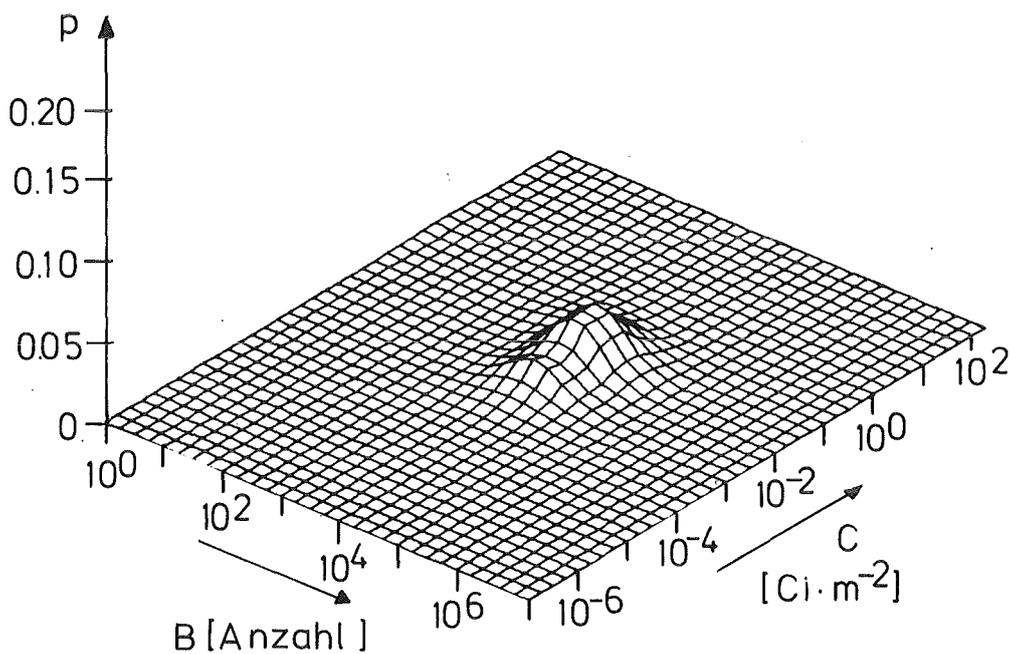
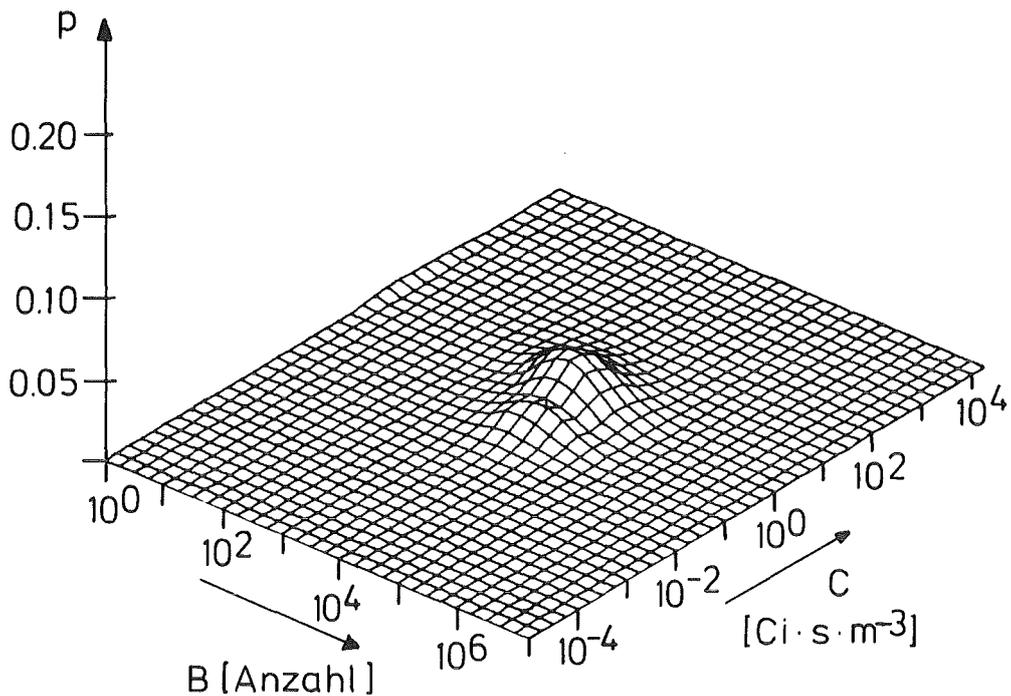


Abb. 18: Dreidimensionale Häufigkeitsverteilungen der personenbezogenen Luft- und Bodenkonzentrationen von I-131 im Entfernungsbereich ≤ 24 km (FK2 vorausgesetzt)

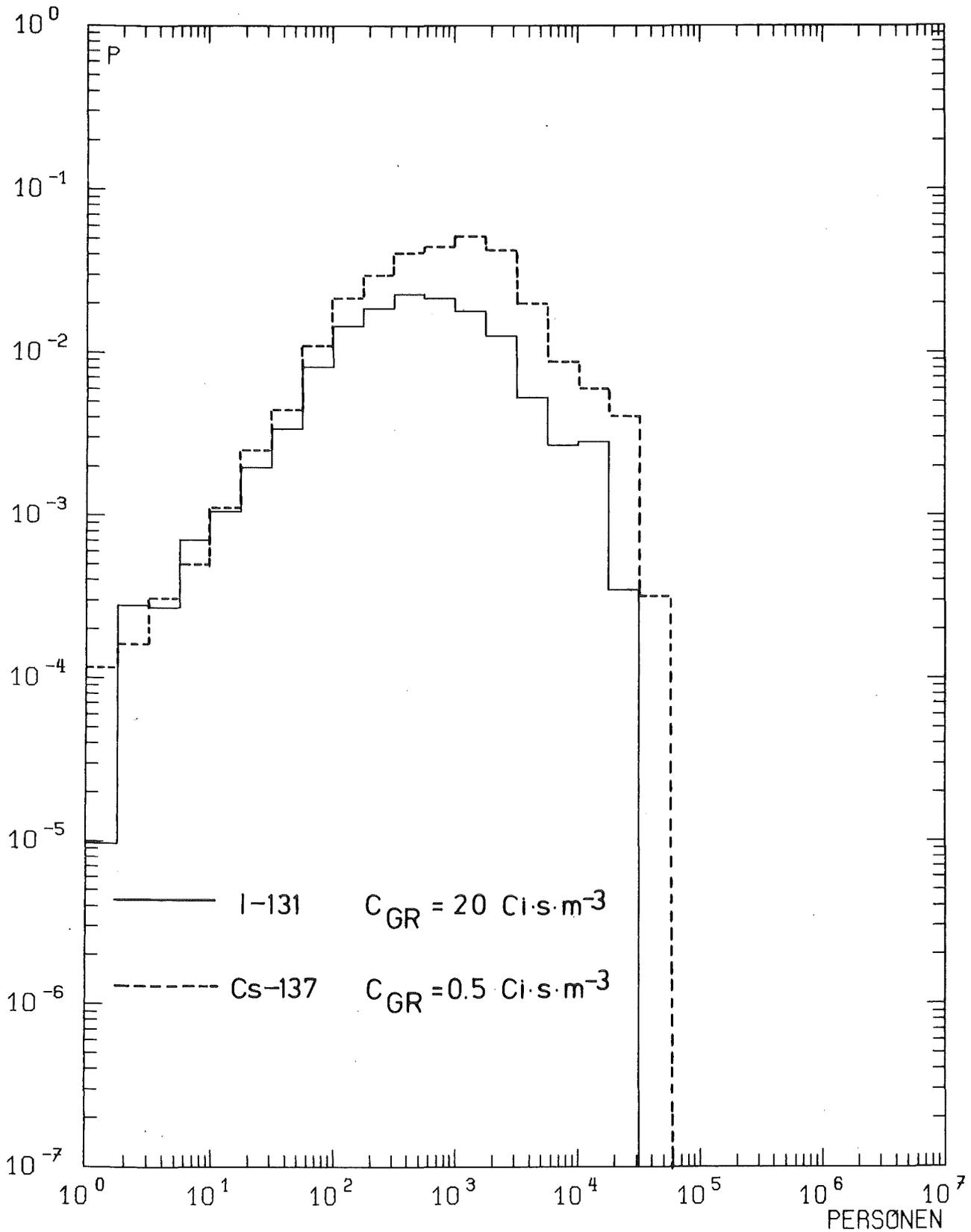


Abb. 19

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
ENTFERNUNG: 8 ÷ 12 km
HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER VON
LUFTKONZENTRATIONEN GRÖßER **obenst.**
Schwellenwerten BETROFFENEN PERSONEN

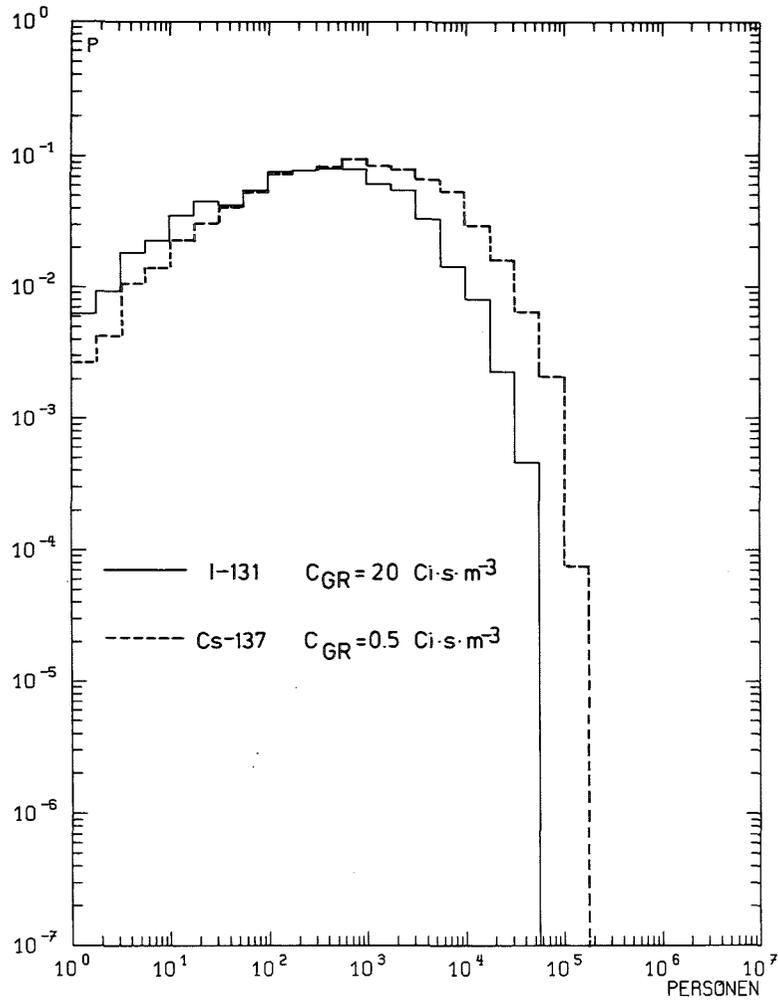


Abb. 20a

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 HAEUFIGKEITSVERTEILUNG DER VON
 LUFTKONZENTRATIONEN GROESSER **obenst.**
Schwellenwerten BETROFFENEN PERSONEN
 INTEGRATION BIS 24 KM ENTFERNUNG

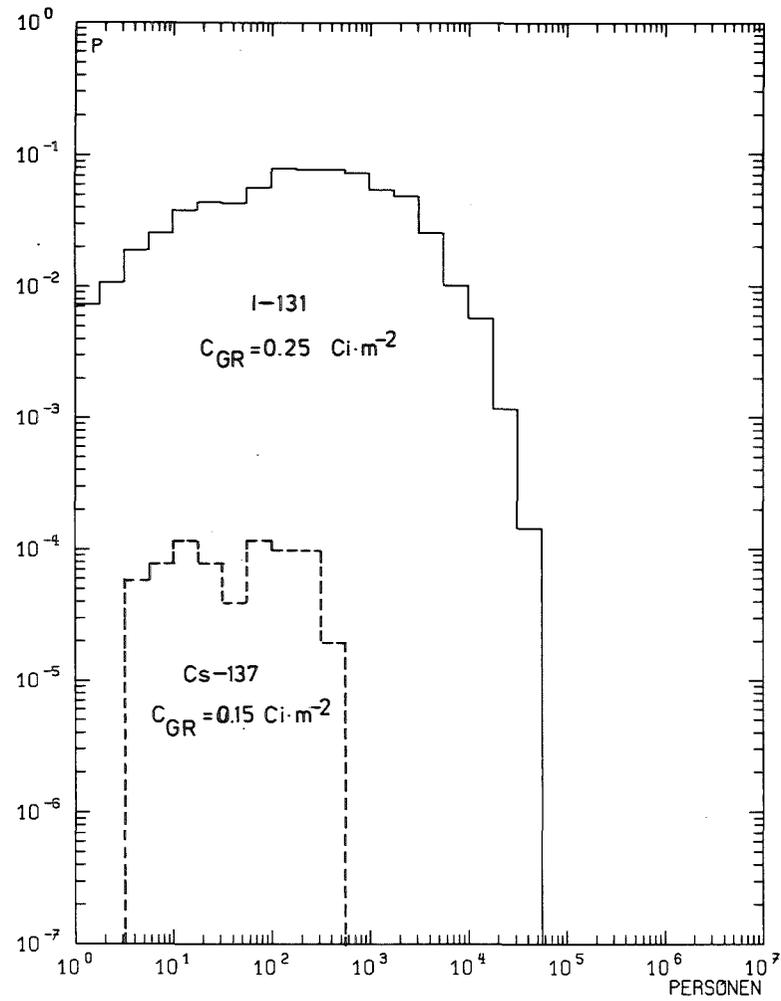


Abb. 20 b

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 HAEUFIGKEITSVERTEILUNG DER VON
 BODENKONZENTRATIONEN
 GROESSER **obenst.** **Schwellenwerten**
 INTEGRATION BIS 24 KM ENTFERNUNG
 BETROFFENEN PERSONEN

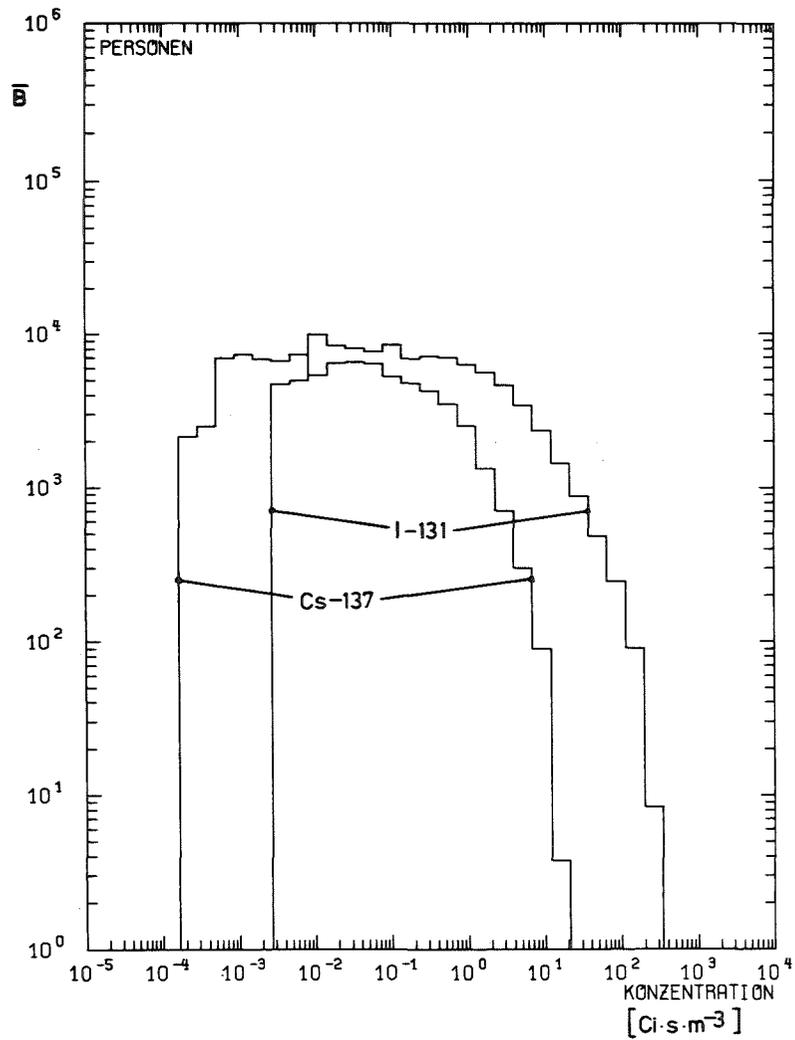


Abb. 21a

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 MITTLERE ANZAHL DER VON LUFTKON-
 ZENTRATIONEN BETROFFENEN PERSONEN
 INTEGRATION BIS 24 KM ENTFERNUNG

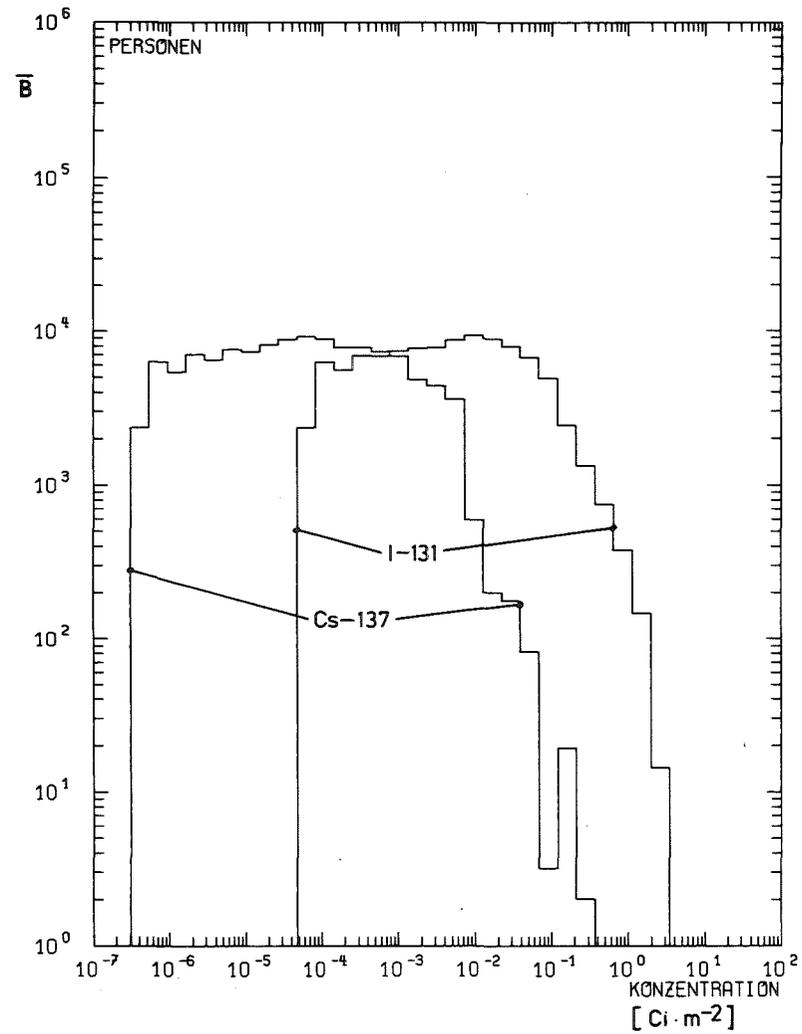


Abb. 21 b

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 MITTLERE ANZAHL DER VON
 BODENKONZENTRATIONEN
 BETROFFENEN PERSONEN
 INTEGRATION BIS 24 KM ENTFERNUNG

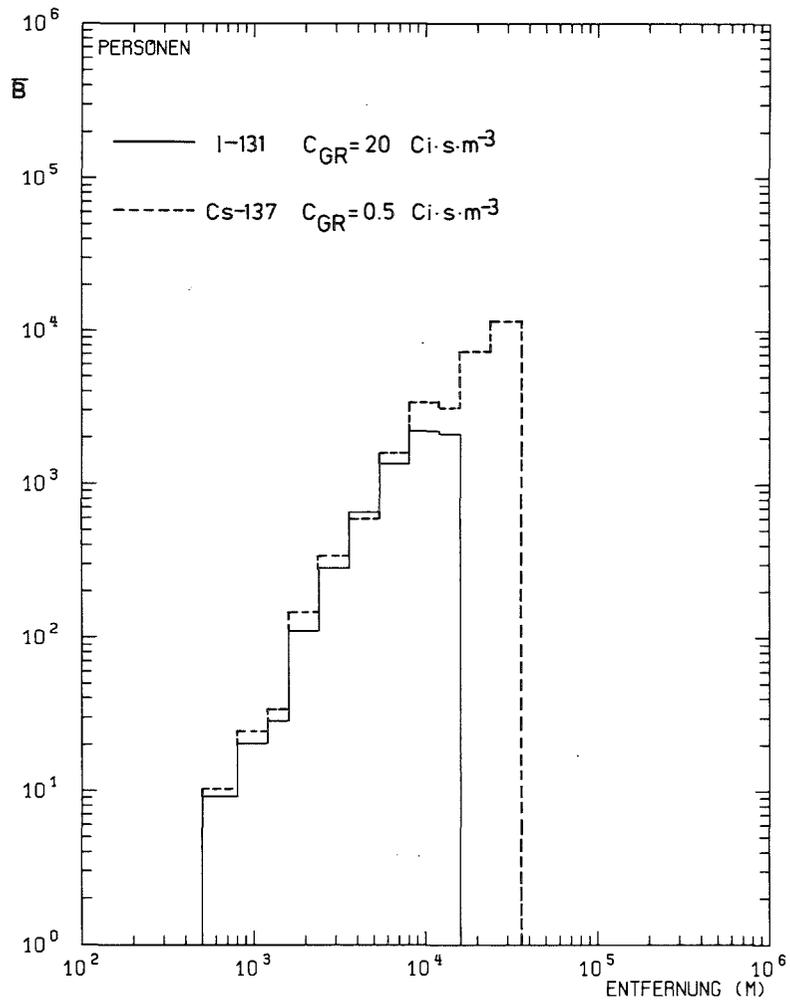


Abb. 22a

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 MITTLERE ANZAHL DER VON
 LUFTKONZENTRATIONEN
 GRÖßER OBERST. Schwellenwerten
 BETROFFENEN PERSONEN

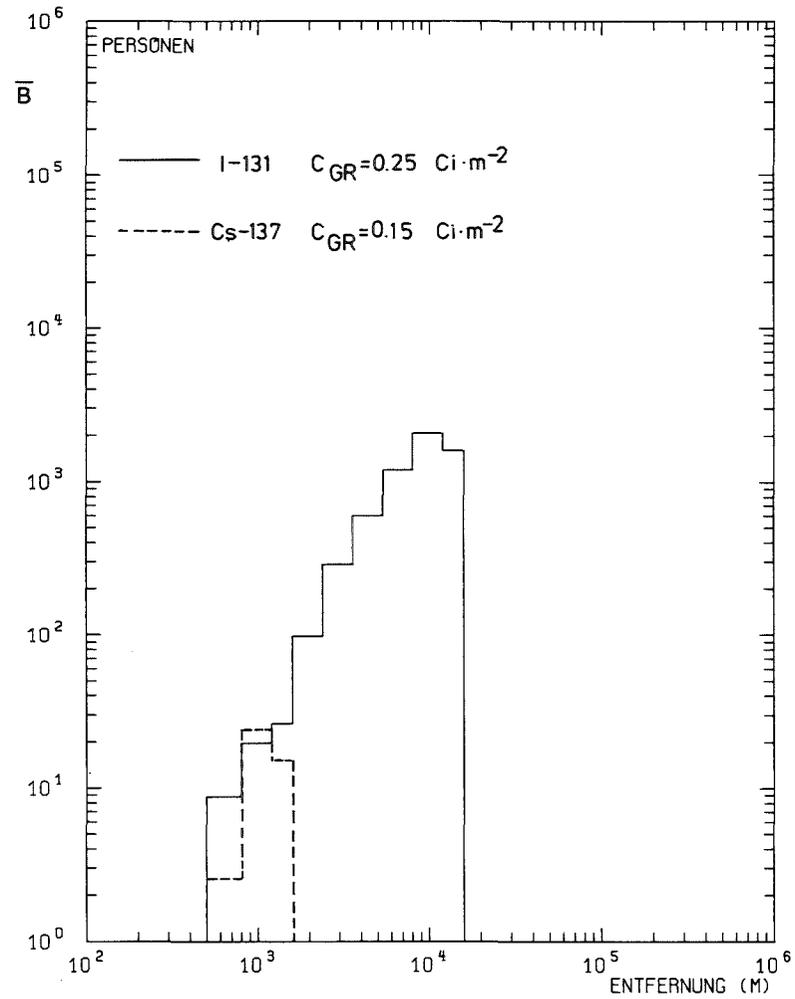


Abb. 22b

FREISETZUNGSKATEGORIE: FK2
 MITTLERE ANZAHL DER VON
 BODENKONZENTRATIONEN
 GRÖßER OBERST. Schwellenwerten betr.
 PERSONEN