

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

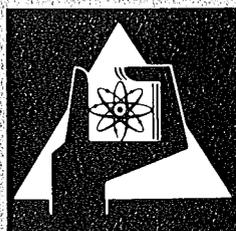
August 1976

KFK 2348

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

**Berechnung der radiologischen Belastung der Umgebung
des Kernforschungszentrums Karlsruhe durch die
Emission radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre in den
Jahren 1975 und 1976**

W. Hübschmann, D. Nagel, D. Papadopoulos



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK 2348

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Berechnung der radiologischen Belastung der
Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe
durch die Emission radioaktiver Stoffe in die
Atmosphäre in den Jahren 1975 und 1976

von

W. Hübschmann

D. Nagel

D. Papadopoulos

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

Kurzfassung

Die Strahlenbelastung der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe durch die mit der Abluft emittierten radioaktiven Stoffe wird alljährlich berechnet und mit den zulässigen Äquivalentdosen verglichen. Dieser Bericht umfaßt sowohl die aufgrund des Abluftplanes für das Jahr 1976 maximal zu erwartenden Dosen als auch die aufgrund der gemessenen Emissionen im Jahre 1975 nach bestem Wissen abgeschätzten tatsächlichen Dosen. Entsprechend der unterschiedlichen biologischen Wirkung der abgegebenen Nuklide werden folgende Strahlendosen - jeweils auf einen Erwachsenen bezogen - angegeben: Ganzkörperdosis durch äußere γ -Strahlung und durch Tritium-Inhalation, Hautdosis durch äußere β -Strahlung, Lungendosis durch Aerosol-Inhalation, Knochen-dosis durch Plutonium-Inhalation sowie die "effektive Gesamtdosis". Die auf ein Kleinkind bezogene maximale Schilddrüsendosis durch Ingestion von Radiojod über den Weide-Kuh-Milch-Pfad wird berechnet. Anhand der jeweiligen Dosismaxima wird gezeigt, daß die ab dem Jahre 1975 auch für die Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe gültigen Grenzwerte von 30 mrem/a Ganzkörperdosis (Erwachsener) und 90 mrem/a Schilddrüsendosis (Kleinkind) bei Einhaltung des Abluftplanes 1976 nicht überschritten werden und im Jahre 1975 deutlich unterschritten wurden. Das gilt auch dann, wenn Teilkörper- und Organdosen in einer "effektiven Gesamtdosis" mitberücksichtigt werden.

Summary

The calculated radiological impact on the environment of the Karlsruhe Nuclear Research Center due to radioactive emissions to the atmosphere in the years 1975 and 1976

The radiological impact by radioactive offgas and exhaust air on the environment of the Karlsruhe Nuclear Research Center (KNRC) is calculated every year and compared with the permissible equivalent doses. This report includes both the forecasted maximum doses from maximum releases scheduled for the year 1976 and the actual doses of 1975 based on the measured releases in 1975.

According to the various irradiation mechanisms of the nuclides emitted, the following doses are indicated, each calculated for an adult person: whole body dose by γ -irradiation and tritium inhalation, skin dose by external β -irradiation, lung dose by aerosol inhalation, bone dose by plutonium inhalation, and effective integral dose. The maximum infant thyroid dose due to iodine ingestion via the pasture-cow-milk-pathway is also calculated. The respective maximum doses indicate that the dose limits of 30 mrem/a whole body dose (adult) and 90 mrem/a thyroid dose (Infant) which are to be observed by the KNRC since the year 1975 are not exceeded at any point, provided the emissions remain below the scheduled maximum level. The doses in 1975 were markedly below the dose limits mentioned above. This is even true when partial body and organ doses are integrated in an "effective dose".

1. Aufgabe

Im Rahmen der Überwachungsaufgaben der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit im Kernforschungszentrum Karlsruhe (KFZK) wird alljährlich ein Abluftplan erstellt, der die im Folgejahr maximal zu erwartenden Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft sämtlicher Emittenten im Bereich des KFZK enthält. Auf der Grundlage dieses Abluftplanes werden die maximal zu erwartenden radiologischen Belastungen in der Umgebung des KFZK berechnet. Dieser "Prognose" wird eine "Diagnose" gegenübergestellt; das ist die aufgrund der tatsächlichen Emissionen und der entsprechenden meteorologischen Verhältnisse im abgelaufenen Jahr errechnete radiologische Belastung der KFZK-Umgebung. Diese letztere Berechnung stützt sich auf die im Rahmen der Abluftüberwachung gemessenen Emissionen.

Ab dem Jahre 1975 gelten für die Beurteilung und Genehmigung des Abluftplans des KFZK dieselben Richtwerte wie für die Genehmigung der radioaktiven Emissionen eines Kernkraftwerkes. Das bedeutet, daß die Ganzkörper-Äquivalentdosis einer angenommenen Person an einem beliebigen (gleichbleibenden) Aufpunkt in der Umgebung des KFZK den Wert von 30 mrem/a nicht überschreiten darf, und daß unabhängig davon - die Schilddrüsen-Äquivalentdosis eines Kleinkindes bei Berücksichtigung der Ingestion von Radiojod über den Weide-Kuh-Milch-Pfad den Wert von 90 mrem/a nicht überschreiten darf. Diese Grenzwerte gelten auch dann, wenn am jeweils ungünstigsten Aufpunkt keine Möglichkeit des ständigen Aufenthaltes von Menschen bzw. des Betriebs von Weidenwirtschaft gegeben ist.

2. Emission radioaktiver Schadstoffe mit der Abluft im KFZK

2.1. Abluftplan des Jahres 1976

Die 25 Emittenten des KFZK sowie ihre im Rahmen des Abluftplanes 1976 angemeldeten Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft sind in Tab. 1 zusammengestellt. Aufgrund der physikalischen sowie der meßtechnischen Gegebenheiten werden die nicht identifizierten Nuklide in 3 Nuklidgruppen eingeteilt, s. Tab. 2. Dies entspricht einer Einteilung in α -, β - und γ -Aktivität.

Gegenüber dem Abluftplan des Vorjahres /1/ wurde vor allem die zulässige Jodemission der WAK reduziert. Der Anteil elementaren Jods wurde für die Reaktorstationen und die WAK auf 50 % begrenzt. Die Kr-85-Emission der WAK wurde auf 350000 Ci/a erhöht, da Brennstoff höheren Abbrandes aufgelöst werden soll. Die übrigen Veränderungen der zulässigen Jahresemissionen fallen nicht ins Gewicht.

2.2. Emissionen im Jahre 1975

Tab. 3 zeigt die tatsächlichen Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft im Jahre 1975. Der Übersicht halber wurden Bagatell-Emissionen, die nur unwesentlich zur Gesamtemission eines Nuklids bzw. einer Nuklidgruppe beitragen, weggelassen. Die Ableitungen blieben durchweg, z. T. sogar erheblich, unter den zulässigen Jahresableitungen /1/. Die im Vergleich zum Abluftplan 1975 s.(/1/) geringen Emissionen der WAK beruhen auf Stillstand dieser Anlage vom Juli bis Oktober 1975.

Zur Berechnung der Umgebungsbelastung liegen die monatlichen Emissionswerte vor. Da diese zum Teil stark schwanken, mußte meist mit monatlich unterschiedlichen, allerdings über einen Monat konstanten Emissionsraten gerechnet werden (in Tab. 3 mit θ bezeichnet).

2.3. Behandlung der emittierten Nuklide bzw. Nuklidgruppen

Zur Ermittlung der Dosen * in der Umgebung des KFZK ist die Auswahl der zu verwendenden Dosisfaktoren (s. Tabelle 4) auch für nicht identifizierte Nuklidgemische erforderlich. Dabei ist ein Kompromiß zwischen "konservativer" und "realistischer" Betrachtungsweise zu finden: "konservativ", - um nicht Gefahr zu laufen, zu kleine Dosiswerte zu errechnen; "realistisch", - um nicht so stark zu überschätzen, daß die berechneten Werte keine Rückschlüsse auf die tatsächlich auftretenden oder zu erwartenden Dosen mehr zulassen. Beiden Gesichtspunkten wurde im KFZK durch die folgenden Überlegungen und Annahmen Rechnung getragen.

*Als Dosis bzw. Dosisleistung ist hier und im folgenden die Äquivalentdosis bzw. Äquivalentdosisleistung gemeint.

2.3.1. Gruppe A (α -Aktivität)

Filteranalysen haben gezeigt, daß unter den Nukliden der Gruppe A das Pu-239 bezüglich der verursachten Strahlendosis überwiegt. Es wurde daher bei allen Emittenten mit Ausnahme der WAK angenommen, daß die Emission der Gruppe A von jedem Emittenten ausschließlich als Pu-239 abgegeben wird. Das ist eine konservative Annahme, obwohl theoretisch durch Am-241, Pa-231 oder Cf-249 noch geringfügig höhere Strahlendosen verursacht werden können. Wegen der hohen biologischen Halbwertszeit des Pu-239 wird dieses knochensuchende Nuklid während der Lebensdauer eines Menschen praktisch nicht ausgeschieden. Es wird daher die in den folgenden 50 Lebensjahren eines Menschen akkumulierte Strahlendosis berechnet. Diese Erwartungsdosis ist ein Richtwert, der je nach Lebenserwartung eines Menschen unter- oder überschritten werden kann. Es ist nicht mit einer Jahresdosis, wie bei den anderen Strahlenarten angegeben, vergleichbar. Zur Berechnung des gemittelten Dosisfaktors des α -aktiven Nuklidgemisches der WAK wurde angenommen, daß Brennelemente mit folgenden Eigenschaften aufgelöst werden: auf 3 % angereichertes Uran, leichtwassermoderierter Reaktor, Abbrand 34 000 MWd/t Schwermetall, Kühlzeit 3 Jahre.

Das zugehörige Nuklidgemisch wurde aus /2. Tab. 5/ entnommen. Die Dosisfaktoren der Nuklide dieses Nuklidgemisches werden aus /3/ oder /4/ übernommen.

2.3.2. Gruppe B (β -Aktivität)

Auch die in Gruppe B zu berücksichtigenden Nuklide bilden voraussichtlich ein Spaltproduktgemisch, dessen Alter die Nuklidzusammensetzung bestimmt. Ähnlich wie für das Gemisch der Gruppe A der WAK werden für die Berechnung des gemittelten Dosisfaktors der Gruppe B der WAK und der ABD die Zusammensetzung der β -aktiven Nuklide aus /2/ und die Dosisfaktoren aus /3/ oder /4/ übernommen. Falls in /3/ und /4/ für Nuklide dieses Gemisches keine Dosisfaktoren gegeben sind, wurden diese Faktoren aus den in /5/ gegebenen Daten gerechnet. Der dadurch errechnete mittlere Dosisfaktor gilt für die Lungen als kritisches Organ.

Für die Reaktoren und Institute wird ein Gemisch mit 6 Stunden Kühlzeit (ohne Berücksichtigung des Sr - Anteils) angenommen.

2.3.3. Gruppe C, Tritium und Edelgase

Die β - und γ -Dosis wird durch die hohe Edelgasemission der WAK und des FR 2 dominiert. Die Gruppe C leistet dazu einen relativ kleinen Beitrag. Bei der Frage welches Nuklid in der Gruppe C einzusetzen ist, wurde deshalb folgendermaßen verfahren:

Das Nuklid Ar-41 trägt zu den γ -Dosen den größten Anteil bei. Dieses Nuklid wurde daher eingesetzt, soweit es überhaupt von den einzelnen Emittenten abgegeben werden kann. Das ist nicht der Fall beim MZFR, der WAK sowie bei ADB. Für diese Emittenten wurde die Emission des Gemisches der Gruppe C als Tritium angenommen. Für das Gemisch der Gruppe C des FR2 kommt eine Abgabe sowohl als Ar-41 als auch als Tritium in Frage. Beide Möglichkeiten wurden berücksichtigt.

2.3.4. Radioaktives Jod

Das Alter der Spaltprodukte bestimmt auch in diesem Fall das radiologisch überwiegende Isotop. Bei den Reaktoren kann die Emission von J-131 angenommen werden. In der WAK werden zeitweilig so alte Brennelemente aufgearbeitet, daß dort und in der ADB das Nuklid J-129 dominiert. Da nicht die Aktivität, sondern die Dosis in der Umgebung begrenzt werden soll, genügt es, die Jod-Emission als Jod-131-Äquivalent anzugeben. Dieses Äquivalent ist z. B. für elementares J-129 wie folgt definiert:

$$\dot{A}_{J-131}^+ = \frac{g_{J-129}}{g_{J-131}} \dot{A}_{J-129}$$

\dot{A} = Quellstärke in m Ci/a

g = Ingestionsdosisfaktor für die Schilddrüse

$$\text{Mit } g_{J-131} = 8,8 \cdot 10^5 \frac{\text{rem m}^3}{\text{Ci s}} \quad (\text{für elementares J-131})$$

$$\text{und } g_{J-129} = 2 \cdot 10^6 \frac{\text{rem m}^3}{\text{Ci s}} \quad (\text{für elementares J-129})$$

ergibt sich, daß eine J-129-Emission mit dem Faktor 2,3 zu wichten ist.

Dabei wird Ingestion des Jod durch ein Kleinkind angenommen. Das Jod-131-Äquivalent erzeugt also bei einem Kleinkind jeweils die gleiche Schilddrüsen-Ingestionsdosis, unabhängig vom ingestierten Jodisotop.

3. Ausbreitungsklimatologische Parameter

Die für die Ausbreitungsrechnung benötigten meteorologischen Parameter werden am 200 m hohen Meßturm gemessen und automatisch registriert. Die Instrumentierung und die Datenverarbeitungsanlage sind in /6/ beschrieben.

Die Ausbreitungsparameter (Windrichtung, - geschwindigkeit und Ausbreitungskategorie) werden stündlich gemittelt und ihre Häufigkeit in der Ausbreitungsstatistik zusammengefaßt. Die Windrose wird in 12 Sektoren je 30° eingeteilt. Eine feinere Einteilung in 10° -Sektoren ist möglich, bringt aber keine wesentliche Erhöhung der Genauigkeit der Ausbreitungsrechnung, da der Fehler anderer Faktoren dominiert. Windgeschwindigkeit und -richtung werden aus den Messungen in 60 m Höhe bestimmt. Die Geschwindigkeit in dieser Höhe kann für Emissionen in 100 m Höhe als repräsentativ gelten. Für andere Emissionshöhen wird die Windgeschwindigkeit entsprechend dem Windgeschwindigkeitsprofil interpoliert, s. /7/. Die Windgeschwindigkeit ist in folgende Stufen eingeteilt:

0	-	0,5 m/s (Windstille)
0,5	-	1,0 m/s
1,0	-	1,5 m/s
1,5	-	2 m/s
2	-	4 m/s
4	-	8 m/s
8	-	15 m/s
	>	15 m/s

Die mittlere Stufengeschwindigkeit wird aus dem Winddatenkollektiv berechnet. Wegen des großen Einflusses niedriger Windgeschwindigkeiten auf die Dosis ist die feine Stufeneinteilung zwischen 0 und 2 m/s notwendig.

Zur Bestimmung der Ausbreitungskategorie wird das Windprofil analysiert und durch eine Potenzfunktion approximiert. Der Exponent dieser Funktion dient zur Klassifizierung der Ausbreitungskategorie /8/. Dieses Verfahren ist für statistische Zwecke ausreichend genau /9/, ist jedoch nur dann anwendbar, wenn das Profil der Windgeschwindigkeit bis 200 m zuverlässig gemessen wird.

Die Ausbreitungsparameter σ_z sind dem Standort des KFZK angepaßt, s. Abb. 1. Die Kurvenschar entspricht im neutralen und labilen Bereich den Ergebnissen der Ausbreitungsversuche im KFZK /10/, und folgt im stabilen Bereich einem Vorschlag von K. Nester zur Berücksichtigung der erhöhten Geländerauhigkeit in der Umgebung des KFZK.

4. Berechnung der Äquivalentdosis

4.1. Zeitliche Konstanz der Emission

Die Berechnung der Dosen basiert auf konstanter Emissionsrate \dot{A} während des Zeitraums ΔT . Der Zeitraum ΔT richtet sich nach den Emissionsangaben. Bei der Prognose aufgrund des Abluftplanes (s. Kap. 2.1;) beträgt er jeweils ein Jahr. Bei der Diagnose beträgt er normalerweise einen Monat (s. Kap. 2.2.), da die Emissionen jeweils für diesen Zeitraum gemeldet werden. Weichen die monatlichen Emissionen um weniger als den Faktor 2 vom jährlichen Mittelwert ab, dann wird mit gleichmäßiger Emission über das ganze Jahr gerechnet. Bei störfallbedingten kurzzeitigen Emissionen ist eine genauere Auflösung der Emissionszeiträume erforderlich, (ΔT z.B. 1 Woche oder 1 Tag). Im Abluftplan 1976 wird zusätzlich zu den zulässigen Jahres- und Monatsemissionen die zulässige Wochenemission angegeben. Eine kontinuierliche Emission über das ganze Jahr, wie für die Rechnung angenommen, entspricht meist nicht dem tatsächlichen Emissionsverlauf. Um einer diskontinuierlichen Emission Rechnung zu tragen, wurde folgender-

maßen verfahren: Beträgt die zulässige Wochenemission bis zu $1/50$ der Jahresemission, wird die Emission als kontinuierlich angenommen. Beträgt sie mehr als $1/50$ der Jahresemission, dann müßte ein erhöhter Ausbreitungsfaktor für nichtkontinuierliche Emission angewendet werden. Um jedoch das Berechnungsverfahren nicht unangemessen aufwendig werden zu lassen, wird in diesen Fällen mit einer erhöhten fiktiven Jahresemission gerechnet. Diese ist gleich der 50-fachen Wochenemission. Eine Ausnahme bilden die beiden Emittenten FR2 und WAK; diese müssen etwa 200 Tage pro Jahr in Betrieb sein, um die Jahresemission an radioaktiven Stoffen ausschöpfen zu können und werden deshalb als gleichmäßige Emittenten angesehen.

4.2. Von der Konzentration der Aktivität am Aufpunkt abhängige Dosen

α - und β -Dosen werden im allgemeinen als proportional zur Aktivitätskonzentration in der Nähe des Aufpunktes angenommen. Die Berechnungsverfahren für α - und β -Dosen bzw. -Dosisleistungen sind daher die gleichen. Im folgenden ist das Berechnungsverfahren für eine β -Submersionsdosisleistung als Beispiel angegeben, und zwar für einen so großen Integrationszeitraum, daß eine Gleichverteilung der Windrichtung über die Sektorbreite angenommen werden kann. Die Ausbreitungsstatistik gibt die Häufigkeiten p_{sjk} , geordnet nach Windrichtung (12 Sektoren, Index s), Stabilitätskategorie (6 Stufen, Index j) und Windgeschwindigkeit (8 Stufen, Index k), an. Für jeden Aufpunkt wird die Dosis über 6 Stabilitätskategorien, über 8 Geschwindigkeitsstufen und über N Aktivitätsquellen aufsummiert. Die Berechnungsgleichung der Dosisleistung \dot{D}_β am Aufpunkt $P(x,y)$ lautet:

$$(1) \quad \dot{D}_\beta(x,y) = \sum_{n=1}^N g_{\beta n} \dot{A}_n \bar{\chi}(r_n, s_n)$$

$$(2) \quad \bar{\chi}(r_n, s_n) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{r_n \Delta\phi} \sum_{j=1}^6 \left\{ \frac{\exp - \frac{H_n^2}{2 \sigma_{zj}^2}}{\sigma_{zj}(r_n)} \sum_{k=1}^K \frac{p_{sjk}}{\bar{u}_{jk}} \right\}$$

- | | | |
|---------------|---|---------------------------------------|
| x, y | Koordinaten des Aufpunktes P in m | } bezogen auf den
n-ten Emittenten |
| r_n | Abstand des Aufpunktes P in m | |
| s_n | Sektor des Aufpunktes P | |
| $g_{\beta n}$ | Dosisfaktor des vom n-ten Emittenten abgegebenen Nuklides in rem m ³ /(Ci s) | |
| \dot{A}_n | Quellstärke des n-ten Emittenten in Ci/a | |
| \bar{u} | gemittelte Windgeschwindigkeit in m/s | |
| H_n | Emissionshöhe des n-ten Emittenten in m | |
| $\Delta\phi$ | Sektoröffnung in rad | |

Das Rechenprogramm ISOLA /11/ berechnet und zeichnet die Isolinien für gegebene Dosisleistungen. Der Maßstab der Diagramme entspricht dem einer Landkarte, so daß die Isodosen unmittelbar auf diese übertragen werden können.

4.3. Von der Verteilung der Aktivität im Raum abhängige Dosen

Wegen der großen Reichweite der γ -Strahlung in Luft kann das unter 4.2. beschriebene Verfahren für die Berechnung der γ -Dosis nicht angewendet werden. Hier muß man für jeden Aufpunkt (r, ω) die γ -Dosis als Summe der Dosisbeiträge der im Raum verteilten γ -Aktivität berechnen.

Die in der Literatur /12/, /13/, /14/, /15/ angegebene Methoden kann man wegen des dort nicht berücksichtigten Einflusses der Aktivität der Nachbarsektoren erst ab ca. 1 km mit relativ guter Genauigkeit für die Berechnung der γ -Dosis auf der Mittellinie eines 30° -Sektors anwenden. Ein Verfahren zur Berechnung der γ -Dosis langzeitiger radioaktiver Emissionen in die Atmosphäre wurde in /16/ beschrieben und hat an dieser Stelle Anwendung gefunden. Nach diesem Verfahren wurde das FORTRAN-IV-Rechenprogramm WOLGA 1 für die IBM-370-168-Rechenanlage entwickelt /17/. Das Rechenprogramm WOLGA 1 gibt die γ -Dosis D an einem beliebigen Aufpunkt (r, ω) in der Umgebung eines oder mehrerer Emittenten n als Summe der Dosisbeiträge der Aktivität im Raum an:

$$(3) D = \sum_n \sum_r \sum_j \sum_a \sum_i \frac{I B(E_n, \mu_n \rho_{ni})}{\rho_{ni}^2} \exp(-\mu_n \rho_{ni}) \Delta A_{nrjai}$$

$$(4) \Delta A_{nrjai} = \frac{\dot{A}_n}{R_n \Delta \Phi} \exp\left(-\frac{\lambda_n R_n}{u_{snj}}\right) \frac{p_{snj}}{u_{snj}} R_n \Delta R_n \Delta a_n \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{zj}} \cdot \left[\int_{z_i}^{z_{i+1}} \exp\left(-\frac{(z-H_n)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) dz + \int_{-z_i}^{-z_{i+1}} \exp\left(-\frac{(z-H_n)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) dz \right] \right\}$$

Darin bedeutet:

\dot{A}	Emissionshöhe (Ci/s bzw. Ci/a)
B	Aufbaufaktor
p	Windrichtungshäufigkeit in einem Sektor
H	Kaminhöhe (m)
I	Dosisleistungskonstante ($\frac{\text{rem m}^2}{\text{Ci s}}$)
λ	Zerfallskonstante (s^{-1})
μ	Absorptionskoeffizient (m^{-1})
ρ	Abstand der Aktivität vom Aufpunkt (m)
σ_z	Ausbreitungsparameter in z-Richtung (m)
u	mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)
$\Delta\phi$	Sektoröffnung (rad)
(R,a,z)	Zylinderkoordinaten der Aktivität im Raum (Koordinatenursprung ist der Aufpunkt)

Indizes

a	Winkel
i	Höhe
j	Stabilitätskategorie
n	Emittent
s	Sektor

Als Eingabedaten verlangt das WOLGA1-Rechenprogramm die Koordinaten der n-Emittenten, ihre Höhe H_n , ihre Emissionsstärken \dot{A}_n , die γ -Energien E_n (in MeV), die Größen λ_n, μ_n , die Aufpunkte (r, ω) und die Mittelwerte der meteorologischen Daten. Die Mittelwerte der meteorologischen Daten werden aus der meteorologischen Statistik durch das FORTRAN-IV-Rechenprogramm PASTAG berechnet.

5. Ergebnisse

Entsprechend der Klassifikation der Emissionen (s. Kap. 2) wurden die γ -Ganzkörper-, die Haut-, die Schilddrüsen-, die Lungen-, die β -Ganzkörper- und die Knochendosis in der Umgebung des KFZK berechnet und zwar jeweils aufgrund des Abluftplanes 1976, s. Tab. 5, und der tatsächlichen Emissionen im Jahre 1975, s. Tab. 6.

Es handelt sich bei den äußeren β - und γ -Strahlendosen um Ortsdosen, d. h. um die Dosen, die am Aufpunkt mit einem das ganze Jahr exponierten Strahlungsgerät als zusätzliche Dosis -zusätzlich zur natürlichen Strahlung an diesem Ort- gemessen worden wäre. Zur Ermittlung der Personendosis muß demgegenüber berücksichtigt werden, daß sich eine Person nicht die ganze Zeit am selben Ort aufhält und daß Gebäude und Kleidung die Strahlung abschirmen.

Die Jodemissionen wurden im Jahre 1975 erstmalig gesondert gemessen. Wegen der Bedeutung des Weide-Kuh-Milch-Pfades wurde die Schilddrüsen-Ingestionsdosis eines Kleinkindes berechnet, um zu zeigen, wie groß der Abstand zu der geforderten Grenze von 90 mrem/a ist. Die berechneten Ingestionsdosen können von einem Kleinkind nur dann empfangen werden, wenn an dem betreffenden Ort Weidewirtschaft betrieben wird und das Kleinkind die erzeugte Milch unverdünnt konsumiert. Die begrenzte Dauer der Weideperiode wurde nicht berücksichtigt, da überwiegend langlebiges J-129 emittiert wird.

Da in der neuesten Literatur /3/ Dosisfaktoren für Knochen und Knochenmark getrennt angegeben worden sind, wurde hier die Knochendosis durch Inhalation der Radionuklide der Gruppe A gerechnet. Durch die Verwendung des neuen Lungenmodells /18/ sind die Dosisfaktoren für Knochen kleiner als die früher für Knochen und Knochenmark verwendeten (vergl. /3/, /4/). Die Knochenmarkdosis beträgt nach /3/ nur einen kleinen Bruchteil der Knochendosis (ca. 0,2 %). Deshalb bleiben die Knochen das kritische Organ der Gruppe A. Die errechnete Knochendosis ist über die folgenden 50 a integriert (s.o. 2.3.1.). Sie würde als jährliche Dosis nur dann erreicht werden, wenn 50 Jahre lang die gleiche Menge Plutonium emittiert würde und ein Mensch sich dieselbe Zeit über an dem entsprechenden Aufpunkt aufhielte. In diesem Bericht wird die ungünstigste Betrachtungsweise gewählt: die über die folgenden 50 Jahre verteilt anfallende Knochendosis wird auf das Jahr der

Inhalation "diskontiert", d. h. voll im ersten Jahr berücksichtigt.

Mit den Gewichtungsfaktoren G_n wurde die effektive Gesamtdosis $D_{\text{eff},r}$ des Ortes r errechnet. Die Schilddrüsendosis bleibt dabei unberücksichtigt.

$$D_{\text{eff},r} = \sum_n G_n D_{n,r}$$

$G = 1$ für Ganzkörper
1/3 für Lungen,
1/6 für Haut und Knochen

Die Gewichtungsfaktoren G_n geben das Verhältnis der zulässigen Ganzkörper- zur zulässigen Teilkörper- bzw. Organdosis einer beruflich strahlenexponierten Person wieder.

Bei der Prognose 76 wurde auch die Höhe und die Lage des Maximums ermittelt. Die Lage und Höhe der maximalen effektiven Gesamtdosis $D_{\text{eff,max}}$ wurde unter Berücksichtigung der Gewichtungsfaktoren durch Überlagerung der Dosisverteilung der einzelnen Organdosen ermittelt. Tab. 5 zeigt, daß nicht nur die Ganzkörper-, sondern auch die effektive Gesamtdosis an allen Punkten außerhalb des KFZK unterhalb der Grenze von 30 mrem/a bleibt. Die Isodenlinien der γ -Ganzkörper- und β -Hautbelastung durch die Emissionen der Gruppe C und der Edelgase sind in den Abbn. 2A, 2B, 3A und 3B dargestellt. Die Abb. 2A zeigt den genauen Verlauf der γ -Ganzkörperdosen, die Abb. 3A den der β -Hautdosen im Bereich des KFZK. Man erkennt aus Abb. 2A, daß an keiner Stelle der Geländegrenze 20 mrem/a an γ -Ganzkörperdosis überschritten werden. Wegen der starken Bedeutung des Jod bei Einbeziehung des Weide-Kuh-Milch-Pfades wurden auch Isodosenkarten der Schilddrüsendosen infolge Ingestion des Radiojod aufgenommen, s. Abbn. 4A, 4B für den Nah- bzw. Fernbereich. Die Dosen beziehen sich auf ein Kleinkind. Abb. 4A zeigt, daß der Grenzwert von 90 mrem/a an keiner Stelle außerhalb des KFZK überschritten wird. Abb. 5 zeigt den Verlauf der Knochendosis im Nahbereich. Da es sich um nur geringe Dosiswerte handelt, wurde die Darstellung des Fernbereiches weggelassen.

Die Diagnose des Jahres 1975 zeigt, daß die tatsächlichen Emissionen und somit die radiologischen Belastungen durchweg unter den für das Jahr 1975 prognostizierten bleiben, s. /1/. Das ist eine Folge der nicht in voller Höhe ausgeschöpften

Emissionen des Abluftplanes 1975 und im Fall der Lungendosis der genauer abgeschätzten Dosisfaktoren für WAK und ADB.

Literatur

- /1/ W. Hübschmann, D. Nagel, D. Papadopoulos; Berechnung der radiologischen Belastung der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe durch die Emissionen radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre in den Jahren 1974 und 1975, KFK 2188, (1975)

- /2/ H.O. Haug; Calculations and Compilations of Composition, Radioactivity, Thermal Power, Gamma and Neutron Release Rates of Fission Products and Actinides of Spent Power Reactor Fuels and their Reprocessing Wastes. KFK 1945 (1974)

- /3/ Reactor Safety Study, WASH 1400 (Internal Dosimetry, Appendix D, Tab. VI-D-2)

- /4/ W. Comper; Berechnung der Dosisfaktoren radiologisch wichtiger Nuklide, KFK 1615 (1972)

- /5/ ICRP Publication 2 (Report of Committee II on Permissible Dose of Internal Radiation) Pergamon Press, London 1959

- /6/ W. Hübschmann, L. Kropp, H. Lenhardt, K. Nester, J. Ottes; Digitale Datenerfassung meteorologischer Meßwerte, Staub-Reinhaltung Luft, 33 (1973) 245-48

- /7/ Emissionsquellstärke von Kernkraftwerken
Schriftenreihe Kernforschung 6 BMBW (1972)

- /8/ K. Nester; Statistische Auswertungen der Windmessungen im KFZK, KFK 1606 (1972)

- /9/ H. Dilger, K. Nester; Aufstellung und Vergleich verschiedener Schemata zur Bestimmung von Ausbreitungskategorien, Meteorol. Rdsch. 28 (1975) 12-17
- /10/ L. A. König, K. Nester, H. Schüttelkopf, M. Winter; Experiments Conducted at the Karlsruhe Nuclear Research Centr....., IAEA-WMO-Symposium, Wien 1973, IAEA-SM-181/4
- /11/ W. Hübschmann, D. Nagel; ISOLA II-Ein Fortran IV-Programm zur Berechnung der langfristigen Dosisverteilung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, KFK 2210 (1975)
- /12/ D. H. Slade ed.; Meteorology and Atomic Energy 1968 T1D 24190 (1968)
- /13/ Vogt, K-J.; Umweltkontamination und Strahlenbelastung durch radioaktive Abluft, KFA-Jülich, Jül.-637-ST (1970)
- /14/ K. Imai, T. Iijima; Assessment of Gamma-Exposure Due to a Radioactive Cloud, Health Physics, Vol 18 (3), (1970), 207-216
- /15/ H. Schultz, E. Voelz; Isodosislinien der Submersions- γ -Dosis zur Beurteilung denkbarer Reaktorereignisse mit Edelgasausfluß, Atomkernenergie (ATKE) Bd. 21 (1973) Lfg. 2, 145-148
- /16/ W. Hübschmann, D. Papadopoulos; Berechnung der Dosisleistung durch Gammastrahlung aus der radioaktiven Abluftfahne eines Daueremittenten, KFK 2172 (1975)
- /17/ D. Nagel, D. Papadopoulos; WOLGA 1 - Ein FORTRAN-IV-Programm zur Berechnung der Dosisleistung durch Gammastrahlung aus der radioaktiven Abluftfahne eines Daueremittenten, KFK 2189
- /18/ Task Group of Lung Dynamics; Deposition and Retention Models for Internal Dosimetry of the Human Respiratory Tract, Health Physics 12, 173-207 (1966)

Tab. 1 Emission im Bereich des KFZK laut Abluftplan 1976

Nr.	Emittent	Kamin- höhe m	Kamin-Koordin.		Emission je Nuklid bzw. Nuklidgruppe						
			x m	y m	Gruppe A mCi/a	Gruppe B mCi/a	Gruppe C Ci/a	Kr-85 Ci/a	Ar-41 Ci/a	H-3 Ci/a	J-131- Äquivalent*** mCi/a
1	WAK	60	100	1250	10	4000	400	350000	-	1000	80**
2	FR-2	99	0	0	0,3	1500	2000	-	120000	1000	50**
3	KNK	99	-160	530	0,3*	1500*	8000*	-	-	-	10**
4	MZFR	99,5	-40	610	0,3*	1500*	3000*	-	-	4000*	50**
5	RBT/Z	60	-40	300	0,8*	400*	1000*	-	-	-	10
6	IHCH 721	60	-10	380	0,8*	400*	800*	-	-	-	10
7	ADB-536	70	-340	90	1,0*	400*	1000*	-	-	-	10
8	ADB-545	19	-110	130	0,03*	15*	50*	-	-	-	4
9	ADB-548	15	-70	170	0,025*	7*	10*	-	-	-	0,2
10	ZYKL	36	-370	-150	0,3*	150*	500*	-	-	-	-
11	SNEAK	50	250	-400	0,2*	100*	200*	-	-	-	3
12	TU	50	360	550	0,03*	10*	30*	-	-	-	2
13	IRCH	15	-160	-280	0,01*	10*	90*	-	-	-	2
14	IMF I	9	150	190	0,016*	-	-	-	-	-	-
15	IMF III	5	-300	210	0,03*	-	-	-	-	-	-
16	LIT	10	0	-540	-	15*	0,5	-	-	-	-
17	STARK	20	-200	-380	0,005*	7*	0,5*	-	-	-	0,2
18	INR	15	20	-420	-	-	-	-	-	100*	-
19	RBT/IT	22	-10	-170	0,03*	0,21*	12*	-	-	-	0,15
20	IHCH-725	10	90	460	0,01*	10*	20*	-	-	-	0,1
21	ISTL	12,5	-320	-320	-	0,01*	0,06*	-	-	0,0001*	-
22	IEKP	12	-100	-520	-	-	-	-	-	-	0,24
23	LAF	8	250	-610	-	-	6,5	-	-	-	0,4
24	RBT-605	15	-10	-180	-	-	12*	-	-	3*	-
25	LAVA	60	60	1210	0,2*	660*	-	-	-	-	-

*Es wird mit fiktiver (erhöhter) Emissionsrate gerechnet; s. Kap. 4.1.

**Anteil elementaren Jods $\leq 50\%$

***Wird J-129 emittiert, so errechnet sich die zulässige Emission aus: $\dot{A}_{J-131} + 2,3 \dot{A}_{J-129} \leq \dot{A}_{J-131}^+$ (J-131-Äquivalent), s. Kap. 2.3.4.

Tabelle 2 Einteilung der Nuklidgruppen

Gruppe	Nuklide
A	Beliebige Mischung von α -, β - und γ -Strahlern.
B	Beliebige Mischung von β - und γ -Strahlern, wenn die α -Strahler sowie J-129, J-131, Pb-210, Ac-227, Ra-228, Pu-241, Am-242m und Cf-254 unberücksichtigt bleiben können*.
C	Ar-41, Spaltedelgase, Cl-38, N-13, O-15, H-3.

* "Unberücksichtigt bleiben" können diese Radionuklide nur dann, wenn die Konzentration in der Luft nur einen geringfügigen Teil der in Tabelle A des Anhangs 3 der Euratom-Strahlenschutznormen angegebenen höchstzulässigen Konzentration darstellt.

Tab. 3 Mit der Abluft im Jahre 1975 emittierte Radioaktivität*

Emittent	Kaminhöhe m	Emission je Nuklid bzw. Nuklidgruppe									
		Gruppe A mCi	Gruppe B mCi	Gruppe C Ci	Kr-85 Ci	Ar-41 Ci	H-3 Ci	J-129 mCi	J-131 mCi	J-133 mCi	J-135 mCi
WAK	60	3,046 [⊕]	175,8 [⊕]		43464 [⊕]			42,67 [⊕]			
FR 2	99		17,6 [⊕]			95730	285 [⊕]		1,38 [⊕]	2,57 [⊕]	11,94 [⊕]
KNK	99			240							
MZFR	99,5			1116			766				
ADB-536	70	0,783 [⊕]	242,1 [⊕]	467 [⊕]					1,29		
ADB-545	19	0,006 [⊕]		53							
ZYKL	36			291							
RBT/Z	60	0,036 [⊕]									
IHCh	60	0,015 [⊕]		68 [⊕]							

*Es wurden nur diejenigen Emittenten berücksichtigt, die zu mehr als 3⁰/100 zur Emission eines Nuklids bzw. einer Nuklidgruppe beigetragen haben;

⊕ Berechnung der Dosis auf Basis der monatlichen Emissionsraten.

Tab. 4 Dosisfaktoren und γ -Dosisleistungskonstante der Nuklide bzw. Nuklidgemische

Kritisches Organ bzw. Körperteil	Nuklid bzw. Nuklidgemisch	Belastung durch	Dosisfaktor rem m ³ /Ci s	γ -Dosisleistungskonstante rem m ² /Ci s	Bemerkungen
Ganzkörper	H 3	Inhalation und Hautatmung	0,09	-	
	Ar-41	äußere γ -Strahlung	-	$1,9 \cdot 10^{-4}$	
Lunge	frisches Gemisch B	Inhalation	37	-	
	altes Gemisch B		190	-	nach /3/, neues Lungenmodell nach /18/
Knochen	frisches Gemisch A	Inhalation	$2 \cdot 10^5$	-	nach /3/, Dosis über 50 Jahre integriert, neues Lungenmodell nach /18/
	altes Gemisch A		$1,5 \cdot 10^5$	-	
Haut	Ar-41	äußere β -Strahlung	0,138	-	
	Kr-85		0,072	-	
Schilddrüse	J-129 organisch geb.	Ingestion (Kleinkinder)	$2 \cdot 10^4$	-	Wichtungsfaktor $2,3 \cdot 10^{-2}$
	J-129 elementar		$2 \cdot 10^6$	-	Wichtungsfaktor 2,3
	J-131 organisch geb.		$8,8 \cdot 10^3$	-	Wichtungsfaktor 10^{-2}
	J-131 elementar		$8,8 \cdot 10^5$	-	Wichtungsfaktor 1

Tab. 5 Abschätzung der Strahlenbelastung im KFZK und in der Umgebung auf der Basis des Abluftplanes für 1976

Ort	Ganzkörperdosis durch äußere γ -Strahlung mrem	Hautdosis durch äußere β -Strahlung mrem	Schilddrüsen-dosis durch Jod-Ingestion (Kleinkind) mrem	Lungen-dosis durch Nuklide der Gruppe B mrem **	Ganzkörperdosis durch H-3-Inhalation mrem	Integrierte Knochendosis durch Nuklide der Gruppe A ** mrem/50a	Effektive Gesamtdosis mrem/a
Graben	1,0	2,4	6,7	0,10	0,12	0,19	1,58
Neudorf	0,7	1,8	5,0	0,07	0,09	0,14	1,14
Friedrichstal	1,1	1,6	5,2	0,06	0,10	0,13	1,51
Spöck	0,5	0,9	2,9	0,04	0,06	0,07	0,74
Neuthard	0,8	1,7	4,9	0,07	0,09	0,14	1,22
Karlsdorf	0,5	1,3	3,5	0,05	0,07	0,10	0,82
Staffort	0,3	0,5	1,8	0,02	0,04	0,05	0,44
Blankenloch	0,3	0,6	2,0	0,03	0,04	0,06	0,46
Hagsfeld	0,3	0,6	1,8	0,03	0,03	0,05	0,45
Karlsruhe-Markt	0,2	0,5	1,5	0,02	0,03	0,05	0,33
Neureut	0,5	1,0	3,3	0,04	0,06	0,10	0,76
Eggenstein	2,7	2,2	8,7	0,09	0,17	0,22	3,30
Leopoldshafen	2,2	4,2	12,9	0,19	0,22	0,38	3,25
Linkenheim	1,0	2,2	6,4	0,10	0,11	0,19	1,54
Hochstetten	0,6	1,6	4,6	0,07	0,08	0,14	1,00
Liedolsheim	0,4	1,0	3,0	0,05	0,05	0,10	0,65
Rußheim	0,3	0,7	2,0	0,03	0,04	0,06	0,48
Leimersheim	0,4	1,3	3,2	0,06	0,05	0,11	0,71
Nordtor	18,3	13,1	67,3	0,60	1,20	1,80	22,2
Südtor	7,5	4,8	34,7	0,21	0,68	0,57	9,14
Zaun NO von FR 2	17,1	9,9	59,6	0,35	1,27	1,40	20,4
Zaun SW von FR 2	10,1	6,5	41,3	0,23	0,75	0,68	12,1
Ort der maximalen Dosis außerhalb des KFZK-Geländes	25	38,6	75	1,60	1,30	3,60	28,0
Koordinaten x [m] der maximalen Dosis*	-415	450	450	450	-450	-370	-415
y [m]	0	1450	1450	1450	-150	200	0

* bezogen auf den FR 2-Kamin

** neues Lungenmodell nach /18/

Tab. 6 Ortsdosen infolge radioaktiver Emissionen im Jahre 1975

Ort	Ganzkörperdosis durch äußere γ -Strahlung mrem	Hautdosis durch äußere β -Strahlung mrem	Schilddrüsen-dosis durch Jod-Ingestion (Kleinkind) mrem	Lungen-dosis durch Nuklide der Gruppe B * mrem	Ganzkörperdosis durch H-3-Inhalation mrem	Integrierte Knochen-dosis durch Nuklide der Gruppe A * mrem/a	Effektive Gesamtdosis mrem/a
Graben	0,6	0,6	5,0	0,005	0,010	0,04	0,72
Neudorf	0,5	0,6	3,7	0,004	0,015	0,03	0,63
Friedrichstal	0,7	0,5	2,4	0,003	0,006	0,02	0,80
Spöck	0,3	0,3	1,2	0,002	0,004	0,01	0,36
Neuthard	0,5	0,4	3,1	0,003	0,007	0,02	0,58
Karlsdorf	0,3	0,3	2,4	0,002	0,005	0,02	0,36
Staffort	0,2	0,2	0,9	0,001	0,003	0,01	0,24
Blankenloch	0,2	0,2	0,8	0,001	0,003	0,01	0,24
Hagsfeld	0,2	0,2	1,4	0,001	0,003	0,01	0,24
Karlsruhe-Markt	0,2	0,2	1,2	0,001	0,003	0,01	0,24
Neureut	0,4	0,4	2,3	0,003	0,006	0,02	0,48
Eggenstein	1,7	0,7	4,2	0,006	0,013	0,04	1,84
Leopoldshafen	1,1	1,0	9,3	0,009	0,015	0,07	1,30
Linkenheim	0,4	0,4	5,6	0,004	0,005	0,04	0,48
Hochstetten	0,3	0,3	2,5	0,002	0,004	0,02	0,36
Liedolsheim	0,2	0,2	1,4	0,002	0,003	0,02	0,24
Rußheim	0,1	0,2	1,0	0,001	0,002	0,01	0,14
Leimersheim	0,3	0,3	2,0	0,003	0,004	0,02	0,36
Nordtor	8,7	5,3	57,1	0,060	0,083	0,50	9,77
Südtor	8,0	3,6	11,0	0,023	0,052	0,15	8,68
Zaun NO von FR 2	10,9	4,9	15,6	0,026	0,065	0,15	11,8
Zaun SW von FR 2	8,8	4,1	12,5	0,027	0,066	0,20	9,59

* neues Lungenmodell nach /18/

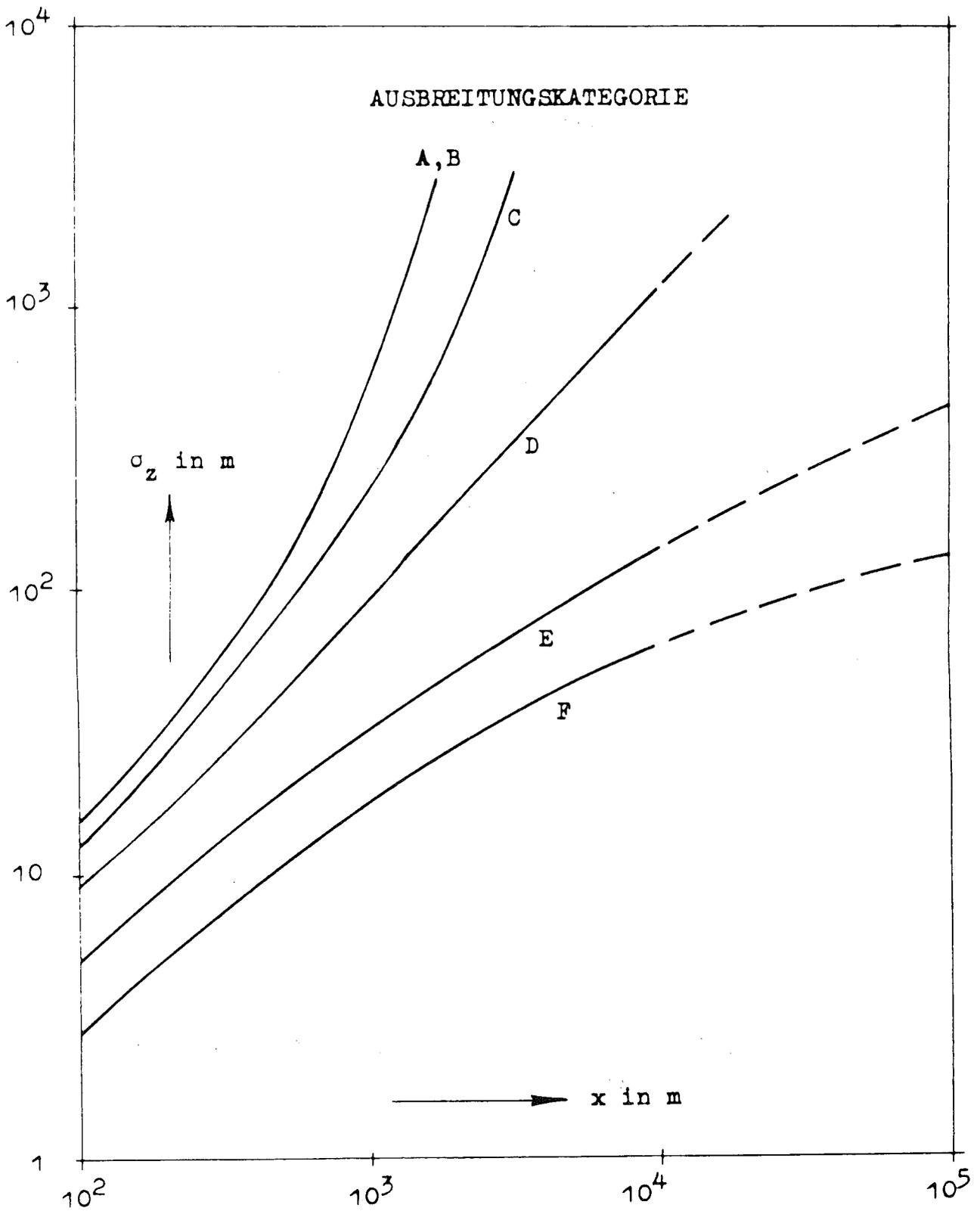


Abb. 1 Ausbreitungsparameter $\sigma_z(k)$ für den Standort des KFZK

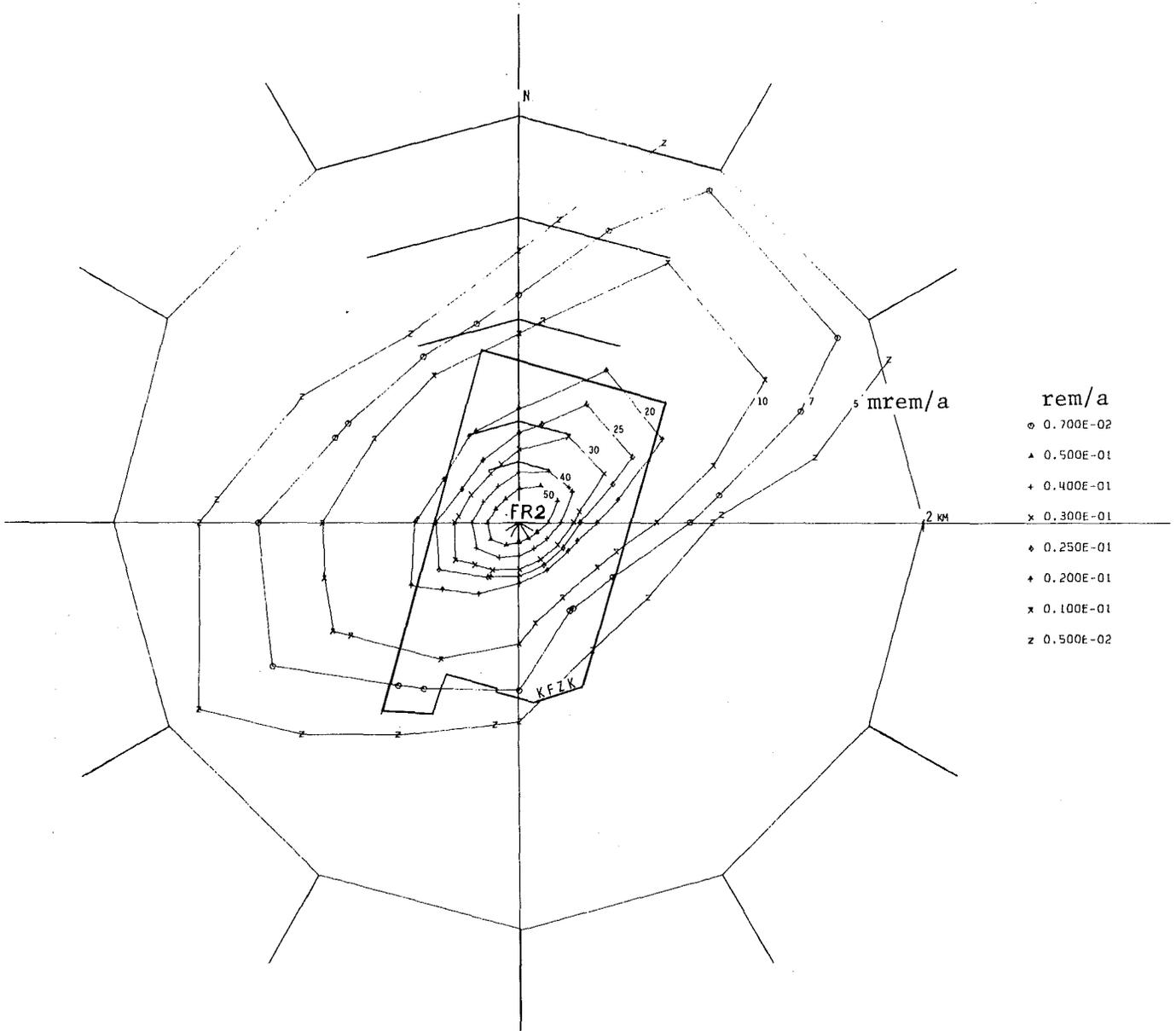


ABB. 2 A GANZKÖRPERDOSIS DURCH ÄUSSERE GAMMASTRAHLUNG,
PROGNOSE 1976

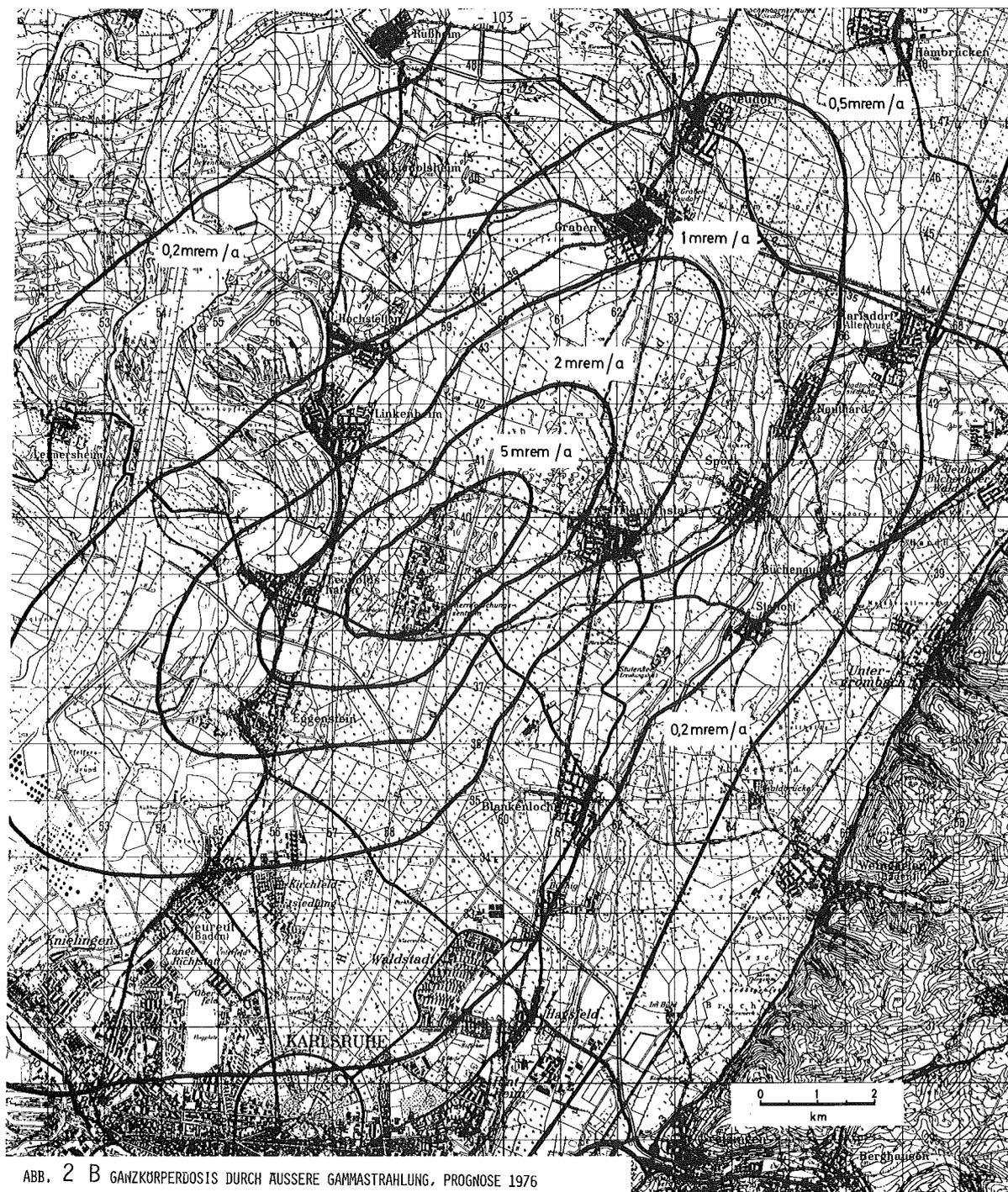


ABB. 2 B GANZKÖRPERDOSIS DURCH AUSSERE GAMMASTRAHLUNG, PROGNOSE 1976

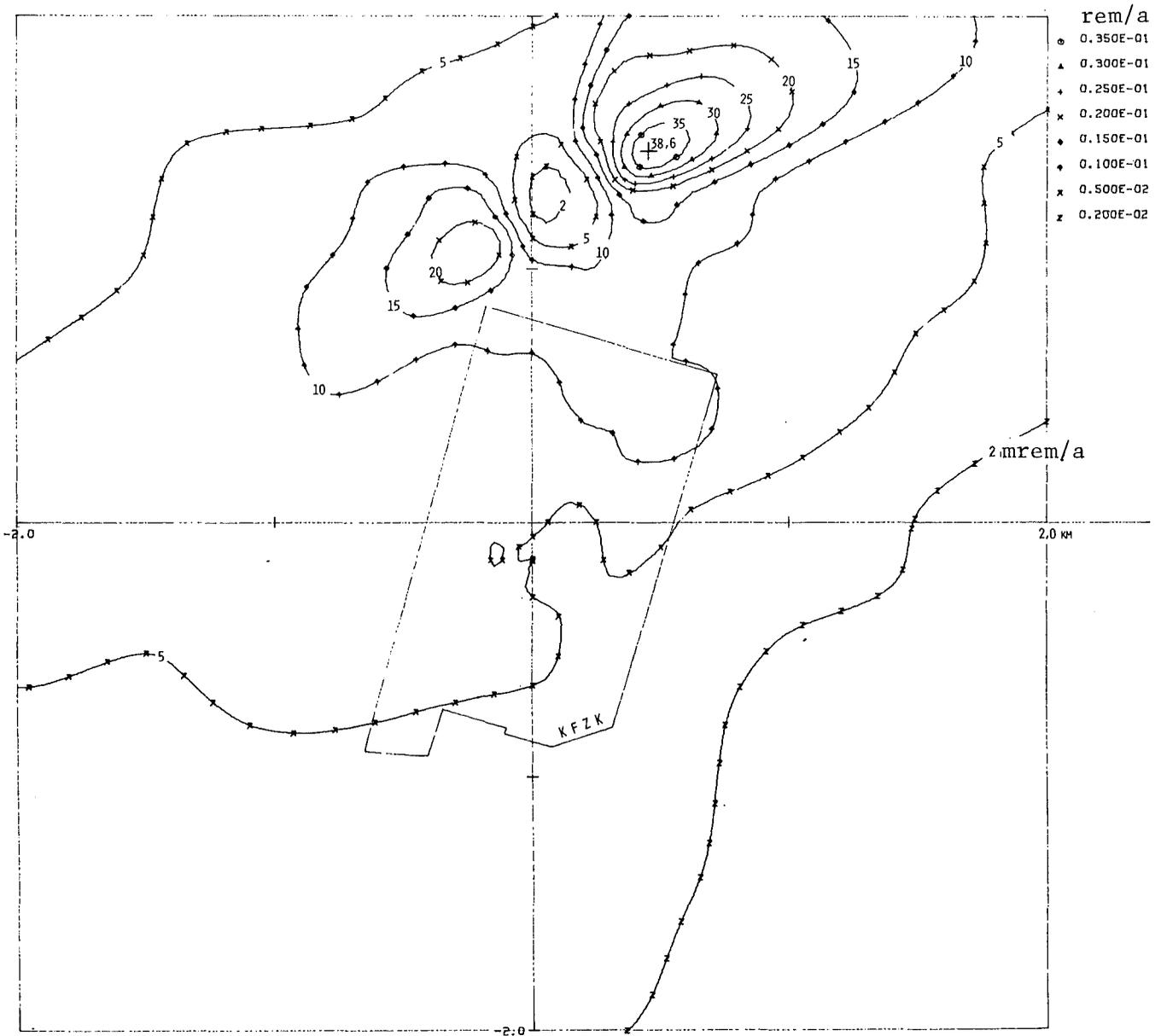


ABB. 3 A HAUTDOSIS DURCH ÄUSSERE BESTRAHLUNG,
PROGNOSE 1976

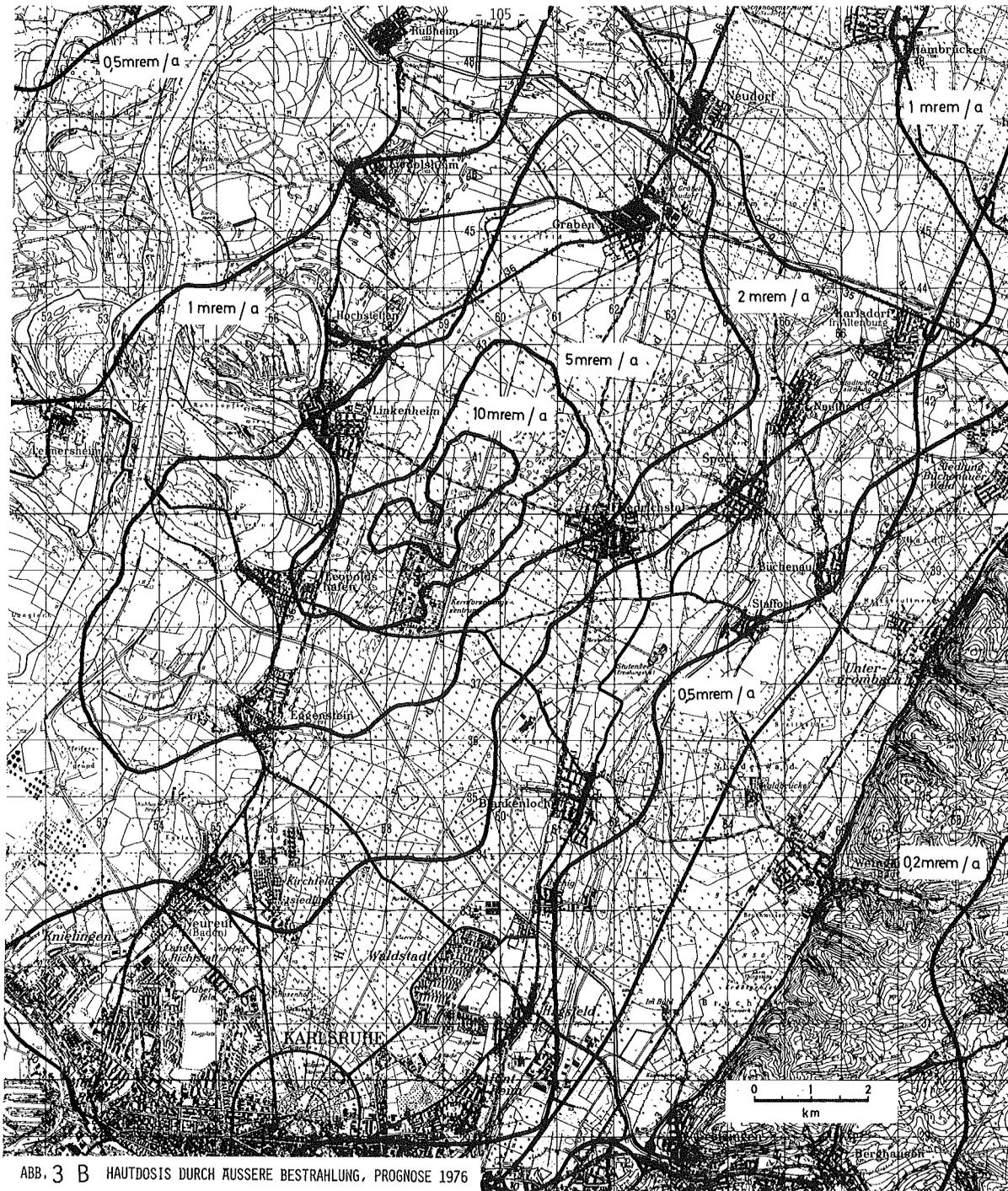


ABB. 3 B HAUTDOSIS DURCH AUSSERE BESTRAHLUNG, PROGNOSE 1976

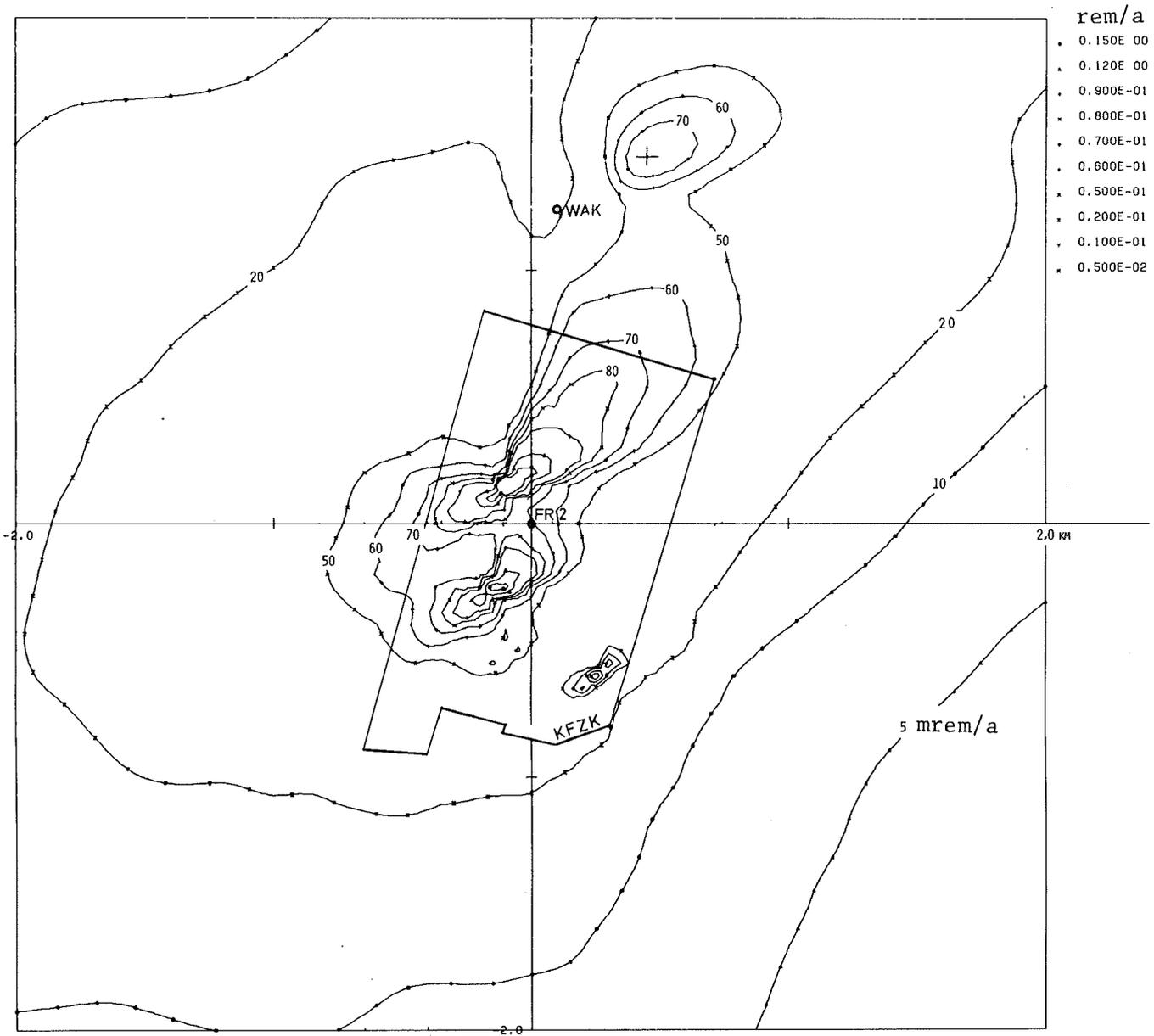


ABB. 4 A SCHILDDRÜSENDOSIS EINES KLEINKINDES DURCH JOD-INGESTION, PROGNOSE 1976



ABB. 4 B SCHILDDROSENOSIS EINES KLEINKINDES DURCH JOD-INGESTION, PROGNOSE 1976

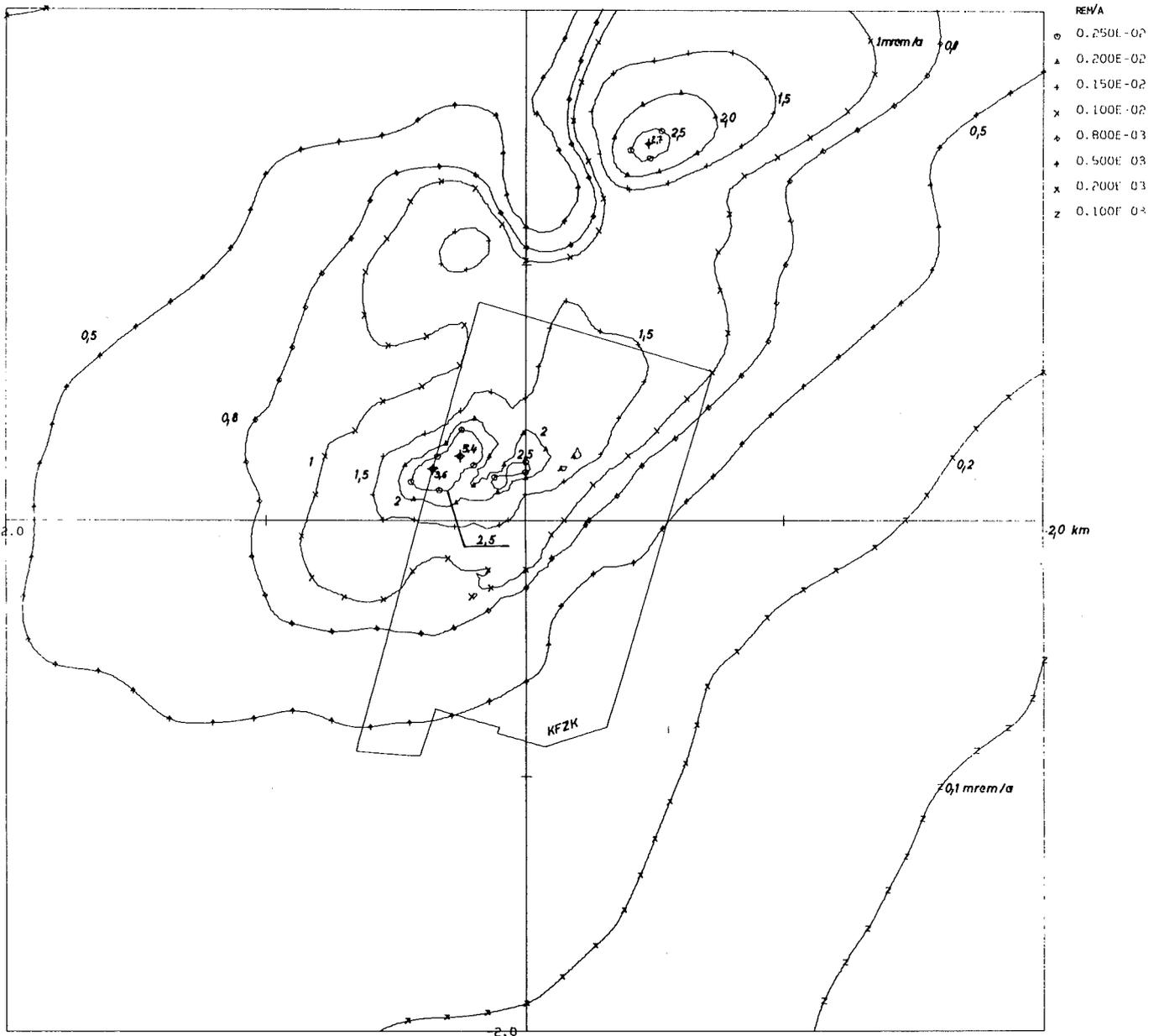


ABB. 5 KNOCHENOSIS DURCH INHALATION DER RADIONUKLIDE DER GRUPPE A, PROGNOSE 76