

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

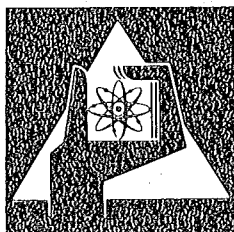
Juli 1975

KFK 2188

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

**Berechnung der radiologischen Belastung der Umgebung des
Kernforschungszentrums Karlsruhe durch die Emission radioaktiver
Stoffe in die Atmosphäre in den Jahren 1974 und 1975**

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 2188

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Berechnung der radiologischen Belastung der
Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe
durch die Emission radioaktiver Stoffe in die
Atmosphäre in den Jahren 1974 und 1975

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 1975 maximal zu erwartenden Dosen als auch die aufgrund der gemessenen Emissionen im Jahre 1974 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, Schilddrüsensdosis durch Jod-Inhalation, Lungensdosis durch Aerosol-Inhalation, Knochenmarksdosis durch Plutonium-Inhalation sowie die "effektive Gesamtdosis". Die auf ein Kleinkind bezogene maximale Schilddrüsensdosis 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 Schilddrüsensdosis (Kleinkind) bei Einhaltung des Abluftplanes 1975 nicht überschritten werden und im Jahre 1974 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 1974 and 1975

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 1975 and the actual doses of 1974 based on the measured releases in 1974.

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, thyroid dose by iodine inhalation, lung dose by aerosol inhalation, bone marrow 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 of whole body dose (adult) and 90 mrem/a of thyroid dose (infant) are not exceeded at any point, provided the emissions remain below the scheduled maximum level. The doses in 1974 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 wird bei der Beurteilung und Genehmigung des Abluftplans des KFZK von seiten der Behörde genauso restriktiv verfahren, wie bei der 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 Weidewirtschaft gegeben ist. Dadurch kommt der Prognose des Jahres 1975 besondere Bedeutung zu. Die Diagnose des Jahres 1974 zeigt, daß die tatsächlichen Emissionen und somit die radiologischen Belastungen durchweg unter den für das Jahr 1975 prognostizierten bleiben, s. /1/.

2. Emission radioaktiver Schadstoffe mit der Abluft im KFZK

2.1. Abluftplan des Jahres 1975

Die 24 Emittenten des KFZK sowie ihre im Rahmen des Abluftplanes 1975 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.

2.2. Emissionen im Jahre 1974

Tab. 3 zeigt die tatsächlichen Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft im Jahre 1974. 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 sehr geringen Emissionen der WAK beruhen auf einem längeren Stillstand dieser Anlage.

2.3. Behandlung der emittierten Nuklide bzw. Nuklidgruppen

Zur Ermittlung der Dosen* in der Umgebung des KFZK ist die Auswahl der zu verwendenden Dosisfaktoren 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. Die verwendeten Dosisfaktoren sind in Tab. 4 zusammengestellt.

*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 angenommen, daß die Emission der Gruppe A von jedem Emittenten ausschließlich als Pu-239 abgegeben wird. Das ist eine konservative Annahme, obwohl theoretisch durch 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 Angabe 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.

2.3.2. Gruppe B (β -Aktivität)

In Gruppe B ist Sr-90 das bezüglich seiner Radiotoxizität gefährlichste Nuklid. Dieser β -Strahler lagert sich wie Plutonium in den Knochen an und wird nur sehr langsam ausgeschieden. Da jedoch das Element Strontium nur in festen, nichtflüchtigen Verbindungen auftritt, braucht nicht damit gerechnet zu werden, daß es im Normalbetrieb in die Abluft gelangt. Die in Gruppe B zu berücksichtigenden Nuklide bilden voraussichtlich ein Spaltproduktgemisch. Dessen Alter bestimmt die Nuklidzusammensetzung. Für die Emission der WAK und ADB wird ein Gemisch mit einer Kühlzeit von einem Jahr angenommen, mit dem gewichteten Dosisfaktor $g_a = 347 \text{ rem/s pro Ci/m}^3$. Für die Reaktoren und Institute wurde ein Gemisch mit 6 Stunden Kühlzeit angenommen, mit dem gewichteten Dosisfaktor $g_f = 37 \text{ rem/s pro Ci/m}^3$.

Beide Dosisfaktoren beziehen sich auf eine Lungendosis, da die eine Lungendosis verursachenden Nuklide in dem Spaltproduktgemisch überwiegen. Der Dosisfaktor g_a wurde bestätigt durch eine Nuklidanalyse der aus der ADB-Abluft gefilterten Aerosole, welche einen gewichteten Lungendosisfaktor von $g_a = 240 \frac{\text{rem/s}}{\text{Ci m}^3}$ ergab.

2.3.3. Gruppe C, Tritium und Edelgase

Die β - und γ -Dosis wird durch die hohe Edelgasemission der WAK und des FR2 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 für J-129 wie folgt definiert:

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

\dot{A} = Quellstärke in mCi/a

g = Inhalationsdosisfaktor für die Schilddrüse nach /2/

$$\text{Mit } g_{J-131} = 350 \frac{\text{rem m}^3}{\text{Ci s}}$$

$$\text{und } g_{J-129} = 1830 \frac{\text{rem m}^3}{\text{Ci s}}$$

ergibt sich, daß eine J-129-Emission mit dem Faktor 5,2 zu wichten ist.

Dabei wird Inhalation des Jod durch einen Erwachsenen angenommen. Das Jod-131-Äquivalent erzeugt also bei einem Erwachsenen jeweils die gleiche Schilddrüsen-Inhalationsdosis, unabhängig vom inhalierten Jodisotop. Wird das Radiojod dagegen durch Ingestion über den Weide-Kuh-Milch-Pfad aufgenommen, dann sind weitere Unterschiede im Verhalten der einzelnen Jodisotope zu berücksichtigen, s. Kap. 5.

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 /3/ 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. /4/. 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 /5/. Dieses Verfahren ist für statistische Zwecke ausreichend genau /6/, ist jedoch nur dann anwendbar, wenn das Profil der Windgeschwindigkeit bis 200 m zuverlässig gemessen wird.

Da es bei den ab 1975 vom KFZK einzuhaltenden Auflagen primär auf das Dosismaximum, und erst in zweiter Linie auf die Dosen in den bewohnten Gebieten ankommt, wurden nicht mehr die bisher verwendeten Ausbreitungsparameter nach Pasquill/Gifford /7/, sondern eine dem Standort des KFZK angepaßte σ_z -Kurvenschar eingesetzt, s. Abb. 1. Diese entspricht im neutralen und labilen Bereich den Ergebnissen der Ausbreitungsversuche im KFZK /8/, und folgt im stabilen Bereich einem Vorschlag von K.Nester zur Berücksichtigung der erhöhten Geländerauhigkeit in der Umgebung des KFZK. Da diese Parameter durchweg größer als diejenigen nach Pasquill/Gifford sind, rückt das berechnete Dosismaximum näher an den Emittenten heran und steigt - bei gleicher Emissionsrate - um den Faktor 2 bis 3 an, während die berechneten Dosen in größerer Entfernung, z.B. in den umliegenden Ortschaften, kleiner werden. Die so berechnete Dosisverteilung kommt der tatsächlichen näher, als es bei Weiterverwendung der bisherigen σ -Werte der Fall wäre. Wegen des Fehlens ausreichender Versuchsreihen bei stabiler Ausbreitungskategorie sowie bei Emissionshöhen unter 100 m kann diese Kurvenschar zunächst allerdings nur als vorläufig bezeichnet werden. Bei niedrigen Emissionshöhen können aufgrund des verstärkten Einflusses der Bodenrauhigkeit noch Änderungen dieser Kurvenschar erwartet werden. Eine Übertragung auf andere Standorte ist ohne genauere Kenntnis der Rauigkeitsverhältnisse an diesen Standorten nicht möglich.

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 beträgt er jeweils ein Jahr. Bei der Diagnose beträgt er normalerweise einen Monat, 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, soweit entsprechende Emissionsdaten vorliegen (ΔT z.B. 1 Woche oder 1 Tag).

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 D_β am Aufpunkt $P(x,y)$ lautet:

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

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

x, y Koordinaten des Aufpunktes P in m
 r_n Abstand des Aufpunktes P in m
 s_n Sektor des Aufpunktes P
 $\varepsilon_{\beta n}$ Dosisfaktor des vom n-ten Emittenten abgegebenen Nuklides in rem $m^2/(Ci/s)$
 \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 /9/ 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 /7/, /10/, /11/, /12/ 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 /13/ beschrieben und hat an dieser Stelle Anwendung gefunden. Nach diesem Verfahren wurde das FORTRAN-IV-Rechenprogramm WOLGA1 für die IBM-370-168-Rechenanlage entwickelt /14/. Das Rechenprogramm WOLGA1 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:

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

$$(4) \Delta A_{nrjai} = \frac{\dot{A}_n}{R_n \Delta \phi} \exp\left(-\frac{\lambda_n R_n}{u_{snj}}\right) \frac{p_{snj}}{u_{snj}} R_n \Delta R_n \Delta a_n \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{zj}} \cdot \right.$$

$$\left. \left[\int_{z_i}^{z_{i+1}} \exp\left(-\frac{(z-H_n)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) dz + \int_{-z_i}^{-z_{i+1}} \exp\left(-\frac{(z-H_n)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) dz \right] \right\}$$

Darin bedeutet:

\dot{A}	Emissionshöhe	(Ci/s bzw. Ci/a)
B	Aufbaufaktor	
p	Windrichtungshäufigkeit in einem Sektor	
H	Kaminhöhe	(m)
I	Dosisleistungskonstante	$\left(\frac{\text{rem m}^2}{\text{Ci s}}\right)$
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 Höhen 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 Knochenmarkdosis in der Umgebung des KFZK berechnet und zwar jeweils aufgrund des Abluftplans 1975, s. Tab. 5, und der tatsächlichen Emissionen im Jahre 1974, s. Tab. 6. Diese Dosen werden nur von einer solchen Person empfangen, die sich ganzjährig und ungeschützt gegenüber der Strahlung am betreffenden Ort aufhält. Die errechnete Knochenmarkdosis ist über die folgenden 50 a integriert. 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, Dann würde die Dosis des in seinen Knochen akkumulierten Plutoniums im 50. Jahr der hier angegebenen 50-Jahres-Dosis entsprechen. In diesem Bericht wird die ungünstigste Betrachtungsweise gewählt: die über die folgenden 50 Jahren verteilte anfallende Strahlendosis wird auf das Jahr der Inhalation "diskontiert", d.h. voll im ersten Jahr berücksichtigt.

Bei der Prognose 1975 wurde auch die Höhe und die Lage des Maximums ermittelt. Mit den Gewichtsfaktoren 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 und Knochenmark,
 $1/3$ für Lungen,
 $1/6$ für Haut.

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

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. 4 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 Isodosenlinien der γ -Ganzkörper- und β -Hautbelastung durch die Emissionen der Gruppe C und der Edelgase sind in den Abbn. 2, 3 und 4 dargestellt. Die Abb. 3 zeigt den genauen Verlauf der γ -Isodosen im Bereich des KFZK. Man erkennt, daß an keiner Stelle der Geländegrenze 20 mrem/a überschritten werden. Wegen der starken Bedeutung des Jod bei Einbeziehung des Weide-Kuh-Milch-Pfades wurde auch eine Isodosenkarte der Schilddrüsendosen infolge Inhalation des Radiojod aufgenommen, s. Abb. 5. Die Dosen beziehen sich auf einen Erwachsenen. Um die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes durch Ingestion radiojodhaltiger Milch zu ermitteln, sind diese Dosen - soweit sie durch J-131 erzeugt werden - mit dem Faktor 700 zu multiplizieren. Die Dosisgrenze von 90 mrem/a (Kleinkind-Ingestion) ergäbe sich also rechnerisch dort, wo die Erwachsenen-Inhalationsdosis 0,26 mrem/a erreicht, wenn eine halbjährige Weideperiode angenommen wird. Nimmt man dagegen an, daß das Jod nur während der sommerlichen Weideperiode emittiert wird, oder daß die Kühe im Winter jodkontaminiertes Trockenfutter fressen - (das ist allerdings nur bei Kontamination durch J-129 (Halbwertszeit 16 Mio. Jahre) möglich,) - dann beträgt die Grenze 0,13 mrem/a. Beide Grenzen werden, wie Abb. 5 zeigt, an keiner Stelle überschritten. Bei dieser Betrachtung sind allerdings weitere Unterschiede des ökologischen Verhaltens des J-129 gegenüber dem des J-131 noch nicht berücksichtigt.

Eine Analyse und der Vergleich mit den Daten des Abluftplans 1974 (s. /1/) zeigt folgendes:

Die prognostizierten Dosen in den umliegenden Ortschaften sind im allgemeinen aufgrund der verwendeten σ -Werte sowie der Reduzierung der Emissionen im Abluftplan 1975 niedriger als im Vorjahr. Dagegen sind die - in unbewohnten Gebieten nahe dem Emittenten liegenden - Dosismaxima höher.

Literatur

- /1/ H. Kiefer, W. Koelzer, ed.; Jahresbericht 1973, KFK 1973 (1974) 125-131
- /2/ W. Comper; Berechnung der Dosisfaktoren radiologisch wichtiger Nuklide, KFK 1615 (1972)
- /3/ W. Hübschmann, L. Kropp, H. Lenhardt, K. Nester, J. Ottes; Digitale Datenerfassung meteorologischer Meßwerte, Staub-Reinhaltung Luft, 33 (1973), 245-48
- /4/ Emissionsquellstärke von Kernkraftwerken
Schriftenreihe Kernforschung 6 BMBW (1972)
- /5/ K. Nester; Statistische Auswertungen der Windmessungen im KFZK, KFK 1606, (1972)
- /6/ H. Dilger, K. Nester; Aufstellung und Vergleich verschiedener Schemata zur Bestimmung von Ausbreitungskategorien, Meteorol. Rdsch. 28 (1975) 12-17
- /7/ D.H. Slade ed.; Meteorology and Atomic Energy 1968
TID-24190 (1968)

- /8/ L.A. König, K. Nester, H. Schüttelkopf, M. Winter;
Experiments Conducted at the Karlsruhe Nuclear Research
Center....,
IAEA-WMO-Symposium, Wien 1973, IAEA-SM-181/4
- /9/ W. Hübschmann, D. Nagel; ISOLA - Ein Fortran IV-Programm
zur Berechnung der langfristigen Dosisverteilung in der
Umgebung kerntechnischer Anlagen, KFK 2002 (1974)
- /10/ Vogt, K-J.; Umweltkontamination und Strahlenbelastung
durch radioaktive Abluft, KFA-Jülich, Jül-637-ST (1970)
- /11/ K. Imai, T. Iijima; Assessment of Gamma-Exposure Due to
a Radioaktive Cloud,
Health Physics, Vol 18 (3), (1970), 207-216
- /12/ H. Schultz, E. Voelz; Isodosislinien der Submersions- γ -
Dosis zur Beurteilung denkbarer Reaktorereignisse mit
Edelgasausfluß,
Atomkernenergie (ATKE) Bd. 21 (1973) Lfg. 2, 145-148
- /13/ W. Hübschmann, D. Papadopoulos; Berechnung der Dosis-
leistung durch Gammastrahlung aus der radioaktiven Ab-
luftfahne eines Daueremittenten, KFK 2172 (1975)
- /14/ D. Nagel, D. Papadopoulos; WOLGA1 - Ein FORTRAN-IV-
Programm zur Berechnung der Dosisleistung durch Gamma-
strahlung aus der radioaktiven Abluftfahne eines
Daueremittenten, KFK 2189

Emittent	Kamin- höhe m	Emission je Nuklidgruppe bzw. Nuklid						
		A mCi/a	B Ci/a	C Ci/a	Kr-85 Ci/a	Ar-41 Ci/a	H-3 Ci/a	J-131- Äquivalent mCi/a
WAK	60	10	4	400	250 000		1 000	200
FR 2	99	0,3	1,5	2 000		120 000	1 000	50
KNK	99	0,3	1,5	8 000				10
MZFR	99,5	0,3	1,5	3 000			4 000	50
RBT/Z	60	0,8	0,4	1 000				10
IHCH	60	0,8	0,4	800				10
ADB (536)	70	1	0,4	1 000				10
ADB (545)	19	0,03	0,015	50				0,5
ADB (548)	15	0,025	0,007	10				0,2
ZYKL	36	0,3	0,15	500				
SNEAK	50	0,2	0,1	200				
TU	50	0,03	0,01	30				3
IRCH	15	0,01	0,01	30				0,3
IMF	9	0,016	-	-				
IMF/LB	5	0,03	-	-				
LIT	-	-	0,015	30				
STARK	20	0,005	0,007	0,5				0,2
INR	12	-	-	-			100	
224 ISTL 325	12,5	-	0,00001	0,06			0,0001	-
IEKP 401	12	-	-	-			-	0,24
LFT 415	8	-	-	-			-	0,1
RBT/IT-PA	22	0,013	0,000081	0,024			-	0,1
RBT 605	15	-	-	-			3	-
IHCH 725	10	0,01	0,01	20			-	-

Tab. 1 Emissionen laut Abluftplan des KFZK für das Jahr 1975 in Ci/a bzw. mCi/a

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, Spalteredelgase, 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.

Emittent	Kaminhöhe m	Emission je Nuklidgruppe bzw. Nuklid							
		Gruppe A mCi	Gruppe B mCi	Gruppe C Ci	Kr-85 Ci	Ar-41 Ci	H-3 Ci	J-126 mCi	J-129 mCi
WAK	60	0,15	14		850				1,4
FR 2	99					102 200	320	6,5	
KNK	99			240					
MZFR	99,5			950			1100		
ADB (536)	70	0,21	230	180					24
ZYKL	36			410					
RBT/Z	60	0,15							

Tab. 3 Mit der Abluft emittierte Radioaktivität* im Jahre 1974

* Es wurden nur diejenigen Emittenten berücksichtigt, die zu mehr als 5 % zur Emission eines Nuklids bzw. einer Gruppe beigetragen haben.

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

Nuklid bzw. Nuklidgemisch	Belastung durch	Kritisches Organ bzw. Körperteil	Dosisfaktor $\frac{\text{rem m}^3}{\text{Ci s}}$	γ -Dosisleistungskonstante $\frac{\text{rem m}^2}{\text{Ci s}}$
Gemisch A	Inhalation	Knochenmark	$1,52 \cdot 10^6$ *	
frisches Gemisch B	Inhalation	Lunge	37	
altes Gemisch B	Inhalation	Lunge	347	
H-3	Inhalation u. Hautatmung	Ganzkörper	0,09	
Ar-41	äußere β -Strahlung	Haut	0,138	
Kr-85	äußere β -Strahlung	Haut	0,072	
J-129	Inhalation	Schilddrüse	1 830	
J-129	Ingestion (Kleinkinder)	Schilddrüse	$1,28 \cdot 10^6$	
J-131	Inhalation	Schilddrüse	350	
J-131	Ingestion (Kleinkinder)	Schilddrüse	$2,45 \cdot 10^5$	
Ar-41	äußere γ -Strahlung	Ganzkörper	-	$1,9 \cdot 10^{-4}$

* über 50 Jahre integrierte Dosis, s.S. 3 und 11

Ort	Ganzkörperdosis in mrem durch äußere γ -Strahlung	Hautdosis in mrem durch äußere β -Strahlung	Schilddrüsendosis in mrem durch Jod-Inhalation	Lungendosis in mrem durch Nuklide der Gruppe B	Ganzkörperdosis in mrem durch Tritium-Inhalation	Integrierte Knochendosis in mrem/50 a durch Pu-239-Inhalation	Effektive Gesamtdosis mrem/a
Graben	0,9	2,0	0,009	0,13	0,02	1,3	2,6
Neudorf	0,7	1,6	0,007	0,09	0,02	1,0	2,0
Friedrichstal	1,8	1,0	0,006	0,07	0,02	0,8	2,8
Spöck	0,5	0,9	0,003	0,04	0,01	0,4	1,1
Neuthard	0,7	1,4	0,006	0,10	0,02	1,0	2,0
Karlsdorf	0,4	1,2	0,004	0,07	0,02	0,7	1,4
Stafford	0,2	0,4	0,002	0,03	0,01	0,3	0,7
Blankenloch	0,3	0,5	0,003	0,03	0,01	0,4	0,8
Hagsfeld	0,2	0,4	0,002	0,03	0,01	0,4	0,8
Karlsruhe Markt	0,2	0,4	0,002	0,03	0,01	0,3	0,6
Neureut	0,5	1,0	0,004	0,05	0,01	0,6	1,3
Eggenstein	1,6	2,0	0,009	0,10	0,02	1,2	3,2
Leopoldshafen	1,6	3,0	0,015	0,23	0,04	2,4	4,6
Linkenheim	0,8	1,8	0,008	0,12	0,02	1,3	2,5
Hochstetten	0,5	1,4	0,005	0,09	0,02	0,9	1,5
Liedolsheim	0,3	0,7	0,004	0,06	0,01	0,6	1,1
Rußheim	0,2	0,6	0,003	0,04	0,01	0,4	0,8
Leimersheim	0,4	0,9	0,004	0,08	0,01	0,8	1,4
Weide südl. Bruchsal			0,001				
Nordtor	10	8,0	0,040	0,75	0,13	9,0	21
Südtor	8	3,5	0,015	0,19	0,13	3,0	12
Zaun NO von FR2	18	5,0	0,025	0,35	0,13	6,0	25
Zaun SW von FR2	12	8,0	0,020	0,25	0,14	3,5	17
Ort der maximalen Dosis außerhalb des KFZK-Geländes	22	27	0,120	2,1	0,25	19	29
Koordinaten der maximalen Dosis*							
x in km	-0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
y in km	-0,2	1,65	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5

* bezogen auf den FR2 - Kamin

Tab. 5 Abschätzung der zusätzlichen Strahlenbelastung im KFZK und in der Umgebung auf der Basis des Abluftplanes für 1975

Ort	Ganzkörperdosis in mrem durch äußere γ -Strahlung	Hautdosis in mrem durch äußere β -Strahlung	Schilddrüsendosis in mrem durch Jod-Inhalation	Lungendosis in mrem durch Nuklide der Gruppe B	Ganzkörperdosis in mrem durch Tritium-Inhalation	Integrierte Knochendosis in mrem/50a durch Pu-239-Inhalation	effektive Gesamtdosis in mrem/a
Graben	0,9	0,63	0,005	0,007	0,018	0,050	1,0
Neudorf	0,7	0,50	0,004	0,006	0,014	0,038	0,9
Friedrichstal	0,9	0,30	0,002	0,003	0,014	0,025	1,0
Spöck	0,5	0,17	0,001	0,002	0,007	0,014	0,6
Neuthard	0,6	0,42	0,002	0,004	0,011	0,027	0,7
Karlsdorf	0,4	0,30	0,002	0,003	0,008	0,019	0,5
Stafford	0,2	0,18	0,002	0,002	0,005	0,012	0,3
Blankenloch	0,3	0,14	0,001	0,002	0,005	0,017	0,4
Hagsfeld	0,2	0,18	0,001	0,001	0,005	0,015	0,3
Karlsruhe Markt	0,2	0,14	0,001	0,002	0,005	0,014	0,3
Neureut	0,5	0,27	0,002	0,003	0,008	0,026	0,6
Eggenstein	1,2	0,53	0,005	0,008	0,017	0,055	1,2
Leopoldshafen	0,9	0,35	0,004	0,006	0,015	0,052	1,0
Linkenheim	0,8	0,33	0,004	0,006	0,013	0,047	0,9
Hochstetten	0,5	0,26	0,002	0,004	0,009	0,034	0,6
Liedolsheim	0,3	0,19	0,001	0,002	0,006	0,021	0,4
Rußheim	0,2	0,15	0,001	0,002	0,005	0,015	0,3
Leimersheim	0,3	0,17	0,001	0,002	0,006	0,018	0,4
Weide südl. Bruchsal			0,0005				
Nordtor	9	1,0	0,026	0,045	0,09	0,25	10
Südtor	6	2,1	0,014	0,022	0,06	0,15	7
Zaun NO von FR2	13	3,7	0,025	0,033	0,09	0,27	14
Zaun SW von FR2	7	2,0	0,014	0,023	0,07	0,14	8

Tab. 6 Ortsdosen infolge radioaktiver Emissionen im Jahre 1974

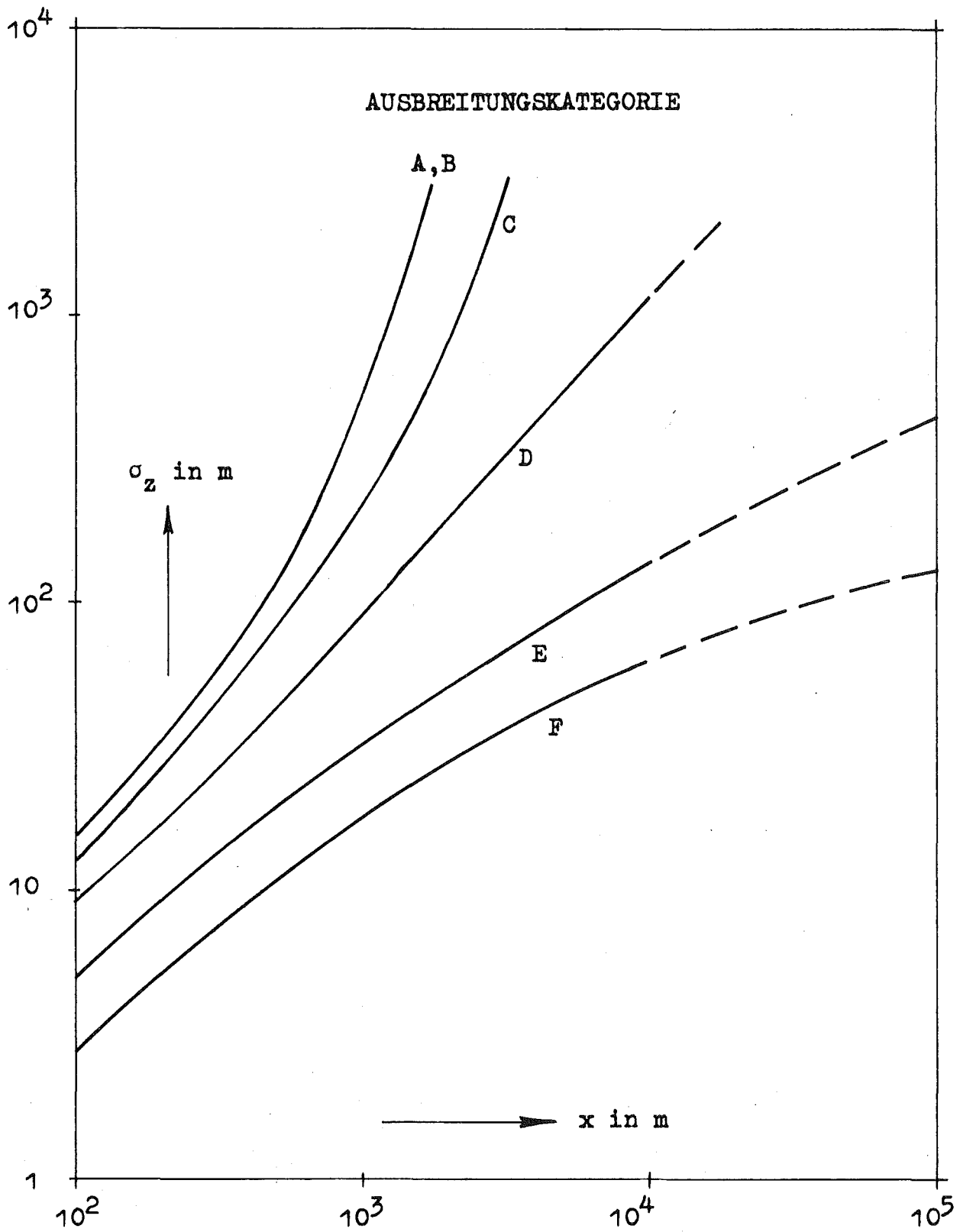


Abb. 1 Ausbreitungsparameter $\sigma_z(k)$ für den Standort des KFZK

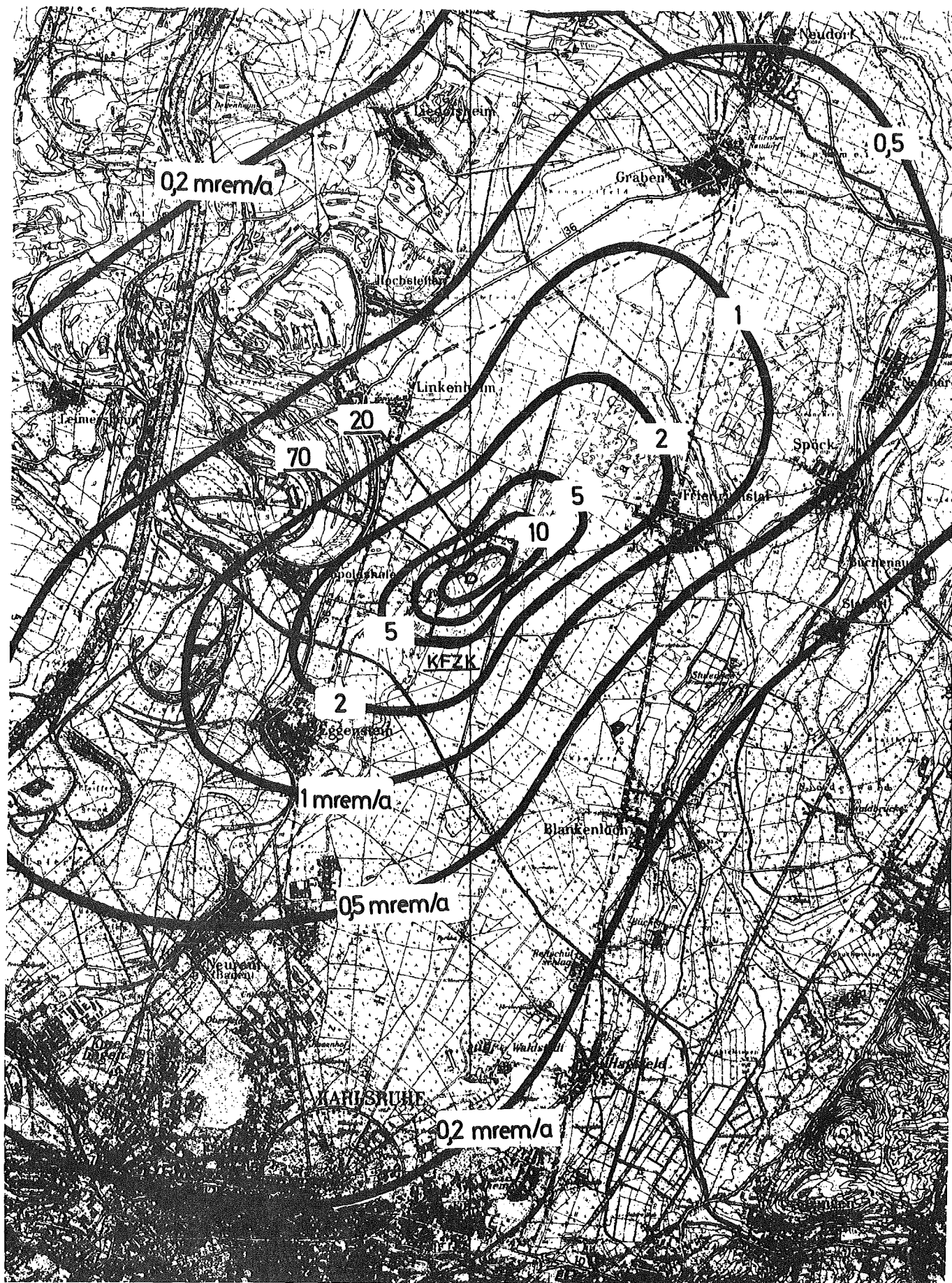


Abb. 2 ISOLINIEN DER γ -DOSIS
PROGNOSE FÜR 1975

0 5 km

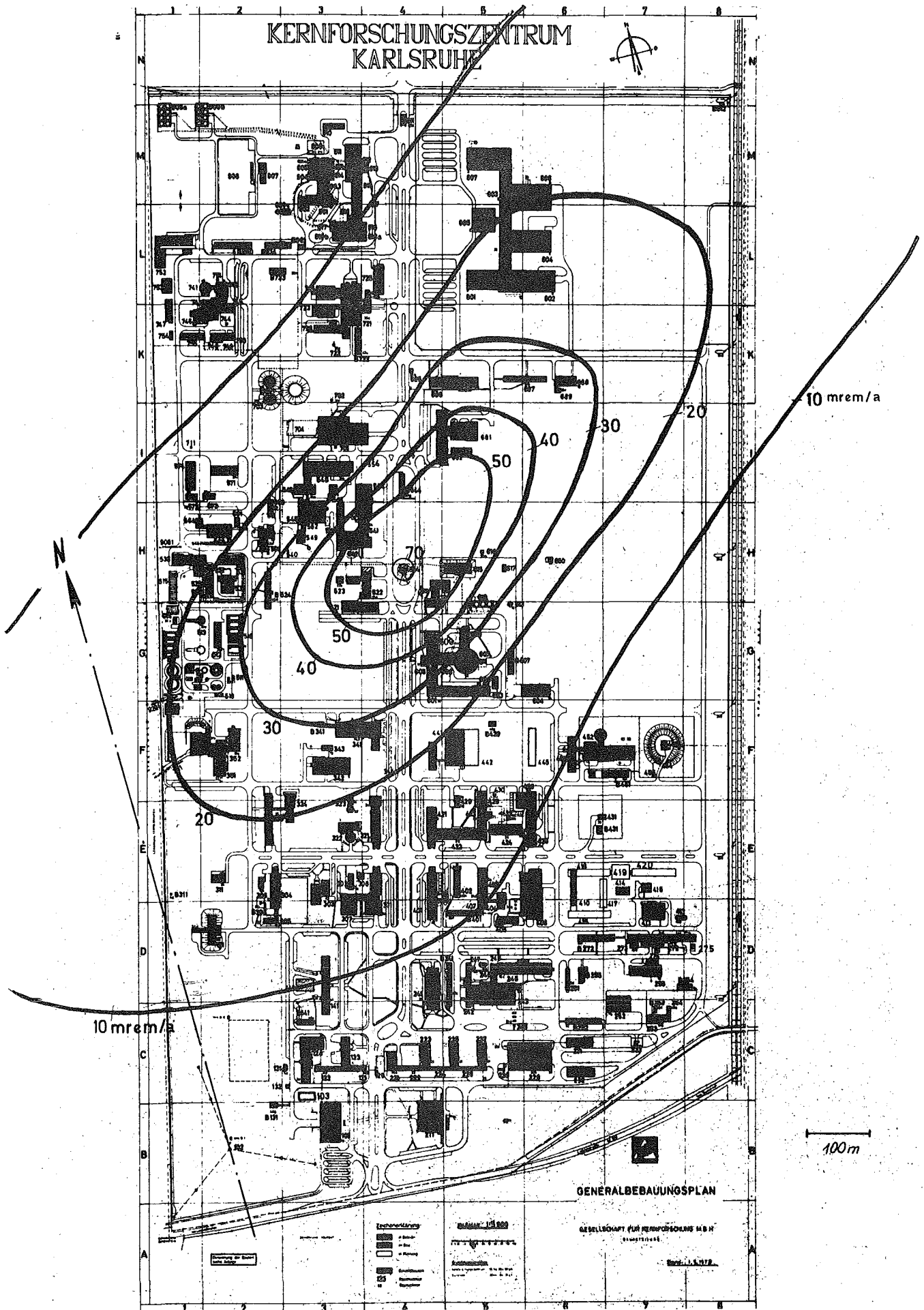
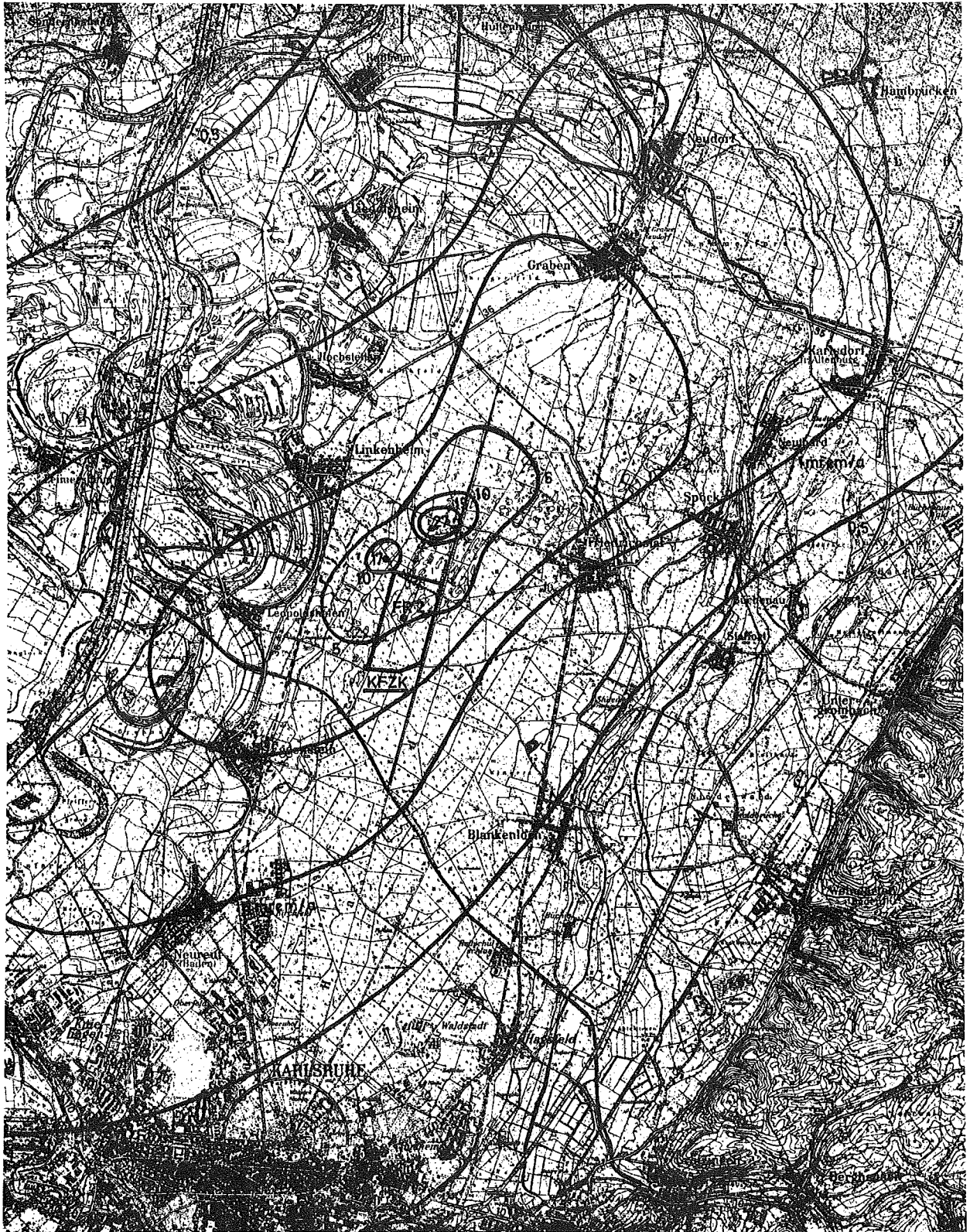


Abb. 3 Isolinien der γ -Dosis im Bereich des KFZK
Prognose für 1975



0 5 km

Abb. 4 ISOLINIEN DER β -SUBMERSIONSDOSIS
PROGNOSE FÜR 1975



Abb. 5 ISOLINIEN DER JOD-INHALATIONSDOSE
PROGNOSE FÜR 1975

0 5 km