



KfK 2652
August 1978

**Berechnung der radiologischen
Belastung der Umgebung des
Kernforschungszentrums
Karlsruhe durch die Emission
radioaktiver Stoffe in die
Atmosphäre in den Jahren
1977 und 1978**

W. Hübschmann, D. Papadopoulos, D. Nagel
Abteilung Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe

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

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Abteilung Sicherheit

KfK 2652

Berechnung der radiologischen Belastung der Umgebung des
Kernforschungszentrums Karlsruhe durch die Emission radio-
aktiver Stoffe in die Atmosphäre in den Jahren
1977 und 1978

W. Hübschmann
D. Papadopoulos
D. Nage1

Kurzfassung

Die Strahlenbelastung der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KfK) 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 des KfK für das Jahr 1978 und der Antragswerte des Kernkraftwerks Philippsburg I (KKP I) maximal zu erwartenden Dosen als auch die aufgrund der gemessenen Emissionen im Jahre 1977 abgeschätzten Dosen. Entsprechend der unterschiedlichen biologischen Wirkung der abgegebenen Nuklide werden folgende Strahlendosen - jeweils auf einen Erwachsenen bezogen - angegeben:

- Ganzkörperdosis durch äußere γ -Strahlung, durch H-3- und C-14-Inhalation und durch C-14- und Sr-90-Ingestion,
- Hautdosis durch äußere β -Strahlung,
- Lungendosis durch Aerosol-Inhalation,
- Knochendosis durch Plutonium-Inhalation und Sr-90-Ingestion.

Die auf ein Kleinkind bezogene Schilddrüsendosis durch Ingestion und/oder Inhalation von Radiojod wird ebenfalls angegeben.

Anhand der jeweiligen Dosismaxima wird gezeigt, daß die nach der Strahlenschutzverordnung gültigen Grenzwerte [z.B. 30 mrem/a Ganzkörperdosis (Erwachsener) und 90 mrem/a Schilddrüsendosis (Kleinkind)] im Jahre 1977 deutlich unterschritten wurden und bei Einhaltung des Abluftplanes des KfK und der Antragswerte des KKP I im Jahre 1978 nicht überschritten werden.

Die mittlere Ganzkörperdosis der Bevölkerung im Umkreis von 20 km um das KfK betrug im Jahre 1977 0,15 mrem.

Summary

The calculated radiological impact on the environment of the Karlsruhe Nuclear Research Center due to the emission of radioactive substances into the atmosphere during the years 1977 and 1978

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 to the permissible equivalent doses. This report includes both the actual doses in 1977 due to the activity released and the maximum doses to be reached in 1978 due to the scheduled activity releases from the KNRC and the nuclear power station Philippsburg I. According to the various biological effects of the nuclides emitted, the following doses are indicated, each calculated for an adult: whole body dose by external γ -irradiation, by H-3 and C-14 inhalation and by C-14 and Sr-90 ingestion, skin dose by external β -irradiation, lung dose by aerosol inhalation, bone dose by plutonium inhalation and Sr-90 ingestion. The maximum infant thyroid dose due to iodine ingestion and for inhalation is also indicated. The respective maximum doses indicate that the dose limits, given in the Radioation Protection Order, for instance 30 mrem/a whole body dose (adult) and 90 mrem/a thyroid dose (infant), will not be exceeded in 1978 provided the emissions remain below the scheduled maximum level. The doses in 1977 were markedly below these dose limits.

The average whole body dose rate in 1977 of the population in a radius of 20 km around the KNRC was 0.15 mrem/a.

1. Aufgabe

Im Rahmen der Überwachungsaufgaben der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit im Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) wird alljährlich ein Abluftplan erstellt, der die im Folgejahr maximal zu erwartenden Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft sämtlicher Emittenten im Bereich des KfK enthält. Auf der Grundlage dieses Abluftplanes* sowie der Antragswerte des Kernkraftwerkes Philippsburg I (KKP I) werden die maximal zu erwartenden radiologischen Belastungen in der Umgebung des KfK 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 Umgebung des KfK. Diese letztere Berechnung stützt sich auf die im Rahmen der Abluftüberwachung gemessenen Emissionen.

Dabei wird geprüft, ob die behördlichen Auflagen bezüglich der Umgebungsbelastung des KfK eingehalten werden: Die Ganzkörper-Äquivalentdosis einer angenommenen Person an einem beliebigen (gleichbleibenden) Aufpunkt in der Umgebung des KfK soll den Wert von 30 mrem/a nicht überschreiten, und unabhängig davon soll die Schilddrüsen-Äquivalentdosis eines Kleinkindes bei Berücksichtigung der Ingestion von Radiojod über den Weide-Kuh-Milch-Pfad unter 90 mrem/a bleiben. Diese Grenzwerte gelten auch dann, wenn am jeweils ungünstigsten Aufpunkt keine Möglichkeit des ständigen Aufenthaltes von Menschen bzw. des Betriebs von Weidewirtschaft gegeben ist.

2. Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft im KfK und im KKP I

2.1 Abluftplan 1978 des KfK und Antragswerte des KKP I

Die 27 Emittenten des KfK sowie ihre im Rahmen des Abluftplanes 1978 angemeldeten Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft sind in Tab. 1 zusammengestellt, zusammen mit den Antragswerten des KKP I, die /IR76/ entnommen wurden. Aufgrund der physikalischen sowie der meßtechnischen Gegebenheiten werden die nicht identifizierten Nuklide in 4 Nuklidgruppen eingeteilt, s. Tab. 2. Dies entspricht einer Einteilung in α -, β -, γ -Aktivität und Radiojod. Gegenüber dem Abluftplan 1977 wurde die Ar-41-Emission des FR-2 von 120 000 auf 80 000 Ci/a und die Sr-90-Emission der

*Abluftplan 1978 des KfK in der Fassung vom 19.4.1978

WAK von 0,3 auf 0,1 Ci/a reduziert. Kleine Änderungen der zulässigen Emissionen einiger Emittenten fallen nicht ins Gewicht. Die Emittenten IAK, ABRA und TEK0 sind neu hinzugekommen.

2.2 Emissionen im Jahre 1977

Tab. 3 zeigt die tatsächlichen Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft im Jahre 1977. 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.

Zur Berechnung der Umgebungsbelastung liegen die monatlichen Emissionswerte vor. Da diese zum Teil stark schwanken, mußte - bis auf die Ar-41-Emission des FR-2 - mit monatlich unterschiedlichen, allerdings über einen Monat konstanten Emissionsraten gerechnet werden. Die Ar-41-Emission des FR-2 konnte als kontinuierlich angenommen werden.

3. Behandlung der emittierten Nuklide bzw. Nuklidgruppen

Zur Ermittlung der Dosen* in der Umgebung des KfK ist die Auswahl der zu verwendenden Dosisfaktoren (siehe Tab. 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 zu erwartenden Dosen mehr zulassen. Beiden Gesichtspunkten wurde im KfK durch die folgenden Überlegungen und Annahmen Rechnung getragen.

3.1 Gruppe A (α -Aktivität)

Filteranalysen haben gezeigt, daß unter den von den Instituten abgegebenen Nukliden der Gruppe A das Pu-239 bezüglich der verursachten Strahlendosis überwiegt. Es wurde daher bei allen Emittenten - mit Ausnahme der WAK und der ADB - angenommen, daß die Aktivität der Gruppe A 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 ver-

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

ursacht 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 Folgedosis berechnet. Diese ist ein Richtwert, der je nach Lebenserwartung eines Menschen unter- oder überschritten werden kann. Er ist nicht mit einer Jahresdosis, wie bei den anderen Dosisarten angegeben, vergleichbar.

WAK und ADB geben ein α -aktives Nuklidgemisch ab. Zur Berechnung des gemittelten Dosisfaktors, siehe Tab. 4, wurde angenommen, daß Brennelemente mit folgenden Eigenschaften verarbeitet werden: auf 3 % angereichertes Uran, Leichtwassermoderierter Reaktor, Abbrand 34 000 Mwd/t Schwermetall, Kühlzeit 3 Jahre. Das zugehörige Nuklidgemisch wurde aus Tab. 5 in /HA74/ entnommen. Die Dosisfaktoren der Nuklide dieses Gemisches wurden aus /RA75/, /PA78/ oder /C072/ übernommen.

3.2 Gruppe B (β -Aktivität)

Die in Gruppe B zu berücksichtigenden Nuklide sind meist Spaltprodukte, deren Alter die Nuklidzusammensetzung bestimmt. Für Reaktoren und Institute wird zur Berechnung des Lungendosisfaktors ein Gemisch mit 6 Stunden Kühlzeit (ohne Berücksichtigung des Sr-Anteils) angenommen. Für die WAK und die ADB wurden die Zusammensetzung der β -aktiven Nuklide aus /HA74/ und die Dosisfaktoren aus /RA75/ oder /C072/ übernommen. Soweit in /RA75/ und /C072/ keine Dosisfaktoren angegeben sind, wurden diese aus den in /IC59/ angegebenen Daten berechnet.

Sr-90 trägt zur Ganzkörper- und Knochendosis durch Ingestion pflanzlicher Nahrungsmittel bei. Der zulässige Anteil dieses Nuklids in der Gruppe B ist im Abluftplan auf 10 %, für das KKP I auf 1 % und für die WAK - abweichend von den übrigen Emittenten des KfK - auf 0,1 Ci/a begrenzt. Nach diesen Angaben ist der Hauptemittent an Sr-90 die WAK.

3.3 Gruppe C, Tritium und Edelgase

C-14 verursacht eine Ganzkörperdosis durch Inhalation wie auch durch Ingestion. Die β -Haut- und γ -Ganzkörperdosis 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 von den einzelnen Emittenten des KfK 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 den FR-2 kommt eine Abgabe sowohl als Ar-41 als auch als Tritium in Frage. Beide Möglichkeiten wurden berücksichtigt.

Das Edelgas-Nuklidgemisch des KKP I zeigt Tab. 5. Der Haut-Dosisfaktor und die Gammadosisleistungskonstante dieses Gemisches wurde entsprechend den Nuklidanteilen gemittelt. Dabei wurde eine mittlere γ -Energie $E_\gamma = 0,2$ MeV angenommen.

3.4 Radioaktives Jod

Das Alter der Spaltprodukte bestimmt das radiologisch überwiegende Isotop. Bei den Reaktoren kann die Emission beliebiger Jod-Isotope 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, wurde im Abluftplan die Jod-Emission als Jod-131-Äquivalent angegeben. Dieses Äquivalent \dot{A}_{131}^{zul} ist für ein Jodisotop i wie folgt definiert:

$$\dot{A}_{131}^{zul} = \frac{1}{f_i} \dot{A}_i^{zul}$$

$$f_i = \frac{G_{131}}{G_i}$$

\dot{A} = Quellstärke in mCi/a.

G = Ingestionsdosisfaktor für die Schilddrüse

Das Jod-131-Äquivalent erzeugt bei einem Kleinkind jeweils die gleiche Schilddrüsendosis, unabhängig vom emittierten Jodisotop. Für die Bestimmung der f_i Faktoren siehe /PA77/. Für das organisch gebundene Jod beträgt der Dosisfaktor 1/100 desjenigen für elementares Jod /BI77/.

Beispiel: Für $i = 129$ ergibt sich $f_{129} = 0,264$, d.h. das Jod-131-Äquivalent der WAK von 40 mCi/a (siehe Tab. 1) läßt eine J-129-Emission von 10,56 mCi/a zu.

Bei der Berechnung der Schilddrüsendosis im Jahr 1977 wurden die nuklid-spezifisch gemessenen Jod-Emissionen eingesetzt.

4. Ausbreitungsklimatologische Parameter

Die für die Ausbreitungsrechnung benötigten meteorologischen Parameter werden am 200 m hohen Meßturm gemessen. 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 ist für Emissionen in 100 m Höhe repräsentativ. Für andere Emissionshöhen wird die Windgeschwindigkeit entsprechend dem Windgeschwindigkeitsprofil interpoliert.

Die Ausbreitungsparameter σ_z sind für den Standort des KfK ermittelt, siehe Abb. 1. Die Kuryenschar entspricht den Ergebnissen der Ausbreitungsversuche im KfK.

5. Berechnung der Äquivalentdosis

5.1 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. Für die Dosisberechnung des Jahres 1978 beträgt er jeweils ein Jahr. Im Abluftplan 1978 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 folgendermaßen verfahren: Beträgt die zulässige Wochenemission bis zu $1/50$ der Jahresemission, wird die Emission als kontinuierlich angenommen. Wird diese Grenze nicht eingehalten, dann müßte ein erhöhter Ausbreitungsfaktor für nichtkontinuierliche Emission angewendet werden. Um jedoch das Berechnungsverfahren nicht unangemessen aufwendig werden zu lassen, wird stattdessen mit einer erhöhten fiktiven Jahresemission gerechnet. Diese ist gleich der 50-fachen Wochenemission. Bei den in Tab. 1 mit * gekennzeichneten Emittenten ist die zulässige Wochenemission größer als $1/50$ der Jahresemission; daher wird mit erhöhter Jahresemission gerechnet. Die beiden Emittenten FR-2 und WAK 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.

Für die Berechnung der Dosen im Jahr 1977 ("Diagnose") liegen die im Rahmen der Abluftüberwachung gemessenen Emissionen vor. Zur Behandlung ungleichmäßiger Emissionen s. Kap. 2.2.

5.2 Von der Konzentration der Aktivität am Aufpunkt abhängige Dosen

Haut-, Inhalations- und Ingestionsdosen werden im allgemeinen als proportional zur Aktivitätskonzentration in der Nähe des Aufpunktes angenommen. Das Berechnungsverfahren für diese Dosen bzw. -Dosisleistungen ist daher das gleiche. Es ist in /H075-1/ beschrieben.

Das Rechenprogramm ISOLA II berechnet und zeichnet die Isolinien für gegebene Dosisleistungen.

5.3 Von der Verteilung der Aktivität im Raum abhängige Dosen

Wegen der geringen Schwächung der γ -Strahlung in Luft kann das unter 5.2 beschriebene Verfahren für die Berechnung der γ -Dosis nicht angewendet

werden. Hier muß man für jeden Aufpunkt die γ -Dosis als Summe der Dosisbeiträge der im Raum verteilten γ -Aktivität berechnen. Ein Verfahren zur Berechnung der γ -Dosis langzeitiger radioaktiver Emissionen in die Atmosphäre wurde in /H075-2/ 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 /NA75/. Das Rechenprogramm WOLGA 1 gibt die γ -Dosis D an einem beliebigen Aufpunkt in der Umgebung eines oder mehrerer Emittenten als Summe der Dosisbeiträge der Aktivität im Raum an; es berechnet und zeichnet die Isolinien für gegebenen Dosisleistungen.

6. Diskussion und Ergebnisse

Entsprechend der Klassifikation der Emissionen (siehe Kap. 3) wurden die Ganzkörper-, Schilddrüsen-, Haut-, Lungen-, und Knochendosis berechnet und zwar jeweils aufgrund des Abluftplanes 1978 und der Antragswerte des KKP I ('Prognose') und der tatsächlichen Emissionen im Jahr 1977 ('Diagnose'). Die Schilddrüsendosis bezieht sich auf Kleinkinder im ersten Jahr als kritische Bevölkerungsgruppe, alle übrigen Dosen auf Erwachsene.

Es handelt sich um Ortsdosen, die durch äußere Strahlung (β - und γ -Strahlen) und/oder durch innere Strahlung (nach Inhalation und/oder Ingestion) zusätzlich zur natürlichen Strahlung potentiell an diesem Ort verursacht werden können.

Eine gleichgroße Personendosis kommt nur unter folgenden Voraussetzungen zustande:

externe β - oder γ -Strahlung:

ständiger Aufenthalt der Person am selben Ort, ohne Berücksichtigung des Schutzes durch Kleidung oder Gebäude.

Inhalation:

ständiger Aufenthalt der Person am selben Ort.

Ingestion:

Verzehr von ausschließlich an diesem Ort erzeugten Nahrungsmitteln, z.B. Milch, Salat usw.

Die Dosis durch externe Strahlung, die Inhalationsdosis in einer Ortschaft und die höchste Ingestionsdosis in benachbarten bebauten Feldern sollten zu einer Personendosis summiert werden. Konservativ wird aber darüberhinaus angenommen, a) daß sich eine Person ganzjährlich an einem unbewohnten Ort aufhalten kann und dort externe Strahlung empfängt, inhaliert und Nahrungsmittel von benachbarten bebauten Feldern konsumiert, (fiktive Person), oder b) daß Nahrungsmittel auch in bisher nicht bebauten Gebieten erzeugt und in benachbarten Orten von tatsächlich dort lebenden Personen konsumiert werden (fiktive Nahrungsmittel). Es wird jedoch nicht unterstellt, daß fiktive Nahrungsmittel von fiktiven Personen konsumiert werden; denn diese Annahme wäre überkonservativ.

Für die Prognose 1978 werden die Ortsdosen in der Umgebung des KfK in Form von Isodosen und Tabellen angegeben und diskutiert. Koordinatenursprung ist der FR-2-Kaminfuß; X-Achse, ist die West-Ost-Richtung, Y-Achse die Süd-Nord-Richtung. Das KfK ist auf den Isodosenkarten eingezeichnet. Die maximalen Dosen in der Umgebung des KfK sind in der Tab. 7 eingetragen. Da die tatsächlich abgegebenen Emissionen im Jahr 1977 weit unter den genehmigten geblieben sind, sind die diagnostizierten Dosen nur in Tabellenform (Tab. 6) angegeben.

6.1 Ganzkörperdosis

Die Ganzkörperdosis wird durch äußere γ -Strahlung (Abb. 2) durch H-3- und C-14-Inhalation (Abb. 3) und durch C-14- und Sr-90-Ingestion (Abb. 4) verursacht.

Die mittlere Ganzkörperdosis der Bevölkerung im Umkreis von 20 km um das KfK betrug im Jahr 1977 0,15 mrem und wird im Jahr 1978 bei Einhaltung des Abluftplanes des KfK und der Antragswerte des KKP I nicht mehr als 0,22 mrem betragen.

6.2 Hautdosis

Die Hautdosis, siehe Abb. 5, wird durch die äußere β -Strahlung der radioaktiven Gase (Ar-41, Kr-85, Nuklidgruppe C und Edelgasgemisch des KKP I) erzeugt.

6.3 Lungendosis

Die Lungendosis, siehe Abb. 6, entsteht durch Inhalation der α - und β -Aerosole.

6.4 Knochendosis

Die Knochendosis wird durch Inhalation der Radionuklide der Gruppe A und durch Sr-90-Ingestion verursacht. Die errechnete Knochendosis ist über die folgenden 50 a integriert (siehe Kap. 3.1).

Wie die Ganzkörperdosis wurde auch die Knochendosis getrennt für die Belastungspfade Inhalation α -aktiver Nuklide der Gruppe A (hauptsächlich Pu-239) und Ingestion von Sr-90 berechnet. Für die Prognose zeigt Abb. 7 die Knochendosis durch Inhalation, Abb. 8 die Knochendosis durch Ingestion.

6.5 Schilddrüsendosis

Die Möglichkeit, die Jod-Emission durch ein Jod-Isotopen-Gemisch auszuschöpfen, führt zu einer Schilddrüsendosis, die durch Inhalation und/oder Ingestion verursacht werden kann. Durch das Konzept der Jod-Äquivalente (siehe Kap. 3.4) ist die Berechnung der Ingestionsdosis ohne Kenntnis der Nuklidzusammensetzung möglich. Für andere Expositionspfade ist die Bestimmung der Schilddrüsendosis ohne Definition des Jodgemisches nicht möglich. Wie die Erfahrung der letzten Jahren zeigt, wird die Jod-Emission der WAK und der ADB hauptsächlich als J-129, diejenige der Institute und Reaktoren in erster Linie als J-131 abgegeben. Diese durch langjährige Erfahrung begründete Annahme erlaubt, die Schilddrüsendosis als Ingestionsdosis zu berechnen. Das Dosismaximum liegt in der Nähe des KKP I (in Abb. 9 nicht enthalten) und wird vorwiegend durch dessen J-131-Emission verursacht. Durch die Emissionen des KfK wird ein Zweitmaximum am Zaun des KfK nordöstlich des FR-2 erwartet (siehe Abb. 9). Es wird

betont, daß in der Nähe des KKP I Weidewirtschaft möglich ist, im Unterschied zum Zweitmaximum, welches sich im Wald befindet.

6.6 Schlußfolgerung

Wie die Berechnung zeigt, werden im Jahre 1978 die Grenzwerte - u.a. 30 mrem/a für die Ganzkörperdosis eines Erwachsenen und 90 mrem/a für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes - durch die maximal zu erwartenden Emissionen aus dem KfK (laut Abluftplan 1978) und die Antragswerte des KKP I (laut /IR76/) nicht überschritten.

Die 'Diagnose' des Jahres 1977 zeigt, daß die radiologischen Belastungen durchweg unter den für das Jahr 1977 prognostizierten bleiben. Das ist eine Folge der nicht in voller Höhe ausgeschöpften Emissionen des Abluftplanes 1977.

7. Literatur

- /BI77/ Der Bundesminister des Innern:
Allgemeine Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der Strahlenexposition durch Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft. Empfehlung der Strahlenschutzkommission,
Bonn 1977
- /C072/ Comper, W.:
Berechnung der Dosisfaktoren radiologisch wichtiger Nuklide.
KfK 1615 (1972)
- /HA74/ Haug, H.O.:
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)

- /H075-1/ Hübschmann, W., Nagel, D.:
ISOLA II - Ein Fortran IV-Programm zur Berechnung der langfristigen Dosisverteilung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen.
KFK 2210 (1975).
- /H075-2/ Hübschmann, W., Papadopoulos, D.:
Berechnung der Dosisleistung durch Gammastrahlung aus der radioaktiven Abluftfahne eines Daueremittenten.
KFK 2172 (1975)
- /H078/ Hübschmann, W.G., Papadopoulos, D.:
Estimating Permissible Sr-90 Release Rates.
(in Vorbereitung)
- /IC59/ ICRP Publication 2 (Report of Committee II on Permissible Dose of Internal Radiation). London: Pergamon Press 1959
- /IR76/ IRS-Gutachten über die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung des Standortes für das Kernkraftwerk Philippsburg.
IRS 1976 (unveröffentlicht)
- /NA75/ Nagel, D., Papadopoulos, D.:
WOLGA 1 - Ein FORTRAN IV-Programm zur Berechnung der Dosisleistung durch Gammastrahlung aus der radioaktiven Abluftfahne eines Daueremittenten.
KFK 2189 (1975)
- /PA77/ Papadopoulos, D., Thomas, P.:
Verhältnis der Dosisfaktoren der Jodisotope.
KFK 2544 (1977)
- /PA78/ Papadopoulos, D.:
Inhalationsdosisfaktoren für Plutonium, im Jahresbericht 1977 der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit des Kernforschungszentrums Karlsruhe.
KFK 2620 (1978)
- /RA75/ Reactor Safety Study. WASH 1400 (1975)

Tab. 1 Emission im Bereich des KfK laut Abluftplan 1978 und Antragswerte des KKP I

| 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 /LAVA | 60 | 100 | 1250 | 10 | 2000 | 400 | 350000 | - | 1000 | 40 |
| 2 | FR-2 | 99 | 0 | 0 | 0,3 | 150 | 2000 | - | 80000 | 1000 | 50 |
| 3 | KNK* | 99 | -160 | 530 | 0,3 | 150 | 8000 | - | - | - | 10 |
| 4 | MZFR* | 99,5 | -40 | 610 | 0,3 | 150 | 3000 | - | - | 4000 | 50 |
| 5 | RBT/Z* | 60 | -40 | 300 | 0,8 | 400 | 1000 | - | - | - | 10 |
| 6 | IHCH 721* | 60 | -10 | 380 | 0,8 | 100 | 800 | - | - | - | 10 |
| 7 | ADB-534* | 8 | -310 | 50 | 0,01 | 10 | - | - | - | 1 | - |
| 8 | ADB-536* | 70 | -340 | 90 | 2 | 400 | 1000 | - | - | - | 10 |
| 9 | ADB-545* | 19 | -110 | 130 | 0,03 | 15 | 100 | - | - | - | 4 |
| 10 | ADB-548* | 15 | -70 | 170 | 0,025 | 7 | 30 | - | - | - | 0,2 |
| 11 | ZYKL* | 36 | -370 | -150 | 0,3 | 15 | 500 | - | - | - | 0,2 |
| 12 | SNEAK* | 50 | 250 | -400 | 0,2 | 100 | 200 | - | - | - | 3 |
| 13 | TU* | 50 | 360 | 550 | 0,03 | 10 | 30 | - | - | - | 2 |
| 14 | IRCH* | 15 | -160 | -280 | 0,01 | 1 | 90 | - | - | - | 2 |
| 15 | IMF I* | 9 | 150 | 190 | 0,016 | - | - | - | - | - | - |
| 16 | IMF III* | 5 | -300 | 210 | 0,03 | - | - | - | - | - | - |
| 17 | LIT-403* | 10 | 0 | -540 | - | 15 | - | - | 0,5 | -0,25 | - |
| 18 | INR* | 15 | 20 | -420 | - | - | - | - | - | 50 | - |
| 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 | 0,03 | - | - | - | - |
| 22 | IK/ITP* | 12 | -100 | -520 | - | - | - | - | - | - | 0,05 |
| 23 | LAF-II* | 8 | 250 | -610 | - | - | - | - | - | - | 0,81 |
| 24 | RBT-605* | 15 | -10 | -180 | - | - | - | - | 10 | 3 | - |
| 25 | IAK* | 10 | 90 | -410 | - | - | - | - | - | 0,05 | - |
| 26 | ABRA* | 60 | -255 | 335 | 0,015 | 0,025 | - | - | - | - | - |
| 27 | TEKO* | 58 | 315 | -230 | 0,05 | - | - | - | - | - | - |
| 28 | KKP-I | 100 | 300 | 17600 | - | 4000 | 70000 Ci/a Edelgase; 25 Ci/a C-14 | | | 1000 | 303** |

*Es wird mit fiktiver (erhöhter) Emissionsrate gerechnet;

**Anteil elementaren Jods \leq 50 %

Tab. 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 Radiojodisotope*, Pb-210, Ac-227, Ra-228, Pu-241, Am-242m und Cf-254 unberücksichtigt bleiben können**. |
| C | H-3, N-13, C-14***, S-37, O,15, Cl-38, Ar-41, Spaltedelgase. |
| J | J-131-Äquivalent (siehe /PA77/ und Kap. 3.4) |

*Die Radiojodisotope müssen gesondert gemeldet werden.

**"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. Die Ableitungen an ^{90}Sr dürfen $\frac{1}{10}$ des für Nuklidgruppe B zugelassenen Aktivitätswertes, die Sr-90-Ableitung der WAK 100 mCi nicht überschreiten.

***Die ^{14}C -Ableitung in Gruppe C wird auf jeweils 10 % der in dieser Gruppe zulässigen Ableitung, aber nicht mehr als 10 Ci/a bzw. 1 Ci/Monat beschränkt.

Tab. 3 Mit der Abluft im Jahre 1977 emittierte Radioaktivität*

| Emittent | Emission je Nuklid bzw. Nuklidgruppe | | | | | | | | |
|-----------|--------------------------------------|-----------------|-------------------|----------------|-------------|-------------|-----------|-----------------------|--------------|
| | Kaminhöhe m | Gruppe A mCi | Gruppe B** mCi | Gruppe C Ci | Kr-85 Ci | Ar-41 Ci | H-3 Ci | Jod-Äquivalent mCi | Sr-90 mCi |
| WAK | 60 | 2,9 | 300 | | 114800 | | 190 | 8,2 | 20 |
| FR-2 | 99 | | 44 | | | 78800 | 192 | 2,3 | |
| KNK | 99 | | | 230 | | | | | |
| MZFR | 99,5 | | | 320 | | | 1020 | | |
| ADB-536 | 70 | 0,47 | 260 | | | | 330 | 15 | 0,6 |
| ABD-545 | 19 | 0,036 | | | | | 35 | 0,9 | |
| ADB-548 | 15 | 0,036 | | | | | | | |
| Zyklotron | 36 | | | 136 | | | | | |
| IHCH | 60 | | | 49 | | | | 0,75 | |
| IRCH | 15 | | | 38 | | | | 0,7 | |
| RBT/Z | 60 | | 6 | | | | | | |
| LAF | 8 | | | | | | | 0,2 | |

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

**incl. Sr-90-Anteil

Tab. 4 Dosisfaktoren und γ -Dosisleistungskonstanten

| Kritisches Organ bzw. Körperteil | Nuklid bzw. Nuklidgemisch | Belastungspfad | Kritische Bevölkerungsgruppe | Dosisfaktor $\frac{\text{rem m}^3}{\text{Ci s}}$ | γ -Dosisleistungskonstante $\frac{\text{rem m}^2}{\text{Ci s}}$ | Referenz |
|----------------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|--|--|-----------|
| Ganzkörper | Ar-41 | äußere γ -Strahlung) | Erwachsene | - | $1,8 \cdot 10^{-4}$ | BI77 |
| | Edelgase, KKP-I | äußere γ -Strahlung) | " | - | $0,42 \cdot 10^{-4}$ | s.Kap.3.3 |
| | H-3 | Inhalation und Hautatmung) | " | 0,09 | - | C072 |
| | C-14 | Inhalation | " | 0,1 | - | C072 |
| | C-14 | Ingestion | " | 11,4 | - | BI77 |
| | Sr-90 | Ingestion | " | 170 | - | H078 |
| Knochen | Sr-90 | Ingestion | Erwachsene | 12 000 | - | H078 |
| | "frisches Gemisch A" | Inhalation | " | 200 000 | - | PA78 |
| | "altes Gemisch A" | " | " | 150 000 | - | s.Kap.3.1 |
| Lunge | Gemisch A | Inhalation | Erwachsene | 67 000 | - | s.Kap.3.2 |
| | "frisches Gemisch B" | " | " | 37 | - | s.Kap.3.2 |
| | "altes Gemisch B" | " | " | 190 | - | s.Kap.3.2 |
| Haut | Ar-41 | äußere β -Strahlung | Erwachsene | 0,1 | - | BI77 |
| | Kr-85 | " | " | 0,043 | - | BI77 |
| | Edelgase, KKP-I | " | " | 0,1 | - | s.Kap.3.3 |
| Schilddrüse | J-129 (elementar) | Ingestion | Kleinkinder | 185 000 | - | PA77 |
| | J-131 " | " | " | 48 900 | - | PA77 |
| | J-131 (org. geb.) | " | " | 490 | - | s.Kap.3.4 |

Tab. 5 Edelgas-Nuklidgemisch in der Abluft eines Kernkraftwerkes mit Siedewasserreaktor nach /IR76/, Hautdosisfaktoren und Gamma-dosisleistungskonstanten nach /BI77/

| Nuklid | Anteil | g (Haut) $\frac{\text{rem} \cdot \text{m}^3}{\text{Ci} \cdot \text{s}}$ | I_γ (Ganzkörper) $\frac{\text{rem} \cdot \text{m}^2}{\text{Ci} \cdot \text{s}}$ |
|----------|--------|--|---|
| Kr-83 m | 0,001 | 0 | $2,2 \cdot 10^{-5}$ |
| Kr-85 m | 0,011 | 0,049 | $3,5 \cdot 10^{-5}$ |
| Kr-85 | 0,168 | 0,043 | $0,034 \cdot 10^{-5}$ |
| Kr-87 | 0,008 | 0,29 | $15 \cdot 10^{-5}$ |
| Kr-88 | 0,008 | 0,084 | $34 \cdot 10^{-5}$ |
| Kr-89 | 0,073 | 0,54 | $28 \cdot 10^{-5}$ |
| Xe-131 m | 0,018 | 0,0018 | $1,5 \cdot 10^{-5}$ |
| Xe-133 m | 0,0001 | 0,0088 | $1,4 \cdot 10^{-5}$ |
| Xe-133 | 0,567 | 0,012 | $1,4 \cdot 10^{-5}$ |
| Xe-135 m | 0,007 | 0,015 | $7 \cdot 10^{-5}$ |
| Xe-135 | 0,008 | 0,064 | $3,8 \cdot 10^{-5}$ |
| Xe-137 | 0,085 | 0,42 | $2,4 \cdot 10^{-5}$ |
| Xe-138 | 0,046 | 0,23 | $13 \cdot 10^{-5}$ |

Tab. 6 Ortsdosen in mrem durch die im Jahre 1977 emittierten radioaktiven Stoffe

| Belastungspfad Körperteil/Organ Aktivität | Submersion | | Inhalation | | | Ingestion | | |
|---|-----------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------|--------------------|
| | Ganzkörper γ -Aktivität | Haut β -Aktivität | Lunge Gruppe A+B | Ganzkörper H-3 und C-14 | Knochen* Gruppe A | Ganzkörper C-14 und Sr-90 | Knochen* Sr-90 | Schilddrüse Jod |
| <u>O r t</u> | | | | | | | | |
| Graben | 0,7 | 0,8 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,13 |
| Neudorf | 0,5 | 0,6 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,10 |
| Friedrichstal | 0,5 | 0,6 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,10 |
| Spöck | 0,3 | 0,4 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,06 |
| Neuthard | 0,5 | 0,5 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,08 |
| Karlsdorf | 0,4 | 0,4 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,06 |
| Staffort | 0,2 | 0,2 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,03 |
| Blankenloch | 0,2 | 0,2 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,04 |
| Hagsfeld | 0,2 | 0,2 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,04 |
| Karlsruhe-Markt | 0,2 | 0,2 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,04 |
| Neureut | 0,3 | 0,3 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,07 |
| Eggenstein | 1,0 | 0,6 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,15 |
| Leopoldshafen | 1,0 | 1,2 | 0,05 | 0,03 | 0,07 | 0,06 | 0,03 | 0,21 |
| Linkenheim | 0,6 | 1,0 | 0,05 | 0,02 | 0,08 | 0,04 | 0,04 | 0,13 |
| Hochstetten | 0,4 | 0,5 | 0,02 | 0,01 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,08 |
| Liedolsheim | 0,2 | 0,3 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,05 |
| Rußheim | 0,2 | 0,2 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,03 |
| Leimersheim | 0,4 | 0,4 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,07 |
| Nordtor | 8,7 | 5,1 | 0,25 | 0,15 | 0,36 | 0,45 | 0,13 | 1,3 |
| Südtor | 5,5 | 2,3 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,30 | 0,04 | 0,8 |
| Zaun NO vom FR-2 | 10,5 | 4,3 | 0,11 | 0,12 | 0,15 | 0,30 | 0,04 | 0,8 |
| Zaun SW vom FR-2 | 6,3 | 2,5 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,35 | 0,04 | 0,9 |
| maximale Dosis außerhalb des KfK | 13,1 | 10,3 | 0,5 | 0,2 | 0,9 | 0,6 | 0,5 | 1,3 |
| Koordinaten des Dosismaximums in m (außerhalb des x KfK) y | 390 680 | 370 1630 | 370 1630 | 370 940 | 370 1630 | -640 -370 | 370 1630 | 200 750 |

*Bei den Knochendosen handelt es sich um die über 50 Jahre integrierten Folgedosen (dose commitment)

Tab. 7 Abschätzung der Ortsdosen in der Umgebung des KfK auf der Basis des Abluftplanes 1978 und der Antragswerte des KKP I, Ortsdosen in mrem

| Belastungspfad Körperteil/Organ Aktivität | Submersion | | Inhalation | | | Ingestion | | |
|---|---------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------|--------------------|
| | Ganzkörper γ-Aktivität | Haut β-Aktivität | Lunge Gruppe A+B | Ganzkörper H-3 und C-14 | Knochen* Gruppe A | Ganzkörper C-14 und Sr-90 | Knochen* Sr-90 | Schilddrüse Jod |
| <u>Ort</u> | | | | | | | | |
| Graben | 0,8 | 1,9 | 0,13 | 0,20 | 0,21 | 0,17 | 0,27 | 0,81 |
| Neudorf | 0,6 | 1,4 | 0,10 | 0,15 | 0,15 | 0,13 | 0,20 | 0,62 |
| Friedrichstal | 0,6 | 1,3 | 0,09 | 0,18 | 0,14 | 0,16 | 0,20 | 0,62 |
| Spöck | 0,4 | 0,7 | 0,05 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 0,36 |
| Neuthard | 0,6 | 1,0 | 0,07 | 0,12 | 0,11 | 0,10 | 0,15 | 0,47 |
| Karlsdorf | 0,4 | 0,8 | 0,05 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,11 | 0,35 |
| Staffort | 0,3 | 0,5 | 0,03 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,08 | 0,25 |
| Blankenloch | 0,3 | 0,6 | 0,04 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,31 |
| Hagsfeld | 0,3 | 0,5 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,24 |
| Karlsruhe-Markt | 0,2 | 0,5 | 0,03 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,23 |
| Neureut | 0,4 | 0,9 | 0,06 | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,14 | 0,43 |
| Eggenstein | 1,7 | 2,1 | 0,15 | 0,33 | 0,25 | 0,30 | 0,36 | 1,07 |
| Leopoldshafen | 1,3 | 3,4 | 0,25 | 0,35 | 0,39 | 0,30 | 0,48 | 1,30 |
| Linkenheim | 0,9 | 2,1 | 0,16 | 0,24 | 0,26 | 0,24 | 0,33 | 0,90 |
| Hochstetten | 0,6 | 1,6 | 0,12 | 0,17 | 0,19 | 0,16 | 0,23 | 0,67 |
| Liedolsheim | 0,4 | 1,0 | 0,07 | 0,10 | 0,11 | 0,09 | 0,14 | 0,50 |
| Rußheim | 0,2 | 0,7 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,10 | 0,45 |
| Leimersheim | 0,4 | 0,8 | 0,06 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,12 | 0,43 |
| Nordtor | 14,0 | 13,7 | 1,27 | 2,32 | 2,20 | 3,70 | 3,90 | 8,63 |
| Südtor | 6,0 | 5,7 | 0,45 | 2,65 | 0,83 | 1,78 | 1,58 | 3,73 |
| Zaun NO vom FR-2 | 13,0 | 8,9 | 0,67 | 2,04 | 1,26 | 2,02 | 2,15 | 6,22 |
| Zaun SW vom FR-2 | 8,0 | 7,5 | 0,52 | 2,17 | 0,96 | 2,29 | 1,45 | 4,50 |
| maximale Dosis außerhalb des KfK | 18,0 | 24,0 | 1,8 | 3,0 | 2,7 | 3,7 | 3,9 | 8,7 |
| Koordinaten des Dosismaximums in m (außerhalb des KfK) | x -570 y 0 | 520 1480 | 520 1480 | -570 0 | 520 1480 | 200 750 | 200 750 | 200 750 |

*Über 50 Jahre integrierte Folgedosen

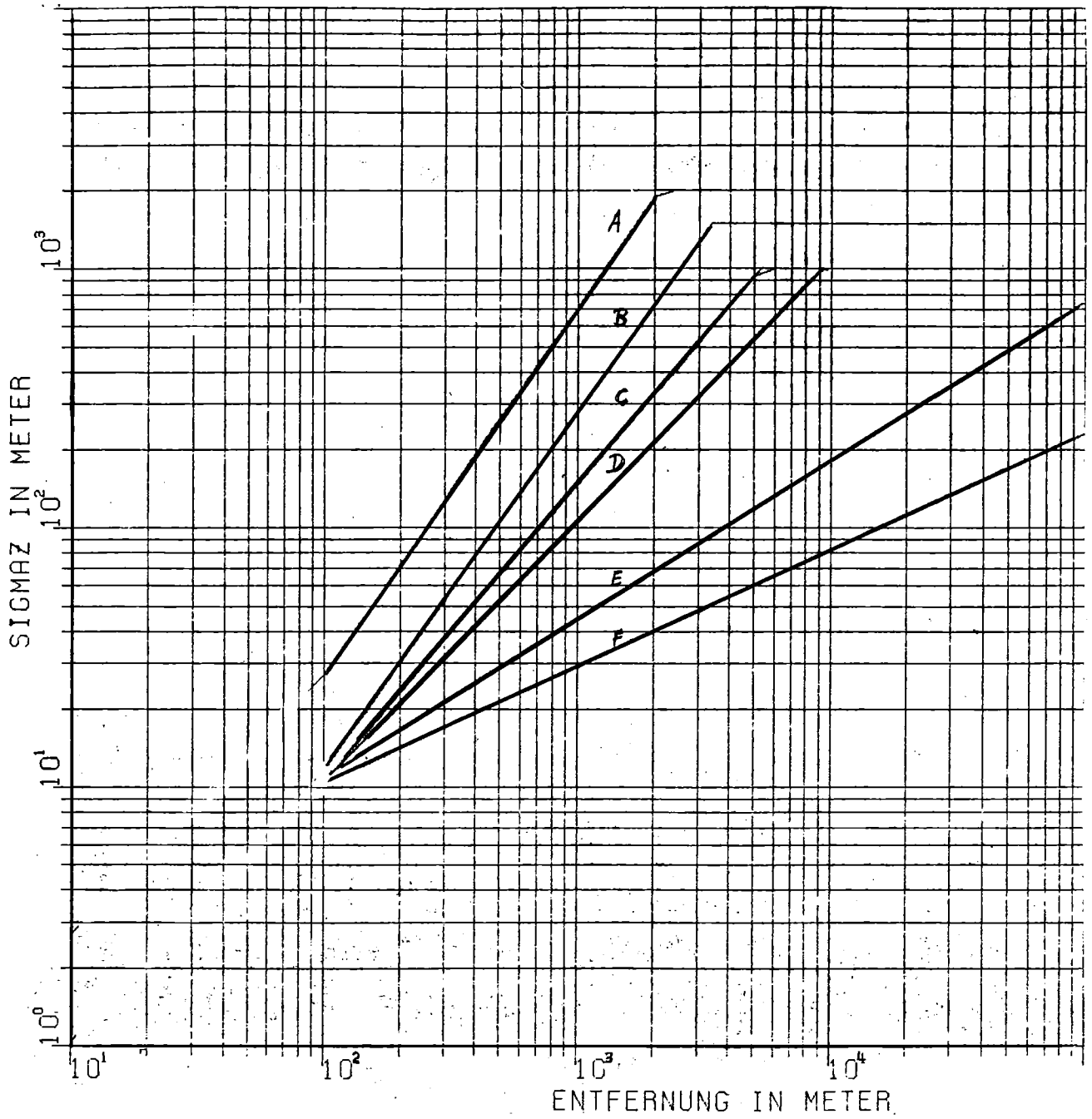


ABB. 1 AUSBREITUNGSPARAMETER $\sigma_z(x)$ FÜR DEN STANDORT DES KFK

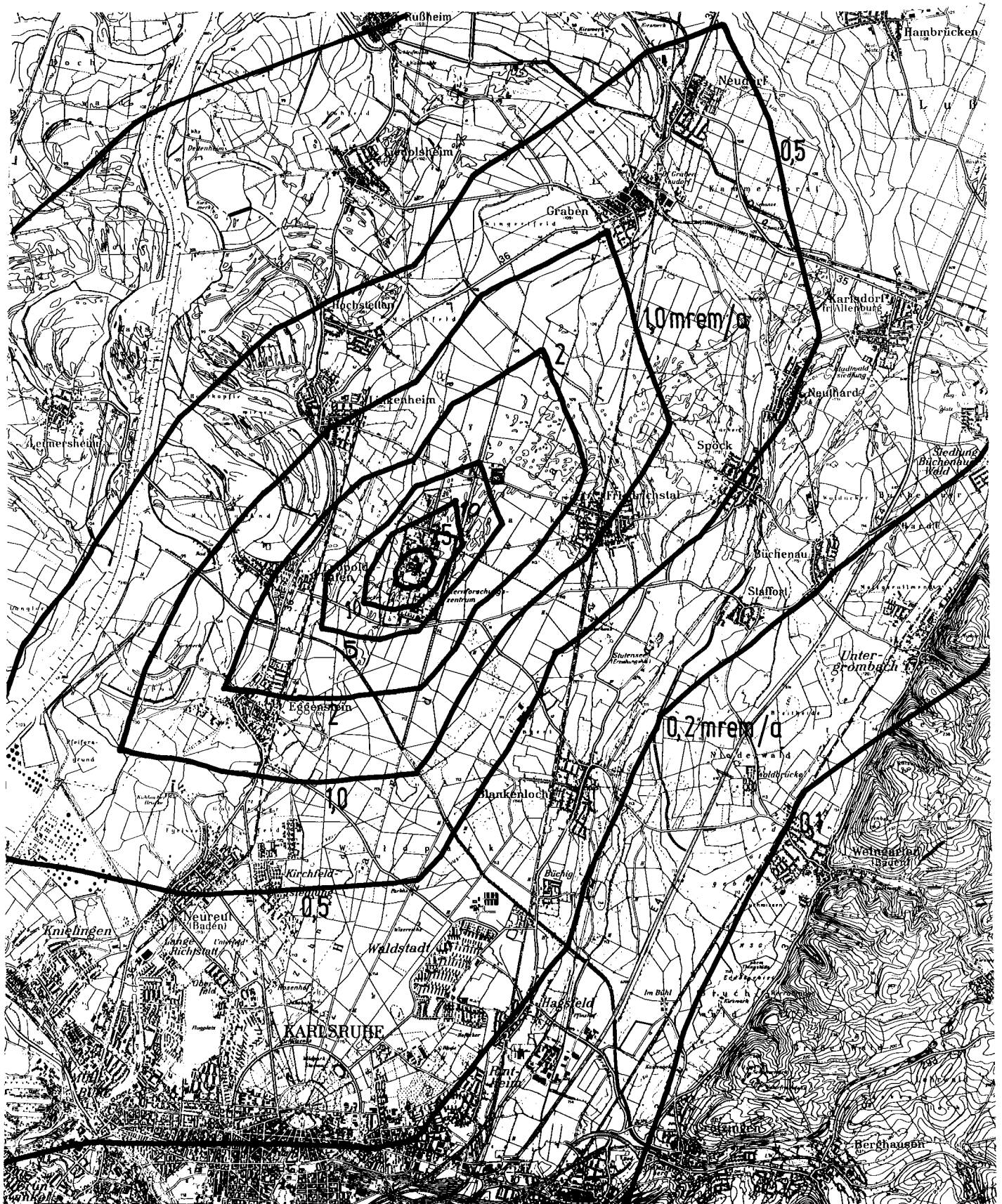


ABB. 2: GANZKÖRPERDOSIS DURCH ÄUSSERE GAMMASTRAHLUNG, PROGNOSE 1978



Abb. 3 : GANZKÖRPERDOSIS DURCH H-3-UND C-14-INHALATION
 PROGNOSE 1978.

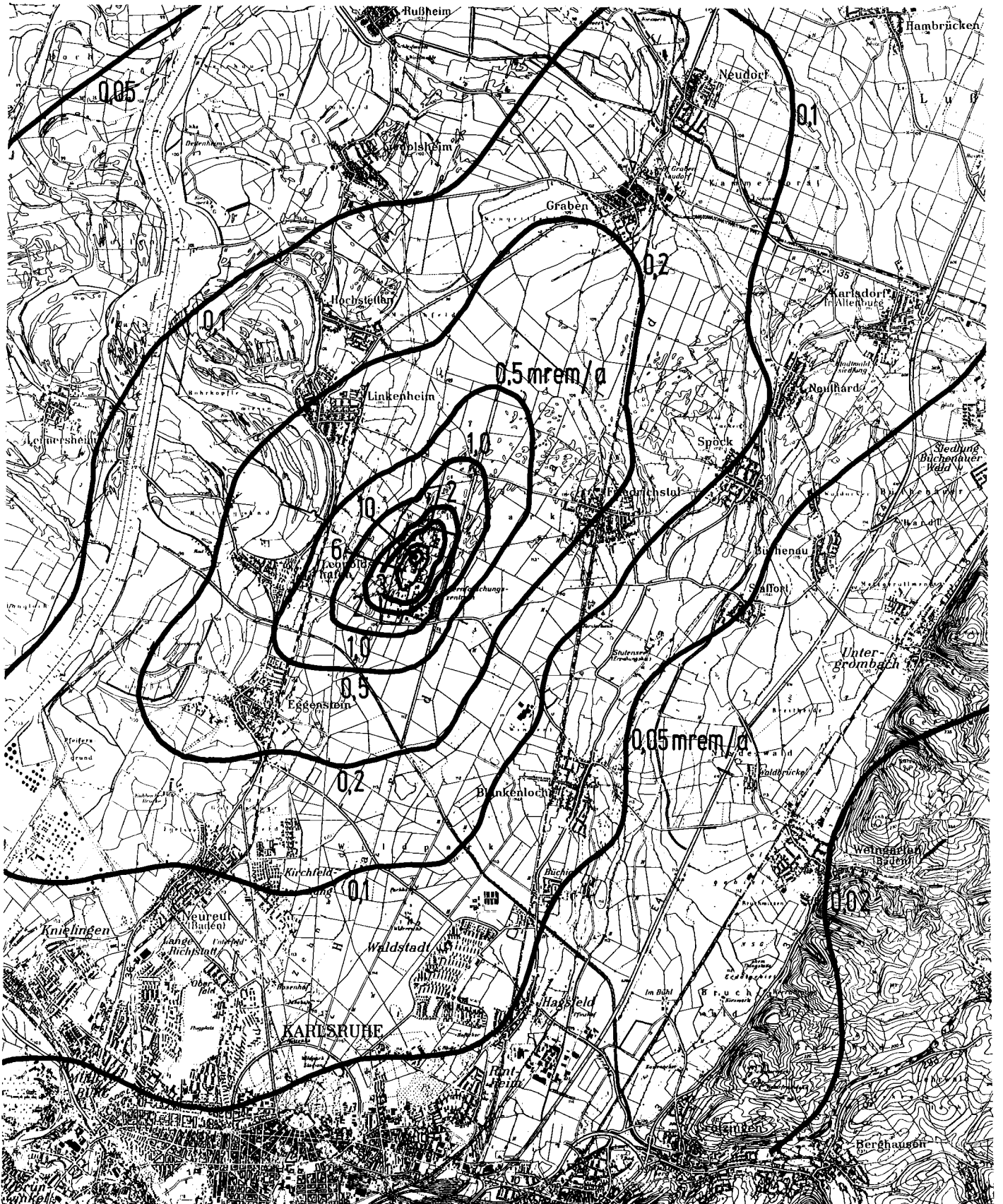


ABB. 4: GANZKÖRPERDOSIS DURCH C-14-UND Sr-90-INGESTION, PROGNOSE 1978



Abb. 5 : HAUTDOSIS DURCH EXTERNE BETA STRALUNG
 PROGNOSE 1978.



ABB.6 : LUNGENDOSIS DURCH AEROSOL-INHALATION, PROGNOSE 1978

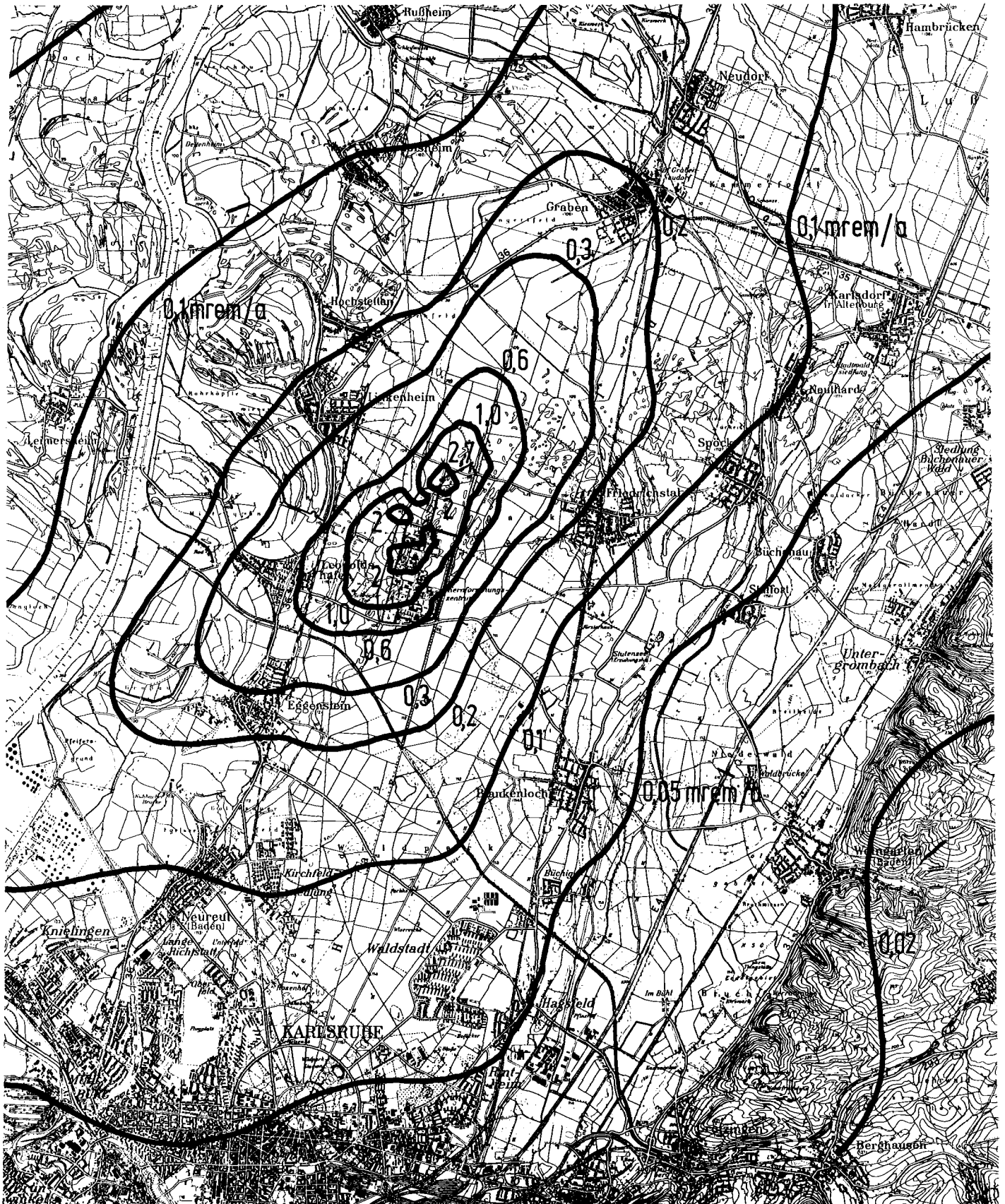


ABB.7: KNOCHENDOSIS DURCH INHALATION α -AKTIVER AEROSOLE, PROGNOSE 1978



ABB.8: KNOCHENDOSIS DURCH INGESTION Sr-90 , PROGNOSE 1978

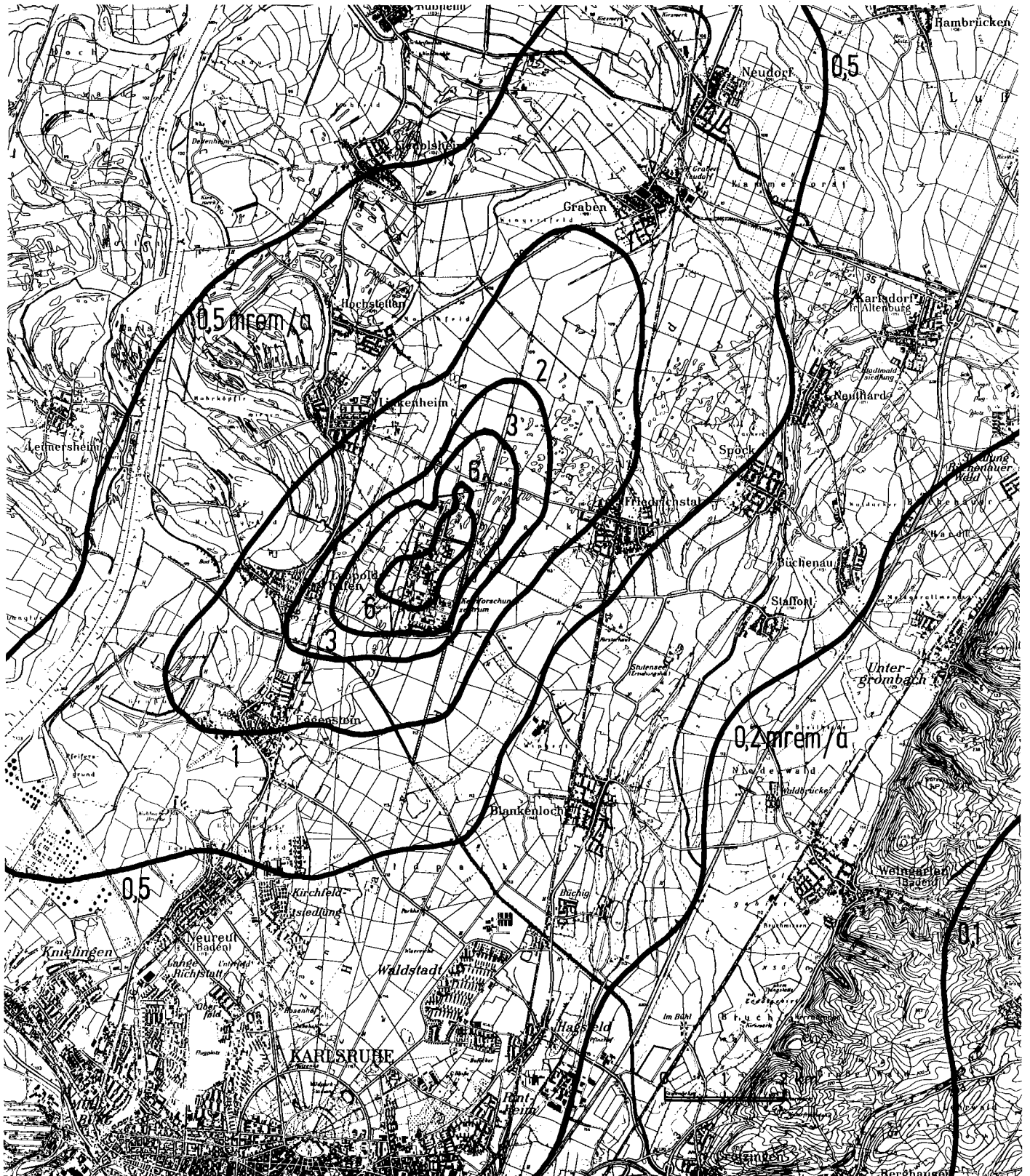


Abb. 9 : SCHILDDRÜSENDOSE DURCH JOD-INGESTION (KLEINKIND)
 PROGNOSE 1978.