

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

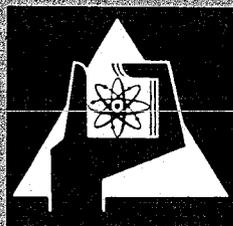
Mai 1972

KFK 1608

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

**Die maximal zu erwartende Strahlenbelastung
der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe
im Jahre 1972**

W. Hübschmann, 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

Mai 1972

KFK 1608

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Die maximal zu erwartende Strahlenbelastung der
Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe
im Jahre 1972

von

W. Hübschmann, D. Papadopoulos

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

Kurzfassung

Für das Kernforschungszentrum Karlsruhe und seine Umgebung wird jährlich die Strahlenbelastung infolge der zu erwartenden radioaktiven Emissionen in die Atmosphäre berechnet. Die Emissionen der Emittenten im Bereich des KFZK sind im Abluftplan 1972 zusammengestellt (Tab. 1). Wie im Vorjahr werden die wesentlichsten Beiträge von der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) und dem Forschungsreaktor FR 2 geliefert. Die voraussichtlichen Emissionen von Kr-85 und J-131 durch die WAK konnten jedoch niedriger angesetzt werden, so dass sich im Jahre 1972 etwas niedrigere β -Dosen und wesentlich reduzierte Jod-Dosen erwarten lassen. Die Berechnungsmethoden wurden verbessert, so dass nunmehr die tatsächliche geodätische Verteilung der einzelnen Emittenten berücksichtigt werden kann. Die zu erwartenden Strahlendosen der umliegenden Ortschaften liegen durchweg weit unter den zulässigen Werten. Das gilt auch unter dem Gesichtspunkt der neueren verschärften Anforderungen an kerntechnische Anlagen.

Abstract

The radiation doses at the Karlsruhe Nuclear Research Center and in its environment resulting from the expected radioactive emissions into the atmosphere are calculated annually. The emissions from sources in the area of the research center are listed in "Abluftplan 1972", see Table 1. As in the previous year, the main contributions are made by the reprocessing plant WAK and the research reactor FR 2. The expected emission by WAK of Kr-85 and I-131 was reduced though, resulting in slightly lower β - and very much lower iodine doses. The improved methods of calculation now include the real geometrical distribution of the various emitters. In all the surrounding villages, the expected radiation doses remain far below the permissible limits. This is true even if the recent more restrictive guidelines for nuclear plants are applied.

1. Einleitung

Im vorliegenden Bericht werden die Strahlenbelastungen im Kernforschungszentrum Karlsruhe (KFZK) und seiner Umgebung für das Jahr 1972 abgeschätzt.

Die Strahlendosen werden aufgrund der im Abluftplan 1972 zusammengestellten zu erwartenden radioaktiven Emissionen im Bereich des Kernforschungszentrums errechnet. Da die Emissionswerte des Abluftplans obere Grenzwerte darstellen, sind auch die aufgelisteten Strahlendosen obere Erwartungswerte, die mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht erreicht werden. Gegenüber der Abschätzung für das Jahr 1971, s. /1/, wurden die Rechenmethoden vor allem in Richtung einer realistischen Wiedergabe des Emissionskatasters sowie der meteorologischen Bedingungen des KFZK verbessert.

2. Emissionen des KFZK und ihre rechnerische Behandlung

Die angemeldeten Emissionen der 18 Emittenten im Bereich des KFZK für das Jahr 1972 sind in Tab. 1 zusammengestellt. Bei der Berechnung der Strahlendosen wurden jeweils die genauen geographischen Verhältnisse der einzelnen Emittenten berücksichtigt. Eine Zusammenfassung mehrerer Emittenten war aufgrund der verbesserten Rechenprogramme nicht mehr erforderlich. Es wurden im allgemeinen alle Emittenten berücksichtigt, soweit sie mindestens 1 % zur Strahlenbelastung eines Ortes beitragen. Die emittierten Nuklide sind - soweit nicht näher spezifiziert - in 3 Gruppen eingeteilt, s. Tab. 2. In die Berechnungen wurden jeweils diejenigen Nuklide eingesetzt, die die höchste Strahlendosis verursachen, soweit sie von dem einzelnen Emittenten auch potentiell abgegeben werden können. Im einzelnen wurden folgende Annahmen gemacht:

2.1 Gruppe A:

Für die Gruppe A wurde angenommen, dass die Emission 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 Halbwertszeit des Pu-239 zerfällt dieses knochensuchende Nuklid während der Lebensdauer eines Menschen praktisch nicht. 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. Er ist nicht mit einer Jahresdosis, wie bei den anderen Strahlenarten angegeben, vergleichbar.

2.2 Gruppe B und J-131

In der Gruppe B ist J-131 das bezüglich der Strahlendosis wirksamste Nuklid, sofern es sich auf Weiden ablagert und auf dem Wege über die Trinkmilch in die Schilddrüse eines Kleinkindes gelangt. Dieses Nuklid kann jedoch nicht von allen Emittenten, die ein Gemisch der Gruppe B emittieren, abgegeben werden. Zudem wird die Jod-Abgabe innerhalb der Gruppe B auf 1/10 der insgesamt zulässigen Emission in Gruppe B beschränkt, s. Tab. 2. Konservativerweise wurde angenommen, dass jeder Emittent die in Gruppe B zulässige Jod-Emission ausschöpft und gleichmässig über das Jahr verteilt emittiert. Die angemeldete J-131-Emission der WAK und des TU wurden selbstverständlich voll berücksichtigt.

Nach J-131 folgt in Gruppe B Sr-90 als das bezüglich seiner Radiotoxizität nächstgefährliche Nuklid. Dieser β -Strahler lagert sich wie Plutonium in den Knochen an und zerfällt nur sehr langsam.

Da das Element Strontium nur in festen, nichtflüchtigen Verbindungen auftritt, braucht nicht damit gerechnet zu werden, dass es im Normalbetrieb in die Abluft der Reaktorstationen oder der WAK gelangt. Sollte bei schweren Störfällen Strontium als Aerosol entstehen, so trägt es nur zu einem geringen Teil zur Gesamtemission bei.

Andere konkurrierende Nuklide der Gruppe B sind entweder entsprechend weniger gefährlich, oder ihre Abgabe unwahrscheinlich, so dass die Berechnung der Strahlendosis auf das Radiojod beschränkt bleiben kann.

2.3 Gruppe C und radioaktive 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 FR 2 kommt eine Abgabe sowohl als Ar-41 als auch als Tritium in Frage. Beide Möglichkeiten wurden berücksichtigt. Für die KNK ist die Abgabe von 30 000 Ci/a eines Gemisches der Gruppe C genehmigt. Dieses Gemisch enthält schätzungsweise 1 000 Ci/a Ar-41. Anlagebedingt ist mit der Abgabe von Xe-133 und Xe-135 oder im Einzelfall von Kr-89 und Xe-137 zu rechnen. Die Abgabe von Kr-89 und Xe-137 ist wegen der kurzen Halbwertzeiten nur für kleine Entfernungen (innerhalb des KFZK) relevant. Für grössere Entfernungen (umliegende Ortschaften) wurde die gesamte Emission der C-Gruppe des KNK als Ar-41 angenommen. Damit überschätzt man den Anteil der KNK an den γ -Dosen je nach Entfernung und Richtung um ca. 10 bis 15 %.

3. Berechnungsverfahren

3.1 γ -Dosen

Zur Berechnung der γ -Dosen wurden die Rechenmethoden aus /1/ übernommen und die von W. Comper erstellten Rechenprogramme benutzt. Die meteorologischen Parameter - Beaufschlagungshäufigkeit und mittlere Windgeschwindigkeit in den einzelnen Sektoren, - sind in Tabelle 3 aufgeführt. Für alle Sektoren wurde Kategorie D, die häufigste Wetterkategorie im Raum Karlsruhe, angenommen. Wie in /1/ wurden im Nah- und Fernbereich zwei unterschiedliche Verfahren verwendet: Im Nahbereich der Aktivitätsquelle, in welchem ein Beitrag zur Dosis aus den Nachbarsektoren zu berücksichtigen ist, wird eine Aktivitäts-

verteilung in Form einer Flächenquelle in Höhe der Emission angenommen. Die emittierte Aktivität wird entsprechend der Windrichtungshäufigkeit und der mittleren Windgeschwindigkeit auf die einzelnen Sektoren dieser Kreisfläche verteilt, s. 3.1.1. In grösseren Entfernungen ist der Einfluss der Nachbarsektoren zu vernachlässigen. In diesem Bereich (Fernbereich) wird die Aktivitätsverteilung im einzelnen Sektor entsprechend einer doppelten Gauss-Verteilung angenommen, und es werden die Strahlungsbeiträge über das gesamte Volumen der Abgaswolke integriert, s. 3.1.2.

Zur Geometrie der γ -Dosis-Berechnung kann Abb. 3 herangezogen werden.

3.1.1 Berechnung der γ -Dosis im Nahbereich (Flächenquelle)

Die γ -Dosis D_γ in einem bestimmten Aufpunkt (x, ω) berechnet man aus Gleichung (1). Die Sektorbreite beträgt $\Delta\psi$.

$$(1) \quad D_\gamma(x, \omega) = \frac{U_\gamma Q}{2 \pi \Delta\psi} \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{f(\Omega)}{\bar{u}(\Omega)} \frac{B(E, \rho)}{\rho^2} \exp\left(-\mu \rho - \frac{\lambda r}{\bar{u}(\Omega)}\right) d\alpha dr \quad [\text{mrem/a}]$$

U_γ	Gammadosiskonstante	$\left[\frac{\text{mrem cm}^2}{\text{h Ci}}\right]$
Q	gesamte innerhalb einer bestimmten Zeit abgegebene Gammaaktivität	$[\text{Ci/s}]$
E	Gammaenergie	$[\text{MeV}]$
H	Höhe des Kamins	$[\text{cm}]$
r	Abstand des radioaktiven Gases von der Kaminmündung	$[\text{cm}]$
$f(\Omega)$	Beaufschlagungshäufigkeit in Richtung Ω	
$\bar{u}(\Omega)$	mittlere Windgeschwindigkeit in Richtung Ω	$[\text{cm/s}]$
Ω	Azimuth des Vektors \vec{r}	$[\text{rad}]$
λ	Zerfallskonstante	$[1/\text{s}]$
μ	Schwächungskoeffizient	$[1/\text{cm}]$

$$(2) \quad \vec{\rho} = -\vec{x} + \vec{H} + \vec{r}$$

$$(3) \quad B(E, \rho) = 1 + \mu \rho + \frac{\mu^2 \rho^2}{7 E^{2,4}}$$

3.1.2 Berechnung der γ -Dosis im Fernbereich (radioaktive Wolke)

In diesem Modell wird eine Integration der Dosisbeiträge über das Sektorvolumen durchgeführt. Die äussere γ -Dosis $D_\gamma(x, \omega)$ berechnet man aus der Gleichung (4):

$$(4) \quad D_\gamma(x, \omega) = \frac{U_\gamma Q}{4 \pi} \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{B(E, \rho)}{\rho^2} \cdot \chi(X, Y, Z) \cdot \exp - \left(\mu \rho + \frac{\lambda r}{u(\Omega)} \right) dY dZ dX$$

mit

$$(5) \quad \chi(X, Y, Z) = \frac{\exp \left(- \frac{Y^2}{2 \sigma_y^2} \right)}{2 \pi u(\Omega) \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left(- \frac{(Z - H)^2}{2 \sigma_z^2} \right) + \exp \left(- \frac{(Z + H)^2}{2 \sigma_z^2} \right)$$

X, Y, Z kartesische Koordinaten des Punktes (r, Ω)

σ_y, σ_z Ausbreitungsparameter (wurden aus /2/ entnommen)

3.2 Äussere Betadosis

Die äussere Bestrahlungsdosis durch β -Strahler (Submersionsdosis) wird aus der Konzentration der Abluftfahne am Boden berechnet, da die Reichweite der β -Strahlung in Luft gering ist. Bei der Berechnung wurde eine Ausbreitungsstatistik benutzt, welche aus den meteorologischen Messungen des Jahres 1968 im KFZK ermittelt wurde, s. /3/. Die Ausbreitungsstatistik gibt die Häufigkeiten P_{ijk} , geordnet nach Windrichtung (12 Sektoren, Index i), Stabilitätskategorie (6 Stufen, Index j) und Windgeschwindigkeit (5 Stufen, Index k), an. Für jeden Aufpunkt wird

die Dosis über alle Stabilitätskategorien und Geschwindigkeitsstufen und über alle N Aktivitätsquellen aufsummiert. Die Berechnungsgleichung der Dosis D_β am Aufpunkt (x, ω) lautet:

$$(6) \quad D_\beta(x, \omega) = \sum_{n=1}^N K E_n Q_n \bar{x}_{ijk}(x, \omega)$$

$$(7) \quad \bar{x}_{ijk}(x, \omega) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{r \Delta\psi} \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^5 \left(\frac{\exp\left(-\frac{H_n^2}{2 \sigma_{zj}^2}\right)}{\sigma_{zj}} \frac{P_{ijk}}{\bar{u}_{jk}} \right)$$

K Umrechnungsfaktor $0,28 \frac{\text{rem/s}}{\text{MeV Ci/m}^3}$

E_n effektive β -Energie des Nuklides, Tab. 4 [MeV]

Q_n emittierte Aktivität [Ci/a]

3.3 Schilddrüsen-Dosis durch Ingestion von J-131 mit der Milch

In der näheren Umgebung des Kernforschungszentrums gibt es nur wenige Weiden für Milchkühe. Daher ist es nicht sinnvoll, für alle umliegenden Ortschaften eine Jod-Ingestionsdosis anzugeben. Es kann aber von der Inhalations- auf die Ingestionsdosis geschlossen und für diese eine obere Grenze angegeben werden.

Lagert sich Jod auf einer Weide ab und gelangt auf dem Weg über die Kuh und die Milch in die Schilddrüse eines Kleinkindes, so resultiert eine nach theoretischen Überlegungen /4/ um den Faktor 700 höhere Dosis, als wenn die Jod-haltige Luft durch einen Erwachsenen inhaliert worden wäre. Nach anderen Quellen, welche auf Messungen beruhen, wurde in /1/ ein Faktor von etwa 600 hergeleitet. Um die potentielle Schilddrüsen-Ingestionsdosis eines Kleinkindes abzuschätzen,

müssen die Werte der Inhalationsdosis für Erwachsene pauschal mit einem Faktor 700 multipliziert werden.

4. Diskussion und Ergebnisse

Die berechneten Strahlendosen für die umliegenden Ortschaften sowie für einige Punkte an den Grenzen des Forschungszentrums zeigt Tab. 5. Die γ - und β -Isodosen zeigen die Abbn. 1 und 2. Bei allen berechneten Dosen muss darauf hingewiesen werden, dass es sich um theoretische Werte handelt, welche - abgesehen von den bereits genannten Überschätzungen - von einem Menschen nur dann empfangen werden können, wenn er sich das ganze Jahr ungeschützt an dem betreffenden Ort unter freiem Himmel aufhält, und wenn die Emissionen tatsächlich in voller Höhe ausgeschöpft werden.

Ein Vergleich der γ -Isodosen mit denen des Jahres 1971 zeigt gewisse Verschiebungen, welche auf die Verwendung einer neueren, auf das Kernforschungszentrum bezogenen Windstatistik zurückzuführen sind. Die β -Belastung ist an einigen Stellen gegenüber 1971 gesunken, da die Emission des Hauptemittenten WAK niedriger angesetzt wurde. Aus dem gleichen Grunde ist die J-131-Inhalations-Belastung kleiner als im letzten Jahr. Wendet man den oben zitierten Faktor von 700 auf die Schilddrüsen-Inhalationsdosen an, um die potentielle Ingestionsdosis eines Kleinkindes zu ermitteln und legt man eine halbjährige Weideperiode der Milchkühe zugrunde, dann errechnet man Dosen bis zu 50 mrem/a, die allerdings nur dann zu erwarten sind, wenn ausschliesslich die Milch der in diesem Bereich weidenden Kühe getrunken wird. Für den nächsten grösseren Weidebezirk südlich Bruchsal wurden Ingestionsdosen für Kleinkinder von 5 mrem/a berechnet.

Die Übersicht zeigt, dass die realistischerweise zu erwartenden Strahlenbelastungen in der Umgebung an allen Stellen unterhalb der zulässigen Grenzen bleiben, auch wenn man die neueren strengen Massstäbe anlegt.

Literatur

- /1/ W. Comper, W. Hübschmann; Die Strahlenbelastung der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Abschätzung für das Jahr 1971, KFK 1481, Sept. 1971
- /2/ D.H. Slade ed.; Meteorology and Atomic Energy 1968 TID-24 190, July 1968
- /3/ K. Nester; Statistische Auswertungen der Windmessungen im Kernforschungszentrum Karlsruhe aus den Jahren 1968/69 KFK 1606, 1972
- /4/ T.J. Burnett; Health Physics 18, 73 (1970)
- /5/ W. Comper; Berechnung der Dosisfaktoren von radiologisch wichtigen Nukliden, KFK 1615, 1972

Tabelle 1: Angemeldete Emissionen des KFZK im Jahre 1972 in Ci/a bzw. mCi/a

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 Ci/a
WAK	60	10	4	800	350 000		5 000	1,0
FR 2	99	3	1,5	3 000		220 000	1 000	
KNK	99	3	1,5	30 000				
MZFR	99,5	3	1,5	3 000			4 000	
RB/HZ	60	0,8	0,4	6 000				
IHCH	60	0,8	0,4	800				
ADB (536)	70	1	0,4	10				
ADB (545)	19	0,03	0,015	60				
ADB (548)	15	0,025	0,007	10				
ZYKL	36	0,3	0,15	500				
TU	50	0,3	0,15	300				0,2
SNEAK	50	0,2	0,1	200				
IRCH	15	0,01	0,01	30				
IMF	9	0,016	-	-				
IMF/LB	5	0,030	-	-				
LIT	-	-	0,015	30				
STARK	20	0,01	0,015	1				
INR	12	-	-	-			100	
Summe		22,6	10,2	45 000	350 000	220 000	10 100	1,2

Tabelle 1a: Abkürzungen der Emittenten

WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe
FR 2	Forschungsreaktor 2
KNK	Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage
MZFR	Mehrzweck-Forschungsreaktor
RB/HZ	Reaktorbetrieb und Technik / Heisse Zellen
IHCH	Institut für Heisse Chemie
ADB	Abteilung Dekontaminationsbetriebe
ZYKL	Zyklotron
TU	Institut für Transurane
SNEAK	Schnelle Null-Energie-Anlage Karlsruhe
IRCH	Institut für Radiochemie
IMF	Institut für Material- und Festkörperforschung
IMF/LB	Laboratorium für Brennstabentwicklung
LIT	Laboratorium für Isotopentechnik
STARK	Schnell-Thermischer Argonaut-Reaktor Karlsruhe
INR	Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Tabelle 2: Einteilung der Radionuklide in Gruppen

Gruppe	Nuklide
A	Beliebige Mischung von α -, β - und γ -Strahlern
B	Beliebige Nuklidmischung, in der die α -Strahler sowie Pb-210, Ac-227, Ra-228, Pu-241, Am-242m und Cf-254 unberücksichtigt bleiben können.* Die Ableitung von J-129 und J-131 wird auf 1/10 der in Tab. 1 angegebenen Werte beschränkt.
C	Spaltedelgase sowie H-3, N-13, O-15, Cl-38, Ar-41.

*"Unberücksichtigt bleiben" können diese Radionuklide 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.

Tabelle 3: Beaufschlagungshäufigkeit* und mittlere Windgeschwindigkeit**

Richtung	Sektor Nr.	Beaufschlagungshäufigkeit in %	mittlere Windgeschw. [m/s]
NNE	1	10,98	3,60
NE	2	20,24	4,60
ENE	3	13,2	6,10
E	4	4,1	5,70
ESE	5	2,16	4,21
SE	6	1,55	3,20
SSE	7	1,86	3,21
S	8	3,29	3,97
SSW	9	4,92	3,91
SW	10	6,5	3,80
WSW	11	11,7	4,00
W	12	7,74	4,42
WNW	13	5,28	2,78
NW	14	1,91	2,82
NNW	15	1,03	3,33
N	16	3,57	3,12

*nach E. Bolender, mit entsprechend der Richtungshäufigkeit aufgeteiltem Windstillenanteil

**Mittelwerte aus der meteorologischen Statistik des Jahres 1968

Tabelle 4: Nuklid-Konstanten für die β -Dosen*

Nuklid	E_{eff} MeV	$\frac{\text{g}}{\text{Ci s}} \text{ m}^3$
Ar-41	0,45	
Kr-85	0,24	
Kr-89	1,33	
Xe-137	0,92	
H-3		0,09 ¹⁾
J-131		350 ²⁾
Pu-239		1,2 10^6 ³⁾

1) gilt für das Körperwasser als kritisches Organ

2) für Erwachsene

3) gilt für eine Bestrahlungsdauer von 50 Jahren und für die Knochen als kritisches Organ

*nach W. Comper, s. /5/

Tabelle 5: Strahlendosen im KFZK und Umgebung

Ort	Strahlendosis in mrem/a infolge				integriert Dosis in mrem/50 a infolge
	äusserer γ-Strahlung	äusserer β-Strahlung	J-131- Inhalation	Tritium Inhalation	Pu-239 Inhalation
Graben	5,1	3,5	0,06	0,10	1,8
Neudorf	3,8	2,5	0,05	0,08	1,4
Friedrichs- tal	2,8	3	0,06	0,08	1,7
Spöck	1,8	2	0,04	0,06	1,0
Neuthard	2,2	6,5	0,11	0,18	3,4
Karlsdorf	1,8	5	0,08	0,14	2,4
Staffort	0,9	1,5	0,02	0,04	0,7
Blankenloch	1,5	1	0,02	0,04	0,5
Hagsfeld	0,9	1,3	0,02	0,04	0,6
Karlsruhe Markt	0,8	1	0,02	0,04	0,5
Neureut	3,5	2	0,04	0,06	1,1
Eggenstein	7,5	4	0,07	0,10	2,0
Leopolds- hafen	7,5	6	0,12	0,16	3,5
Linkenheim	1,5	3	0,06	0,08	1,5
Hochstetten	2,8	2	0,04	0,06	1,1
Liedolsheim	1,8	1,5	0,03	0,04	0,8
Russheim	0,8	1	0,02	0,04	0,6
Leimersheim	1,2	2,5	0,05	0,06	1,2
Nordtor	50	5	0,10	0,12	3,0
Südtor	20	5	0,10	0,12	2,6
Zaun NO vom FR 2	40	5	0,12	0,14	4,3
Zaun SW vom FR 2	30	6	0,11	0,16	3,5

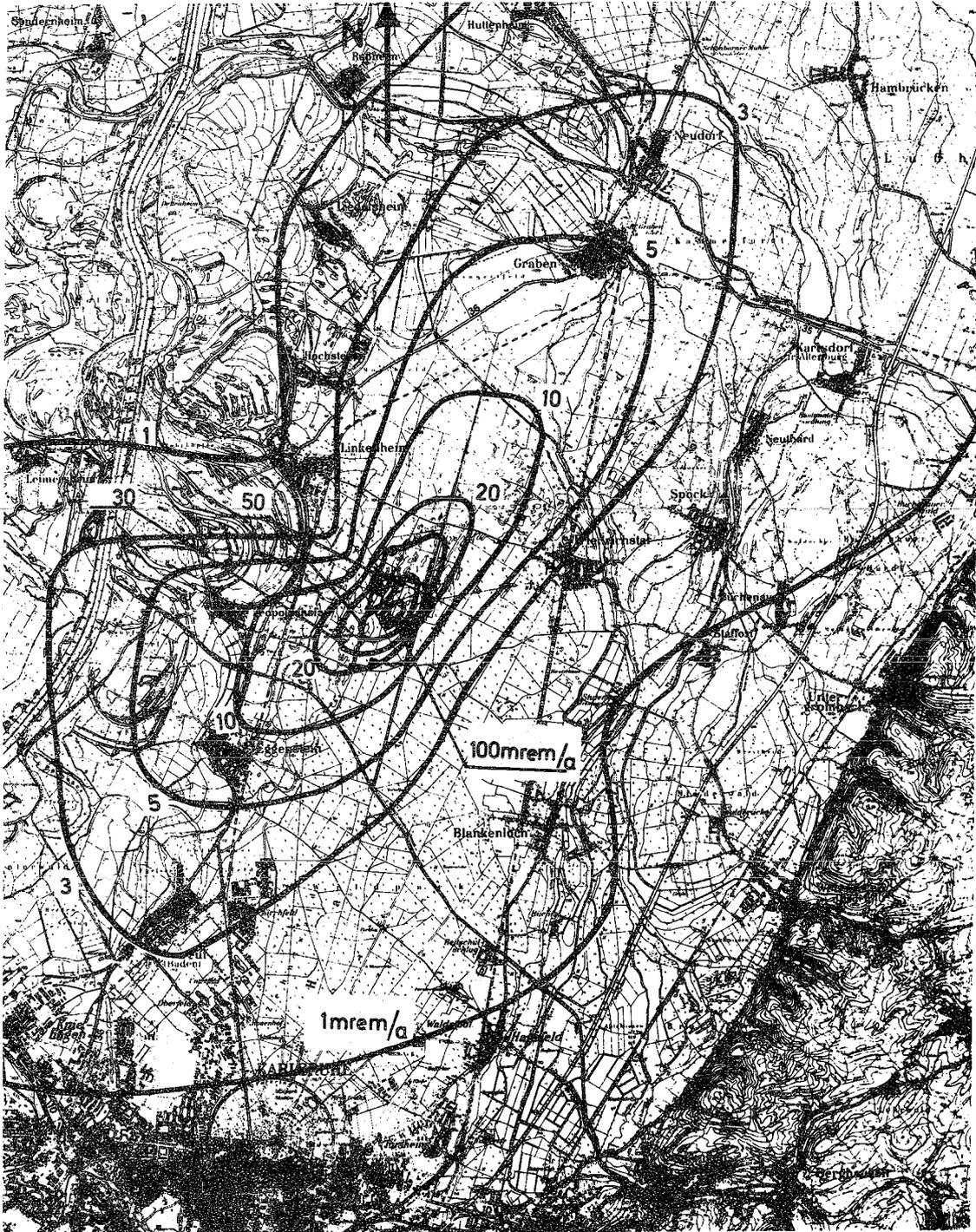


Abb. 1 γ -Isodosen

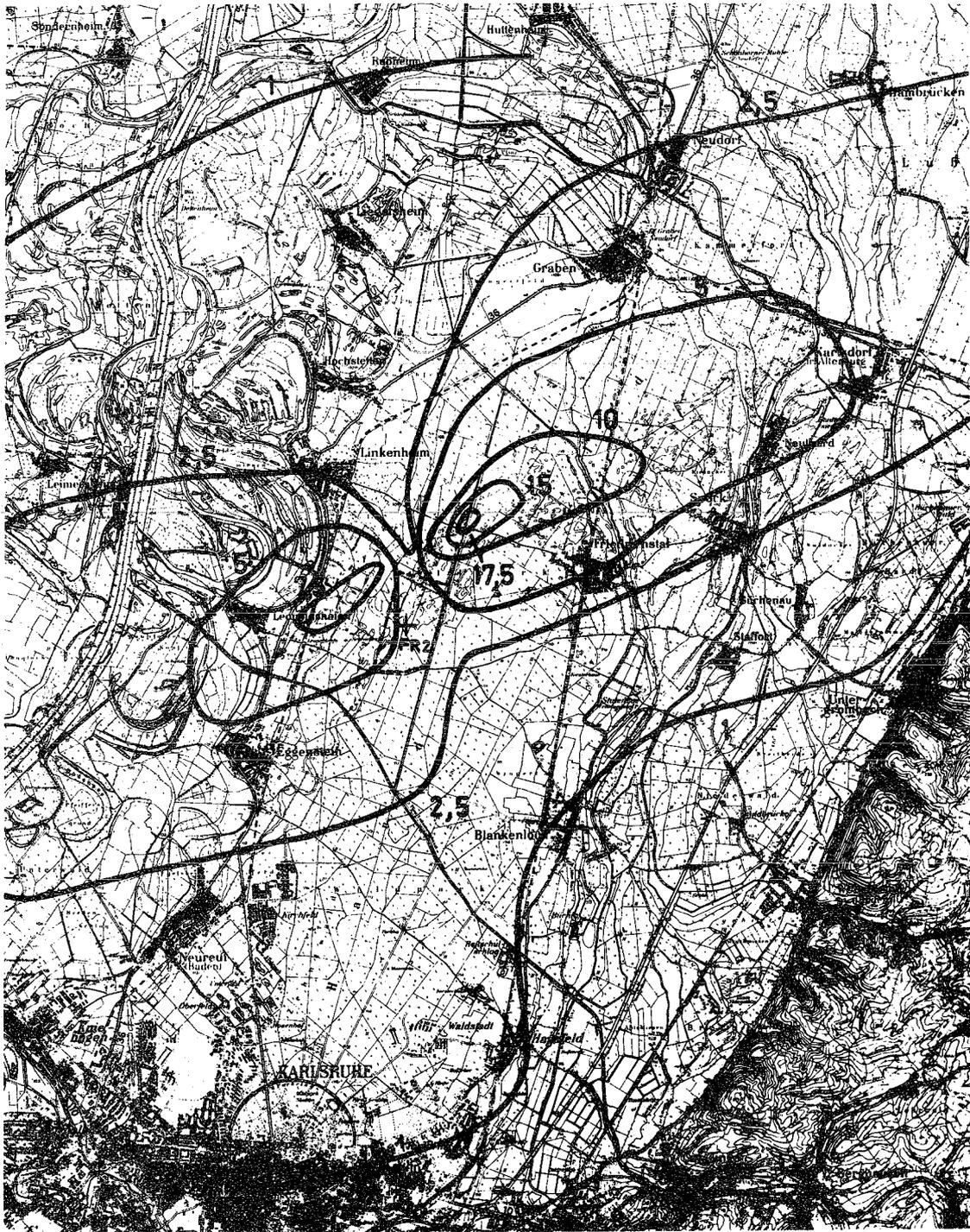


Abb. 2 β -Isodosen

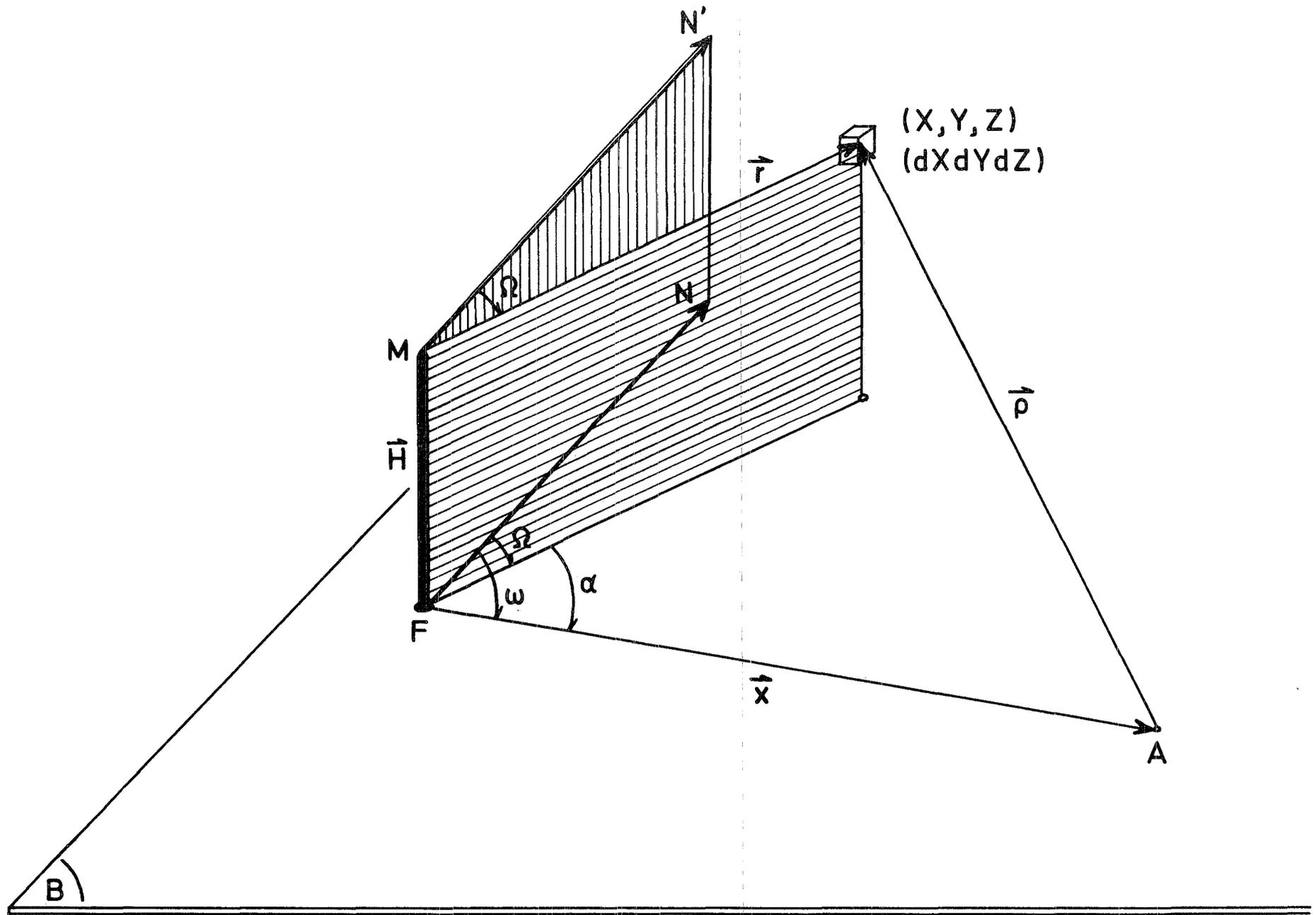


Abb. 3 F Kaminfuß, M Kaminmündung, A Aufpunkt, B Bodenebene, (X, Y, Z) Stelle der gesammelten Konzentration im Raum, N und N' Nordrichtung

