

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM**

**KARLSRUHE**

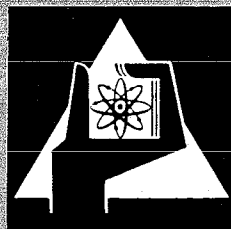
September 1971

KFK 1481

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Die Strahlenbelastung der Umgebung  
des Kernforschungszentrums Karlsruhe  
Abschätzung für das Jahr 1971

W. Comper, W. Hübschmann



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

September 1971

KFK Nr. 1481

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Die Strahlenbelastung der Umgebung  
des Kernforschungszentrums Karlsruhe  
Abschätzung für das Jahr 1971

von

W. Comper, W. Hübschmann

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 fünfzehn Emittenten im Bereich des Kernforschungszentrums sind im Abluftplan 1971 zusammengestellt, s. Tab.1. Die wesentlichsten Beiträge liefern der Forschungsreaktor FR-2 (Emission von Ar-41) und die Wiederaufarbeitungsanlage (Emission von Kr-85). Somit stellen die äußere Gamma- und äußere Beta-Bestrahlung die wesentlichsten Belastungsarten dar. Diese sind in Form von Isodosenkarten im Bereich bis zu 10 km Entfernung vom Forschungszentrum dargestellt. Die Betabelastung wurde durch Überlagerung der Einzelbelastung der drei bedeutendsten Emittenten gewonnen. Außerdem werden die Bestrahlungsdosen durch Inhalation von Tritium, Jod (J-131) und Plutonium (Pu-239) für einige Punkte des Forschungszentrums sowie die umliegenden Ortschaften angegeben. In allen Ortschaften bleiben die berechneten Dosen weit unter den zulässigen Werten. Bei der Ermittlung der Betabelastung zeigte es sich, daß durch die Überlagerung der Emissionen aus den Kaminen der WAK, des FR 2 und der KNK keine neuen oder wesentlich erhöhten Maxima entstehen. Vielmehr wird die Lage der Maxima durch den stärksten Emittenten, die WAK, bestimmt, und die dort auftretenden Dosen werden durch die übrigen Emittenten nur geringfügig (um etwa 10%) erhöht. Dies ist eine Folge der günstigen Lage der Schornsteine quer zur Hauptwindrichtung sowie ihrer unterschiedlichen Höhe.

## Abstract

The radiation doses at the Karlsruhe Nuclear Research Center and its environment resulting from the expected radioactive emissions into the atmosphere are calculated annually. The emissions of the 15 emitters in the area of the research center are listed in the so-called "Abluftplan 1971" see Table 1. The main contributors are the research reactor FR 2 (emission of Ar-41) and the reprocessing plant WAK (emission of Kr-85). As a consequence, outer gamma and outer beta radiations make up most of the total radiation dose. These two types of radiation are represented as isodose charts in an area of up to 10 km radius around the research center. The beta dose is calculated by superposition of the three main sources of emission (WAK, FR 2 and KNK). Besides, the radiation doses caused by inhalation of tritium, iodine, and plutonium are indicated for some locations in the center and for the surrounding villages. In all the villages the calculated doses remain far below the permissible limits. In calculating the beta doses it turned out that superposition of the emissions from the WAK, FR 2 and KNK stacks did not result in new or much higher peaks. Instead, the location of the peaks is governed by the strongest emitter, WAK, and the maximum doses are increased by the other emissions only slightly (about 10 %). This is a consequence of the favourable stack position with respect to the main wind direction and of the different stack heights.

## 1. Einleitung

Der vorliegende Bericht enthält die für die Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KFZK) abgeschätzten Strahlenbelastungen infolge radioaktiver Emissionen in die Atmosphäre. Die Abschätzungen beruhen auf den im Abluftplan für 1971 zusammengestellten Emissionen der verschiedenen Emittenten des Zentrums sowie der Wiederaufarbeitungsanlage (WAK). Da die Berechnung der Strahlendosen mit Hilfe konservativer Annahmen durchgeführt wurde, stellen die abgeschätzten Strahlenbelastungen obere Grenzwerte dar, die mit großer Sicherheit nicht überschritten werden. Die Tabellenwerte und Isodosenkarten sollen zeigen, wie weit die erwarteten Strahlendosen bereits in den meßbaren Bereich fallen, an welchen Stellen die höchsten Belastungen auftreten und wie weit diese unterhalb der zulässigen Dosen liegen.

## 2. Emissionen des KFZK und ihre rechnerische Behandlung

Die für das Jahr 1971 im Bereich des Kernforschungszentrums angemeldeten radioaktiven Emissionen in die Atmosphäre zeigt die Tabelle 1. Die Abkürzungen für die Emittenten können Tabelle 1a entnommen werden. Die emittierten Nuklide sind - soweit nicht näher spezifiziert - in 4 Gruppen eingeteilt, s. Tabelle 2. In der Berechnung wurde jeweils dasjenige Isotop eingesetzt, welches die höchste Strahlendosis verursacht. Im einzelnen wurden folgende Annahmen getroffen:

### Gruppe I:

Für die Gruppe I wurde der  $\alpha$ -Strahler Plutonium-239 eingesetzt. Die Hauptemittenten haben Kaminhöhen von 60 bzw. 100 m. Obwohl sie bis zu 1,5 km voneinander entfernt sind, wurde angenommen, daß alle Emissionen gemeinsam von einem Kamin in 60 m Höhe abgegeben werden. Als zentraler Emissionsort wurde der MZFR-Kamin gewählt.

### Gruppe II:

In der Gruppe II ist J-131 das bezüglich der Strahlendosis wirksamste Isotop. Dieses kann jedoch nicht von allen Emittenten der

Gruppe II abgegeben werden. Konservativerweise wurde angenommen, daß die WAK die Emission der Gruppe II ausschließlich als J-131 abgibt (zusätzlich zu der angemeldeten J-131-Emission), und abgeschätzt, wie hoch die Dosis sein würde, wenn auch die übrigen Emittenten nur J-131 in dieser Gruppe durch den WAK-Kamin abgeben würden.

#### Gruppe III:

In der Gruppe III werden insgesamt höchstens 66 Ci/a abgegeben. Diese Menge wurde gegenüber den starken  $\beta$ - und  $\gamma$ -Emissionen der kerntechnischen Anlagen vernachlässigt. Eine J-131-Emission in dieser Gruppe wurde nicht angenommen.

#### Gruppe IV und Edelgase:

In Gruppe IV liefert Ar-41 den stärksten Beitrag zur Umgebungsbelastung. Dieses Isotop 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 in Gruppe IV die Abgabe von Tritium angenommen. Für den FR 2 kommt eine Abgabe sowohl als Ar-41 als auch als Tritium in Frage. Beide Möglichkeiten wurden berücksichtigt. Die so bestimmten Argon-Emissionen wurden im FR 2-Kamin zusammengefaßt. Für die KNK ist die Abgabe von 30 000 Ci/a eines Spaltedelgasgemisches beantragt. Es war zu entscheiden, wie dieses Gemisch behandelt wird. Anlagenbedingt 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 Halbwertszeiten nur für kleine Entfernungen (unmittelbare Nähe des Forschungszentrums) relevant. Für größere Entfernungen (umliegende Ortschaften) wurden die langlebigeren Xenon-Isotope eingesetzt. Zu diesem Gemisch kommt noch ein vernachlässigbarer Anteil von Ar-41 (ca. 1000 Ci/a) hinzu. Die Gamma-Emissionen können wegen der dominierenden Argon-Emission des FR 2 zusammengefaßt werden. Für die Beta-Emission führt diese Vereinfachung zu einer zu starken Verzerrung des Belastungsfeldes. Insbesondere würden unrealistisch hohe Maximal-Belastungen berechnet werden. Daher wurden die Belastungsfelder der 3 Hauptemittenten WAK, FR 2 und KNK einzeln berechnet und einander überlagert.



## Tritium

Auch die Tritium-Emissionen wurden auf die 3 Hauptemittenten WAK, MZFR und FR 2 konzentriert und die Belastungsfelder einander überlagert, analog den Beta-Emissionen.

### 3. Meteorologische Parameter

Es wurde eine in 16 Sektoren aufgeteilte Windrose verwendet. Die "Beaufschlagungshäufigkeit" dieser Sektoren zeigt Tabelle 3. Die Daten basieren auf einer von E. Bolender über 14 Jahre ausgewerteten Statistik der Wetterwarte Karlsruhe. Der Windstillenanteil wurde anteilig auf die 16 Sektoren aufgeteilt. Bei der Ermittlung der Gamma-Belastung wurde er den Sektoren der niedrigsten Häufigkeit zugeschlagen.

Eine in den einzelnen Sektoren unterschiedliche Windgeschwindigkeitsverteilung wurde nur bei der Berechnung der Gamma-Dosis berücksichtigt. Es wurden die für das Jahr 1968 ausgewerteten Messungen am meteorologischen Turm in 60 m Höhe verwendet.

Für die Berechnung der übrigen konzentrationsabhängigen Belastungen wurde ein einfaches Verfahren angewendet, welches eine Abschätzung oberer Grenzwerte der Konzentrationen gestattet. Für eine genauere Berechnung wäre eine dreiparametrische Häufigkeitsstatistik, geordnet nach Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Stabilitätsklasse, erforderlich. Da insbesondere eine langjährige Beobachtung der Stabilitätsklassen für Karlsruhe noch nicht vorliegt, wurde die Häufigkeitsverteilung des Flughafens Frankfurt benutzt, welche als 3parametrische Statistik vorliegt. Wegen der geographisch ähnlichen Lage im Rheintal kann angenommen werden, daß das Windgeschwindigkeits- und das Stabilitätsklassenspektrum in Karlsruhe nicht wesentlich ungünstiger ist als in Frankfurt. Diese Annahme wurde bestätigt durch Vergleich mit einer über einen kürzeren Zeitraum für Karlsruhe ermittelten Verteilung der Stabilitätsklassen.

Aus dem Datenmaterial des Flughafens Frankfurt kann für jeden Sektor ein über das Jahr gemittelter Ausbreitungsfaktor  $\chi$ , abhängig von der Entfernung  $x$  und der Emissionshöhe  $H$ , angegeben werden. Dabei

bleibt die Richtungshäufigkeit noch unberücksichtigt. Aus diesen Kurven wird, nach einem Vorschlag von H. Bresser, für jede Entfernung  $x$  der jeweils ungünstigste Ausbreitungsfaktor ausgewählt. Der so ermittelte Ausbreitungsfaktor wird, mit der Richtungshäufigkeit multipliziert, auf alle Sektoren angewendet, s. u. Gl. (7). Durch dieses Verfahren wird sichergestellt, daß an keiner Stelle der Ausbreitungsfaktor zu optimistisch angenommen wird. Allerdings wird dadurch die Strahlendosis überschätzt, und zwar um einen Faktor, der von Sektor zu Sektor schwankt und bis zu etwa 3 betragen kann.

#### 4. Berechnungsverfahren

##### 4.1 Berechnung der Gammadosis

Die Gammadosis durch Bestrahlung aus der Abluftfahne wurde für die Mitte eines jeden der 16 Sektoren der Windrose berechnet. Einfache Abschätzungen zeigten, daß sich der Einfluß der Nachbarsektoren bis zu Entfernungen von mehreren Kilometern vom Quellpunkt bemerkbar macht. Eine strenge Bestimmung der externen Dosis innerhalb dieses Bereiches verlangt somit die Dosisberechnung aus einer komplexen Überlagerung von radioaktiven Wolken. Im einzelnen heißt dies, daß für jeden Aufpunkt die Berechnung für alle 6 Kategorien durchgeführt werden muß, und zwar für jeden Sektor, der einen Dosisbeitrag zum Aufpunkt liefert. Die dabei auszuführenden Rechnungen sind umfangreich, da die Konzentration des radioaktiven Materials in der Wolke eine Funktion der Raumkoordinaten ist.

In größeren Entfernungen vom Quellpunkt ist u. U. das einfachere "Submersions-Modell" geeignet, die  $\gamma$ -Dosisrate zu berechnen; diese ist dabei proportional der Konzentration und der  $\gamma$ -Energie. Ist die Wolke nicht als unendlich ausgedehnt zu betrachten, dann muß ein Korrekturfaktor angesetzt werden, der die Dosisrate auf endliche Geometrie reduziert. Da die Bedingungen der gleichmäßigen Konzentration im Halbraum jedoch nur selten erfüllt sind, wurde dieses bei früheren Abschätzungen benutzte Modell diesmal nicht zur  $\gamma$ -Dosisberechnung herangezogen.

Um Rechenaufwand und zu erreichende Genauigkeit aufeinander abzustimmen, wurden im Nah- und Fernbereich zwei unterschiedliche Verfahren verwendet:

Im Nahbereich der Aktivitätsquelle, in welchem eine Beeinflussung durch Nachbarsektoren gegeben ist, wurde ein Näherungsverfahren (Flächenquelle) zur Berechnung der externen Dosis benutzt (Punkt a).

Für größere Entfernungen, in denen der Einfluß der Nachbarsektoren zu vernachlässigen ist, wurde eine Integration der Strahlungsbeiträge über das Volumen dieses Sektors durchgeführt. Die Gamma-Dosis ist proportional der Aktivitätskonzentration der einzelnen Volumenelemente (Punkt b).

a) Berechnung der Gammabelastung aus einer Flächenquelle

Da die Abgaswolke in der Nähe der Quelle nur eine mäßige vertikale Ausdehnung besitzt, kann ein mathematisch einfaches Modell zur Berechnung der Dosisrate benutzt werden; die vertikale Ausdehnung der Wolke wird dabei vernachlässigt. Das Modell berücksichtigt den Einfluß der benachbarten Sektoren und hält den Rechenaufwand in vertretbaren Grenzen. Mit dem IBM-Rechner-System 360/65 wird der Beitrag aller Sektoren für einen Aufpunkt in ca. 2-3 Minuten berechnet.

Es wird angenommen, daß die innerhalb eines Jahres abgegebene Aktivität sich auf einer Kreisfläche um die Quelle als Mittelpunkt - entsprechend der Häufigkeit der Windrichtungen - ungleichmäßig verteilt.

Die Gamma-Dosis berechnet man dann aus Gleichung (1). Die Geometrie zeigt Abb. 3. Die Sektorbreite betrage  $\Delta\psi$ . In der Integrationsrichtung  $\alpha$  muß jeweils die entsprechende Beaufschlagungshäufigkeit  $f(\alpha)$  und Windgeschwindigkeit  $u(\alpha)$  eingesetzt werden.

$$(1) D(x) = \frac{U_Y}{4 \pi} \frac{Q}{\Delta\psi} \int_0^R \int_0^{2\pi} \frac{f(\alpha) B(E, \rho)}{u(\alpha) \rho^2} \exp \left( -(\mu \rho + \lambda \frac{r}{u(\alpha)}) \right) d\alpha dr$$

$$(2) \quad \rho^2 = H^2 + r^2 + x^2 - 2 r x \cos \alpha$$

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

Q Gesamte innerhalb einer bestimmten Zeit abgegebene Gammaaktivität in Ci/s

D(x) Dosis im Aufpunkt (Abstand x) [rem]

$\lambda$  Zerfallskonstante [ $s^{-1}$ ]

$\mu$  Schwächungskoeffizient [ $cm^{-1}$ ]

E Gammaenergie [MeV]

H Höhe des Quellpunktes [cm]

$U_{\gamma}$  Gammadosiskonstante [ $\frac{rem \text{ cm}^2 \text{ s}}{h \text{ Ci}}$ ]

x Abstand vom Quellpunkt [cm]

$u(\alpha)$  mittlere Windgeschwindigkeit in Richtung  $\alpha$  [cm/s]

$f(\alpha)$  Beaufschlagungshäufigkeit in Richtung  $\psi$

#### b) Berechnung der Gammabelastung aus einer radioaktiven Wolke

In diesem Modell wird angenommen, daß die Konzentration in der Abgasfahne in allen Höhen gleich der Konzentration am Erdboden ist. Die Reflexion am Boden wird berücksichtigt. Weiter wird vorausgesetzt, daß sich die kontinuierlich abgegebene Aktivität gleichförmig über die Sektorbreite  $\Delta\psi$  ausbreitet und sich somit eine mittlere Aktivität innerhalb des Sektors in azimuthaler Richtung einstellt.

Die äußere Belastung berechnet man dann aus der Gleichung:

$$(4) \quad D(x) = \frac{U_{\gamma}}{4 \pi} Q f_{\psi} \int_0^{\infty} \int_{-x \frac{\Delta\psi}{2}}^{+x \frac{\Delta\psi}{2}} \int_0^{\infty} \frac{B(E, r)}{\bar{\chi} \rho^2} \exp -(\mu r + \lambda \frac{x}{u}) dx dy dz$$

$$(5) \quad \rho^2 = (x - x_0)^2 + y^2 + z^2$$

$$(6) \quad \bar{X} = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{u_{\psi} x_0 \theta} e^{-\frac{h^2}{2 \sigma_z^2}}$$

- $x_0$  Abstand des Aufpunktes von der Quelle [cm]  
 $x, y, z$  Koordinaten des Volumenelementes [cm]  
 $\sigma_z$  wird für die entsprechende Stabilitätskategorie aus /1/ entnommen.

Für alle Sektoren wurde die häufigste Wetterkategorie für den Raum Karlsruhe, eine neutrale Wetterlage, genommen (Kategorie D).

#### 4.2 Berechnung der äußeren Betadosis und der Inhalationsdosen

Die äußere Strahlenbelastung durch Betastrahler kann aus der Konzentration der Abluftfahne am Boden berechnet werden, da die Reichweite der Betastrahlung in Luft gering ist. Die äußere Betadosisleistung wird nach Gleichung (7) berechnet.

$$(7) \quad \dot{D}_{\beta} = 0,28 \frac{\text{rad m}^3}{\text{MeV Ci s}} E_{\text{eff}} f_{\psi} \dot{A} \bar{X}(x)$$

$E_{\text{eff}}$  = effektive Energie der Beta-Strahlung in MeV

$f_{\psi}$  Richtungshäufigkeit, s. Tab. 3

$\dot{A}$  Quellstärke in Ci/a, s. Tab. 1

$\bar{X}(x)$  über die Sektorbreite und über das Jahr gemittelter ungünstigster Ausbreitungsfaktor in  $\text{s/m}^3$  (s. Kap. 3)

Die Inhalationsdosisrate wird ebenfalls aus der Konzentration am Erdboden mit Hilfe der g-Faktoren errechnet:

$$(8) \quad \dot{D}_{\text{Inh}} = g_i f_{\psi} \dot{A} \bar{\chi}(x)$$

$$g_i \quad \text{Dosiskonstante des Nuklids } i \text{ in } \frac{\text{rem m}^3}{\text{Ci s}}$$

Die effektiven Energien und g-Faktoren zeigt Tab. 4.

#### 4.3 Strahlendosis durch Ingestion von J-131 mit der Milch

Durch den Verbrauch von landwirtschaftlichen Produkten, die in den kontaminierten Gebieten produziert werden, werden größere Mengen dieser Nuklide inkorporiert als durch Einatmung der verunreinigten Luft in diesen Regionen. Von den Nukliden, die über die Nahrungskette aufgenommen werden, ist im Bereich des KFZK lediglich das J-131 von Bedeutung, welches sich vornehmlich in der Schilddrüse anreichert. Das Radionuklid gelangt durch Ablagerung oder Auswaschung (Regen) aus der Atmosphäre auf den Weidegrund. Von dort wird es durch weidende Kühe aufgenommen und findet sich wieder in der Milch. Über diesen Vorgang liegen stark unterschiedliche Ergebnisse in der Literatur vor. In einer der jüngsten Veröffentlichungen /3/ wird über Messungen der Jod-Konzentration in der Luft und in der Milch berichtet. Danach führt eine Luftkonzentration von 1 pCi/m<sup>3</sup> zu einer Milchkonzentration von 1 200 pCi/l bei feuchtem Wetter. Die Milchaufnahme durch Kleinkinder, die für diese Belastungsart den kritischen Bevölkerungsteil darstellen, beträgt 0,7 bis 1 l/d.

Über die Wirkung von Jod-131 auf die Schilddrüse lassen sich relativ genaue Angaben machen. Werden einem Kleinkind mit der Milch täglich 100 pCi J-131 zugeführt, so wird nach /4/ die Schilddrüse mit einer jährlichen Dosis von 0,5 rem belastet.

Aus den obigen Angaben resultiert der Faktor

$$g = 200 \cdot 10^3 \frac{\text{rem m}^3}{\text{Ci s}}$$

für Ingestion von J-131 über die Milchkette durch Kleinkinder.

Nach Angaben anderer Autoren, insbesondere nach älteren Angaben über die Konzentration von Jod in der Milch, ergeben sich noch höhere g-Faktoren. Der zitierte g-Faktor liegt um 600 höher als der Wert für Inhalation durch Erwachsene. An anderen Stellen, s. z. B. /5/, wird der Faktor 700 gegenüber Inhalation durch Kleinkinder zitiert.

Konservativerweise sollte man damit rechnen, daß die Schilddrüsendosis bei Kleinkindern um mindestens den Faktor 1 000 höher liegt als die Inhalationsdosis bei Erwachsenen.

## 5. Ergebnisse

Die berechneten Strahlendosen für einige Punkte an der Grenze des Forschungszentrums sowie für die umliegenden Ortschaften zeigt Tabelle 5. Die Gamma-Belastung wird zum überwiegenden Teil durch die Ar-41-Emission des FR 2 verursacht. Die Kr-85-Emission der WAK sowie die Emission des Edelgasgemisches der KNK tragen nur wenige Prozent dazu bei. In der äußeren Beta-Bestrahlung sind Kr-85, Ar-41 und das Edelgasgemisch der KNK enthalten. Die Berechnung der Strahlendosis durch Inhalation von J-131, Tritium und Plutonium-239 wurde bereits oben erläutert. Die berechneten Jod-Inhalationsdosen können theoretisch um bis zu 40 % ansteigen, wenn alle Emissionen der Gruppe II ausschließlich als Jod-131 abgegeben werden.

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 könnten, wenn er sich 100 % des Jahres ungeschützt an einem Ort unter freiem Himmel aufhalten würde. Der Vergleich mit den für das Jahr 1970 berechneten Strahlendosen, s. /6/, zeigt, daß die Gamma-Belastung in der Nähe des Emittenten trotz geänderten Rechenverfahrens etwa gleich groß, in größerer Entfernung etwa bis zu einem Faktor 2 niedriger ist. Die äußere Beta-Belastung ist infolge der erhöhten Emissionen und infolge der konservativen meteorologischen Annahmen zwar höher, liegt jedoch noch immer so niedrig, daß die Verwendung eines groben Näherungsverfahrens zulässig erscheint.

Bei der Überlagerung der Beta-Konzentrationsfelder von WAK, FR 2 und KNK zeigte sich, daß die Lage der Maximaldosen durch den stärksten Emittenten, die WAK, bestimmt wird. Durch die Überlagerung ergeben sich keine neuen Maxima. Die Maximalwerte infolge Emission aus der WAK werden durch die Überlagerung nur wenig erhöht. Diese Tatsache folgt aus der günstigen Lage dieser Emittenten quer zur Hauptwindrichtung und dem schmalen Bereich höchster Konzentrationen. Schon bei einem Abstand zweier Emittenten von 1 km quer zur Hauptwindrichtung dürfte dieser Effekt grundsätzlich erreichbar sein.

## 6. Literatur

- /1/ D.H. Slade ed.; Meteorology and Atomic Energy 1968  
TID-24 190, July 1968
  
- /2/ The hazards to man of nuclear and allied radiations;  
a second report to the Medical Research Council,  
H.M.S.O. (London) 1960
  
- /3/ D. van As, C.M. Vleggaar; Determination of an acceptable  
I-131 concentration in air when the critical  
intake is through milk  
Health Physics 21, 114 (July 1971)
  
- /4/ F. Morley, P.M. Bryant; Basic and derived radiological  
protection standards for the evaluation  
of environmental contamination.  
Environmental contamination by radio-  
active materials  
IAEA Vienna 1969
  
- /5/ T.J. Burnett; Health Physics 18, 73 (1970)
  
- /6/ J.J. Heil, L.A. König; Die Strahlenbelastung der Umgebung  
des Kernforschungszentrums Karlsruhe infolge  
der Ableitung radioaktiver Stoffe in die  
Atmosphäre  
KFK 930, Febr. 1969



Tabelle 1: Angemeldete Emissionen des KFZK im Jahre 1971 in Ci/a bzw. mCi/a

Emittent	Kamin- höhe m	Nuklid bzw. Nuklidgruppe									
		I mCi/a	II Ci/a	J-131 Ci/a	III Ci/a	IV Ci/a	Kr-85 Ci/a	Ar-41 Ci/a	H-3 Ci/a	N-13 Ci/a	O-13 Ci/a
WAK	60	10	10	10	4	800	500 000		5 000		
FR 2	99,5	3	1,5		15	3 000		220 000	1 000		
KNK	100	3	1,5		15	3 000	30 000				
MZFR	100	3	1,5		15	3 000			4 000		
HZ	60	0,8	0,4		4	800					
IHCH	60	0,8	0,4		4	800					
ADB	70	0,8	0,4		4	300					
ZYKL	35	0,3	0,15		1,5	300				1 200	260
TU	40	0,3	0,15	1,5	1,5	300					
SNEAK	50	0,2	0,1		1	200					
IRCH	15	0,03	0,015		0,15	30					
IMF		0,03	0,015		0,15	30					
LIT					0,15	30					
STARK	20	0,01	0,001		0,1	10					
INR									100		
Summe		22	16	11,5	66	12 600	500 000 30 000	220 000	10 000		

Tabelle 1a: Abkürzungen der Emittenten

WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe
FR 2	Forschungsreaktor 2
KNK	Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage
MZFR	Mehrzweck-Forschungsreaktor
HZ	Heiße Zellen
IHCH	Institut für Heiße Chemie
ADB	Abteilung Dekontaminations-Betriebe
ZYKL	Zyklotron
TU	Institut für Transurane
SNEAK	Schnelle Null-Energie-Anlage Karlsruhe
IRCH	Institut für Radiochemie
IMF	Institut für Material- und Festkörperforschung
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
I	Beliebige Mischung von $\alpha$ -, $\beta$ - und $\gamma$ -Strahlern
II	Beliebige Mischung von $\beta$ - und $\gamma$ -Strahlern, wenn Pb-210, Ac-227, Ra-228, Pu-241, Am-242m und Cf-254 unberücksichtigt bleiben können. <sup>†</sup>
III	Wie Gruppe II, wenn zusätzlich die Nuklide Sr-90, J-129, Pa-230, Bk-249, Cf-253, Es-255 und Fm-256 unberücksichtigt bleiben können. <sup>†</sup>
IV	Spaltedelgase sowie H-3, N-13, O-15, Cl-38, Ar-41

<sup>†</sup>"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

Richtung	Sektor Nr.	Beaufschlagungs- häufigkeit† in %
NNE	1	10,98
NE	2	20,24
ENE	3	13,2
E	4	4,1
ESE	5	2,16
SE	6	1,55
SSE	7	1,86
S	8	3,29
SSW	9	4,92
SW	10	6,5
WSW	11	11,7
W	12	7,74
WNW	13	5,28
NW	14	1,91
NNW	15	1,03
N	16	3,57

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

Tabelle 4: Nuklid-Konstanten

Nuklid	$E_{eff}$ MeV	$\frac{g}{rem\ m^3}$ $\frac{Ci\ s}{s}$
Ar-41	0,45	
Kr-85	0,24	
Kr-89	1,33	
Xe-137	0,92	
H-3		0,047 <sup>1)</sup>
J-131		342 <sup>2)</sup>
Pu-239		9 480 <sup>3)</sup>

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

Tabelle 5: Strahlendosen im KFZK und in der Umgebung

Ort	Strahlendosis in mrem/a infolge				
	äußerer γ-Strahlung	äußerer β-Strahlung	J-131- Inhalation	Tritium- Inhalation	Pu-239- Inhalation
KFZK:					
Nordtor	50	9	1	0,08	0,12
Südtor	27	6	0,9	0,06	0,04
Zaun 600 m NO vom FR 2	70	8	0,4	0,07	0,04
Zaun 500 m SW vom FR 2	36	6	0,9	0,06	0,04
Umgebung:					
Graben	4,23	6,4	1,1	0,06	0,03
Spöck	2,0	3,0	0,3	0,04	0,04
Friedrichs- tal	5	4,7	0,5	0,06	0,06
Blankenloch	1,1	0,85	0,13	0,01	0,005
Karlsruhe Markt	0,9	1,0	0,14	0,01	0,005
Neureut	1,8	1,8	0,23	0,02	0,01
Eggenstein	3,8	4,0	0,53	0,04	0,02
Leopolds- hafen	4,8	8,2	1,3	0,08	0,04
Linken- heim	1,7	3,1	0,6	0,03	0,01

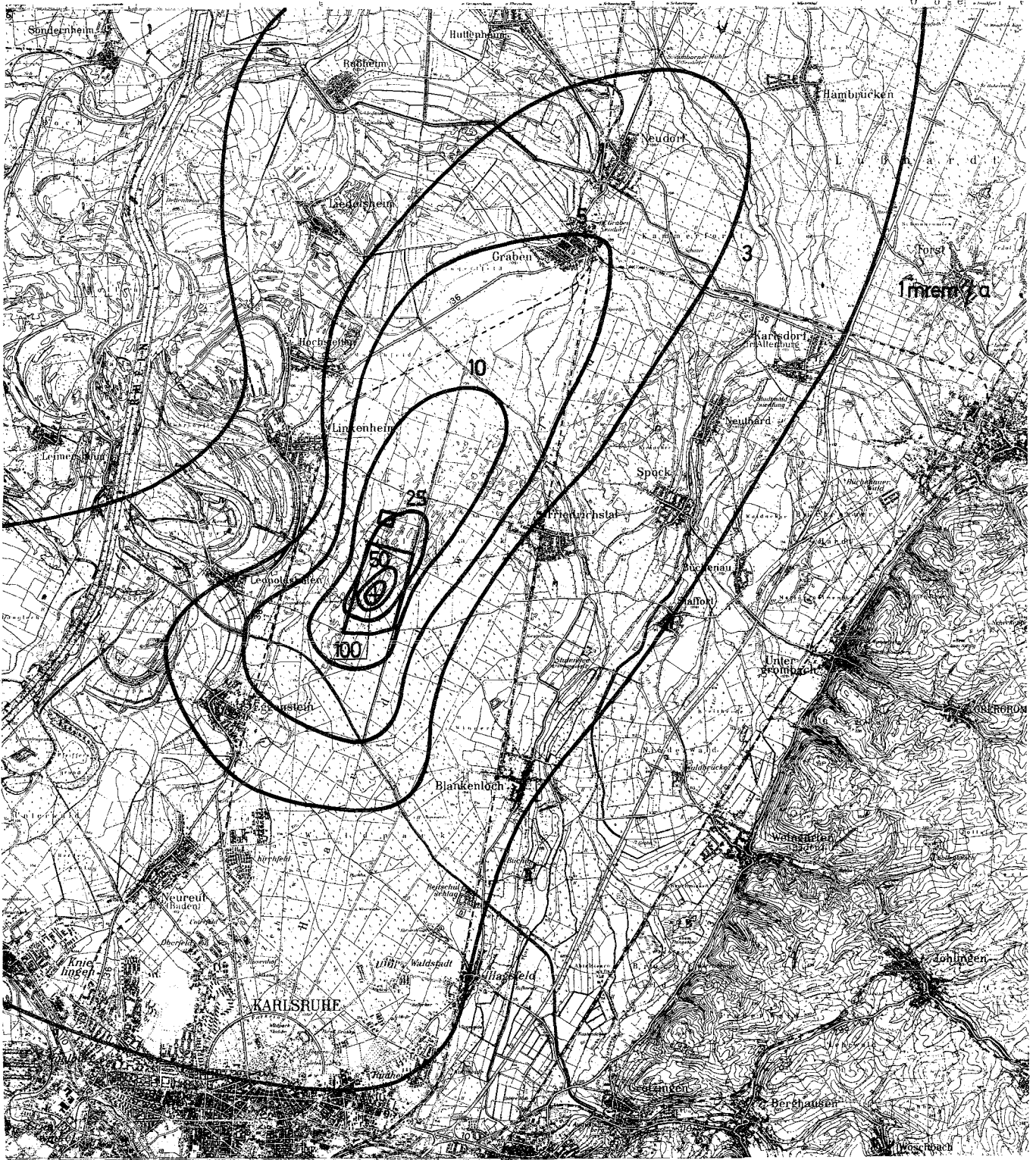


Abb. 1:  $\gamma$ -Isodosen

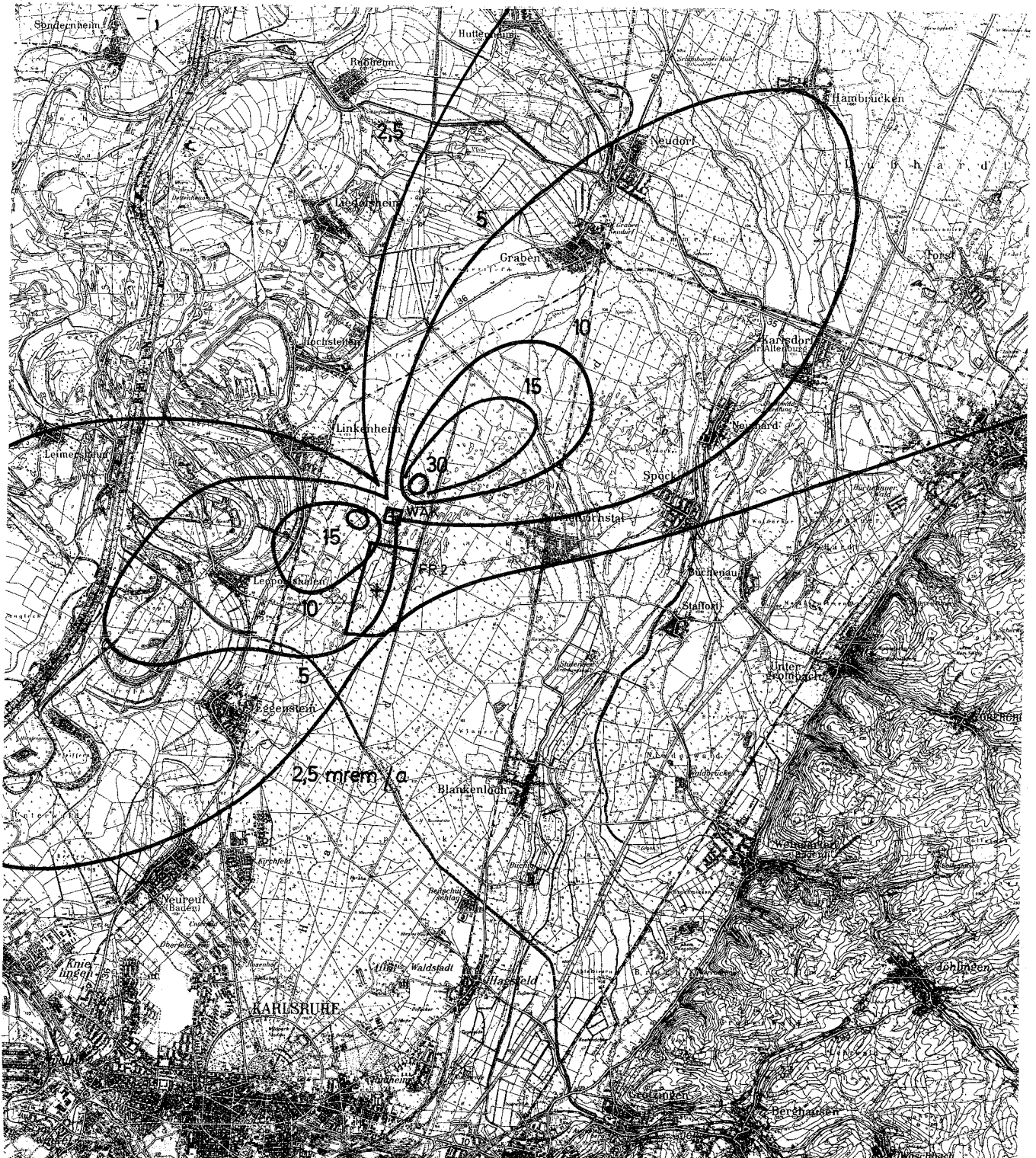


Abb. 2:  $\beta$ -Isodosen

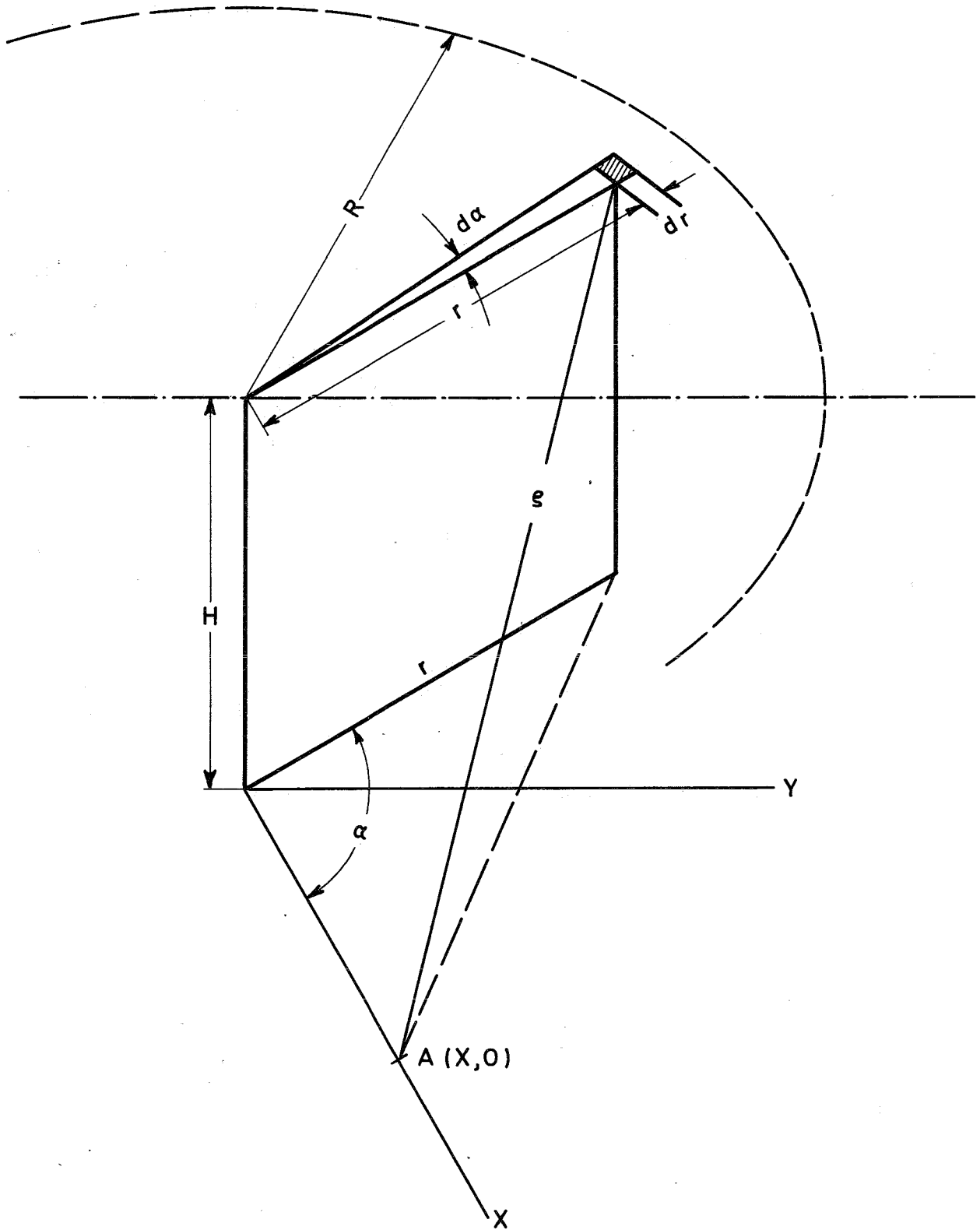


Abb.3 : Koordinatensystem

