

KfK 3980  
Juni 1988

**WOLGA 2 —  
Ein FORTRAN-77-Programm  
zur Berechnung der  
bodennahen Dosisleistung  
durch Gammastrahlung aus der  
radioaktiven Abluftfahne  
aufgrund kurzzeitiger  
radioaktiver Freisetzungen eines  
Emittenten**

D. Papadopoulos, M. Bär, S. Honcú  
Hauptabteilung Sicherheit  
Institut für Meteorologie und Klimaforschung

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Hauptabteilung Sicherheit

Institut für Meteorologie und Klimaforschung

KfK 3980

WOLGA 2 - Ein FORTRAN-77-Programm zur Berechnung der bodennahen Dosisleistung durch Gammastrahlung aus der radioaktiven Abluftfahne aufgrund kurzzeitiger radioaktiver Freisetzungen eines Emittenten

D. Papadopoulos , M. Bär, S. Honcū

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

## Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht stellt das Rechenprogramm WOLGA 2 vor, welches die bodennahe Gammadosisleistung aufgrund kurzzeitiger radioaktiver Freisetzungen in die Atmosphäre berechnet. Hierbei wurde vorausgesetzt, daß während der kurzen Zeitperiode, in der die Abgabe erfolgt, sowohl die Windrichtung, die Windgeschwindigkeit als auch die Stabilitätskategorie als zeitlich konstant angenommen werden können.

WOLGA 2-A FORTRAN-77 Code for Calculation of the Near Ground Gamma Dose Rate from the Radioactive Off-Gas Plume Produced by Short Term Releases from an Emitter

## Summary

The report presents the computer code WOLGA 2, that calculates the gamma dose rate near the ground according to short term radioactive emissions into the atmosphere under the condition, that during the short time period during the emission, wind direction, wind velocity and the stability of the atmosphere can be assumed as timely constant.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einführung	1
2 Berechnung der Aktivitätsverteilung	2
2.1 Linienquelle	2
2.2 Flächenquelle	3
2.3 Volumenquelle	6
3 Berechnung der $\gamma$ -Dosisleistung	11
3.1 Linienquelle	15
3.2 Flächenquelle	17
3.3 Volumenquelle	21
4 Literatur	24
5 Beschreibung der Eingabe	26
5.1 Beispiel für Eingabe und Ausgabe des Programmes WOLGA-2	29

## 1 Einführung

Die Berechnung der  $\gamma$ -Dosisleistung aus einer radioaktiven Abluftfahne ist aufgrund des großen Durchdringungsvermögens der  $\gamma$ -Strahlung in Luft und der ungleichmäßigen Verteilung der Radioaktivität in der Atmosphäre relativ aufwendig. In der Literatur sind zur Lösung dieser Problemstellung eine ganze Reihe von Näherungsverfahren publiziert worden (s. /He-68 Vo-70, Wi-70, Co-68, Co-68-1, Ro-79, Ro-81 und Mi-83/), wobei meist mehr oder weniger grobe Annahmen bezüglich der Aktivitätsverteilung im Raum getroffen wurden.

Um bei kurzzeitigen Emissionen (z. B. Unfallsituation) die  $\gamma$ -Dosisleistung rechnerisch möglichst genau ermitteln zu können, wurde ein Rechenprogramm unter folgender Zielsetzung entwickelt:

Die Aktivitätsverteilung wird aufgrund der zum Zeitpunkt der Emission vorherrschenden Stabilitätskategorie ( $j$ ), der Ausbreitungsrichtung ( $x$ ) und der Windgeschwindigkeit ( $u$ ) berechnet. Hierbei wird angenommen, daß in der kurzen Zeitperiode ( $T$ ), während der die Abgabe der Aktivität erfolgt, die Windrichtung, die Windgeschwindigkeit und die Stabilitätskategorie konstant bleiben.

Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, besteht die Möglichkeit, entweder das Programm WOLGA 2 zweimal oder mehrmals für die Teilperioden  $T_1, T_2 \dots T_n$  ( $T_1 + T_2 + \dots + T_n = T$ ) mit den entsprechenden, konstanten meteorologischen Situationen in den Teilperioden zu starten oder, falls  $T_n$  zu groß und die Emission annähernd konstant ist, die Emission als kontinuierlich anzusehen und die Berechnung mit Hilfe der für die Zeitperiode  $T$  der Emission erstellten meteorologischen Statistik und des Rechenprogramms WOLGA 1 /Na-75, Hü-75/ durchzuführen.

## 2 Berechnung der Aktivitätsverteilung

Die emittierte Aktivität wird schrittweise in die drei Dimensionen des Raumes (axial, azimuthal und vertikal) verteilt.

Zunächst wird in Ausbreitungsrichtung die emittierte Aktivität auf einer Geraden in der Emissionshöhe konzentriert angenommen (Linienquelle). Sodann wird die Linienaktivität jedes Linien-elementes auf der Emissionsebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung entsprechend dem horizontalen Ausbreitungsparameter  $\sigma_{yj}(x)$  normal verteilt (Flächenquelle). Schließlich wird die Aktivität jedes Flächenelementes der Flächenquelle in Z-Richtung entsprechend dem vertikalen Ausbreitungsparameter  $\sigma_{zj}(x)$  und unter Berücksichtigung der Reflexion am Boden normal verteilt (Volumenquelle).

Bei jeder der drei Quellenverteilungen wird die an sich kontinuierlich (auf einer Linie, einer Fläche oder im Volumen) verteilte Aktivität in diskrete Einzelaktivitäten oder "Aktivitätspunkten" an den Schwerpunkten der Linien-, Flächen- und Volumenelemente konzentriert angenommen (Punktquelle). Die  $\gamma$ -Dosis an einem Aufpunkt wird als Summe der Dosisbeiträge aus den einzelnen Punktquellen berechnet.

### 2.1 Linienquelle

Es wird angenommen, daß ein Emittent der Emissionshöhe  $h$  die Aktivität  $A$  in der kurzen Zeitperiode  $T$  so abgibt, daß sie in einem sehr schmalen Sektor auf der Emissionshöhe konzentriert bleibt (Linienquelle).



Bezeichnen wir mit  $\lambda$  die Zerfallskonstante des emittierten Nuklids, mit  $\dot{A}$  die Emissionsrate und mit  $u$  die Windgeschwindigkeit, so ist die Aktivitätskonzentration pro Längeneinheit an der Stelle  $x = r$  der Linienquelle

$$C_L = \frac{\dot{A}}{u} e^{-\frac{\lambda r}{u}} \quad (2.1).$$

Die Aktivität der Linienquelle wird in eine Kette einzelner Aktivitätselemente aufgeteilt.

$$\Delta A_L = C_L \cdot \Delta r \quad (2.2)$$

Es ist

$$r = r_n = n \Delta r - \frac{\Delta r}{2} \quad (2.3)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

## 2.2 Flächenquelle

Die Fläche auf der Emissionsebene  $\Delta F_s$  (s. Abb. 1) zwischen den Geraden

$$x = r_n - \frac{\Delta r}{2} \equiv x_n \quad (2.4)$$

$$x = r_{n+1} - \frac{\Delta r}{2} \equiv x_{n+1} \quad (2.5)$$

$$y = r_n \tan \left( \frac{(2s-1)}{2} \Delta a \right) = Y_s \quad (2.6)$$

$$y = r_n \tan \left( \frac{2(s+1)-1}{2} \Delta a \right) = Y_{s+1} \quad (2.7)$$

ist

$$\Delta F_s = (x_{n+1} - x_n) (y_{s+1} - y_s) \quad (2.8)$$

In diesen Gleichungen sind

- $x, y$  Kartesische Koordinaten mit  $x$  in Ausbreitungsrichtung und Koordinatenursprung im Kaminfuß
- $r, a$  Polarkoordinaten mit Koordinatenursprung im Kaminfuß, der Winkel  $a$  wächst von Nord über Ost-Süd-West-Nord
- $n$  Index für den Entfernungsschritt ( $n = 1, 2, 3 \dots$ )
- $s$  Index für den Winkelschritt ( $s = 0, \underline{+1}, \underline{+2}, \underline{+3} \dots \underline{+I/2}$ )  
mit  $I = 2 \pi / \Delta a$

Die Aktivität  $\Delta A_L$  ist auf den Flächenelementen entsprechend dem horizontalen Ausbreitungsparameter  $\sigma_y(x)$  normal verteilt (s. Abb. 2), dann ist die Flächenaktivität  $\Delta A_{Fsj}$  für die Stabilitätskategorie  $j$  gleich:

$$\Delta A_{Fsj} = \Delta A_L \cdot f_{sj} \quad (2.9)$$

mit

$$f_{sj} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{yj}(x)} \left( \int_{-Y_{s+1}}^{Y_{s+1}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_{yj}(x)} \right)^2} dy - \int_{-Y_s}^{Y_s} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_{yj}(x)} \right)^2} dy \right) \quad (2.10)$$

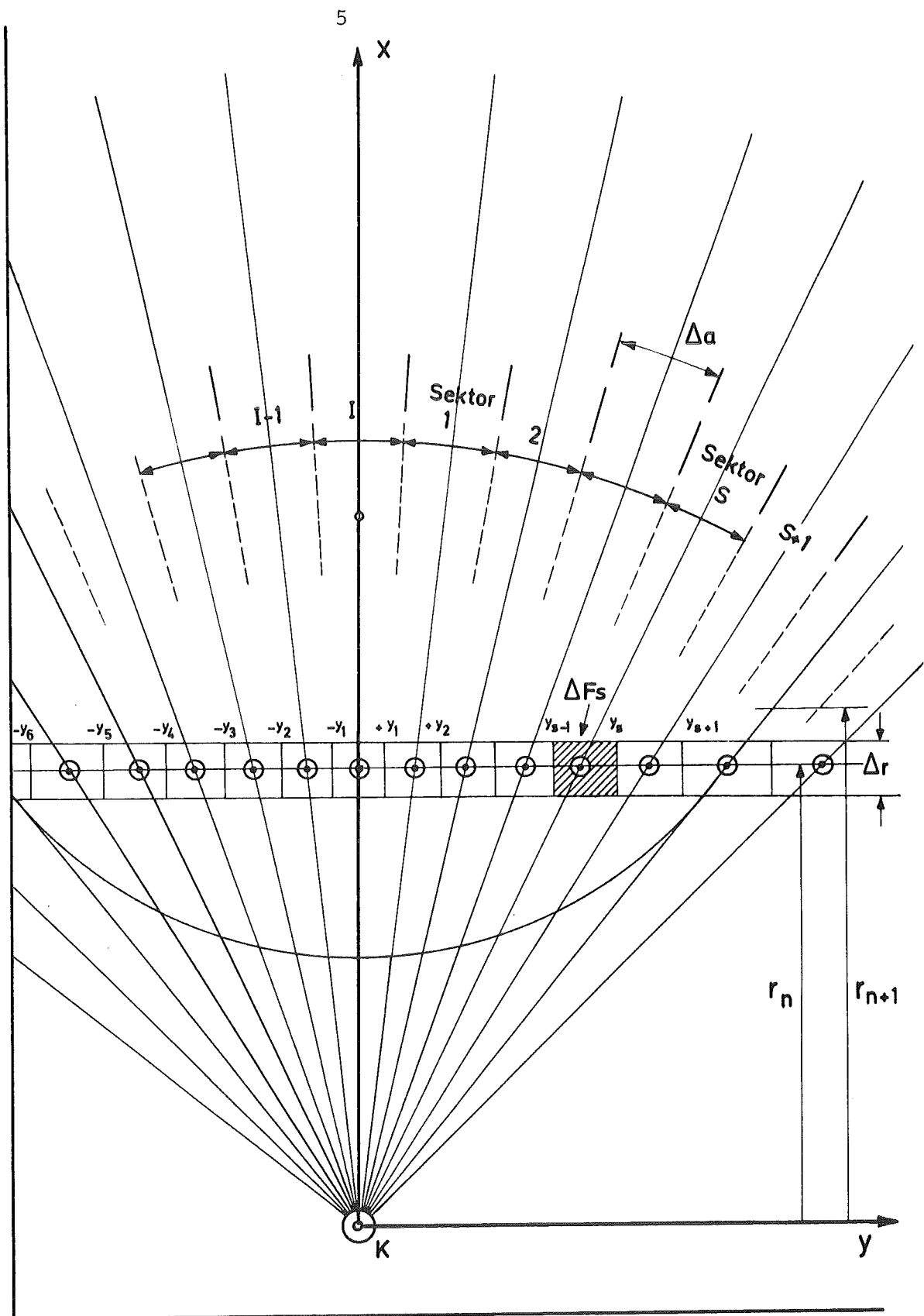


Abb.1: GEOMETRIE ZUR BERECHNUNG DER HORIZONTALEN AKTIVITÄTSVERTEILUNG AUF DER EMISSIONSEBENE IN EINER ENTFERNUNG  $r_n$

K = KAMINMÜNDUNG  
 X = AUSBREITUNGSRICHTUNG  
 $\Delta\alpha$  = SEKTORÖFFNUNG

mit

$$\text{ERF}(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{v^s} e^{-v^2} dv \quad \text{und} \quad (2.11)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{y}{\sigma_{yj}(x)} \quad (2.12)^*$$

erhält man den folgenden Ausdruck für  $f_{sj}$  ( $s = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm I/2$ )

$$f_{sj} = \frac{1}{2} \left( \text{ERF} \left( \frac{Y_{s+1}}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(x)} \right) - \text{ERF} \left( \frac{Y_s}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(x)} \right) \right) \quad \text{für } s \neq 0 \quad (2.13)$$

und für den Zentralsektor gilt

$$f_{0j} = \text{ERF} \left( \frac{Y_1}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(x)} \right). \quad (2.14)$$

Theoretisch würde sich nach Gl. (2.10) die Aktivität unendlich weit in  $y$ -Richtung erstrecken. Die tatsächlich endliche Aktivitätsverteilung wird durch eine Abschneidenvorschrift berücksichtigt, welche in Kap. 3 angegeben ist.

### 2.3 Volumenquelle

Als Volumenquelle wird hier die den Gesetzen atmosphärischer Ausbreitung entsprechend im Luftstrom verteilte Aktivität eines Emittenten verstanden. Wird die Aktivität  $\Delta A_{Fsj}$  in vertikaler Richtung  $z$  nach einer Gaußverteilung der Varianz  $\sigma_{zj}^2(x)$  verteilt und eine vollständige Reflexion am Boden angenommen, so ist die Konzentration der Aktivität  $\Delta A_{vsji}$  im Bereich (s. Abb. 3)

---

\* $v$  ist eine Hilfsvariable

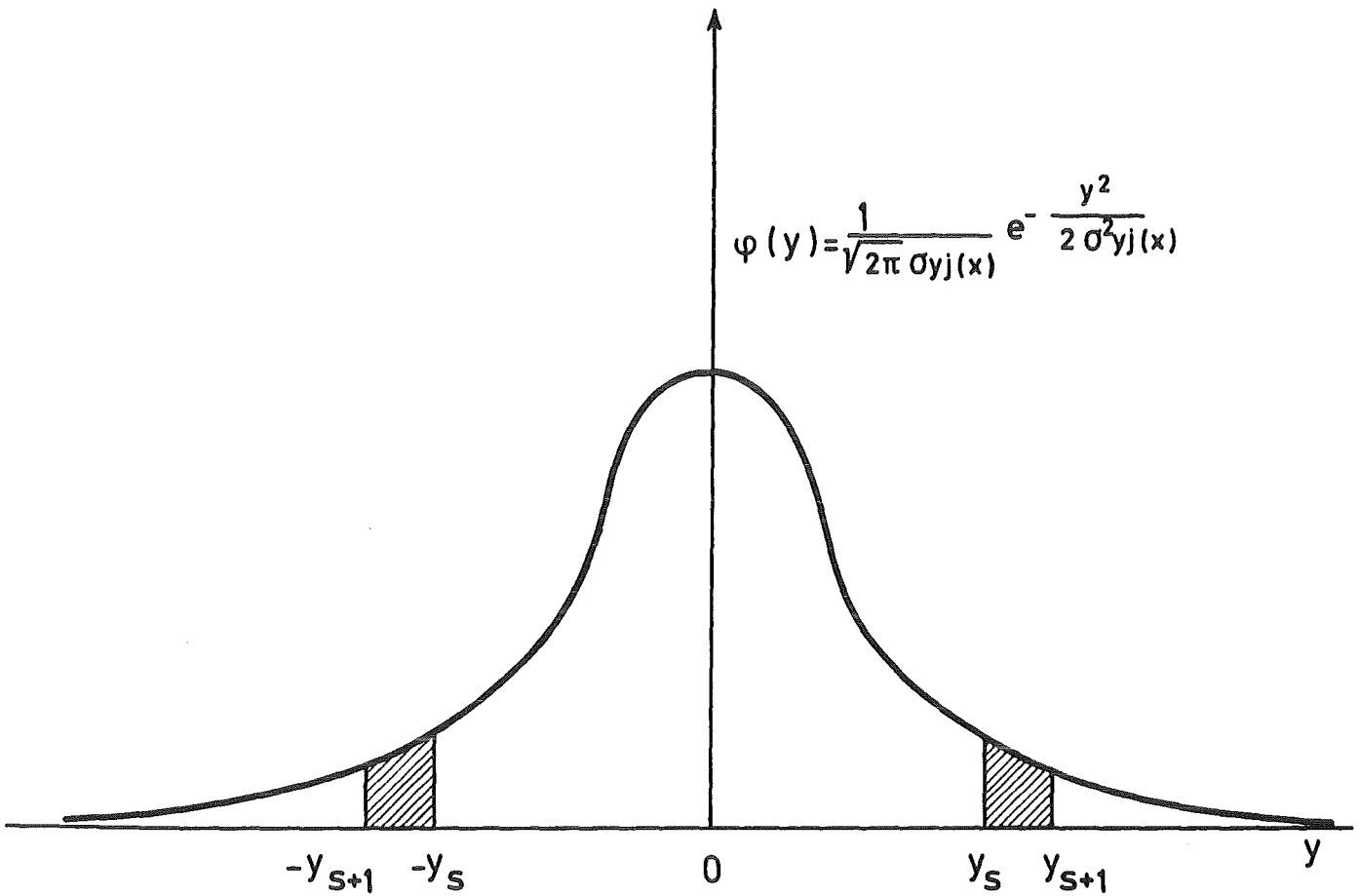


Abb. 2 : HORIZONTALE NORMALVERTEILUNG DER AKTIVITÄT

$$\Delta z_i = z_{i+1} - z_i \quad (2.15)$$

gleich:

$$\Delta A_{vsji} = \Delta A_{Fsj} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{zj}(x)} \int_{z_i}^{z_{i+1}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{z-h}{\sigma_{zj}(x)} \right)^2} dz$$

$$+ \int_{-z_i}^{-z_{i+1}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{z-h}{\sigma_{zj}(x)} \right)^2} dz \quad (2.16)$$

$$z_i = i \Delta z; \quad i = 0, 1, 2 \dots$$

$\Delta z$  wird so gewählt, daß

$$\frac{h}{\Delta z} - \frac{1}{2} = p; \quad p = 0, 1, 2 \dots$$

Mit\*

$$v' = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{(h-z)}{\sigma_{zj}(x)} \quad (2.17)$$

folgt\*:

$$dv' = \frac{-dz}{\sqrt{2} \sigma_{zj}(x)} \quad (2.18)$$

---

\* $v'$  ist eine Hilfsvariable und ist nicht mit  $v$  in Kap. 2.2 zu verwechseln,  $h$  ist die Emissionshöhe.

Wir schreiben die Fehlerfunktion in folgender Form:

$$\text{ERF}(v'_i) \equiv \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{v'_i} e^{-v'^2} dv' . \quad (2.19)$$

Aus Gln. (2.16) bis (2.19) folgt (s. Abb. 3):

$$\Delta A_{vsji} = \frac{\Delta A_{Fsji}}{2} [\text{ERF}(v'_2) - \text{ERF}(v'_1) + \text{ERF}(v'_4) - \text{ERF}(v'_3)] \quad (2.20)$$

mit

$$\begin{aligned} v'_2 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{h-z_i}{\sigma_{zj}(x)} \\ v'_1 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{h-z_{i+1}}{\sigma_{zj}(x)} \\ v'_4 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{h+z_{i+1}}{\sigma_{zj}(x)} \\ v'_3 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{h+z_i}{\sigma_{zj}(x)} . \end{aligned} \quad (2.21)$$

Wir schreiben

$$\Delta A_{vsji} = \Delta A_L \cdot f_{sj} \cdot f_{ij} \quad (2.22)$$

mit  $f_{sj}$  aus Gl. (2.13), Gl. (2.14) und

$$f_{ij} = \frac{1}{2} [\text{ERF}(v'_2) - \text{ERF}(v'_1) + \text{ERF}(v'_4) - \text{ERF}(v'_3)] .$$

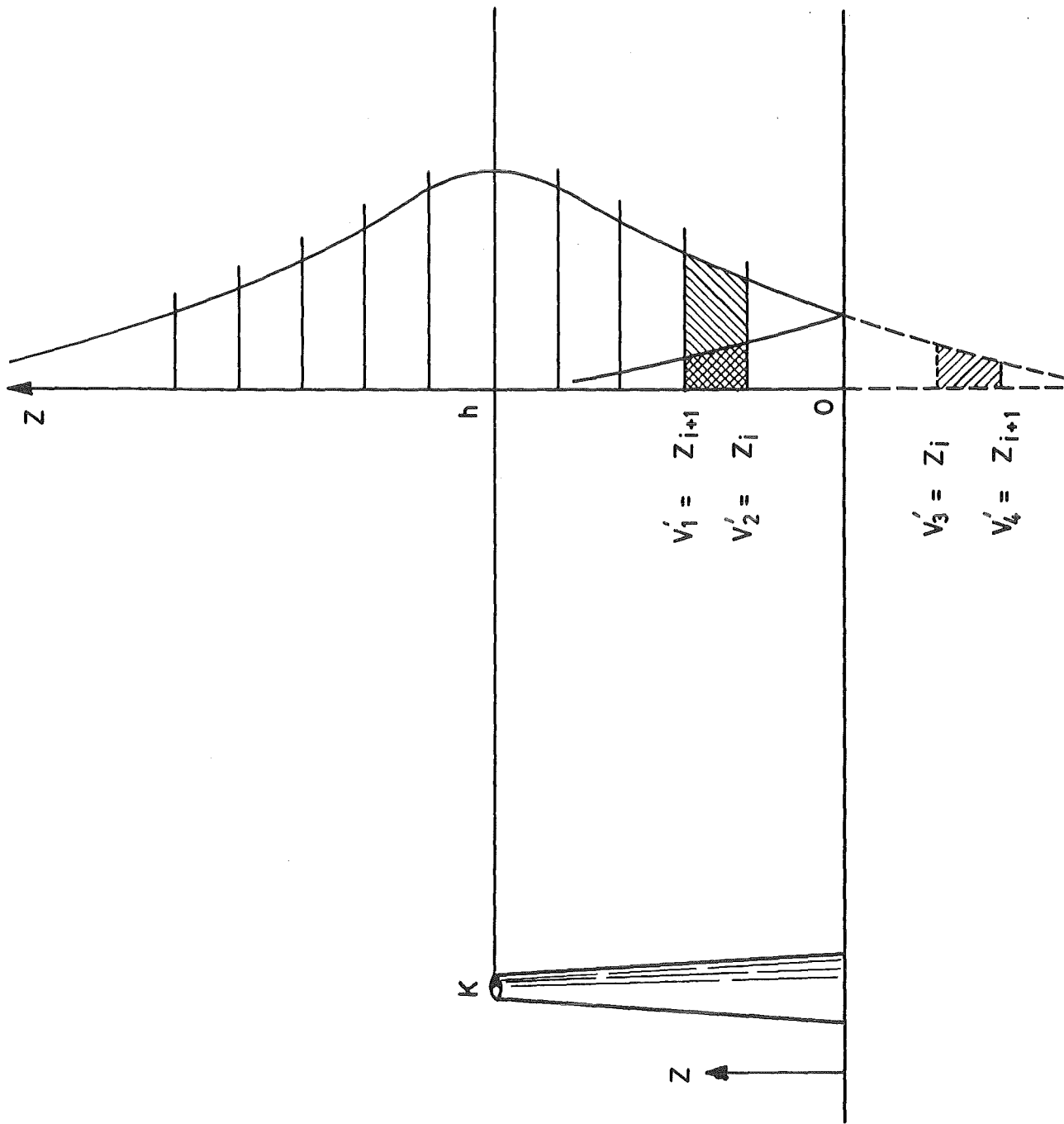


Abb. 3: VERTIKALE VERTEILUNG DER AKTIVITÄT



Mit  $\Delta A_L$  aus Gl. (2.1), Gl. (2.2) und Gl. (2.3) ist

$$\Delta A_{vsji} = \frac{\dot{A}}{u} e^{-\lambda r/u} \cdot \Delta r \cdot f_{sj} \cdot f_{ij}. \quad (2.23)$$

Theoretisch würde sich nach Gl. (2.16) die Aktivität unendlich weit nach oben erstrecken. Die tatsächlich endliche Aktivitätsverteilung wird durch eine Abschneidevorschrift berücksichtigt, welche in Kap. 3 angegeben ist.

### 3 Berechnung der $\gamma$ -Dosisleistung

Aufgrund des großen Durchdringungsvermögens können  $\gamma$ -Strahlen aus einem großen Bereich der Abluftfahne zur Strahlenexposition am betrachteten Aufpunkt P beitragen. Zur Ermittlung der  $\gamma$ -Dosisleistung sind daher die Dosisbeiträge aller Volumenaktivitätselemente ( $\Delta A_{vsj}$ ) der Abluftfahne unter Berücksichtigung der Absorption und Streuung der  $\gamma$ -Quanten in Luft zu integrieren.

Die  $\gamma$ -Dosisleistung, die durch die Emission von  $\gamma$ -Quanten des Radionuklids q verursacht wird, erhält man aus:

$$\begin{aligned} \dot{D}_q &= \sum_m \frac{1,6 \cdot 10^{-10}}{4 \pi} \frac{\text{Gy} \cdot \text{g}}{\text{MeV} \cdot \text{Bq} \cdot \text{s}} \left( \frac{\mu_{a,m}}{d} \right)_{\text{Luft}} \cdot P_{\gamma qm} \cdot E_{\gamma qm} \cdot \\ &\cdot \int (v) \frac{C_q}{\rho^2} B(E, \mu_m \rho) e^{-\mu_m \rho} dv. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Hierbei ist

$\rho$  Abstand zwischen dem Volumenquellenelement  $dv$  und dem Aufpunkt P (in m)

$P_{\gamma, q, m}$  pro Zerfall ausgesandte  $\gamma$ -Quanten des Übergangs (dimensionslos, q Index für Nuklid, m Index für  $\gamma$ -Energie des Übergangs)

$E_{\gamma, q, m}$  Energie des  $\gamma$ -Quants des Übergangs m (in MeV)

$\left(\frac{\mu_a, m}{d}\right)$  Luft Massenenergieabsorptionskoeffizient (in  $m^2/g$ )  
d: spezifische Dichte des Mediums

$\mu_m$  Schwächungskoeffizient für Photonen in Luft

$C_q$  Aktivitätskonzentration des Nuklids q in Luft

$B(E, \mu_m \rho)$  Dosisaufbaufaktor in Luft

Der Dosisaufbaufaktor (Build-up-Faktor) hängt von der Energie der  $\gamma$ -Quanten sowie dem Produkt  $\mu\rho$  ab. Eine Berechnung dieses Faktors wurde von Goldstein und Wilkins /Go 54/ publiziert, s. Abb. 4. Durch Interpolation können Build-up-Faktoren im Energiebereich  $0,25 < E_\gamma < 10$  MeV aus diesen Kurven ermittelt werden. Eine einfache Näherungsformel /Is 67/, Gl. (3.2), beschreibt den Build-up-Faktor mit ausreichender Genauigkeit /Hü 75/ im Bereich  $0,5 \text{ MeV} \leq E_\gamma \leq 2 \text{ MeV}$ , s. Abb. 4:

$$B(E, \mu\rho) = 1 + \mu_m \rho + \frac{(\mu_m \rho)^2}{7 E_\gamma^{2,4}} \quad (3.2)$$

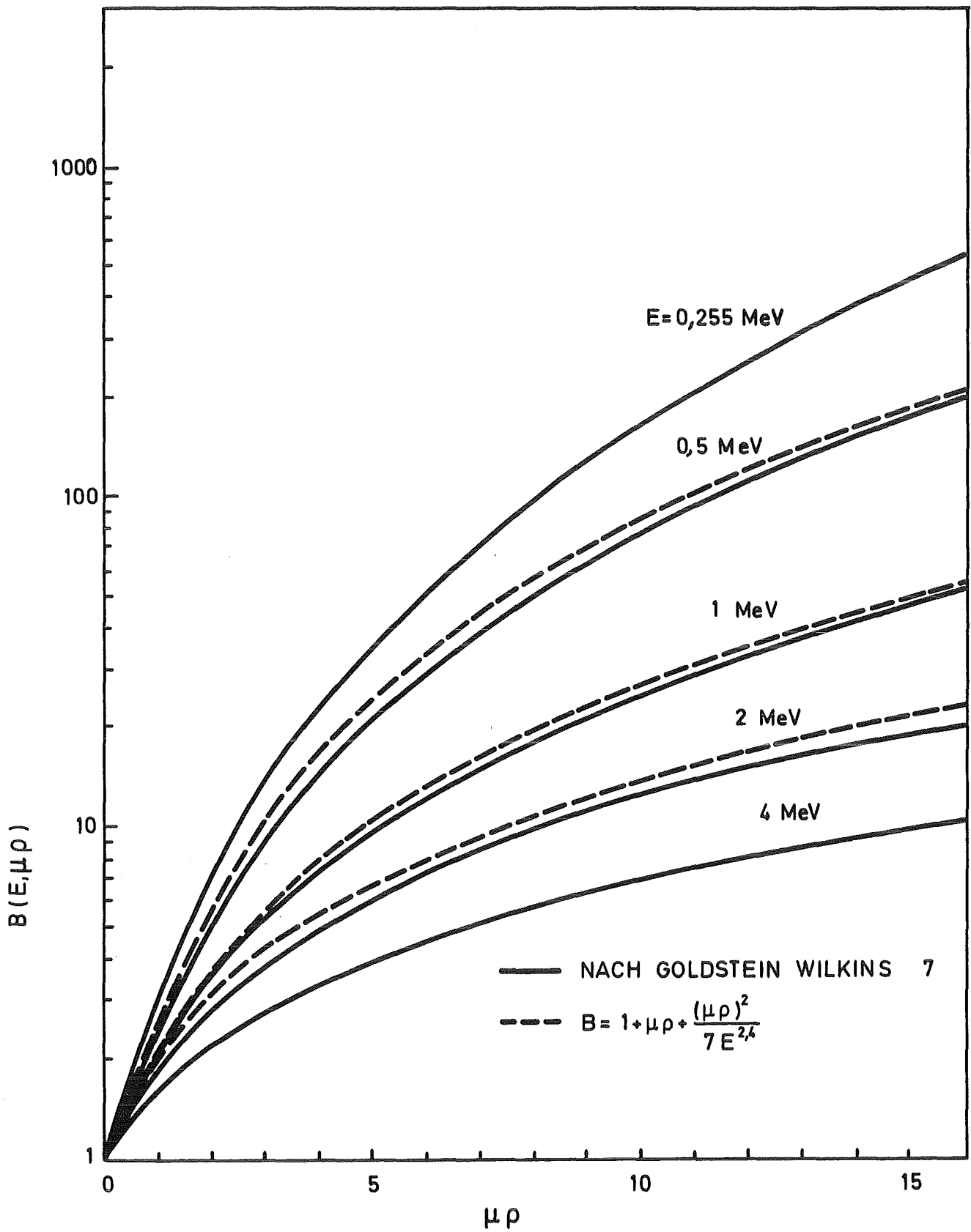


Abb.4: AUFBAUFAKTOR  $B(E, \mu\rho)$  FÜR  $\gamma$ -STRAHLUNG IN LUFT

In Gl. (3.1) ist  $C_q$  als Aktivitätskonzentration innerhalb einer Gaußschen Abluftfahne anzusehen. Es läßt sich zeigen, daß die Energieabhängigkeit des Volumenintegrals relativ gering ist, s. /Vo 70/, so daß man in guter Näherung davon ausgehen kann, daß die Energieabhängigkeit der  $\gamma$ -Dosisleistung vornehmlich im Restterm von Gl. (3.1) enthalten ist. Dieser Restterm wird u. a. als  $\gamma$ -Dosisleistungsfaktor  $g_{\gamma q}$  des Radionuklids  $q$  bezeichnet.

Damit nimmt Gl.(3.1) die folgende einfache Form an:

$$\dot{D}_q = g_{\gamma q} \int \frac{C_q}{\rho^2} B(E, \mu\rho) e^{-\mu\rho} dv. \quad (3.3)$$

Im Programm WOLGA 2 wird das Volumenintegral numerisch durch Aufsummieren der Volumenaktivitätselemente  $\Delta A_{vsji}$  gelöst. Wegen des quadratischen Abstandsgesetzes nimmt die Strahlungsintensität an einem Aufpunkt mit wachsender Entfernung des Strahlers rasch ab. Ist der Raum gleichmäßig mit Aktivität gefüllt, dann tragen die Aktivitätselemente in größerer Entfernung - relativ zum Beitrag der nähergelegenen - kaum noch zur Gesamtstrahlung bei. Daher kann der Bereich, dessen Aktivität bei der Dosisberechnung berücksichtigt wird, begrenzt werden. In horizontaler Richtung soll ein Kreis um den Aufpunkt mit dem Radius  $R_0$  diesen Bereich begrenzen. Der Radius  $R_0$  wird hier "Reichweite der  $\gamma$ -Strahlung" genannt. Es wird jedoch betont, daß es sich um eine scheinbare Reichweite handelt, die sich nur aus den Anforderungen an die Genauigkeit des Rechenprogramms herleiten läßt.

Bei der Volumenquelle ist eine Begrenzung des Bereiches auch in vertikaler Richtung erforderlich. Dabei sorgt nicht nur das quadratische Abstandsgesetz, sondern auch die mit der Höhe rasch abnehmende Aktivitätskonzentration dafür, daß die Dosisbeiträge der Aktivitätselemente ab einer bestimmten Höhe vernachlässigt werden können. Eine entsprechende Abschneidenvorschrift wird in Kap. 3.4 angegeben.

### 3.1 Linienguelle

Die Aktivität  $\Delta A_L$  verursacht am Aufpunkt  $P(x_p, \omega_p)$  (s. Abb. 5) die  $\gamma$ -Dosisleistung

$$\dot{\Delta D}_{Lq} = g_{\gamma q} \frac{B(E, \mu \rho)}{\rho^2} \Delta A_L e^{-\mu \rho} \quad (3.5)$$

mit

$$\rho = \sqrt{x_p^2 + r^2 - 2 x_p r \cos(\omega_p - \phi) + h^2} \quad (3.6)$$

und  $r$  aus Gl. (2.3).

Die Dosisleistung aus der Aktivität der Linienguelle ist

$$\dot{D}_{Lq} = \sum_r \dot{\Delta D}_{Lq}. \quad (3.7)$$

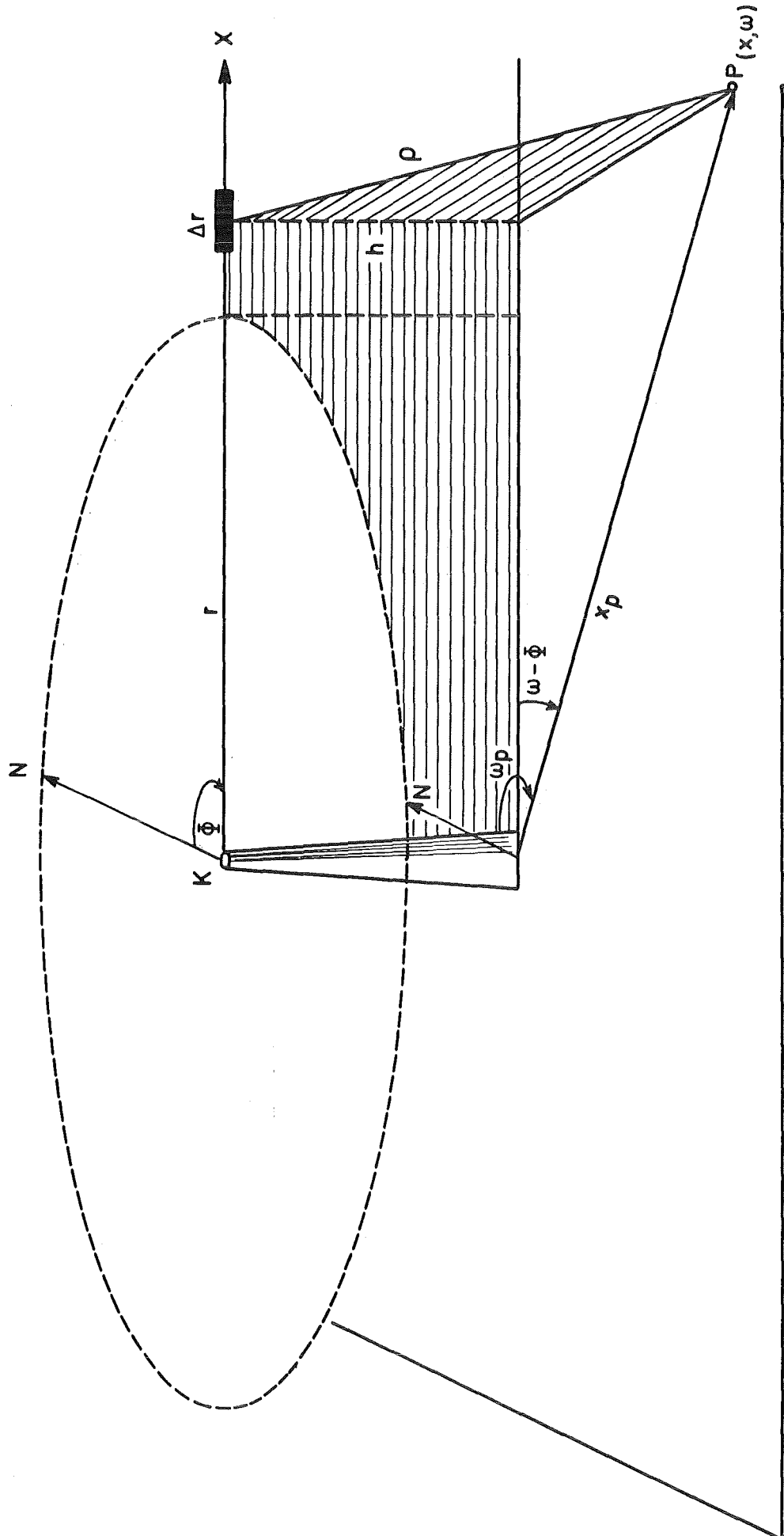


Abb. 5: GEOMETRIE DER DOSISBERECHNUNG AUS EINEM LINIENELEMENT  $\Delta r$

### 3.2 Flächenquelle

Die Aktivität  $\Delta A_{Fsj}$  verursacht am Aufpunkt  $P(x_p, \omega_p)$  die Dosisleistung

$$\dot{\Delta D}_{Fsjq} = g_{\gamma q} \frac{B(E, \mu g)}{\rho^2} \Delta A_{Fsj} e^{-\mu \rho} \quad (3.8)$$

mit

$$\rho = \sqrt{\rho'^2 + h^2} \quad (3.9)$$

$$\rho'^2 = \frac{r^2}{\cos^2(a-\phi)} + x_p^2 - 2 x_p r \frac{\cos(a-\omega_p)}{\cos(a-\phi)}. \quad (3.10)$$

s. Abb. 6.

Sucht man die Dosisleistung am Aufpunkt  $P(x_p, \omega_p)$  aus der gesamten Flächenquelle, so muß man alle Flächenelemente berücksichtigen, die innerhalb eines Kreises mit dem Radius  $R = R_o^*$  liegen.

---

\*An sich würde es für die Flächenquelle ausreichen, wenn der Radius  $R$  aus der Gleichung

$$R = \sqrt{R_o^2 - h^2}$$

berechnet würde. Es ist aber für die Erweiterung des Programms zu Volumenquellen die Kenntnis der Dosisbeiträge der Aktivitäten innerhalb des Kreises  $R_o$  notwendig.

Die Summe der  $\Delta D_{Fsj}$  über alle Entfernungen  $r$  und alle Sektoren  $s$  der Öffnung  $\Delta a$  (s. Abb. 6) wird zuerst für konstante  $r$  (nach Gl. (2.3)) über alle  $\Delta a$  in den verschiedenen Sektoren und anschließend über alle Entfernungen  $r$  des Weges  $2R$  gerechnet. Es werden zwei Bereiche untersucht.

$$1. R > x_p \cos(\omega_p - \phi)$$

Nach Gl. (2.3) nimmt  $r$  Werte im folgenden Bereich an\*

$$0 \leq r \leq x_p \cos(\omega_p - \phi) + R. \quad (3.11)$$

$$2. R < x_p \cos(\omega_p - \phi)$$

In diesem Fall nimmt die Variable  $r$  Werte im Bereich

$$x_p \cos(\omega_p - \phi) - R \leq r \leq x_p \cos(\omega_p - \phi) + R \quad (3.12)$$

an.

Für jedes  $r$  nimmt  $a$  Werte im Bereich  $a_1 \leq a \leq a_2$  an (s. Abb. 7), die der Bedingung  $a = s \cdot \Delta a$  ( $s = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) genügen.

In Abb. 7 ist

$$r' = x_p \cos(\omega_p - \phi) \quad (3.13)$$

$$b = \sqrt{R^2 - [x_p \cos(\omega_p - \phi) - r]^2} \quad (3.14)$$

---

\*Entgegen der Ausbreitungsrichtung befindet sich keine Aktivität.



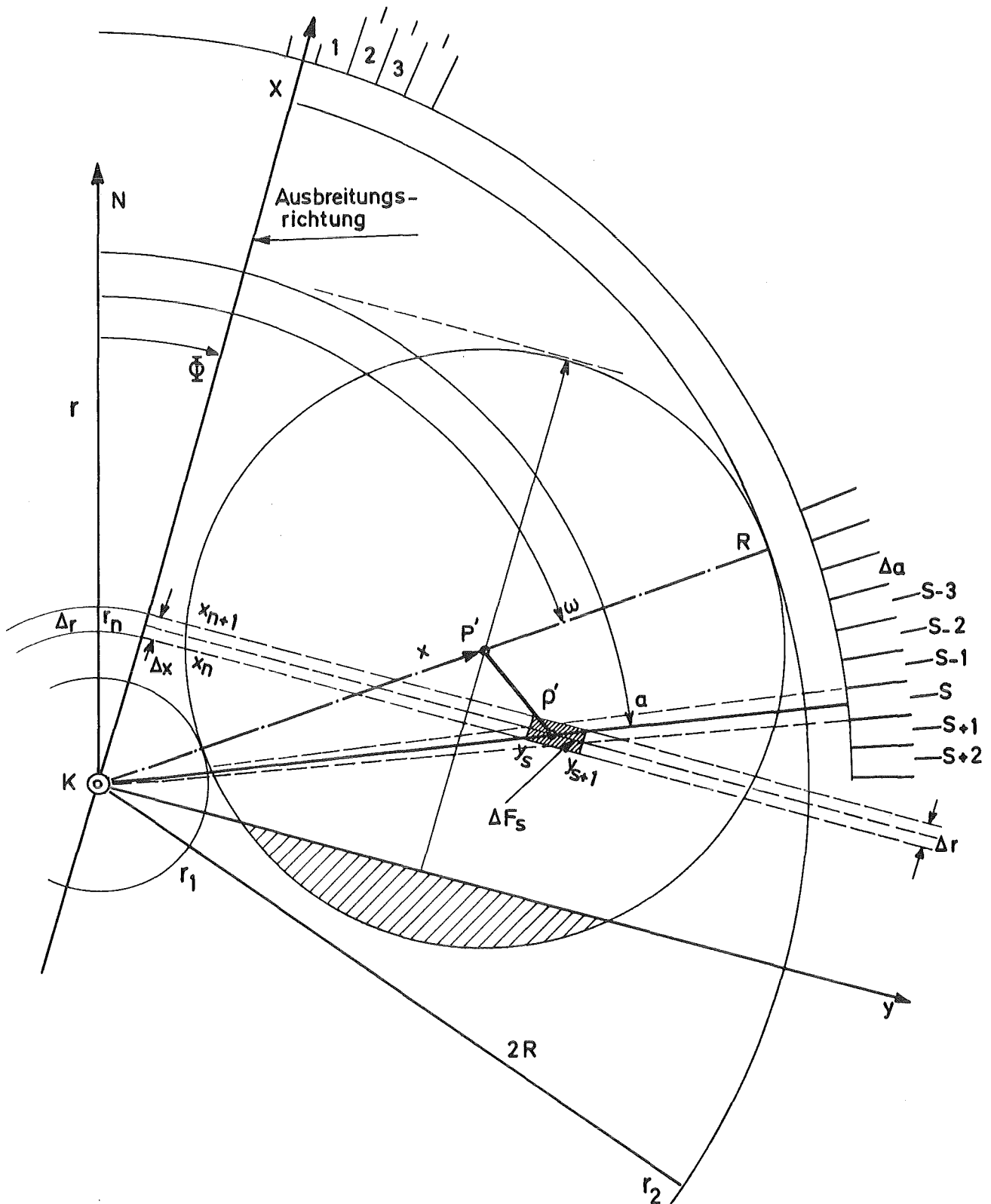


Abb. 6: GEOMETRIE DER FLÄCHENQUELLE

$K$  = KAMINMÜNDUNG

$P'$  = PROJEKTION DES AUFPUNKTES  $P(x, \omega)$  AUF DIE KAMINHÖHENEBENE

$\rho'$  = DIE PRJEKTION DER STRECKE  $\rho$  AUF DIE KAMINHÖHENEBENE

$S$  = SEKTORENMITTE

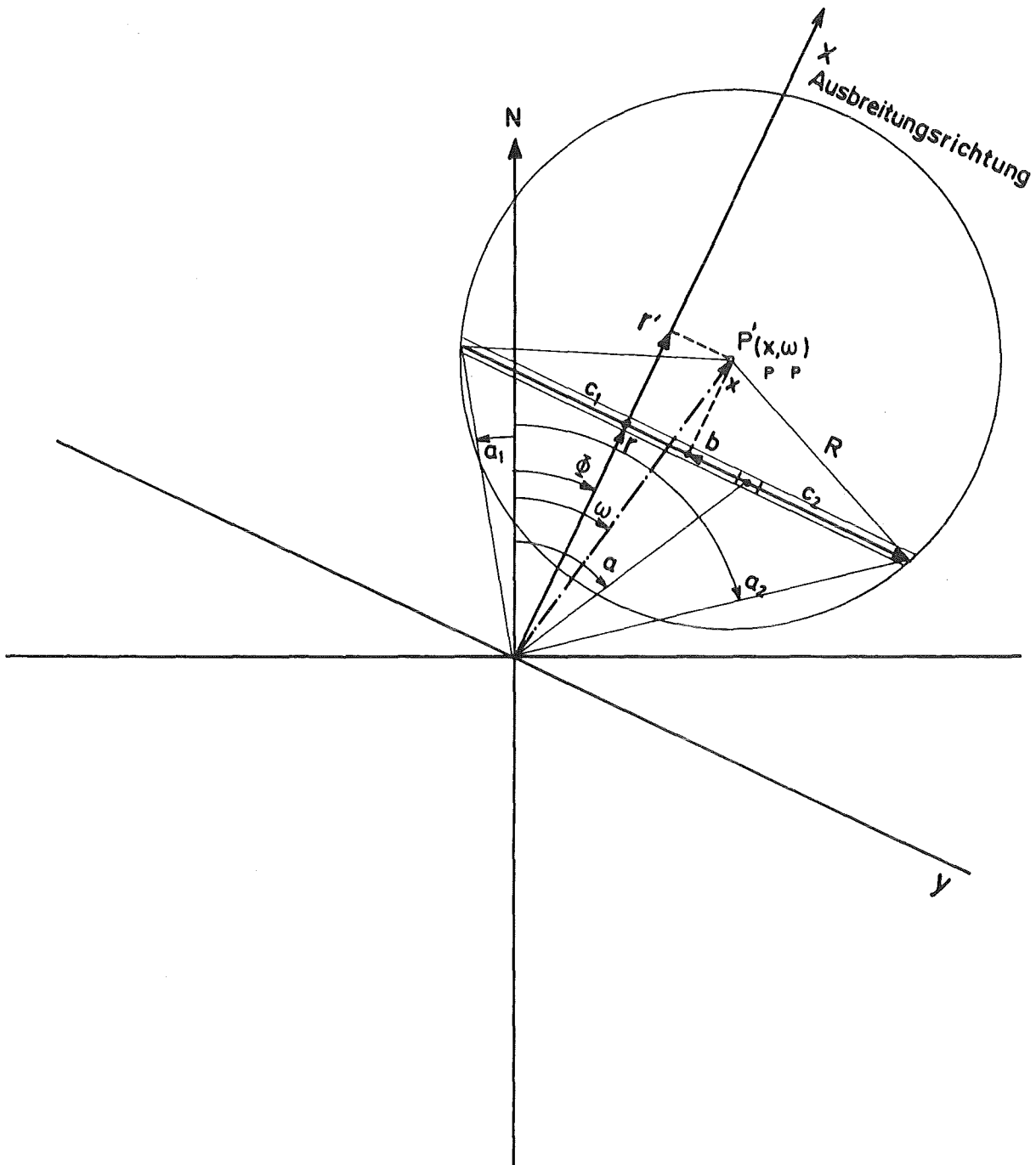


Abb. 7: GEOMETRIE ZUR BESTIMMUNG DES WINKELBEREICHS VON  $\alpha$

$$c_1 = b - x_p \sin(\omega_p - \phi) \quad (3.15)$$

$$c_2 = b + x_p \sin(\omega_p - \phi), \quad (3.16)$$

hieraus erhält man für

$$a_1 = \phi - \arctan \frac{c_1}{r} \quad (3.17)$$

$$a_2 = \phi + \arctan \frac{c_2}{r}. \quad (3.18)$$

### 3.3 Volumenquelle

Die Aktivität  $\Delta A_{vsji}$  verursacht am Aufpunkt  $P(x_p, \omega_p)$  die Dosisleistung

$$\dot{\Delta D}_{vsjig} = g_{Yq} \frac{B(E, \mu\rho)}{\rho^2} \Delta A_{vsji} e^{-\mu\rho} \quad (3.19)$$

In Gl. (3.19) wird die Entfernung

$$\rho = \sqrt{\frac{r^2}{\cos^2(a-\phi)} + \frac{x^2}{p} - 2 x_p r \frac{\cos(a-\omega_p)}{\cos(a-\phi)} + z^2} \quad (3.20)$$

mit  $z = \frac{1}{2} (z_i + z_{i+1})$  eingesetzt.

Die Dosisleistung  $\dot{D}_{vq}$  am Aufpunkt  $P(x_p, \omega_p)$  durch  $\gamma$ -Strahlung aus der radioaktiven Wolke wird aus der Summe der  $\Delta \dot{D}_{vsji}$  über alle Entfernungen  $r$  im Kreis  $R$ , über alle Winkel  $a$  und über alle Höhen  $i$  berechnet.

$$\dot{D}_{vq} = \sum_r \sum_a \sum_i \dot{D}_{vsjiq} \quad (3.21)$$

Die Summation wird in folgender Weise durchgeführt:

Für einen Aufpunkt  $P(x_p, \omega_p)$  wird zuerst der Wertebereich von  $r$  nach Gl. (3.11) oder Gl. (3.12) und der Wertebereich von  $a$  nach Gl. (3.17) und Gl. (3.18) innerhalb des Kreises  $R$  bestimmt. Für das jeweils geltende  $r$  werden die Varianzen  $\sigma_{zj}(x)$  und  $\sigma_{yj}(x)$  ( $x = r$  in Ausbreitungsrichtung) bestimmt. Für das laufende  $r$  bzw.  $x$  wird nach Gl. (3.17) und Gl. (3.18) der Wertebereich des Winkels  $a$  festgelegt und mit den laufenden Werten  $r$ ,  $a$  das  $Z$ -Feld im Bereich  $0 \leq z \leq z_0$  festgelegt.  $z_0$  wird folgendermaßen bestimmt:

Oberhalb der Emissionsebene ( $z > H$ ) nimmt der Beitrag der einzelnen Aktivitätsmengen zur Gesamtdosis mit steigender Höhe rasch ab. Diese Abnahme ist sowohl durch die abnehmende Aktivitätskonzentration als auch durch das quadratische Abstandsgesetz bedingt. Daher kann der  $z$ -Bereich entsprechend dem  $\sigma_{zj}(r)$ -Wert begrenzt werden.

Da  $ERF(2) = 0,9953$ , muß lediglich bis zur Höhe  $z_0 = 2 \sqrt{2} \sigma_{zj}(r) + H$  summiert werden, um 99,5 % der Aktivität zu berücksichtigen. Die restliche Aktivität (0,5 %) wird, um die berechnete Dosis nach oben und nicht nach unten abzurunden, jeweils dem letzten Aktivitätspunkt (in der Höhe  $z_0 = 2 \sqrt{2} \sigma_{zj}(r) + H$ ) zugeschlagen.

Eine weitere Begrenzung ergibt sich durch das quadratische Abstandsgesetz und kann ähnlich wie die "Reichweite"  $R_0$  formuliert werden. Z. B. trägt bei einer Emissionshöhe  $H = 100$  m und einer  $\gamma$ -Energie  $E = 1,3$  MeV die Summe aller Dosisbeiträge ab  $z_0 = 200$  m einen Beitrag zur Dosisleistung kleiner als 2 % bei. Daher kann bei dieser Genauigkeit ab einer solchen Grenzhöhe  $z_0$  die Summation abgebrochen werden, auch wenn  $z_0 < 2\sqrt{\sigma_{zj}(x)} + H$  ist.

4 Literatur

- /Co-68/ R.E. Cooper  
RADOS, A Code to Estimate Gamma Dose from a Cloud  
of Radioactive Gases  
USAEC DP-1098 (Rev. 1), E.I du Pont de Nemours and  
Co., Savannah River Laboratory, Aiken S.C. (1968)
- /Co-68-1/ R.E. Cooper, B.C. Rusche  
The SRL Meteorological Program and Off-Site Dose  
Calculations  
USAEC DP-1163, (1968)
- /Go-54/ H. Goldstein, J.E. Wilkins, Jr.  
Calculation of the Penetration of Gamma Rays  
USAEC NYO-3075, Nuclear Development Associates,  
Inc., White Plains, New York 1954
- /He-68/ J.W. Healy, E. Baker  
Radioactive Cloud-dose Calculations in Meteorology  
and Atomic Energy - 1968 (Editor D.H. Slade)  
USAEC Juli 1968, 301 - 377
- /Hü-75/ W. Hübschmann, D. Papadopoulos  
Berechnung der Dosisleistung durch Gammastrahlung  
aus der radioaktiven Abluftfahne eines Daueremittenten  
KfK 2172 (1975)
- /Is-67/ J.A. Israel, u. a.  
Gamma-Isrucenije, Moskau 1967
- /Mi-83/ M. Mills, D. Vogt  
Summary of Computer Codes for Radiological Assessment  
NUREG/CR-3204, p. 198 (1983)
- /Na-71/ D. Nachtigall  
Physikalische Grundlagen für Dosimetrie und  
Strahlenschutz  
Karl-Thiemig Verlag, München 1971
- /Na-75/ D. Nagel, D. Papadopoulos  
WOLGA 1 - Ein FORTRAN-IV-Programm zur Berechnung der  
Dosisleistung durch Gammastrahlung aus der radio-  
aktiven Abluft eines oder mehrerer Daueremittenten  
KfK 2189 (1975) und KfK 4108 (1986)
- /Ro-79/ F. Rohloff, E. Brunen, H.D. Brenk, H. Geiß, K.J. Vogt  
LIGA - Ein Programm zur Berechnung der lokalen, in-  
dividuellen Gammasubmersionsdosis durch Abluftfahnen  
aus kerntechnischen Anlagen  
Jül-1577, Januar 1979

- /Ro-81/ F. Rohloff, E. Brunen  
LIGA 2 - Ein verbessertes Rechenprogramm zur  
Berechnung der lokalen, individuellen Gamma-  
submersionsdosis durch Abluftfahnen aus kern-  
technischen Anlagen  
Jül-1736, August 1981
- /Vo-70/ K.J. Vogt  
Umweltkontamination und Strahlenbelastung durch  
radioaktive Abluft aus kerntechnischen Anlagen  
Jül-637-ST, Januar 1970
- /Wi-70/ C.A. Willis, G.A. Spangler, W.A. Rhoades  
A new technique for reactor siting dose calculations  
Health Physics 19, (1970) 47 - 54

5 Beschreibung der EingabeKarte A:

Format (3I5, 3F10.0)

- |     |   |  |
|-----|---|--|
| NN  | - | Anzahl der Aufpunkte<br>für NWAY=1 $NN \leq 600$<br>für NWAY=2 $NN = IANZ * IE, NN \leq 600$ |
| JJ  | - | Anzahl der Sektoren, $JJ \leq 360$   |
| IZZ | - | Anzahl der Schritte in Z-Richtung  |
| RK  | - | Radius der Kreisfläche (Radius der Integration)  |
| DR  | - | $\Delta R$ in Meter (Integrationsschritt in radialer Richtung)                               |
| DZ  | - | $\Delta Z$ in Meter (Integrationsschritt in vertikaler Richtung)                             |
- 

Karte B:

Emittent und Charakteristik des emittierten Nuklids

Format (F10.1, 6E1 0.3)

- |     |   |  |
|-----|---|--|
| H   | - | Höhe des Emittenten in Meter<br>(der Emittent befindet sich im Koordinatenursprung)  |
| Q   | - | Quellstärke des Emittenten<br>(z. B. in Bequerel/Zeitperiode)  |
| G   | - | Gammadosisleistungskonstante in $(Sv * m^{**2}) / (Bq * s)$  |
| ZE  | - | Zerfallskonstante in 1/s   |
| EN  | - | Gamma-Energie in MeV   |
| MUE | - | Absorptionskoeffizient in 1/m  |
| BB  | - | Aufbau-Faktor (erforderlich, falls $EN \leq 0.25$ MeV).<br>Für $EN > 0.25$ MeV wird der Aufbaufaktor nach den Formeln von Israel berechnet, falls hier $BB = 0.0$ eingelesen wird. |
- 

Karte C:

meteorologische Bedingungen

Format (3F10.1)

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| CA  | - | Stabilitätskategorie (A=1, B=2, C=3, D=4, E=5, F=6)   |
| U   | - | Windgeschwindigkeit in m/s  |
| PHI | - | Winkel Nord-Ausbreitungsrichtung im Uhrzeigersinn<br>in Grad (PHI = UW-180 mit UW Windrichtung) |
-



Karte D: Steuer-Variablen  
Format (3I5, 3F10.0)

NWAY	-	Hilfsvariable zur Programmsteuerung
= 1		Berechnung der Dosis an einzelnen Aufpunkten >>> Es folgen Karten E1 und K <<<
= 2		Berechnung der Dosis für einen Raster für Isodosendiagramme >>> Es folgen Karten E2, F ,G, H, I und K <<<
IUNIT	-	Ausgabe-Einheit für Ausgabe auf Datei
= 0		Die Ausgabe auf Datei wird unterdrückt

---

Karte E1: (IP-mal) für NWAY = 1: Polarkoordinaten der Aufpunkte  
Format (A40, 2X, F7.1, 1X, F6.2)

IDENT	-	Bezeichnung des Aufpunktes
XP		Entfernung vom Koordinatenursprung in Metern
WF		Winkel gegen Nord in Grad im Uhrzeigersinn; WF = 0 bezeichnet die Nordrichtung. WF wird im Programm bezüglich der Ausbreitungs- richtung transformiert und ins Bogenmaß umge- rechnet. Diese neue Winkelkoordinate heißt WP.

---

Karte E2: für NWAY = 2: Raster-Parameter  
Format (2I5, 2F10.0)

IANZ	-	Anzahl der Winkel des Rasters
IE	-	Anzahl der Entfernungen
WA	-	erster Winkel in Grad
DW	-	Schrittweite der Winkel des Rasters in Grad

---

Karte F: für NWAY = 2: Entfernungen  
Format (7E10.0)

XP(I), I=1,IE Entfernungen des Rasters in Metern

---

Karte G: für NWAY = 2:  
Format (E10.0)

RMASS	-	Maßstab für die Zeichnung M = 1:RMASS
-------	---	---------------------------------------

---

Karte H: für NWAY = 2:  
Format (I5)

NH - Anzahl der Höhenlinien  
 > 0 Die Niveaus der Höhenlinien werden eingelesen.  
 ≤ 0 Die Niveaus der Höhenlinien werden vom Programm  
 aufgrund des Maximums bestimmt.  
 Als Anzahl wird |NH| verwendet.  
 >>> Es folgt unmittelbar Karte K <<<  
 = 0 9 Isolinien werden vom Programm bestimmt.

---

Karte I: für NWAY = 2 falls NH > 0:  
Format (7F10.4)

HV(I), I=1,NH Niveaus der Höhenlinien

---

Karte K: für NWAY = 1 und NWAY = 2:  
Format (A72)

NTEXT - Text, der in Druckausgabe und Zeichnung  
 geschrieben wird (maximale Länge = 72 Zeichen).

---

5.1 Beispiel für Eingabe und Ausgabe des Programms

WOLGA 2

## E i n g a b e

```

//IMK906W2 JOB (0906,251,P0000),HONCU,TIME=3
//**
//**-----
//**      JES3-STEUERANWEISUNGEN FUER WOLGA-2
//**-----
//**
// EXEC F7CG,PARM.C='LANGLVL(77),ASTER',PARM.G='SIZE=1000K'
//C.SYSIN DD DISP=SHR,DSN=IMK906.WOLGA2.FORT
//**-----
//** EINGABE FUER ISODOSENZEICHNUNG (NWAY=2 MIT 10 ENTF. U. 36 WINKELN)
//**-----
//G.SYSIN DD *
  360 180  15 1000.      20.      20.      NN, J, IZZ, RK,DR, DZ
    100.0 3.70E+10 4.90E-17 1.052E-04 1.30E+00 7.20E-03 0.0
      4.0      1.0      135.      CA, U, PHI
    2      0      NWAY, IUNIT
  36 10      0.0      10.      IANZ, IW, WA, DW
    50.0E0 100.0E0 200.0      400.0      700.0      1200.      2000.
      3.0E3      4.0E3      5.0E3
    50000.0      RMASS
      -7      NH
SIGMA-PARAMETER FUER 60 / 100 M EMISSIONSHOEHE, ARGON-41
//**-----
//**      STEUERKARTE ZUR AKTIVIERUNG DES PLOTTERS
//**-----
// EXEC SVPLOT,COND=(8,LT)

```

ANZAHL DER RECHENSCHRITTE IN Z-RICHTUNG : 15                    DELTA Z :                    20.0 M  
 RADIUS DER KREISFLAECHE :    1000.0 M                    DELTA R :                    20.0 M  
 ANZAHL DER SEKTOREN        :                    180

METEOROLOGISCHE BEDINGUNGEN:

AUSBREITUNGSRICHTUNG        135.0 GRAD  
 WINDGESCHWINDIGKEIT        1.0 M/S  
 AUSBREITUNGSKATEGORIE        D

HOEHE DES EMITTENTEN UND CHARAKTERISTIK DES NUKLIDES:

HOEHE	QUELLST.	GAMMADOSISL.	ZERFALL	GAMMA-ENERGIE	MUE
100.0	3.700D+10	4.900D-17	1.052D-04	1.300D+00	7.200D-03

BERECHNUNG DER DOSIS FUER EINEN PUNKTRASTER AUS 10 ENTFERNUNGEN UND 36 WINKELN UND ZEICHNUNG EINER ISODOSEN-KARTE IM MASSSTAB M=1: 50000.

ENTFERNUNGEN IN M :    50.00    100.00    200.00    400.00    700.00    1200.00    2000.00    3000.00    4000.00    5000.00

1. WINKEL :    135.00 GRAD, SCHRITTWEITE :    10.00 GRAD

ANZAHL DER ISODOSENLINIEN = 7

DIE ISODOSEN WERDEN VOM PROGRAMM BESTIMMT

```
*****
*   WOLGA-2 # RECHNUNG VOM 07.03.1988 #           H = 100 M, KATEGORIE D   *
* SIGMA-PARAMETER FUER 60 / 100 M EMISSIONSHOEHE, ARGON-41                 *
*****
```

NR.	BEZEICHNUNG	KOORDINATEN DER AUFPUNKTE		DOSISLEISTUNG
		ENTF.	WINKEL	DOSIS
1		50.0	135.0	2.452305D-08
2		100.0	135.0	2.873258D-08
3		200.0	135.0	3.148095D-08
4		400.0	135.0	3.027513D-08
5		700.0	135.0	2.625140D-08
6		1200.0	135.0	1.955630D-08
7		2000.0	135.0	1.288627D-08
8		3000.0	135.0	8.394035D-09
9		4000.0	135.0	5.882211D-09
10		5000.0	135.0	4.338416D-09
11		50.0	145.0	2.428180D-08
12		100.0	145.0	2.797736D-08
13		200.0	145.0	2.919110D-08
14		400.0	145.0	2.502177D-08
15		700.0	145.0	1.897244D-08
16		1200.0	145.0	1.229383D-08
17		2000.0	145.0	7.335329D-09
18		3000.0	145.0	4.520628D-09
19		4000.0	145.0	3.077815D-09
20		5000.0	145.0	2.229697D-09
21		50.0	155.0	2.359182D-08
22		100.0	155.0	2.594207D-08
23		200.0	155.0	2.384509D-08
24		400.0	155.0	1.544927D-08
25		700.0	155.0	8.000983D-09
26		1200.0	155.0	3.340992D-09
27		2000.0	155.0	1.325547D-09
28		3000.0	155.0	6.406336D-10
29		4000.0	155.0	3.863688D-10
30		5000.0	155.0	2.607178D-10
31		50.0	165.0	2.254347D-08
32		100.0	165.0	2.316520D-08
33		200.0	165.0	1.811948D-08
34		400.0	165.0	8.596791D-09
35		700.0	165.0	2.902737D-09
36		1200.0	165.0	6.209677D-10
37		2000.0	165.0	9.484154D-11
38		3000.0	165.0	2.066732D-11
39		4000.0	165.0	8.121636D-12
40		5000.0	165.0	4.337268D-12
41		50.0	175.0	2.125710D-08
42		100.0	175.0	2.019599D-08
43		200.0	175.0	1.346836D-08
44		400.0	175.0	4.909572D-09
45		700.0	175.0	1.169016D-09
46		1200.0	175.0	1.343699D-10
47		2000.0	175.0	5.409591D-12
48		3000.0	175.0	2.467124D-13
49		4000.0	175.0	2.804642D-14
50		5000.0	175.0	6.427003D-15

NR.	BEZEICHNUNG	KOORDINATEN DER AUFPUNKTE		DOSISLEISTUNG
		ENTF.	WINKEL	DOSIS
51		50.0	185.0	1.985475D-08
52		100.0	185.0	1.740705D-08
53		200.0	185.0	1.008673D-08
54		400.0	185.0	2.983729D-09
55		700.0	185.0	5.370875D-10
56		1200.0	185.0	3.301143D-11
57		2000.0	185.0	1.802727D-13
58		3000.0	185.0	9.539569D-16
59		4000.0	185.0	1.714645D-17
60		5000.0	185.0	1.093243D-18
61		50.0	195.0	1.843841D-08
62		100.0	195.0	1.497377D-08
63		200.0	195.0	7.711284D-09
64		400.0	195.0	1.933172D-09
65		700.0	195.0	2.778718D-10
66		1200.0	195.0	6.921387D-12
67		2000.0	195.0	1.285879D-15
68		3000.0	195.0	1.989165D-19
69		4000.0	195.0	1.254970D-22
70		5000.0	195.0	1.203239D-24
71		50.0	205.0	1.708210D-08
72		100.0	205.0	1.293855D-08
73		200.0	205.0	6.046329D-09
74		400.0	205.0	1.329325D-09
75		700.0	205.0	1.600401D-10
76		1200.0	205.0	7.935340D-13
77		2000.0	205.0	4.309362D-19
78		3000.0	205.0	7.865556D-26
79		4000.0	205.0	0.000000D+00
80		5000.0	205.0	0.000000D+00
81		50.0	215.0	1.583300D-08
82		100.0	215.0	1.127606D-08
83		200.0	215.0	4.867241D-09
84		400.0	215.0	9.648283D-10
85		700.0	215.0	1.012887D-10
86		1200.0	215.0	2.803837D-14
87		2000.0	215.0	3.030829D-25
88		3000.0	215.0	0.000000D+00
89		4000.0	215.0	0.000000D+00
90		5000.0	215.0	0.000000D+00
91		50.0	225.0	1.471538D-08
92		100.0	225.0	9.935929D-09
93		200.0	225.0	4.020549D-09
94		400.0	225.0	7.348568D-10
95		700.0	225.0	6.949523D-11
96		1200.0	225.0	1.218527D-16
97		2000.0	225.0	0.000000D+00
98		3000.0	225.0	0.000000D+00
99		4000.0	225.0	0.000000D+00
100		5000.0	225.0	0.000000D+00

NR.	BEZEICHNUNG	KOORDINATEN DER AUFPUNKTE		DOSISLEISTUNG
		ENTF.	WINKEL	DOSIS
101		50.0	235.0	1.373895D-08
102		100.0	235.0	8.864514D-09
103		200.0	235.0	3.404358D-09
104		400.0	235.0	5.841993D-10
105		700.0	235.0	5.111655D-11
106		1200.0	235.0	1.141485D-20
107		2000.0	235.0	0.000000D+00
108		3000.0	235.0	0.000000D+00
109		4000.0	235.0	0.000000D+00
110		5000.0	235.0	0.000000D+00
111		50.0	245.0	1.290299D-08
112		100.0	245.0	8.013082D-09
113		200.0	245.0	2.950674D-09
114		400.0	245.0	4.823409D-10
115		700.0	245.0	3.969809D-11
116		1200.0	245.0	3.036727D-28
117		2000.0	245.0	0.000000D+00
118		3000.0	245.0	0.000000D+00
119		4000.0	245.0	0.000000D+00
120		5000.0	245.0	0.000000D+00
121		50.0	255.0	1.220159D-08
122		100.0	255.0	7.341810D-09
123		200.0	255.0	2.614341D-09
124		400.0	255.0	4.117724D-10
125		700.0	255.0	3.241125D-11
126		1200.0	255.0	0.000000D+00
127		2000.0	255.0	0.000000D+00
128		3000.0	255.0	0.000000D+00
129		4000.0	255.0	0.000000D+00
130		5000.0	255.0	0.000000D+00
131		50.0	265.0	1.162699D-08
132		100.0	265.0	6.818887D-09
133		200.0	265.0	2.365136D-09
134		400.0	265.0	3.621517D-10
135		700.0	265.0	2.756415D-11
136		1200.0	265.0	0.000000D+00
137		2000.0	265.0	0.000000D+00
138		3000.0	265.0	0.000000D+00
139		4000.0	265.0	0.000000D+00
140		5000.0	265.0	0.000000D+00
141		50.0	275.0	1.117046D-08
142		100.0	275.0	6.420056D-09
143		200.0	275.0	2.182216D-09
144		400.0	275.0	3.271895D-10
145		700.0	275.0	2.432261D-11
146		1200.0	275.0	0.000000D+00
147		2000.0	275.0	0.000000D+00
148		3000.0	275.0	0.000000D+00
149		4000.0	275.0	0.000000D+00
150		5000.0	275.0	0.000000D+00



NR.	BEZEICHNUNG	KOORDINATEN DER AUFPUNKTE		DOSISLEISTUNG
		ENTF.	WINKEL	DOSIS
151		50.0	285.0	1.082397D-08
152		100.0	285.0	6.126665D-09
153		200.0	285.0	2.051655D-09
154		400.0	285.0	3.029920D-10
155		700.0	285.0	2.214992D-11
156		1200.0	285.0	0.000000D+00
157		2000.0	285.0	0.000000D+00
158		3000.0	285.0	0.000000D+00
159		4000.0	285.0	0.000000D+00
160		5000.0	285.0	0.000000D+00
161		50.0	295.0	1.058143D-08
162		100.0	295.0	5.925964D-09
163		200.0	295.0	1.964114D-09
164		400.0	295.0	2.871734D-10
165		700.0	295.0	2.076081D-11
166		1200.0	295.0	0.000000D+00
167		2000.0	295.0	0.000000D+00
168		3000.0	295.0	0.000000D+00
169		4000.0	295.0	0.000000D+00
170		5000.0	295.0	0.000000D+00
171		50.0	305.0	1.043785D-08
172		100.0	305.0	5.808889D-09
173		200.0	305.0	1.913898D-09
174		400.0	305.0	2.781623D-10
175		700.0	305.0	1.993028D-11
176		1200.0	305.0	0.000000D+00
177		2000.0	305.0	0.000000D+00
178		3000.0	305.0	0.000000D+00
179		4000.0	305.0	0.000000D+00
180		5000.0	305.0	0.000000D+00
181		50.0	315.0	1.039033D-08
182		100.0	315.0	5.770210D-09
183		200.0	315.0	1.897261D-09
184		400.0	315.0	2.750317D-10
185		700.0	315.0	1.941559D-11
186		1200.0	315.0	0.000000D+00
187		2000.0	315.0	0.000000D+00
188		3000.0	315.0	0.000000D+00
189		4000.0	315.0	0.000000D+00
190		5000.0	315.0	0.000000D+00
191		50.0	325.0	1.043785D-08
192		100.0	325.0	5.808888D-09
193		200.0	325.0	1.913898D-09
194		400.0	325.0	2.781623D-10
195		700.0	325.0	1.993028D-11
196		1200.0	325.0	0.000000D+00
197		2000.0	325.0	0.000000D+00
198		3000.0	325.0	0.000000D+00
199		4000.0	325.0	0.000000D+00
200		5000.0	325.0	0.000000D+00

NR.	BEZEICHNUNG	KOORDINATEN DER AUFPUNKTE		DOSISLEISTUNG
		ENTF.	WINKEL	DOSIS
201		50.0	335.0	1.058143D-08
202		100.0	335.0	5.925963D-09
203		200.0	335.0	1.964114D-09
204		400.0	335.0	2.871733D-10
205		700.0	335.0	2.076081D-11
206		1200.0	335.0	0.000000D+00
207		2000.0	335.0	0.000000D+00
208		3000.0	335.0	0.000000D+00
209		4000.0	335.0	0.000000D+00
210		5000.0	335.0	0.000000D+00
211		50.0	345.0	1.082396D-08
212		100.0	345.0	6.126663D-09
213		200.0	345.0	2.051654D-09
214		400.0	345.0	3.029918D-10
215		700.0	345.0	2.214991D-11
216		1200.0	345.0	0.000000D+00
217		2000.0	345.0	0.000000D+00
218		3000.0	345.0	0.000000D+00
219		4000.0	345.0	0.000000D+00
220		5000.0	345.0	0.000000D+00
221		50.0	355.0	1.117046D-08
222		100.0	355.0	6.420054D-09
223		200.0	355.0	2.182215D-09
224		400.0	355.0	3.271893D-10
225		700.0	355.0	2.432259D-11
226		1200.0	355.0	0.000000D+00
227		2000.0	355.0	0.000000D+00
228		3000.0	355.0	0.000000D+00
229		4000.0	355.0	0.000000D+00
230		5000.0	355.0	0.000000D+00
231		50.0	5.0	1.162699D-08
232		100.0	5.0	6.818884D-09
233		200.0	5.0	2.365135D-09
234		400.0	5.0	3.621514D-10
235		700.0	5.0	2.756413D-11
236		1200.0	5.0	0.000000D+00
237		2000.0	5.0	0.000000D+00
238		3000.0	5.0	0.000000D+00
239		4000.0	5.0	0.000000D+00
240		5000.0	5.0	0.000000D+00
241		50.0	15.0	1.220158D-08
242		100.0	15.0	7.341805D-09
243		200.0	15.0	2.614339D-09
244		400.0	15.0	4.117513D-10
245		700.0	15.0	3.241122D-11
246		1200.0	15.0	0.000000D+00
247		2000.0	15.0	0.000000D+00
248		3000.0	15.0	0.000000D+00
249		4000.0	15.0	0.000000D+00
250		5000.0	15.0	0.000000D+00

NR.	BEZEICHNUNG	KOORDINATEN DER AUFPUNKTE		DOSISLEISTUNG
		ENTF.	WINKEL	DOSIS
251		50.0	25.0	1.290299D-08
252		100.0	25.0	8.013077D-09
253		200.0	25.0	2.950671D-09
254		400.0	25.0	4.823403D-10
255		700.0	25.0	3.969804D-11
256		1200.0	25.0	3.036708D-28
257		2000.0	25.0	0.000000D+00
258		3000.0	25.0	0.000000D+00
259		4000.0	25.0	0.000000D+00
260		5000.0	25.0	0.000000D+00
261		50.0	35.0	1.373895D-08
262		100.0	35.0	8.864507D-09
263		200.0	35.0	3.404354D-09
264		400.0	35.0	5.841984D-10
265		700.0	35.0	5.111646D-11
266		1200.0	35.0	1.141478D-20
267		2000.0	35.0	0.000000D+00
268		3000.0	35.0	0.000000D+00
269		4000.0	35.0	0.000000D+00
270		5000.0	35.0	0.000000D+00
271		50.0	45.0	1.471538D-08
272		100.0	45.0	9.935920D-09
273		200.0	45.0	4.020544D-09
274		400.0	45.0	7.348554D-10
275		700.0	45.0	6.949507D-11
276		1200.0	45.0	1.218519D-16
277		2000.0	45.0	0.000000D+00
278		3000.0	45.0	0.000000D+00
279		4000.0	45.0	0.000000D+00
280		5000.0	45.0	0.000000D+00
281		50.0	55.0	1.583299D-08
282		100.0	55.0	1.127606D-08
283		200.0	55.0	4.867239D-09
284		400.0	55.0	9.648278D-10
285		700.0	55.0	1.012886D-10
286		1200.0	55.0	2.803832D-14
287		2000.0	55.0	3.030817D-25
288		3000.0	55.0	0.000000D+00
289		4000.0	55.0	0.000000D+00
290		5000.0	55.0	0.000000D+00
291		50.0	65.0	1.708210D-08
292		100.0	65.0	1.293855D-08
293		200.0	65.0	6.046327D-09
294		400.0	65.0	1.329325D-09
295		700.0	65.0	1.600400D-10
296		1200.0	65.0	7.935326D-13
297		2000.0	65.0	4.309345D-19
298		3000.0	65.0	7.865504D-26
299		4000.0	65.0	0.000000D+00
300		5000.0	65.0	0.000000D+00

NR.	BEZEICHNUNG	KOORDINATEN DER AUFPUNKTE		DOSISLEISTUNG
		ENTF.	WINKEL	DOSIS
301		50.0	75.0	1.843841D-08
302		100.0	75.0	1.497376D-08
303		200.0	75.0	7.711281D-09
304		400.0	75.0	1.933171D-09
305		700.0	75.0	2.778715D-10
306		1200.0	75.0	6.921334D-12
307		2000.0	75.0	1.285874D-15
308		3000.0	75.0	1.989151D-19
309		4000.0	75.0	1.254954D-22
310		5000.0	75.0	1.203221D-24
311		50.0	85.0	1.985474D-08
312		100.0	85.0	1.740705D-08
313		200.0	85.0	1.008673D-08
314		400.0	85.0	2.983727D-09
315		700.0	85.0	5.370871D-10
316		1200.0	85.0	3.301139D-11
317		2000.0	85.0	1.802723D-13
318		3000.0	85.0	9.539531D-16
319		4000.0	85.0	1.714636D-17
320		5000.0	85.0	1.093235D-18
321		50.0	95.0	2.125710D-08
322		100.0	95.0	2.019598D-08
323		200.0	95.0	1.346836D-08
324		400.0	95.0	4.909569D-09
325		700.0	95.0	1.169015D-09
326		1200.0	95.0	1.343697D-10
327		2000.0	95.0	5.409577D-12
328		3000.0	95.0	2.467114D-13
329		4000.0	95.0	2.804627D-14
330		5000.0	95.0	6.426963D-15
331		50.0	105.0	2.254346D-08
332		100.0	105.0	2.316520D-08
333		200.0	105.0	1.811947D-08
334		400.0	105.0	8.596784D-09
335		700.0	105.0	2.902733D-09
336		1200.0	105.0	6.209663D-10
337		2000.0	105.0	9.484120D-11
338		3000.0	105.0	2.066722D-11
339		4000.0	105.0	8.121599D-12
340		5000.0	105.0	4.337251D-12
341		50.0	115.0	2.359182D-08
342		100.0	115.0	2.594207D-08
343		200.0	115.0	2.384508D-08
344		400.0	115.0	1.544926D-08
345		700.0	115.0	8.000972D-09
346		1200.0	115.0	3.340985D-09
347		2000.0	115.0	1.325543D-09
348		3000.0	115.0	6.406320D-10
349		4000.0	115.0	3.863679D-10
350		5000.0	115.0	2.607173D-10

## W O L G A I I

SEITE 9 A

NR.	BEZEICHNUNG	KOORDINATEN DER AUFPUNKTE		DOSISLEISTUNG
		ENTF.	WINKEL	DOSIS
351		50.0	125.0	2.428180D-08
352		100.0	125.0	2.797735D-08
353		200.0	125.0	2.919109D-08
354		400.0	125.0	2.502175D-08
355		700.0	125.0	1.897242D-08
356		1200.0	125.0	1.229381D-08
357		2000.0	125.0	7.335318D-09
358		3000.0	125.0	4.520622D-09
359		4000.0	125.0	3.077811D-09
360		5000.0	125.0	2.229695D-09

MAXIMUM IM PUNKT 3 (R = 200. M, WINKEL = 135.0 GRAD) = 3.148E-08

WERTE DER ISODOSENLINIEN :

2.00E-08 1.00E-08 5.00E-09 2.00E-09 1.00E-09 5.00E-10 2.00E-10

ZAHL DER WINKEL ERHOEHT AUF 37, ZAHL DER PUNKTE JETZT 370

WERTE ZUM ZEICHNEN

WINKEL IN GRAD BEZOGEN AUF DIE AUSBREITUNGSRICHTUNG:

0.000	10.000	20.000	30.000	40.000	50.000	60.000	70.000	80.000	90.000
100.000	110.000	120.000	130.000	140.000	150.000	160.000	170.000	180.000	190.000
200.000	210.000	220.000	230.000	240.000	250.000	260.000	270.000	280.000	290.000
300.000	310.000	320.000	330.000	340.000	350.000	360.000			

ENTFERNUNGEN IN KM:

0.050	0.100	0.200	0.400	0.700	1.200	2.000	3.000	4.000	5.000
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

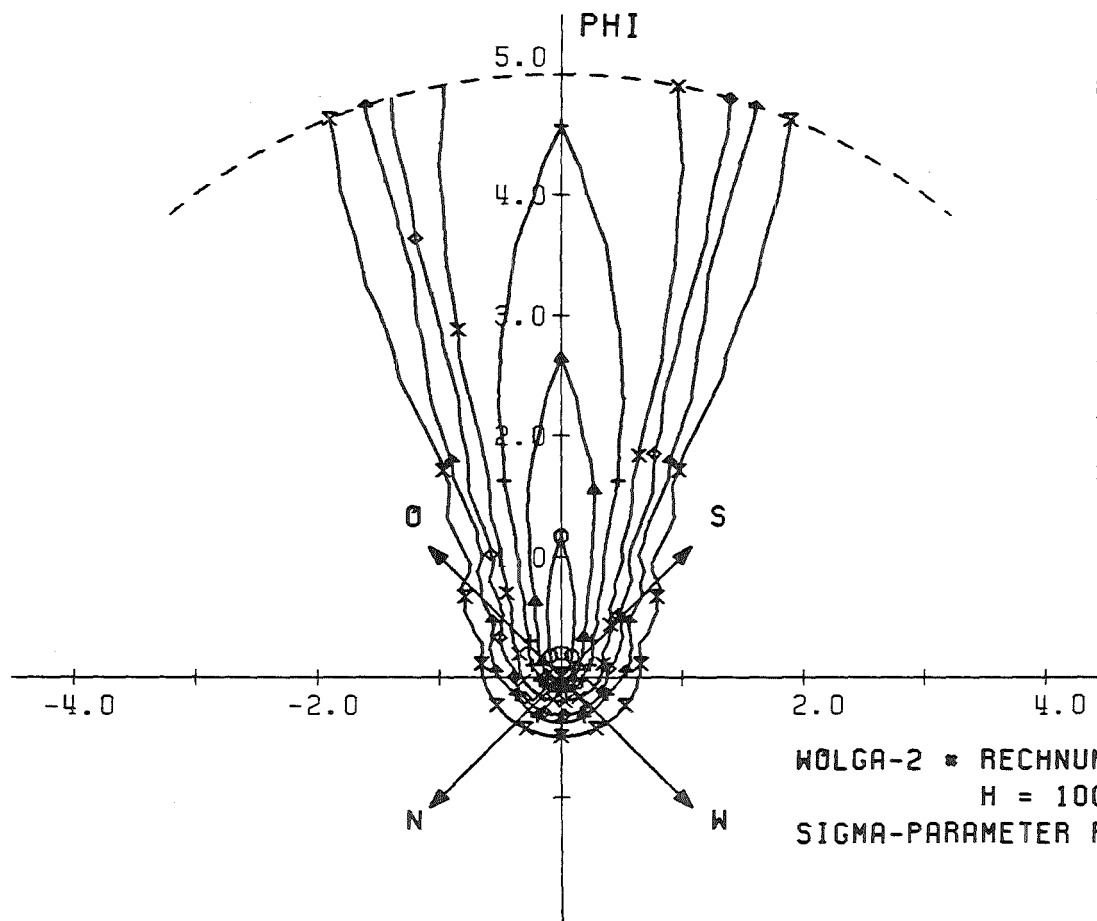
FUNKTIONSWERTE:

ENTFERNUNGEN ---->

0.24523E-07	0.28733E-07	0.31481E-07	0.30275E-07	0.26251E-07	0.19556E-07	0.12886E-07	0.83940E-08	0.58822E-08	0.43384E-08
0.24282E-07	0.27977E-07	0.29191E-07	0.25022E-07	0.18972E-07	0.12294E-07	0.73353E-08	0.45206E-08	0.30778E-08	0.22297E-08
0.23592E-07	0.25942E-07	0.23845E-07	0.15449E-07	0.80010E-08	0.33410E-08	0.13255E-08	0.64063E-09	0.38637E-09	0.26072E-09
0.22543E-07	0.23165E-07	0.18119E-07	0.85968E-08	0.29027E-08	0.62097E-09	0.94842E-10	0.20667E-10	0.81216E-11	0.43373E-11
0.21257E-07	0.20196E-07	0.13468E-07	0.49096E-08	0.11690E-08	0.13437E-09	0.54096E-11	0.24671E-12	0.28046E-13	0.64270E-14
0.19855E-07	0.17407E-07	0.10087E-07	0.29837E-08	0.53709E-09	0.33011E-10	0.18027E-12	0.95396E-15	0.17146E-16	0.10932E-17
0.18438E-07	0.14974E-07	0.77113E-08	0.19332E-08	0.27787E-09	0.69214E-11	0.12859E-14	0.19892E-18	0.12550E-21	0.12032E-23
0.17082E-07	0.12939E-07	0.60463E-08	0.13293E-08	0.16004E-09	0.79353E-12	0.43094E-18	0.78656E-25	0.00000E+00	0.00000E+00
0.15833E-07	0.11276E-07	0.48672E-08	0.96483E-09	0.10129E-09	0.28038E-13	0.30308E-24	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.14715E-07	0.99359E-08	0.40205E-08	0.73486E-09	0.69495E-10	0.12185E-15	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.13739E-07	0.88645E-08	0.34044E-08	0.58420E-09	0.51117E-10	0.11415E-19	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.12903E-07	0.80131E-08	0.29507E-08	0.48234E-09	0.39698E-10	0.30367E-27	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.12202E-07	0.73418E-08	0.26143E-08	0.41177E-09	0.32411E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.11627E-07	0.68189E-08	0.23651E-08	0.36215E-09	0.27564E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.11170E-07	0.64201E-08	0.21822E-08	0.32719E-09	0.24323E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.10824E-07	0.61267E-08	0.20517E-08	0.30299E-09	0.22150E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.10581E-07	0.59260E-08	0.19641E-08	0.28717E-09	0.20761E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.10438E-07	0.58089E-08	0.19139E-08	0.27816E-09	0.19930E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.10390E-07	0.57702E-08	0.18973E-08	0.27503E-09	0.19416E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.10438E-07	0.58089E-08	0.19139E-08	0.27816E-09	0.19930E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.10581E-07	0.59260E-08	0.19641E-08	0.28717E-09	0.20761E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.10824E-07	0.61267E-08	0.20517E-08	0.30299E-09	0.22150E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.11170E-07	0.64201E-08	0.21822E-08	0.32719E-09	0.24323E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.11627E-07	0.68189E-08	0.23651E-08	0.36215E-09	0.27564E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## FUNKTIONSWERTE:

ENTFERNUNGEN --->									
0.12202E-07	0.73418E-08	0.26143E-08	0.41175E-09	0.32411E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.12903E-07	0.80131E-08	0.29507E-08	0.48234E-09	0.39698E-10	0.30367E-27	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.13739E-07	0.88645E-08	0.34044E-08	0.58420E-09	0.51116E-10	0.11415E-19	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.14715E-07	0.99359E-08	0.40205E-08	0.73486E-09	0.69495E-10	0.12185E-15	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.15833E-07	0.11276E-07	0.48672E-08	0.96483E-09	0.10129E-09	0.28038E-13	0.30308E-24	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.17082E-07	0.12939E-07	0.60463E-08	0.13293E-08	0.16004E-09	0.79353E-12	0.43093E-18	0.78655E-25	0.00000E+00	0.00000E+00
0.18438E-07	0.14974E-07	0.77113E-08	0.19332E-08	0.27787E-09	0.69213E-11	0.12859E-14	0.19892E-18	0.12550E-21	0.12032E-23
0.19855E-07	0.17407E-07	0.10087E-07	0.29837E-08	0.53709E-09	0.33011E-10	0.18027E-12	0.95395E-15	0.17146E-16	0.10932E-17
0.21257E-07	0.20196E-07	0.13468E-07	0.49096E-08	0.11690E-08	0.13437E-09	0.54096E-11	0.24671E-12	0.28046E-13	0.64270E-14
0.22543E-07	0.23165E-07	0.18119E-07	0.85968E-08	0.29027E-08	0.62097E-09	0.94841E-10	0.20667E-10	0.81216E-11	0.43373E-11
0.23592E-07	0.25942E-07	0.23845E-07	0.15449E-07	0.80010E-08	0.33410E-08	0.13255E-08	0.64063E-09	0.38637E-09	0.26072E-09
0.24282E-07	0.27977E-07	0.29191E-07	0.25022E-07	0.18972E-07	0.12294E-07	0.73353E-08	0.45206E-08	0.30778E-08	0.22297E-08
0.24523E-07	0.28733E-07	0.31481E-07	0.30275E-07	0.26251E-07	0.19556E-07	0.12886E-07	0.83940E-08	0.58822E-08	0.43384E-08



- MAXIMUM= 3.15E-08
- 2.00E-08
- ▲ 1.00E-08
- + 5.00E-09
- × 2.00E-09
- ◇ 1.00E-09
- ♣ 5.00E-10
- × 2.00E-10

WOLGA-2 \* RECHNUNG VOM 07.03.1988 \*  
 H = 100 M. KATEGORIE D  
 SIGMA-PARAMETER FUER 60 / 100 M EMISSIONSHÖHE. ARGON-41