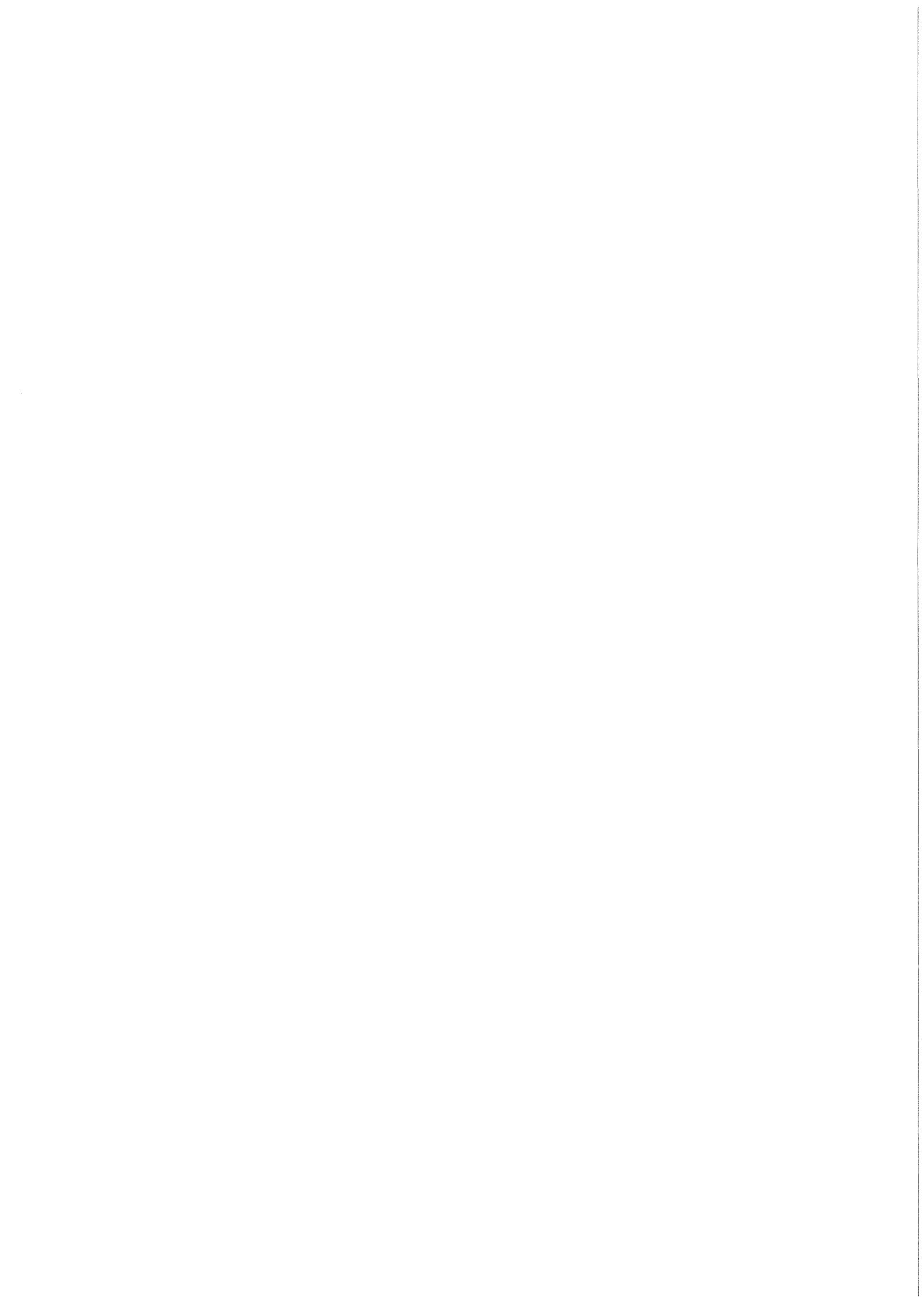


KfK 4146
September 1986

ISOLA IV
Ein FORTRAN 77-Programm zur
Berechnung der langfristigen
Dosisverteilung in der
Umgebung kerntechnischer
Anlagen

W. Hübschmann, S. Honcú
Institut für Meteorologie und Klimaforschung

Kernforschungszentrum Karlsruhe



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Meteorologie und Klimaforschung

KfK 4146

ISOLA IV - Ein FORTRAN 77-Programm zur Berechnung
der langfristigen Dosisverteilung in der
Umgebung kerntechnischer Anlagen

W. Hübschmann

S. Honcú

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

Kurzfassung

Das Rechenprogramm ISOLA dient der jährlichen Berechnung der Strahlendosis in der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe durch die Ableitung α - und β -aktiver Stoffe mit der Abluft. In der Fassung ISOLA IV wird das Modell der "Doppelten Gaußverteilung" streng angewendet, so daß der Einfluß der Nachbarsektoren korrekt erfaßt wird. Dadurch wird die Verwendung einer 10° -Statistik möglich. Das Programm berechnet wahlweise die Dosisraten der Expositionspfade Inhalation, β -Submersion, Ingestion und Bodenstrahlung, die letzten beiden infolge trockener und nasser Ablagerung. Die nasse Ablagerung kann sowohl entsprechend den "Allgemeinen Berechnungsgrundlagen..." /1/ als auch mit individuell gewählten Washout-Koeffizienten berechnet werden.

Es können beliebig viele Emittenten gleichzeitig berücksichtigt werden. Die Emissionen werden als gleichmäßig während eines gegebenen Zeitraumes angenommen. Wahlweise kann entweder eine Isodosenkarte für ein gewünschtes Gebiet (z. B. ein Planquadrat von 20 km Seitenlänge) oder eine Liste der Dosen an einzelnen Aufpunkten (z. B. in den umliegenden Ortschaften) erstellt werden. Anhand eines Beispiels werden Ein- und Ausgabe erläutert.

Abstract

ISOLA IV - A FORTRAN 77 code for the calculation of the long-term dose distribution in the environment of nuclear installations.

The ISOLA computer code is used to calculate the annual radiation doses in the environment of the Karlsruhe Nuclear Research Center, due to the release of α - and β -active substances into the atmosphere. In the version ISOLA IV, the double Gaussian Distribution model is strictly applied. As a consequence, the contribution of radioactivity from neighbour sectors is correctly taken into account. This makes possible the input of a 10° statistics as well as a 30° statistics. The code calculates optionally the dose rates due to the following exposure pathways: inhalation, β -submersion, ingestion and irradiation from the ground, the latter two due to dry and wet deposition. Wet deposition can be calculated either according to "Allgemeine Berechnungsgrundlagen..." /1/ or with individually chosen washout coefficients. An unlimited number of emitters may be taken into account simultaneously. The emission rates are

considered to be constant during a given time interval. Optionally, either the isodoses chart of a specified area (for instance a square area of 20 by 20 km) or a list of doses calculated at specified field points (for instance the residential areas) in the environment may be ordered by the user. The input and output are explained for a specific case.

Gliederung

1.	Eigenschaften des Programms	1
2.	Physikalische Grundlagen	2
2.1	Von der am Boden abgelagerten Aktivität abhängige Äquivalentdosisleistung	2
2.1.1	Ingestionsdosis	4
2.1.2	Bodenstrahlung	6
2.2	Von der Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft abhängige Äquivalentdosisleistung	6
2.3	Hilfsgröße B_j	7
2.4	Windgeschwindigkeit \bar{u}_{jk}	12
2.5	Berücksichtigung der Verwirbelung im Nachlaufwirbel des Gebäudes bei niedriger Quellhöhe	13
3.	Handhabung des Programms	13
3.1	Eingabe auf Karten	13
3.2	Magnetbandeingabe	18
3.3	Erläuterungen und Grenzen	19
3.4	Benutzte Unterprogramme	20
3.5	Ausgabe	20
4.	Zusammenfassung der Programm-Optionen	21
5.	Literatur	23

1. Eigenschaften des Rechenprogramms

Die Berechnung der Strahlenbelastung in der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft erfordert wegen der Vielzahl der Quellen und der Vielzahl der interessierenden Aufpunkte einen erheblichen Rechenaufwand. Wegen der gelegentlich neu hinzukommenden Emittenten sowie der Änderungen der Quellstärken, der Nuklidgemische und der meteorologischen Verhältnisse, ist diese Aufgabe jährlich neu zu lösen.

Das Rechenprogramm ISOLA wurde sowohl der zunehmenden Differenzierung der verfügbaren Informationen als auch dem erweiterten Aufgabenspektrum angepaßt. Es wird im vorliegenden Bericht in einer gegenüber ISOLA III/2/ erweiterten Form vorgestellt. Seine wesentlichen Eigenschaften können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Berücksichtigung von beliebig vielen Emittenten an beliebigen Positionen;
2. Bis zu 36 Windrichtungssektoren;
3. Annahme einer "kalten" Quelle (kein thermischer Auftrieb der Abgase);
4. Verwirbelung im Nachlaufwirbel des Gebäudes bei niedriger Quellhöhe;
5. Annahme einer über bestimmte Zeiträume gleichmäßigen Emissionsrate (diese Zeiträume müssen sich mit den Integrationszeiten der meteorologischen Daten decken, z. B. Monat, Jahr);
6. Radioaktiver Zerfall der emittierten Stoffe während des Transports in der Atmosphäre;
7. Aktivitätsverteilung entsprechend einer doppelten Gaußverteilung in der Abluftfahne, mit vollständiger Reflexion der Aktivität am Boden;
8. Gleichmäßige Windrichtungsverteilung über einen Windrichtungssektor (daraus ergibt sich eine Berücksichtigung der über die Sektorgrenzen in die Nachbarsektoren diffundierenden Aktivität);
9. "Abmagerung" des Aktivitätsgehaltes durch Auswaschung und - als Option - durch trockene Ablagerung;
10. Washout-Berechnung entweder nach den "Allgemeinen Berechnungsgrundlagen..." des BMI /1/ oder mit individuell eingegebenen Washout-Koeffizienten;

Wird lediglich die Berücksichtigung der trocken abgelagerten Aktivität gewünscht, dann genügt die 3-parametrische Ausbreitungsstatistik (ohne Niederschlagsintensität) s. Kap. 2.3. Wird auch die Berücksichtigung der durch Niederschläge ausgewaschenen und am Boden abgelagerten Aktivität gewünscht, dann muß die Ausbreitungsstatistik 4-parametrisch sein (Windgeschwindigkeit und -richtung, Ausbreitungskategorie, Niederschlagsintensität); die durch Washout abgelagerte Aktivität kann wahlweise entweder nach der Rechenvorschrift der "Allgemeinen Berechnungsgrundlagen.." des BMI /1/ oder mit individuell ausgewählten Washout-Koeffizienten berechnet werden. Bei der letzteren Methode ist zu beachten, daß der Washout-Koeffizient Λ sowohl von den Stoffeigenschaften der auszuwaschenden Aktivität (Gas oder Aerosol) als auch von der Regenintensität abhängt. Da Niederschlagsstatistiken meist nicht auf der Regenintensität, sondern auf der während eines Meßintervalles Δt (z. B. 1 h) gesammelten Niederschlagsmenge basieren, ist ein kurzes Meßintervall (z. B. 1/2 h) günstiger als ein langes. Eine Übersicht über die Anwendungsmöglichkeiten des Programms enthält Kap. 4.

2. Physikalische Grundlagen

2.1 Von der am Boden abgelagerten Aktivität abhängige Äquivalentdosisleistung

Die Dosisleistung der Expositionspfade "Ingestion" und "Direktstrahlung vom Boden" hängt von der am Boden abgelagerten Aktivität ab. Man unterscheidet trockene (Fallout) und nasse (Washout) Ablagerung.

Pflanzen werden entweder direkt aus der Luft oder über die Wurzeln aus dem Boden kontaminiert. Dementsprechend ist zu unterscheiden:

v_g Ablagerungsgeschwindigkeit auf Vegetation in m/s,

v_b Ablagerungsgeschwindigkeit auf dem Boden in m/s.

Für das Rechenprogramm ISOLA IV sind folgende Eingabedaten zu bilden:

(1a) $T_{\text{dry}} = v_g K_1 + v_b K_2$ Transferkonstante für trockene Ablagerung, in m^3/s (Ingestion) bzw. m (Bodenstrahlung)

(1b) $T_{\text{wet}} = f_w K_1 + K_2$ Transferkonstante für nasse Ablagerung in m^2 (Ingestion) bzw. s (Bodenstrahlung)

K_1, K_2 siehe die folgenden Kapitel,

f_w Anteil der auf den Pflanzen verbleibenden Aktivität an der insgesamt ausgewaschenen Aktivität

v_g, v_b und f_w können /1/ entnommen werden.

Die durch Aktivitätsablagerung am Boden im Aufpunkt $P(x, y)$ bewirkte Dosisleistung $\dot{D}(x, y)$ wird für die beiden Expositionspfade "Ingestion" und "Bodenstrahlung" nach Gleichung (2) berechnet. Dabei sind Q Emittenten bzw. Nuklide berücksichtigt.

$$(2) \quad \dot{D}(x, y) = \sum_{q=1}^Q \dot{A}_q g_q [T_{\text{dry}} \bar{\chi}(r_q, \phi_q) + T_{\text{wet}} \bar{W}(r_q, \phi_q)]$$

\dot{A}_q Quellstärke des q -ten Emittenten bzw. Nuklids in Bq/a

g_q Dosisfaktor des q -ten Nuklids in Sv/Bq bei Ingestion, in $\frac{\text{Sv m}^2}{\text{Bq}}$ bei Bodenstrahlung, (kann /1/ entnommen werden)

$\bar{\chi}(r_q, \phi_q)$ mittlerer Langzeit-Ausbreitungsfaktor in s/m^3 , siehe Gleichung (3)

$\bar{W}(r_q, \phi_q)$ mittlerer Auswaschfaktor in m^{-2} , siehe Gleichung (4)

Zur Geometrie s. Abb. 1.

$$(3) \quad \bar{X}(r_q, \phi_q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} r_q \Delta\phi} \sum_{j=1}^6 \frac{\exp - \frac{H_q^2}{2 \sigma_{zj}^2}}{\sigma_{zj}(r_q)} B_{dry,j}(r_q, \phi_q)$$

$\Delta\phi = \frac{2\pi}{I}$ Sektorwinkel im Bogenmaß

I Anzahl der Windrichtungssektoren (12, 16, 36)

H_q Emissionshöhe des Emittenten q (effektiv) in m

$\sigma_{zj}(r)$ vertikaler Ausbreitungsparameter der Kategorie j in der Entfernung r in m (Modifikation bei geringer Quellhöhe, s. Kap. 2.5)

$B_{dry,j}$ nach Gleichung (10), s. Abschnitt 2.3, unter Verwendung der 3- oder 4-parametrischen Ausbreitungsstatistik, in s/m

$$(4) \quad \bar{W}(r_q, \phi_q) = \frac{1}{2 r_q \Delta\phi} \sum_{j=1}^6 B_{wet,j}(r_q, \phi_q)$$

$B_{wet,j}$ nach Gleichung (12), unter Verwendung der 4-parametrischen Ausbreitungsstatistik, in m^{-1}

2.1.1 Ingestionsdosis

Die Übertragungsfaktoren K_1 und K_2 der beiden Kontaminationswege (Ablagerung auf der Pflanze und Ablagerung auf dem Boden) können aus /1/ entnommen oder nach den Gleichungen (5a) und (5b) berechnet werden.

K_1 Übertragungsfaktor für direkte Aktivitätsablagerung auf der Pflanze, in m^2

$$(5a) \quad K_1 = \frac{U}{Y} f_1 f_2 \frac{1 - \exp - [(\lambda_r + \lambda_v)t_e]}{\lambda_r + \lambda_v} \exp - (\lambda_r t_v)$$

K_2 Übertragungsfaktor für die Aktivitätsaufnahme über die Pflanzenwurzeln aus dem Boden, in m^2

$$(5b) \quad K_2 = \frac{U}{P} f_1 T_r \frac{1 - \exp - (\lambda_r t_b)}{\lambda_r} \exp - (\lambda_r t_v)$$

U Verzehrrate der betreffenden Bodenprodukte in kg/d

Y Bewuchsdichte der Bodenprodukte (Naßgewicht) in kg/m^2

P spezif. Bodenmasse (trocken) bis zur Pflugschartiefe (15 cm), in kg/m^2

f_1, f_2 Verlustfaktor für die Ernte bzw. für die Zubereitung zum Verzehr

T_r Transferfaktor vom Boden zum eßbaren Teil der Bodenprodukte in

$$\frac{\text{Bq/kg der Pflanze (Naßgewicht)}}{\text{Bq/kg des Bodens (Trockengewicht)}}$$

λ_r radioaktive Zerfallskonstante in 1/d

λ_v Konstante für das Verweilen der Aktivität auf den Bodenprodukten, in 1/d

t_e Wachstumsdauer der Bodenprodukte, in d

t_v Zeit von der Ernte bis zum Verzehr, in d

t_b Anreicherungsdauer im Boden, in d

Alle Konstanten - mit Ausnahme von f_1 und f_2 - s. /1/.

2.1.2 Bodenstrahlung

(6a) $K_1 = 0$, wenn Pflanzenkontamination nicht berücksichtigt wird.

$$(6b) \quad K_2 = \frac{1 - \exp. - (\lambda_r t_b)}{\lambda_r} \text{ in s.}$$

Beachte: K_2 hat hier die Dimension "Sekunde".

K_2 sowie der Dosisfaktor $g_{b,q}$ können /1/ entnommen werden. Im Unterschied zum Ingestionspfad wird bei der Bodenstrahlung keine Verteilung der Aktivität bis zur Pflugschartiefe angenommen.

2.2 Von der Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft abhängige Äquivalentdosisleistung

Die Dosisleistung der Expositionspfade "Inhalation" und "β-Submersion" hängt von der Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft ab. Die Dosisleistung $\dot{D}(x, y)$ in Sv/a am Aufpunkt $P(x, y)$ wird nach Gleichung (7) berechnet. Dabei sind wiederum Q Emittenten bzw. Nuklide berücksichtigt.

$$(7) \quad \dot{D}(x, y) = \sum_{q=1}^Q \dot{A}_q g_q \bar{\chi}(r_q, \phi_q)$$

Bezeichnungen und Dimensionen s. Kap. 2.1.

g_q Dosisfaktor des q -ten Nuklids in $\frac{\text{Sv m}^3}{\text{Bq s}}$

$\bar{\chi}(r_q, \phi_q)$ mittlerer Langzeitausbreitungsfaktor in s/m^3 nach Gleichung (3).

Werte für g_q können /1/ entnommen werden.

Wenn $z_\alpha \geq 1$ und $z_\beta \geq 1$, dann gilt:

$$\begin{aligned}
 (10) \quad B_{\text{dry},j} = & \left\{ 1 - \text{ERF} \left[\frac{\alpha + (z_\alpha - 1) \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] \right\} \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{f_{i-z_\alpha, j, k}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \left(\frac{\lambda_q r_q}{\bar{u}_{jk}} + d \right) \right\} \\
 & + \dots \dots \dots \\
 & + \left\{ \text{ERF} \left[\frac{\alpha + 2 \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] - \text{ERF} \left[\frac{\alpha + \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] \right\} \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{f_{i-2, j, k}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \left(\frac{\lambda_q r_q}{\bar{u}_{jk}} + d \right) \right\} \\
 & + \left\{ \text{ERF} \left[\frac{\alpha + \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] - \text{ERF} \left[\frac{\alpha}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] \right\} \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{f_{i-1, j, k}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \left(\frac{\lambda_q r_q}{\bar{u}_{jk}} + d \right) \right\} \\
 & + \left\{ \underbrace{\text{ERF} \left[\frac{\alpha}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right]}_{C_\alpha} + \underbrace{\text{ERF} \left[\frac{\beta}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right]}_{C_\beta} \right\} \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{f_{i, j, k}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \left(\frac{\lambda_q r_q}{\bar{u}_{jk}} + d \right) \right\} \\
 & + \left\{ \text{ERF} \left[\frac{\beta + \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] - \text{ERF} \left[\frac{\beta}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] \right\} \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{f_{i+1, j, k}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \left(\frac{\lambda_q r_q}{\bar{u}_{jk}} + d \right) \right\} \\
 & + \left\{ \text{ERF} \left[\frac{\beta + 2 \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] - \text{ERF} \left[\frac{\beta + \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] \right\} \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{f_{i+2, j, k}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \left(\frac{\lambda_q r_q}{\bar{u}_{jk}} + d \right) \right\} \\
 & + \dots \dots \dots \\
 & + \left\{ 1 - \text{ERF} \left[\frac{\beta + (z_\beta - 1) \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] \right\} \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{f_{i+z_\beta, j, k}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \left(\frac{\lambda_q r_q}{\bar{u}_{jk}} + d \right) \right\}
 \end{aligned}$$

Wenn $z_\alpha = 0$, wird $C_\alpha = 1$ gesetzt,

Wenn $z_\beta = 0$, wird $C_\beta = 1$ gesetzt.

\bar{u}_{jk} über das Vertikalprofil gemittelte Windgeschwindigkeit
in m/s, s. Kap. 2.4.

f_{ijk} Häufigkeit des Zusammentreffens der Windgeschwindigkeitsstufe k und der Ausbreitungskategorie j im Ausbreitungsfaktor i .

Die f_{ijk} sind in der 3-parametrischen Ausbreitungsstatistik enthalten.

$$\sum_{ijk} f_{ijk} = 1.$$

Wurde eine 4-parametrische Statistik eingelesen, dann wird diese mit folgender Summation zu einer 3-parametrischen zusammengefaßt.

$$f_{ijk} = \sum_{l=1}^L q_{ijkl}$$

Erläuterungen zu q_{ijkl} s. unten.

λ_q Zerfallskonstante des q -ten Nuklids in $1/s$

d Der Summand d in der Exponentialfunktion bewirkt die Abmagerung der Aktivitätsfahne infolge trockener Ablagerung (wird nur berechnet, wenn $INDRY > 0$ ist)

$$(11) \quad d = \frac{v}{\bar{u}_{jk}} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_{r_0}^{r_q} \frac{1}{\sigma_{zj}} \exp - \frac{H_q^2}{2 \sigma_{zj}^2} dr$$

v trockene Ablagerungsgeschwindigkeit (entspricht v_g oder v_b in Gl. 1a) in m/s

$$r_0 = H_q, \text{ wenn } H_q \geq 10 \text{ m} \\ = 10 \text{ m, wenn } H_q < 10 \text{ m}$$

Zur Integration wird der Bereich r_0 bis r_q in 4 gleiche Schritte eingeteilt, zwischen denen der Integrand interpoliert wird. Dadurch wird in ungünstigsten Fällen die Abmagerung etwas unterschätzt.

$$\begin{aligned}
 (12) \quad B_{\text{wet},j} & \left\{ 1 - \text{ERF} \left[\frac{\alpha + (z_\alpha - 1) \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] \right\} \sum_{k=1}^K \sum_{l=2}^L \Lambda_l \frac{q_{i-z_\alpha, j, k, l}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \frac{\lambda_{q1}^* r_q}{\bar{u}_{jk}} \\
 & + \dots \dots \dots \\
 & + \left\{ \text{ERF} \left[\frac{\alpha + 2 \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] - \text{ERF} \left[\frac{\alpha + \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] \right\} \sum_{k=1}^K \sum_{l=2}^L \Lambda_l \frac{q_{i-2, j, k, l}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \frac{\lambda_{q1}^* r_q}{\bar{u}_{jk}} \\
 & + \left\{ \text{ERF} \left[\frac{\alpha + \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] - \text{ERF} \left[\frac{\alpha}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] \right\} \sum_{k=1}^K \sum_{l=2}^L \Lambda_l \frac{q_{i-1, j, k, l}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \frac{\lambda_{q1}^* r_q}{\bar{u}_{jk}} \\
 & + \left\{ \underbrace{\text{ERF} \left[\frac{\alpha}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right]}_{C_\alpha} + \underbrace{\text{ERF} \left[\frac{\beta}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right]}_{C_\beta} \right\} \sum_{k=1}^K \sum_{l=2}^L \Lambda_l \frac{q_{i, j, k, l}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \frac{\lambda_{q1}^* r_q}{\bar{u}_{jk}} \\
 & + \left\{ \text{ERF} \left[\frac{\beta + \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] - \text{ERF} \left[\frac{\beta}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] \right\} \sum_{k=1}^K \sum_{l=2}^L \Lambda_l \frac{q_{i+1, j, k, l}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \frac{\lambda_{q1}^* r_q}{\bar{u}_{jk}} \\
 & + \left\{ \text{ERF} \left[\frac{\beta + 2 \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] - \text{ERF} \left[\frac{\beta + \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] \right\} \sum_{k=1}^K \sum_{l=2}^L \Lambda_l \frac{q_{i+2, j, k, l}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \frac{\lambda_{q1}^* r_q}{\bar{u}_{jk}} \\
 & + \dots \dots \dots \\
 & + \left\{ 1 - \text{ERF} \left[\frac{\beta + (z_\beta - 1) \Delta\phi}{\sqrt{2} \sigma_{yj}(r_q)} r_q \right] \right\} \sum_{k=1}^K \sum_{l=2}^L \Lambda_l \frac{q_{i+z_\beta, j, k, l}}{\bar{u}_{jk}} \exp - \frac{\lambda_{q1}^* r_q}{\bar{u}_{jk}}
 \end{aligned}$$

Wenn $z_\alpha = 0$, wird $C_\alpha = 1$ gesetzt;

wenn $z_\beta = 0$, wird $C_\beta = 1$ gesetzt.

\bar{u}_{jk} über das Vertikalprofil gemittelte Windgeschwindigkeit in m/s, s. Kap. 2.4.

q_{ijk1} Häufigkeit des Zusammentreffens der Niederschlagsstufe 1 mit der Windgeschwindigkeitsstufe k und der Ausbreitungskategorie j im Ausbreitungssektor i.

Die q_{ijk1} sind in der 4-parametrischen Ausbreitungsstatistik enthalten,

$$\sum_{i,j,k,1} q_{ijk1} = 1$$

1 = 1 bedeutet "kein Niederschlag".

λ_{q1}^* = $\lambda_q + \Lambda_{1q}$ gesamter Koeffizient der Abmagerung der Aktivitätsfahne in 1/s

Wenn INRAIN = 0, ist:

Λ_{1q} = $8760 c_q R_1$ (Berechnung des Washout nach "Allgemeiner Berechnungsgrundlage..." des BMI /1/).

c_q Washoutkoeffizient des q-ten Nuklids nach /1/ in $\frac{a}{mm \cdot s}$

8760 Anzahl der Jahresstunden in h/a

R_1 mittl. Niederschlagsintensität der Stufe 1, $R_1 = 0$.

Wenn INRAIN > 0, ist:

Λ_{1q} = LAMDA(1)
(Washout-Koeffizienten Λ_1 werden direkt eingelesen)

2.4 Windgeschwindigkeit \bar{u}_{jk}

Die Windgeschwindigkeit \bar{u}_{jk} wird für jede Stabilitätskategorie j und für jede Windgeschwindigkeitsstufe k vom Boden bis zur Emissionshöhe H gemittelt, s. Gleichung (12). Dabei wird das Windgeschwindigkeitsprofil über der Höhe z durch eine Potenzfunktion angenähert:

$$(12) \quad \bar{u}_{jk} = \frac{1}{H_q} \int_0^H u_{ok} \left(\frac{z}{H_0}\right)^{p_j} dz = \frac{u_{ok}}{1+p_j} \left(\frac{H_q}{H_0}\right)^{p_j}$$

H_0	Meßhöhe der Windgeschwindigkeit
u_{ok}	mittlere Stufengeschwindigkeit in der Meßhöhe H_0
p_j	Windprofilexponent der Stabilitätskategorie j

Die mittlere Stufengeschwindigkeit u_{ok} wird aus den gemessenen Einzelwerten, welche in die betreffende Geschwindigkeitsstufe fallen, gebildet. Sie gilt für alle Stabilitätskategorien. Der Windprofilexponent p_j ist der Mittelwert aller Exponenten p , welche sich aus der Anpassung einer Potenzfunktion der Form des Integranden in Gleichung (12) an die gemessenen Windgeschwindigkeitsprofile der Stabilitätskategorie j ergeben. Ergibt sich hiernach $\bar{u}_{jk} < 1$ m/s, so wird mit $\bar{u}_{jk} = 1$ m/s gerechnet. Werte für das Kernforschungszentrum Karlsruhe s. Kap. 3.2

Werden solche Ausbreitungsparameter verwendet, welche die Integration in Gleichung (12) bis $2 H_q$ erfordern (z.B. Ausbreitungsparameter nach /1/), so muß (auf Karte 1) $INTHOE = 1$ gesetzt werden.

2.5 Berücksichtigung der Verwirbelung im Nachlaufwirbel des Gebäudes bei niedriger Quellhöhe

$\sigma_{yj}(r)$ in Gleichungen (8a) und (8b) und
 $\sigma_{zj}(r)$ in Gleichung (3) werden modifiziert, wenn
 $H_q < H_{Grenz}$:

$$\sigma_{yj} = \sqrt{\sigma_{yj}^2 + \frac{H_q^2}{2\pi}} \quad \text{in m}$$

$$\sigma_{zj} = \sqrt{\sigma_{zj}^2 + \frac{H_q^2}{2\pi}} \quad \text{in m}$$

Im KfK ist $H_{\text{Grenz}} = 30 \text{ m}$.

3. Handhabung des Programms ISOLA-IV

3.1 Eingabe auf Karten

1. Karte

NRUN Anzahl voneinander unabhängiger Rechenläufe, die mit einem Programmlauf abgearbeitet werden sollen. Ist $\text{NRUN} > 1$, werden die Dosiswerte aller Programmläufe mit $\text{LAUF} = 1$ addiert und die Summenwerte und deren Maximum ausgegeben. Diese Summation ist nur sinnvoll für gleichartige Berechnungen in identischen Aufpunkten, z. B. zur Berechnung von Jahreswerten aus Monatswerten.

INTHOE Steuergröße, die angibt, bis zu welcher Höhe Gleichung (12) integriert werden muß (in Abhängigkeit von den verwendeten Diffusionsparametern).

$\text{INTHOE} = 0$ Diffusionsparameter von Karlsruhe:
Integration bis zur Emissionshöhe

$\text{INTHOE} > 0$ Diffusionsparameter von Jülich und Allgemeine Berechnungsgrundlage:
Integration bis zur doppelten Emissionshöhe.

INRAIN Steuergröße zur Wahl der Berechnung des Washout:
INRAIN = 0 Washout nach /1/; dann muß WA auf den Karten Nr. 4 und folgende eingelesen werden.
INRAIN > 0 direkte Eingabe der Washout-Koeffizienten $\Lambda(1)$ auf der 3. Karte (für alle Emittenten gleich).

INDRY Steuergröße, welche die Abmagerung der Aktivitätsfahne infolge trockener Ablagerung steuert
INDRY = 0 keine Abmagerung
INDRY > 0 Berechnung der Abmagerung nach Gleichung (11).

2. Karte

IQMAX	Anzahl der Quellen,	$IQMAX \leq 37$
IPMAX	Anzahl der Aufpunkte	$IPMAX \leq 1700$
II	Anzahl der Sektoren	$II \leq 36$
KMAX	Anzahl der Windgeschwindigkeitsstufen	$KMAX \leq 8$

LAUF Steuergröße zur Wahl der Ergebnisse
LAUF = 1 Berechnung der Dosis an eingegebenen Aufpunkten
LAUF = 2 Berechnung und Zeichnung der Isodosenlinien

NAS Steuergröße zur Wahl des Expositionspfades
NAS = 1 a) Berechnung von χ bzw. der davon abhängigen Inhalations- oder Submersionsdosisrate mit $T_{dry} = 1$
NST = 1 oder NST > 1
b) Berechnung der trockenen Ablagerung bzw. der davon abhängigen Ingestionsdosisrate oder der Dosisrate durch Bodenstrahlung
NST = 1 oder NST > 1

NAS = 2 Berechnung der nassen Ablagerung bzw. der davon abhängigen Ingestionsdosisrate oder der Dosisrate durch Bodenstrahlung

nur mit NST > 1

NAS = 3 Berechnung der nassen + trockenen Ablagerung bzw. der davon abhängigen Ingestionsdosisrate oder der Dosisrate durch Bodenstrahlung

nur mit NST > 1

NST Anzahl der Niederschlagsstufen der Ausbreitungsstatistik,
NST = 1 für 3-parametrische Statistik

3. Karte

HGRENZ Mindesthöhe für Kamine (30 m)

Nur, wenn INRAIN > 0

LAMDA(1) = 0

LAMDA(2) = $\Lambda(2)$ Washout-Koeffizient der Stufe 2 in s^{-1}

.....

LAMDA(NST) = $\Lambda(L)$ Washout-Koeffizient der Stufe L in s^{-1}

FORMAT (6E10.0)

4. Karte und folgende (insgesamt IQMAX Karten)

- QUELX x-Koordinate der Quelle q in m
- QUELY y-Koordinate der Quelle q in m
- EMHOE Emissionshöhe H_q in m
- FAKT Quellstärke A_q in Ba/s bzw. A_q in Bq/a bzw.
 $A_q g_q$ (g_q = Dosisfaktor des Emittenten q)
(s. Schema der Programm-Optionen)
- ZERF Zerfallskonstante λ_q des emittierten Nuklids in s^{-1}
- T_{wet} Transferkonstante für nasse Ablagerung in m^2
(Ingestion) bzw. in s (Bodenstrahlung),
s. Gleichung (1b)
- T_{dry} Transferkonstante für trockene Ablagerung in m^3/s
(Ingestion) bzw. in s (Bodenstrahlung),
s. Gleichung (1a)
- VAU Ablagerungsgeschwindigkeit in m/s (für die Berechnung
der Abmagerung)
- WA Washout-Koeffizient c_q in $\frac{a}{mm \cdot s}$
- FORMAT (9E8.3)

für LAUF = 1

(IQMAX+4)-te Karte und folgende (insgesamt IPMAX Karten)

PUNKTX x-Koordinate des Aufpunktes in m

PUNKTY y-Koordinate des Aufpunktes in m

FORMAT (7E8.0)

für LAUF = 2

(IQMAX+4)-te Karte

NANF kleinster Wert des Rasters in m, im allg. Null

NWEIT Abstand der Rasterpunkte in m

IANZ Anzahl der Aufpunkte in x-Richtung bzw. y-Richtung

LIN Steuergröße

LIN < 0 Das Niveau von LIN Isodosenlinien wird nach dem Maximum im mathematisch 1. Quadranten berechnet.

Die folgende Karte entfällt.

LIN = 0 Das Niveau von 10 Isodosenlinien wird nach dem Maximum im mathematisch 1. Quadranten berechnet.

Die folgende Karte entfällt.

LIN < 0 Das Niveau von LIN Isodosenlinien wird auf der folgenden Karte eingegeben.

NPEN bezeichnet die Strichstärke, mit der die Isodosenlinien gezeichnet werden sollen.

FORMAT (7I10)

für LIN > 0

(IQMAX+5)-te Karte

DLI Niveau der LIN Isodosenlinien (falls LIN > 7, ist eine Fortsetzungskarte erforderlich)

FORMAT (7E10.0)

(IQMAX+6)-te Karte

RMASS Maßstab für die Isodosenkarte $M = 1:RMASS$

NEMP NEMP > 0 Die Standorte der Emittenten und die Punkte maximaler Dosis in den Quadranten sollen in die Isodosenkarte eingezeichnet werden.
NEMP = 0 Emittenten und Maxima sollen nicht gezeichnet werden.

FORMAT (E10.0, I10)

für LAUF = 1 und LAUF = 2

(IQMAX+IPMAX+5)-te Karte (LAUF=1) bzw.

(IQMAX+7)-te Karte (LAUF=2)

NTEXT Text (maximal 72 Zeichen lang), der in der Druckausgabe und, für LAUF=2, als Bildunterschrift ausgegeben wird.

FORMAT (A72)

3.2 Magnetbandeingabe

Für die Jahre 1972 bis 1985 liegen monatliche Ausbreitungsstatistiken vor sowie die jeweilige Jahresstatistik, die auf dem Band ASMSTA abgespeichert wurden.

Diese Statistiken wurden für 12 oder 36 Sektoren, 8 Windgeschwindigkeitsstufen und $H_0 = 60$ m berechnet. Die dazugehörigen $P(J)$ sind (s. /3/):

0,07; 0,13; 0,21; 0,34; 0,44; 0,44

Diesen $P(J)$ liegt eine Störhöhe von $DI=10$ m zugrunde

Die mittleren Windgeschwindigkeiten der Windgeschwindigkeitsstufen betragen für eine 10-Jahres-Statistik des KfK:

0,22; 0,81; 1,31; 1,80; 2,98; 5,29; 9,36; 15,85 m/s

3.3 Erläuterungen und Grenzen

Für LAUF=2 muß IPMAX=IANZ*IANZ sein. Das Raster besteht aus IANZ*IANZ Aufpunkten. Bei der Berechnung des Verlaufs der Isodosenlinien werden die Rastermittelpunkte mitberücksichtigt.

Die Koordinaten der Quellen und Aufpunkte beziehen sich auf ein kartesisches Koordinatenkreuz, in dessen Ursprung z. B. der Schornstein des FR 2 liegt.

HO, P(J), U(K), II, KMAX und NST gehören zur Ausbreitungsstatistik (s. 3.2), die über die UNIT 20 vom Magnetband eingelesen wird, und müssen den in der Statistik verwendeten Werten entsprechen.

U(K) und REGEN(NST) stehen auf dem Statistikband.

DLI(1) ist der Wert der höchsten, DLI(LIN) der Wert der kleinsten Isodose. Bei LIN=0 werden je Dekade 3 Isodosenlinien (1, 2 und 5) gewählt.

Es stehen mehrere Unterprogramme zur Verfügung, die die Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z liefern. Die σ -Werte können nach Pasquill/Gifford, nach Klug oder nach Singer berechnet werden. Für das Kernforschungszentrum Karlsruhe werden eigene Kurvenscharen nach /3/ verwendet.

3.4 Benutzte Unterprogramme

SUBROUTINE SIGMYZ	ruft K0610Y und K0610Z auf.
SUBROUTINE K0610Z	berechnet σ_z nach /3/, S. 194.
SUBROUTINE K0610Y	berechnet σ_y nach /3/, S. 194
SUBROUTINE PUNKTE	berechnet aus den Größen NANF, NWEIT, IANZ die Aufpunkte des Rasters für jeden Quadranten.
SUBROUTINE ISODOS	füllt ein Feld mit den Zahlen von 1 bis LIN oder 0 falls die Dosis $<DLI(LIN)$ je nach der Höhe der Dosis am Aufpunkt des Rasters und gibt dieses Feld aus.
SUBROUTINE HL	zeichnet Achsen und Rahmen der Isodosenkarte, stellt alle Größen und Werte für die SUBROUTINE PLOTHC zusammen und ruft diese auf.
SUBROUTINE PLOTHC	plottet die Isodosenlinien (Abwandlung des Programms PLOTHL von U. Schumann /4/).
SUBROUTINE LINIEN	berechnet das Niveau der Isodosenlinien nach dem Maximum im 1. Quadranten.
SUBROUTINE LEGEND	zeichnet die Legende neben die Isodosenkarte.

3.5 Ausgabe

Die Ausgabe der eingelesenen Werte ist selbsterklärend und ist für LAUF=1 (Tab. 1) und LAUF=2 (Tab. 3) gleich.

a) Ergebnisse für LAUF=1

Eine Tabelle mit der laufenden Nummer des Aufpunktes, der X- und Y-Koordinate in Meter sowie der Dosis in S_v/a wird gedruckt, s. Tab. 2. Die Nachricht "PROGRAMM BEENDET" schließt die Ausgabe ab.

b) Ergebnisse für LAUF=2

Nach der Angabe der Quadrantennummer folgt das in ISODOS gefüllte Feld in der Form von IANZ*IANZ Zahlen der Werte von 1 bis LIN oder 0. Tab. 4

zeigt das Feld des ersten Quadranten. Unter dem Zahlenfeld wird ausgedruckt, welche Dosen den Zahlenwerten entsprechen. Anschließend wird das Minimum und das Maximum der berechneten Dosen ausgegeben. Diese Darstellung gibt einen Überblick über den Verlauf der Isodosenlinien. Nach dem vierten Quadranten erscheint die Nachricht "PROGRAMM BEENDET".

Plotausgabe:

Die Einheiten an den Achsen sind Kilometer und die Höhen der Linien stehen rechts neben der Zeichnung, s. Abb. 2.

4. Zusammenfassung der Programm-Optionen

Mit dem Programm ISOLA IV kann an jedem Aufpunkt

- die Dosisleistung
- die Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft
- die trocken und/oder naß abgelagerte Aktivität
- der Langzeitausbreitungsfaktor oder
- der Washout-Faktor

berechnet werden. Dazu sind die Parameter NAS, T_{dry} , T_{wet} und FAKT wie in folgendem Schema zu wählen. Grundsätzlich ist für die Berechnung der nassen Ablagerung (Washout) eine 4-parametrische Ausbreitungsstatistik einzulesen, während für die Berechnungen ohne Washout eine 3-parametrische ausreicht (s. S. 9). Die gewünschte Größe kann entweder für diskrete Aufpunkte (LAUF = 1) oder für ein quadratisches Raster (LAUF = 2) berechnet werden. Letztere Option gibt die Möglichkeit, die Isolinienkarte zu zeichnen.

NAS	T _{dry}	T _{wet}	FAKT	Berechnete Größe
1	1	-	1	Langzeit-Ausbreitungsfaktor λ in s/m^3
		-	\dot{A} in Bq/s	mittlere Aktivitätskonzentration in Bq/m^3
		-	\dot{A}_g in $\frac{Sv \cdot m^3}{a \cdot s}$	Inhalations- oder Submersions-Dosisrate in Sv/a
	v_g bzw. v_b in m/s	-	\dot{A} in Bq/s	trockene Aktivitätsablagerung auf Vegetation bzw. auf dem Boden in $Bq/m^2 \cdot s$
	$(v_g K_1 + v_b K_2)$ in m^3/s K_1 nach (5 a) in m^2 K_2 nach (5 b) in m^2	-	\dot{A}_g in Sv/a	Ingestionsdosis durch trockene Ablagerung in Sv/a
$v_b K_2$ in m K_2 nach (6 b) in s	-	\dot{A}_g in $\frac{Sv \cdot m^2}{a \cdot s}$	Dosisleistung durch Bodenstrahlung infolge trockener Ablagerung in Sv/a	
2	-	1	1	Washout-Faktor in m^{-2}
		1	\dot{A} in Bq/s	nass abgelagerte Aktivität in $Bq/m^2 \cdot s$
		$(f_w K_1 + K_2)$ in m^2 K_1 nach (5 a) in m^2 K_2 nach (5 b) in m^2	\dot{A}_g in Sv/a	Ingestions-Dosisrate infolge nasser Ablagerung in Sv/a
		K_2 nach (6 b) in s	\dot{A}_g in $\frac{Sv \cdot m^2}{a \cdot s}$	Dosisleistung durch Bodenstrahlung infolge nasser Ablagerung in Sv/a
3	v_g bzw. v_b in m/s	1	1	gesamte Ablagerung in m^{-2}
	v_b in m/s	1	\dot{A} in Bq/s	gesamte Aktivitätsablagerung auf dem Boden in $Bq/m^2 \cdot s$
	v_g in m/s	f_w	\dot{A} in Bq/s	gesamte Aktivitätsablagerung auf Vegetation in $Bq/m^2 \cdot s$
	$(v_g K_1 + v_b K_2)$ in m^3/s K_1 nach (5 a) in m^2 K_2 nach (5 b) in m^2	$(f_w K_1 + K_2)$ in m^2 K_1 nach (5 a) in m^2 K_2 nach (5 b) in m^2	\dot{A}_g in Sv/a	Ingestionsdosisrate in Sv/a
	$v_b K_2$ in m K_2 nach (6 b) in s	K_2 nach (6 b) in s	\dot{A}_g in $\frac{Sv \cdot m^2}{a \cdot s}$	Dosisleistung durch Bodenstrahlung in Sv/a

Schema der Programm-Optionen

5. Literatur

- /1/ Der Bundesminister des Innern;
Allgemeine Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der Strahlen-
exposition durch Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft.
Empfehlung der Strahlenschutzkommission, 1977

- /2/ W. Hübschmann, D. Nagel;
ISOLA III - ein FORTRAN-IV-Programm zur Berechnung der langfristigen
Dosisverteilung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen.
KfK 2698, Dez. 1978

- /3/ H. Kiefer, W. Koelzer;
Jahresbericht 1978 der Abteilung Sicherheit. KfK 2775, 1979.

- /4/ U. Schumann;
PLOTHL; Ein Fortran-IV - Unterprogramm zur Darstellung von Funktionen
von zwei unabhängigen Variablen durch ihre Höhenlinien auf einem Plotter.
KfK 1486, Oktober 1971

I S O L A I V

NAS= 3 INRAIN = 0 INDRY = 0

STATISTIK MIT 4 NIEDERSCHLAGSSTUFEN

INTEGRATION BIS ZUR EMISSIONSHOEHE (SIGMA-PARAMETER VON KARLSRUHE)

JOD-INGESTIONSDOSES DER SCHILDDRUESE / KLEINKIND

MESSHOEHE DER METEOROLOGISCHEN DATEN FUER DIE STATISTIK 60. M STOERHOEHE DI = 10.0 M

WINDGESCHWINDIGKEITS-STUFEN 0.222 0.809 1.305 1.801 2.977 5.287 9.363 15.848 M/S

NIEDERSCHLAG IN DEN EINZELNEN STUFEN : 0.0 0.1604 1.1828 5.8226 MM/H

DIE SUMME DER STATISTIK BETRAEGT 100.02737

EIN EMITTENT MIT MEHR ALS 30 M QUELLHOEHE WIRD ALS KAMIN BETRACHTET.

ANZAHL DER QUELLEN : 2 ANZAHL DER PUNKTE : 10 ANZAHL DER SEKTOREN : 12

GESAMTZAHL DER WINDGESCH.-STUFEN : 8 P-WERTE

ANZAHL FUER KATEGORIE A : 8 0.07000

 KATEGORIE B : 8 0.13000

 KATEGORIE C : 8 0.21000

 KATEGORIE D : 8 0.34000

 KATEGORIE E : 8 0.44000

 KATEGORIE F : 8 0.44000

	X	Y	HOEHE	QUELLST.	ZERF	T-WET	T-DRY	VAU	WA
1	173.0	1283.0	60.0	5.0000E+03	0.0	4.0000E-01	2.0000E-02	1.0000E-02	1.5000E-08
2	-340.0	87.0	70.0	1.5000E+03	0.0	4.0000E-01	2.0000E-02	1.0000E-02	1.5000E-08

Tab. 1: Ausgabe bei LAUF = 1, Eingabedaten

I S O L A I V

PUNKT	X	Y	DOSIS IN SIEVERT
1	3800.0	6500.0	1.1498E-05
2	4700.0	8200.0	8.1433E-06
3	3500.0	900.0	8.5690E-06
4	5700.0	1500.0	5.3069E-06
5	6400.0	3200.0	7.1332E-06
6	8300.0	4400.0	5.2804E-06
7	5600.0	-700.0	2.9871E-06
8	2700.0	-3700.0	3.0065E-06
9	1900.0	-7500.0	2.3345E-06
10	-2100.0	-9900.0	2.2442E-06

MAXIMUM IM PUNKT 1 (3800.000/ 6500.000) = 1.150E-05
 MINIMUM = 2.244E-06

PROGRAMM BEENDET

Tab. 2: Ausgabe bei LAUF = 1, Ergebnisse

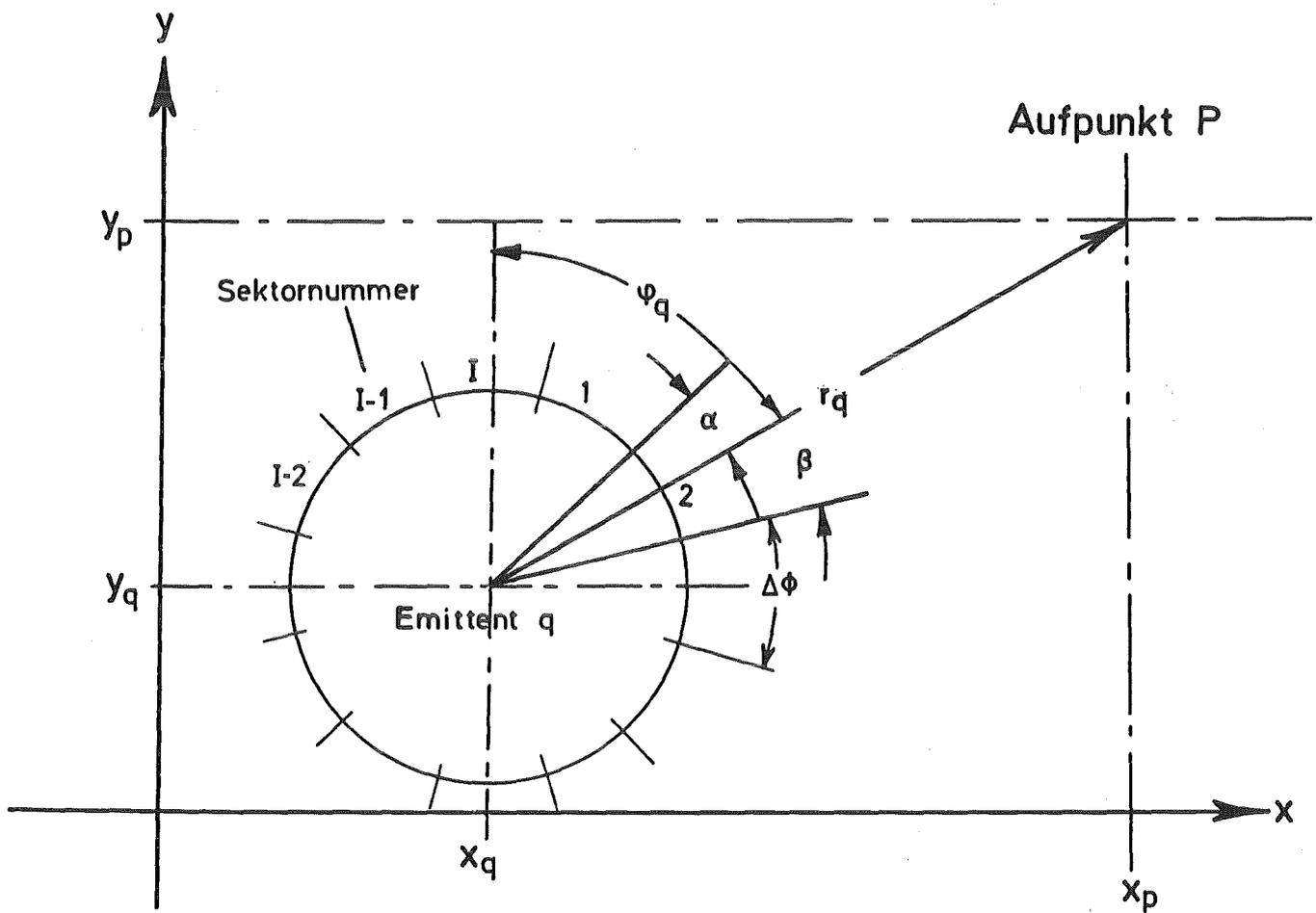


Abb. 1 Emittent und Aufpunkt im Grundriß

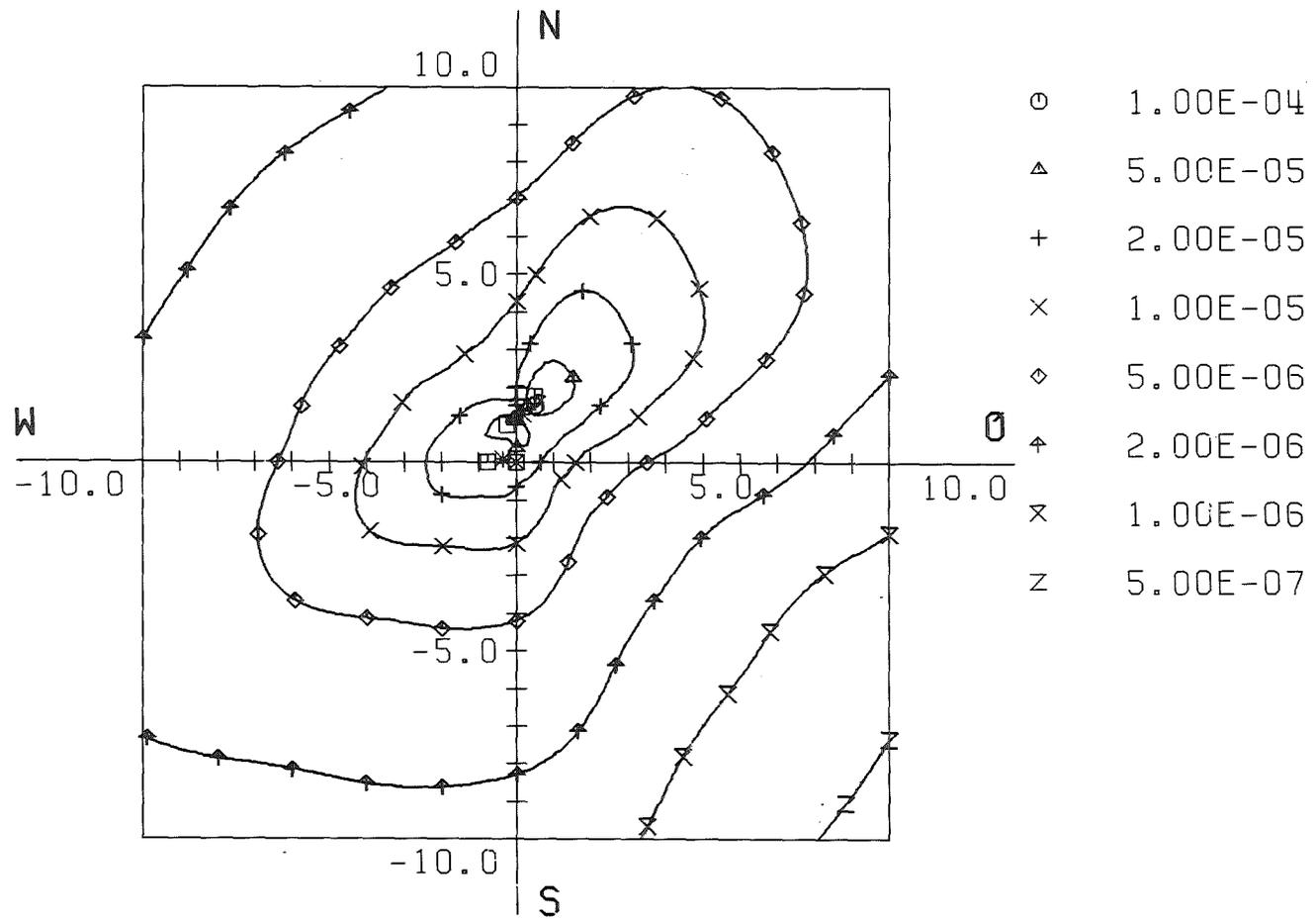


Abb. 2 JOD-INGESTIONSDOSES DER SCHILDDRUESE / KLEINKIND