



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Zentralabteilung Strahlenschutz

SESAM

**Ein Modell zur Berechnung der
Strahlenexposition durch Emission von
Schadstoffen mit der Abluft im Falle
der Mehr-Quellen-Situation**

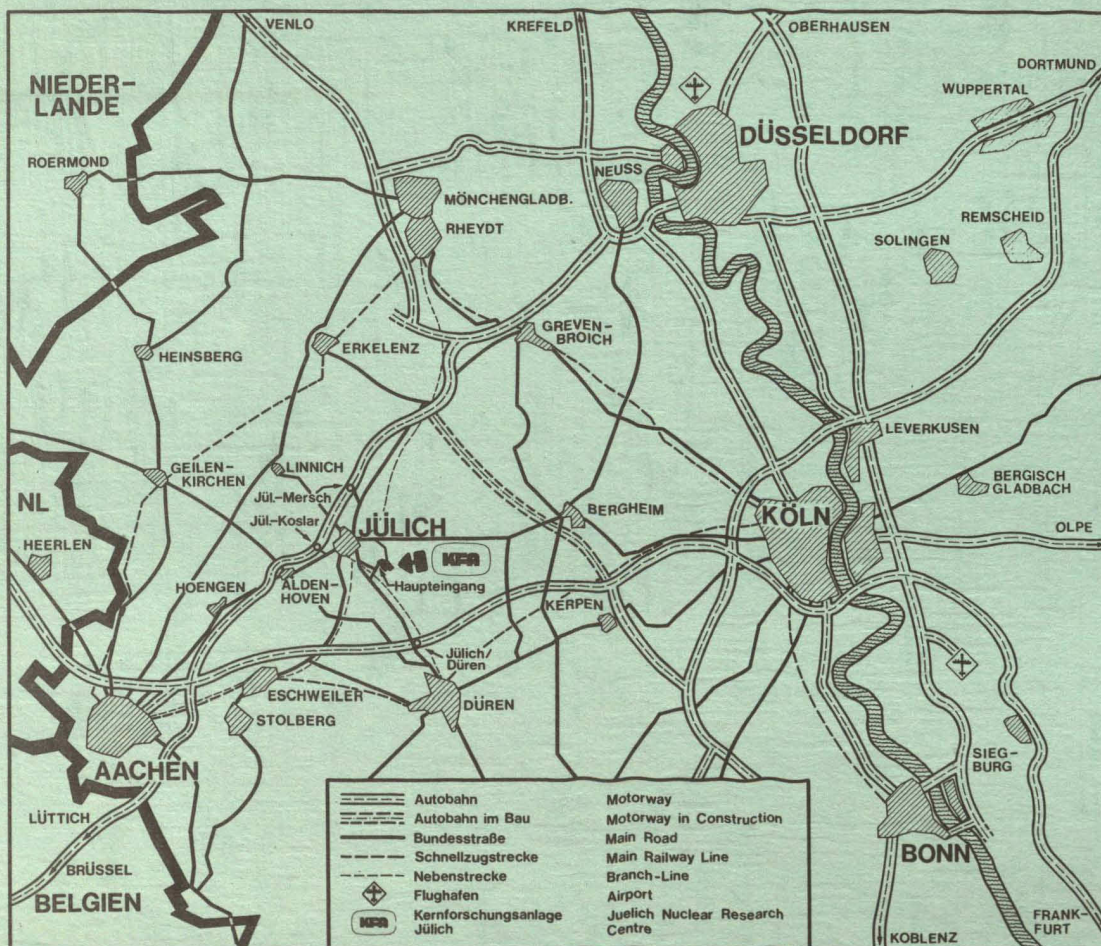
von

H.G. Ehrlich, K.J. Vogt, E. Brunen

Jül - 1676

August 1980

ISSN 0366 - 0885



Als Manuskript gedruckt

Berichte der Kernforschungsanlage Jülich - Nr. 1676

Zentralabteilung Strahlenschutz Jül - 1676

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH,
Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 02461/611 · Telex: 833556 kfa d

SESAM

**Ein Modell zur Berechnung der
Strahlenexposition durch Emission von
Schadstoffen mit der Abluft im Falle
der Mehr-Quellen-Situation**

von

H.G. Ehrlich, K.J. Vogt, E. Brunen

Das Forschungsvorhaben wurde unter der Nr. St. Sch. 645
vom Bundesminister des Innern gefördert

ZUSAMMENFASSUNG

Der vom Bundesminister des Innern geförderte Forschungsauftrag St.Sch. 645 "Erarbeitung eines Modells zur Berechnung der individuellen und kollektiven Bevölkerungsdosis im Einzugsgebiet mehrerer kerntechnischer Emissionsquellen" hatte sich mit zwei Problemkreisen zu befassen:

- Berechnung der individuellen Strahlenexposition im Einzugsgebiet mehrerer kerntechnischer Emittenten und
- Ansätze zur Berechnung der kollektiven Bevölkerungsdosis im Einzugsgebiet kerntechnischer Emittenten.

Der hier vorgelegte 1. Teilbericht zum obigen Forschungsauftrag behandelt die Berechnung der individuellen Strahlenexposition im Einzugsgebiet mehrerer kerntechnischer Emittenten, der nachfolgende 2. Teilbericht wird sich mit dem zweiten Problemkreis - der möglichen Berechnung der Kollektivdosis im Einzugsgebiet kerntechnischer Emittenten - befassen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Modell und Rechenprogramm SESAM - Berechnung der Strahlenexposition durch Emission von Schadstoffen mit der Abluft im Falle der Mehr-Quellen-Situation - erstellt, das alle genehmigungsrelevanten Beurteilungen der Langzeitexposition - wie z.B. die Bestimmung der maximalen individuellen Strahlenexposition der verschiedenen Organe am ungünstigsten Aufpunkt - in Zusammenhang mit der Umgebungsbelastung mehrerer kerntechnischer Emittenten - wie z.B. mehrere Blocks einer Kraftwerksanlage, die unterschiedlichen Emittenten eines Entsorgungszentrums oder auch die Berücksichtigung von Vorbelastungen eines Standortes durch kerntechnische Emittenten - ermöglicht. Grundlage dieses Mehr-Quellen-Modells SESAM sind die in den "Allgemeinen Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der Strahlenexposition durch Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft" /1/ festgelegten Modelle für die Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen für die Expositions-

pfade Gamma-Submersion, Beta-Submersion, Gamma-Bodenstrahlung, Inhalation und Ingestion sowie dem Datenmaterial, wie z.B. Dosiskonstanten und die radioökologischen Umrechnungsfaktoren (kg_1 und kg_2), für die in /1/ festgelegten kritischen Bevölkerungsgruppen.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 EINLEITUNG	1
2 KONZEPT ZUR BERECHNUNG DER STRAHLENEXPOSITION BEI EINEM EMITTENTEN	6
2.1 Allgemeine Bemerkungen	6
2.2 Die nuklidabhängigen Langzeitausbreitungsfaktoren	6
2.3 Die individuelle Strahlenbelastung über die ver- schiedenen Expositionspfade	8
3 KONZEPTION ZUR BERECHNUNG DER STRAHLENEXPOSITION BEI MEHREREN EMITTENTEN	12
3.1 Allgemeine Bemerkungen	12
3.2 Die emittentenabhängigen Langzeitausbreitungsfak- toren der einzelnen Nuklide	13
3.3 Berechnung der Langzeitausbreitungsfaktoren an vor- gegebenen Rasterkoordinaten durch Überlagerung der emittentenabhängigen Langzeitausbreitungsfaktoren	15
3.4 Berechnung der individuellen Strahlenexposition an den vorgegebenen Rasterkoordinaten für alle Exposi- tionspfade	17
4 SESAM - EIN PROGRAMM ZUR BERECHNUNG DER STRAHLEN- EXPOSITION IM FALLE MEHRERER EMITTENTEN	20
4.1 Allgemeine Bemerkungen	20
4.2 Struktur und Aufbau	22
4.3 Berechnung der emittentenabhängigen Langzeitausbrei- tungsfaktoren der einzelnen Nuklide	27
4.4 Überlagerung der nuklidabhängigen Langzeitausbrei- tungsfaktoren der einzelnen Emittenten an vorzuge- benden Rasterkoordinaten	33
4.5 Berechnung der Strahlenexposition der verschiedenen Expositionspfade an den vorgegebenen Rasterkoordinaten	39
5 BEISPIELRECHNUNG	47
5.1 Auslegung und Geometrie des Rechenbeispiels	47
5.2 Die Strahlenexposition der näheren Umgebung	49
5.3 Die Strahlenexposition entlang der Anlagenbegrenzung	60
5.4 Die maximale Individualdosis	62
5.5 Regionale Betrachtung der Strahlenexposition des Rechenbeispiels	72
6 LITERATUR	

1 EINLEITUNG

Die bisherigen Modelle zur Berechnung der Strahlenexposition von Personen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gehen von Einzelquellen aus. Wenn Vorbelastungen durch benachbarte Emittenten trotz der bisher großen Abstände zwischen den einzelnen Quellen nicht vernachlässigt werden konnten, erfolgte die Abschätzung ihres Einflusses am ungünstigsten Aufpunkt der Bezugsquelle.

In zunehmendem Maße werden aber benachbarte Emittenten geplant, deren Dosisbeiträge sich in der Umgebung merklich überlagern. Beispiele hierfür sind mehrere Blocks eines Kernkraftwerkes oder auch die verschiedenen Emittenten einer Wiederaufarbeitungsanlage. In solchen Fällen kann die Strahlenexposition nicht mehr mit den bisher üblichen Einquellenmodellen abgeschätzt werden, die die Emissionen aller Einzelemittenten der Anlage am Ort zusammenfassen, da die Überlagerung der Aktivitätskonzentrationen der Einzelquellen zu einer Änderung des ungünstigsten Aufpunktes und damit zu einer unrealistischen Abschätzung der maximalen Strahlenexposition führen kann.

Zur Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung mehrerer kerntechnischer Anlagen an einem Ort oder zur Ermittlung der Umgebungsexposition im Einzugsbereich mehrerer kerntechnischer Quellen wurde das Modell und Rechenprogramm SESAM - Berechnung der Strahlenexposition durch Emission von Schadstoffen mit der Abluft im Falle der Mehr-Quellen-Situation - entwickelt. Grundlage dieses Mehr-Quellen-Modells sind die in den "Allgemeinen Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der Strahlenexposition durch Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft" /1/ festgelegten Rechenmodelle der verschiedenen Expositionspfade Gamma-Submersion, Beta-Submersion, Gamma-Bodenstrahlung, Inhalation und Ingestion.

Das Rechenmodell SESAM wurde - in konsequenter Weiterentwicklung des Einquellenmodells LISA /2/ - so allgemein angelegt, daß al-

le wichtigen Fragestellungen im Zusammenhang mit Mehrquellenproblemen abgedeckt werden können. Es ist benutzerfreundlich gehalten und läßt sich u.a. auf folgende Berechnungen anwenden:

- Strahlenexposition einer kerntechnischen Anlage unter der Berücksichtigung von Vorbelastungen bestehender Anlagen
- Erweiterung einer Anlage durch Zubau weiterer Blocks
- Strahlenexposition mehrerer Emittenten einer kerntechnischen Anlage (z.B. Kernforschungszentrum, Entsorgungszentrum)
- Regionale Strahlenbelastung im Einzugsbereich mehrerer örtlich getrennter Anlagen

Dabei können folgende genehmigungsrelevante Fragen der obigen Probleme bearbeitet werden:

- Bestimmung des ungünstigsten Aufpunktes für jedes Organ im Einzugsgebiet mehrerer Emittenten und Aufschlüsselung der Organdosen nach Nukliden und Expositionspfaden
- Berechnung der Organdosen entlang ausgewählter Linien (entlang der Anlagenbegrenzung)
- Berechnung von Isodosislinien der einzelnen Organe im Umkreis einer Anlage
- Berechnung von Konzentrationsverteilungen sowie Ablagerungen verschiedener Nuklide für die Erstellung von Umweltüberwachungsmeßprogrammen

Um alle oben genannten Aufgabenstellungen bearbeiten zu können, wurde das Modell in drei voneinander unabhängige Teile gegliedert:

Teil 1 beschreibt die Schadstoffausbreitung der Nuklide der einzelnen Emittenten. Entsprechend den "Berechnungsgrundlagen" /1/ werden für jeden Emittenten die nuklidspezifischen Ausbreitungsfunktionen - Langzeitausbreitungsfaktor, Fallout-Faktor, Washout-Faktor und Gamma-Submersionsfaktor - berechnet. Diese Funktionen sind im allgemeinen emittentenabhängig. Eingangsdaten sind hierbei die für den Emittenten maßgebenden standortspezifischen me-

teorologischen Daten wie die 3-dimensionale Häufigkeitsverteilung p_{ijk} (Windrichtung i , Diffusionskategorie j und Windgeschwindigkeitsstufe k), die vereinfachte Niederschlagsstatistik N_i und die Windprofilexponenten m_j . Des weiteren hängen diese Ausbreitungsfunktionen von der Emissionshöhe H und eng korreliert von den Ausbreitungsparametern p_{zj} und q_{zj} sowie von den Quellstärken des emittierten Nuklidspektrums ab.

Teil 2 berechnet an vorgegebenen Rasterkoordinaten die Beiträge der einzelnen Emittenten als Funktion der unterschiedlichen Nuklide. Die Anwendungsmöglichkeiten des Mehrquellenmodells sollen dabei von der engmaschigen Beschreibung der unmittelbaren Umgebung kerntechnischer Anlagen - Erfassung der ungünstigsten Aufpunkte der einzelnen Organe - bis zur grobmaschigen Erfassung regionaler Gebiete - Berechnung von Vorbelastungen etc. - reichen. Aus diesem Grunde sind die Rasterkoordinaten, an denen die Dosisbelastung aller Emittenten berechnet werden sollen, frei wählbar konzipiert, um eine individuelle Anpassung an das jeweils zu bearbeitende Problem zu ermöglichen. Ebenso ist die Zahl der Emittenten nicht beschränkt, da die Beiträge der einzelnen Emittenten an den gewählten Rasterkoordinaten sequenziell, d.h. nacheinander aufaddiert werden. Die einzelnen Emittenten werden im allgemeinen neben ihrer Lage in bezug auf das gewählte Raster sowohl ein verschiedenes Nuklidspektrum als auch unterschiedliche Quellstärken für die einzelnen Nuklide aufweisen. Daher wird - abweichend von den "Berechnungsgrundlagen" /1/ - auf die mit der jeweiligen Quellstärke multiplizierten Langzeitfunktionen zurückgegriffen. Diese Funktionen beschreiben im Falle des Langzeitausbreitungsfaktors die Konzentration, im Falle des Fallout- und Wahsout-Faktors die abgelagerte Menge und im Falle der Gamma-Submersion den normierten Gamma-Fluß. Auf der Basis dieser neuen Langzeitfunktionen werden für jedes Nuklid in dem betrachteten Einzugsgebiet die Konzentrationen, trockene und nasse Ablagerung und die Gamma-Submersionsverteilung berechnet, die je nach geometrischer Anordnung der Emittenten, deren Nuklidspektren und Quellstärken für die einzelnen Nuklide völlig andersartige Verteilungsmuster aufweisen können. Für die Rasterung der Aufpunktskoordinaten ist in unmittelbarem Nahbereich ein Abstand

von 100 m, im regionalen Bereich ein Abstand von 1000 m bis 2000 m zweckmäßig.

Teil 3 berechnet die aus der Überlagerung sich ergebenden Belastungen der verschiedenen Organe und Expositionspfade. Erfasst sind dabei die Organe Ganzkörper, Knochen, Schilddrüse, Lunge, Leber, Niere, Haut und MDK. Die Dosis der Organe kann entweder als Summe über die Expositionspfade Beta-Submersion, Gamma-Submersion, Gamma-Bodenstrahlung, Inhalation und Ingestion oder auch für jeden Expositionspfad einzeln berechnet und in Form von Isodosislinien und Relief-Darstellungen berechnet werden. In Zusammenhang mit Genehmigungsfragen kann der Dosisverlauf der verschiedenen Organe und Expositionspfade entlang der Anlagenbegrenzung bestimmt werden. Für ausgewählte Aufpunkte, d.h. für die verschiedenen ungünstigsten Einwirkungsstellen der Organe, wird eine detaillierte Aufschlüsselung der Organdosen nach Nukliden und Expositionspfaden durchgeführt.

Aufgrund des benötigten Basisdatenmaterials - wie z.B. der Dosisfaktoren der verschiedenen Expositionspfade oder auch der radioökologischen Umrechnungsfaktoren der Ingestion kann mit dem Programm SESAM bisher nur für die beiden in den "Berechnungsgrundlagen" /1/ definierten Bevölkerungsgruppen - Kleinkinder und Standard-Erwachsener - die Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Emittenten abgeschätzt werden.

Das Programm SESAM wurde aber so flexibel angelegt, daß es auch nach Einführung und Erstellung entsprechenden Basisdatenmaterials auf verschiedene Alters- und Konsumgruppen angewendet werden kann.

Der nun folgende Bericht faßt in Kapitel 2 kurz die in den "Berechnungsgrundlagen" /1/ festgelegten Rechenmodelle der verschiedenen Expositionspfade für einen Emittenten zusammen und entwickelt in Kapitel 3 die notwendigen Erweiterungen und Verallgemeinerungen dieser Rechenmodelle beim Übergang von einem zu mehreren Emittenten.

In Kapitel 4 wird das Rechenprogramm SESAM, dessen Konzeption, Struktur und Aufbau beschrieben, um in Kapitel 5 anhand eines Rechenbeispiels seine vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten zu demonstrieren.

2 KONZEPT ZUR BERECHNUNG DER STRAHLENEXPOSITION BEI EINEM EMITTENTEN

2.1 Allgemeine Bemerkungen

Einleitend sollen die Rechenmodelle der "Berechnungsgrundlagen" /1/ eines Emittenten aufgeführt werden, aufgrund derer dann ein Modell für mehrere Emissionsquellen formuliert werden kann. Diese Rechenmodelle basieren auf der Multiplikation mehrerer Faktoren und beschreiben zwei physikalisch und biologisch verschiedene Vorgänge:

Zum einen die Schadstoffausbreitung in der Atmosphäre und Ablagerung auf der Vegetation durch Multiplikation der Faktoren Quellstärke und Langzeitausbreitungsfaktor, zum anderen die Erlangung einer Dosis durch diese radioaktiven Schadstoffkonzentrationen in der Umgebung und den Nahrungsmitteln durch Multiplikation der Konzentrationen mit den entsprechenden Dosisfaktoren und radioökologischen Umrechnungsfaktoren.

2.2 Die nuklidabhängigen Langzeitausbreitungsfaktoren

Die Langzeitausbreitungsfaktoren werden allgemein in dem emittenteneigenen Polarkoordinatensystem beschrieben. Innerhalb dieses Systems läßt sich unter der Voraussetzung quasi-kontinuierlicher Emission und vollständiger Reflexion am Boden die bodennahe Aktivitätskonzentration der Luft durch den auf die Quellstärke normierten und über den Ausbreitungssektor gemittelten Langzeitausbreitungsfaktor

$$X_r(i, x) = \frac{N}{\sqrt{2\pi} \sigma_x} \sum_j \frac{e^{-H^2/2\sigma_{zj}^2}}{\sigma_{zj}} \sum_k \frac{p_{ijk}}{u_{jk}} e^{-\lambda_r x/u_{jk}} \quad (s/m^3)$$

mit	N	Zahl der Sektoren (N = 12)
	H	Emissionshöhe (m)
	p_{ijk}	3-dimensionale meteorologische Ausbreitungsstatistik Windgeschwindigkeitsstufe k, der Diffusionskategorie j und der Ausbreitungssektor i
	u_{jk}	Windgeschwindigkeit in der Emissionshöhe H (m/s)
	λ_r	Zerfallswahrscheinlichkeit des Nuklides r (1/s)
	x	Quelldistanz (m)

und den Ausbreitungsparametern

$$\sigma_{zj} = p_{zj} \cdot x \cdot q_{zj} \quad (m)$$

der einzelnen Diffusionskategorien j und der Emissionshöhe H /3/ beschreiben.

Die radioaktive Schadstoffablagerung auf der Vegetation wird durch die unterschiedlichen Langzeitausbreitungsfaktoren des Fallouts für die trockene und des Washouts für die nasse Ablagerung erfaßt. Die trockene Ablagerung auf der Vegetation ist dabei direkt proportional der bodennahen Schadstoffkonzentration /4/:

$$F_r(i, x) = v_{gr} \cdot X_r(i, x) \quad (1/m^2)$$

mit v_{gr} Ablagerungsgeschwindigkeit (m/s)

Die Ablagerung der Schadstoffe aus der Wolke durch Niederschläge kann durch die vereinfachte Darstellung nach /5/ angesetzt werden.

$$W_r(i, x) = \frac{N}{2\pi x} \cdot c_r \cdot N_i / \bar{u}_a \quad (1/m^2)$$

mit N Zahl der Sektoren ($N = 12$)
 c_r Washout-Konstante (a/mm s) für das Nuklid)
 N_i langjährig gemittelte Niederschlagsmenge (mm/a) in dem Ausbreitungssektor
 $\bar{u}_a$ mittlere jährliche Windgeschwindigkeit (m/s) am Standort in Emissionshöhe H .

Zur Ermittlung des Langzeitausbreitungsfaktors der Gamma-Submersion aus der Abluftwolke muß über die Beiträge aller Volumenelemente der Abluftfahne unter Berücksichtigung der Streuung und Absorption der Gamma-Quanten in der Luft integriert werden /6/. Dabei wird der Einfluß der Nebensektoren bei der Berechnung des Langzeitausbreitungsfaktors der Gamma-Submersion mit berücksichtigt.

$$X_{yr}(i, x) = \sum_{j,k} \frac{e^{-\lambda_r x / u_{jk}}}{u_{jk}} [p_{ijk} R_{1j}(x, H) + p_{ljk} R_{7j}(x, H) + \sum_{q=2}^6 (p_{mjk} + p_{njk}) \cdot R_{qj}(x, H)] \quad (s/m^2)$$

wobei $l = i+6$ modulo 12
 $m = i+(q-1)$ modulo 12
 $n = i-(q-1)$ modulo 12

Die Gamma-Submersionsmatrizen R_{lj} ($l=1,7$) sind die normierten Beiträge der zu berücksichtigenden Sektoren für die verschiedenen Diffusionskategorien j , die Emissionshöhe H sowie die Quelledistanz x und sind in /6/ näher erläutert und in /1/ dokumentiert.

2.3 Die individuelle Strahlenbelastung über die verschiedenen Expositionspfade

Bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft müssen im allgemeinen folgende Expositionspfade berücksichtigt werden /1/:

Die Beta-Submersion, von Personen innerhalb der Abluftfahne ist gekennzeichnet durch die kurze Reichweite der emittierten Beta-Teilchen. Sie ist deshalb proportional der unmittelbaren örtlichen Aktivitätskonzentration der Beta-Strahler und führt nur zu einer externen Strahlenexposition der Haut:

$$D_{\beta r}(i,x) = Q_r \cdot \chi_r(i,x) \cdot g_{\beta r} \quad (\text{mrem/a})$$

mit χ_r Langzeitausbreitungsfaktor (s/m^3)
 Q_r Emissionsquellstärke (Ci/a)
 $g_{\beta r}$ Dosisfaktor der Beta-Submersion für das Nuklid r
 ($\text{mrem m}^3/\text{Ci s}$)

Die Strahlenbelastung durch die Gamma-Quanten aus der Abluftwolke und dem kontaminierten Boden werden durch die unterschiedlichen Anstätze der Gamma-Submersion und der Gamma-Bodenstrahlung beschrieben. Die externe Strahlenbelastung durch die Abluftwolke, die Gamma-Submersion, ist proportional dem Gamma-Langzeitausbreitungsfaktor.

$$D_{\gamma r}(i,x) = Q_r \cdot \chi_{\gamma r}(i,x) \cdot g_{\gamma r} \quad (\text{mrem/a})$$

mit $\chi_{\gamma r}$ Gamma-Langzeitausbreitungsfaktor (s/m^2)
 $g_{\gamma r}$ Dosisfaktor für Gamma-Submersion für das Nuklid r
 ($\text{mrem m}^2/\text{Ci s}$)

Die Gamma-Bodenstrahlung wird dagegen bedingt durch die am Boden abgelagerten Radionuklide und ist daher proportional der Summe aus den Fallout- und dem Washout-Langzeitausbreitungsfaktor.

$$D_{\gamma r}^B(i,x) = Q_r \cdot [F_r(i,x) + W_r(i,x)] \cdot K_{\gamma r}^B \cdot g_{\gamma r}^B \quad (\text{mrem/a})$$

mit F_r, W_r Fallout- und Washout-Langzeitausbreitungsfaktoren ($1/m^2$)
 g_{yr}^B Dosisfaktor für den kontaminierten Boden ($mrem\ m^2/Ci\ s$).

Der Faktor K_{yr}^B

$$K_{yr}^B = (1 - e^{-\lambda_r \cdot t_B}) / \lambda_r \quad (s)$$

berücksichtigt die Akkumulation der Radionuklide bei einer Standzeit der kerntechnischen Anlage von t_B Jahren.

Neben den externen Strahlenexpositionen müssen die internen, d.h. die durch Aufnahme von Radionukliden in den Körper bedingten Strahlenexpositionen der Inhalation und Ingestion, berücksichtigt werden.

Die Inhalation - Aufnahme der Schadstoffe über den Atemtrakt - ist direkt proportional der Aktivitätskonzentration multipliziert mit der eingeatmeten Luftmenge:

$$D_{ro}^H(i, x) = Q_r \cdot V \cdot g_{ro}^H \quad (mrem/a)$$

mit χ_r Langzeitausbreitungsfaktor (s/m^3)
 V Atemrate (m^3/s)
 g_{ro}^H Inhalationsdosiskonstante des Nuklides r und Organes o ($mrem/Ci$)

Die durch den Verzehr kontaminierter Nahrungsmittel verursachte Ingestionsdosis muß gegenüber den vorher beschriebenen Expositionspfaden einen komplexen Sachverhalt abdecken. Sie enthält nicht nur die verschiedenartigen Kontaminationsmöglichkeiten der Lebensmittel - wie z.B. die direkte Ablagerung auf den pflanzlichen Endprodukten oder die indirekt erzeugten Schadstoffkonzentrationen in Milch- und Fleischwaren - sondern auch die Konsumgewohnheiten der exponierten Person:

$$D_{ro}^I(i,x) = Q_r \cdot [K_r^F \cdot F_r(i,x) + K_r^W \cdot W_r(i,x)] \cdot g_{ro}^I \quad (\text{mrem/a})$$

mit F_r, W_r Langzeitausbreitungsfaktoren für die Ablagerung des Nuklides r ($1/m^2$)

K_r^F radioökologischer Umrechnungsfaktor für die trockene Ablagerung (m^2)

K_r^W radioökologischer Umrechnungsfaktor für die nasse Ablagerung (m^2)

g_{ro}^I Ingestionsdosiskonstante des Nuklides r und Organs o (mrem/Ci)

Ausgehend von den kg 1 und kg 2 der "Berechnungsgrundlagen" /1/ sind die hier verwendeten radioökologischen Umrechnungsfaktoren wie folgt definiert:

$$K_r^F = kg1_r + kg2_r \quad (m^2)$$

$$K_r^W = 0,2 \cdot kg1_r + kg2_r \quad (m^2)$$

wobei $kg1_r$ die Aktivitätsaufnahme über die Blätter und $kg2_r$ über die Wurzel erfaßt. Für beide Faktoren gilt außerdem, daß sie den Gesamtkonsum enthalten und deshalb nicht auf die Einheitsfläche normiert sind.

Die Expositionspfade der Gamma-Submersion, Beta-Submersion, Gamma-Bodenstrahlung und Inhalation sind charakterisiert durch das Auftreten der Strahlenexposition am Orte der Umgebungskontamination. Im Gegensatz dazu sind die kontaminierten Nahrungsmittel transportabel und führen zu einer Ingestionsdosis am Ort des Konsums dieser Lebensmittel.

3 KONZEPTION ZUR BERECHNUNG DER STRAHLENEXPOSITION BEI MEHREREN EMITTENTEN

3.1 Allgemeine Bemerkungen

Die Berechnung der Strahlenexposition im Einzugsgebiet mehrerer kerntechnischer Emittenten kann auf verschiedene Weise durchgeführt werden. Einmal bietet sich die Möglichkeit an, die nach den Modellgleichungen in Kapitel 2 abgeschätzte Gesamtstrahlenexposition, d.h. die Organdosis über alle Expositionspfade und Nuklide, für die einzelnen Emittenten in einem Superpositionsmodell an absoluten Rasterkoordinaten zu summieren. Diese relativ einfache Lösung des Mehr-Quellen-Problems ist aber durch viel Informationsverlust in bezug auf die Nuklidzusammensetzung der Dosis gekennzeichnet.

Im Modell SESAM wurde daher eine andere Vorgehensweise angewendet, die sich eng an den physikalischen Sachverhalt in der Natur bzw. Atmosphäre anlehnt. Zum einen der Ausbreitungsvorgang durch turbulente Diffusion von Gasen und Aerosolen in der Atmosphäre, im zweiten Schritt die Wirkung der Schadstoffe auf den Menschen. Entscheiden für die Strahlenexposition über alle Expositionspfade sind die örtlichen Aktivitätskonzentrationen in der Luft bzw. die daraus resultierenden Ablagerungen auf der Vegetation und dem Boden. Dies gilt im übertragenen Sinne auch für die Beiträge zur Gamma-Submersionsdosis aus den einzelnen Abluftfahnen. Wie oder aus welchem Grunde diese Aktivitätskonzentrationen bzw. Ablagerungen verursacht wurden, bleibt für die entstehende Strahlenexposition ohne Belang.

Entsprechend dieser Grundvorstellung wurden die Rechenmodelle in Kapitel 2 auf mehrere Emittenten erweitert bzw. verallgemeinert. Als Funktion des Nuklids werden die von allen Emittenten verursachten Konzentrationen, Ablagerungen und normierten Gamma-Submersionsfaktoren an den absoluten Rasterkoordinaten berechnet und anschließend die daraus resultierende Strahlen-

exposition abgeschätzt. Durch Vergleich der berechneten Konzentrations- bzw. Ablagerungsverteilungsmuster einzelner Nuklide im Einzugsgebiet mehrerer kerntechnischer Anlagen mit integralen Messungen von Umweltüberwachungsprogrammen können unter Umständen Hinweise auf die Gültigkeitsgrenzen der angewendeten Ausbreitungsmodelle gewonnen werden.

3.2 Die emittentenabhängigen Langzeitausbreitungsfaktoren der einzelnen Nuklide

Die Langzeitausbreitungsfaktoren der einzelnen Emittenten werden, wie in Kapitel 2 angesetzt, in dem emittenteneigenen Polarkoordinatensystem berechnet:

$$\chi_r^E(\vec{r}) = \frac{N}{\sqrt{2\pi^3} |\vec{x}_i|} \sum_j \frac{e^{-H^E/2\sigma_{zj}^2}}{\sigma_{zj}} \sum_k \frac{p_{ijk}^E}{u_{jk}} e^{-\lambda_r |\vec{x}_i|/u_{jk}} \quad (s/m^3)$$

mit N Zahl der Sektoren
 H^E Emissionshöhe des Emittenten E (m)
 p_{ijk}^E meteorologische Ausbreitungsstatistik am Standort des Emittenten E
 σ_{zj} Ausbreitungsparameter (m)
 u_{jk} Windgeschwindigkeit (m/s)
 λ_r Zerfallswahrscheinlichkeit des Nuklides r (1/s)

und den Koordinaten

$$\vec{r} = \vec{r}_E + \vec{x}_i \quad (m)$$

$\vec{r}_E$ Standortkoordinaten (m)
 $\vec{x}_i$ emittenteneigene Polarkoordinaten (m)

Entsprechend der Definition in Kapitel 2 berechnet sich der Fallout bzw. die trockene Ablagerung der Schadstoffe auf der Vegetation:

$$F_r^E(\vec{r}) = v_{gr} \cdot \chi_r^E(\vec{r}) \quad (1/m^2)$$

mit v_{gr} Ablagerungsgeschwindigkeit für das Nuklid r in Abhängigkeit von der chemischen Verbindung (m/s)

und der Washout bzw. die Ablagerung aufgrund des Auswaschens der Schadstoffe aus der Abluftwolke durch Niederschlag

$$W_r^E(\vec{r}) = \frac{N}{2\pi|\vec{x}_i|} \cdot c_r \cdot N_i / \bar{u}_a^E \quad (1/m^2)$$

mit N Zahl der Sektoren

c_r Washout-Konstanten für das Nuklid r in Abhängigkeit von der chemischen Verbindung (a/mm s)

N_i^E langjährig gemittelte Niederschlagsmenge in dem Ausbreitungssektor i am Standort E (mm/a)

$\bar{u}_a^E$ in Emissionshöhe H^E gemittelte Windgeschwindigkeit am Standort E (m/s)

In äquivalenter Weise wie die vorangegangenen Ausbreitungsfunktionen kann auch die Gamma-Submersionsfunktion mit Hilfe von absoluten Koordinaten $\vec{r}$ beschrieben werden:

$$X_{Yr}^E(\vec{r}) = \overline{j,k} \frac{e^{-\lambda_r |\vec{x}_i|/u_{jk}}}{u_{jk}} \cdot [p_{ijk}^E \cdot R_{1j}(\vec{x}_i, H^E) + p_{ljk}^E \cdot R_{7j}(\vec{x}_i, H^E) + \sum_{z=2}^6 (p_{mjk}^E + p_{njk}^E) \cdot R_{qj}(\vec{x}_i, H^E)] \quad (s/m^2)$$

wobei $l = i+6$ modulo 12,
 $m = i+(q-1)$ modulo 12
 $n = i-(q-1)$ modulo 12

Die Gamma-Matrizen R_{lj} ($l=1,7$) entsprechen den in Kapitel 2 definierten Parametern und sind aufgrund der Emissionshöhe H^E emittentenabhängig.

3.3 Berechnung der Langzeitausbreitungsfaktoren an vorgegebenen Rasterkoordinaten durch Überlagerung der emittentenabhängigen Langzeitausbreitungsfaktoren

Im Kapitel 3.1 wurden die Langzeitausbreitungsfaktoren der einzelnen Emittenten innerhalb des absoluten Koordinatensystems $\vec{r}$ formuliert. Diese Langzeitausbreitungsfaktoren hängen vom Standort $\vec{r}_E$ des Emittenten, der standortspezifischen meteorologischen Statistik p_{ijk}^E , der Niederschlagsmenge N_i^E und der für den Emittenten charakteristischen Emissionshöhe H_i^E ab. Unter Berücksichtigung der Abreicherung durch den radioaktiven Zerfall und des unterschiedlichen Verhaltens bei der trockenen und nassen Ablagerung der Schadstoffe sind diese Langzeitausbreitungsfunktionen nuklidspezifisch. Diese Funktionen beschreiben nach Multiplikation mit der Emissionsmenge Q_r^E des Schadstoffes r , die Konzentration, Ablagerung und der normierte Gamma-Submersionsfluß der Nuklide am Orte $\vec{r}$. Bei mehreren Emittenten an einem oder auch verschiedenen Standorten $\vec{r}_E$ müssen für jedes Nuklid die einzelnen Anteile jedes Emittenten E am gleichen Aufpunkt $\vec{r}$ additiv berücksichtigt werden.

Die resultierende Schadstoffkonzentration C_r am Aufpunkte $\vec{r}$ ergibt sich dann zu

$$C_r(\vec{r}) = \sum_E Q_r^E \cdot \chi_r^E(\vec{r}) \quad (\text{Ci s/ m}^3 \text{ a})$$

mit χ_r^E Langzeitausbreitungsfaktor des Emittenten E (s/m^3)
 Q_r^E Quellstärke des Schadstoffes r (Ci/a)

Nach /7/ zeigte sich experimentell am Beispiel des Jods, daß die trockene Ablagerung auf Gras sich um Größenordnungen unterscheidet, je nachdem, ob das Jod in elementarer Form, aerosolförmig oder in organischer Form emittiert wird. Dies trifft auch für die nasse Ablagerung durch Ausregnen des Schadstoffes aus der Abluftwolke zu. Die einzelnen Anteile an der Gesamtemission von Jod können für die Emittenten unterschiedlich sein.

Hieraus resultieren effektive Ablagerungsgeschwindigkeiten und Washout-Konstanten für die Berechnung der Ablagerung des Schadstoffes auf die Vegetation:

$$v_{gr}^{eff} = a_{el} \cdot v_{gr}^{el} + a_{ae} \cdot v_{gr}^{ae} + a_{or} \cdot v_{gr}^{or} \quad (\text{ m/s })$$

$$c_r^{eff} = a_{el} \cdot c_r^{el} + a_{ae} \cdot c_r^{ae} + a_{or} \cdot c_r^{or} \quad (\text{ a/mm s })$$

mit $v_{gr}^{el}, c_r^{el}, a_{el}$ der Ablagerungsgeschwindigkeit, Washout-konstanten und prozentualen Anteil an elementarer Form,
 $v_{gr}^{ae}, c_r^{ae}, a_{ae}$ der Ablagerungsgeschwindigkeit, Washout-konstanten und prozentualen Anteil an Aerosolen und
 $v_{gr}^{or}, c_r^{or}, a_{or}$ der Ablagerungsgeschwindigkeit, Washout-konstanten und prozentualen Anteil organischer Form des Schadstoffes r

Aus diesen Gründen kann die trockene Ablagerung eines Schadstoffes am Aufpunkt r nicht durch Multiplikation der Konzentration C_r mit der Ablagerungsgeschwindigkeit, wie im Falle des Einzelemitenten, berechnet werden, sondern muß ebenfalls additiv ermittelt werden:

$$F_r^E(\bar{r}) = \sum_E Q_r^E \cdot F_r^E(\bar{r}) \quad (\text{ Ci/m}^2 \text{ a })$$

mit Q_r^E Gesamtemission des Schadstoffes r (Ci/a)
 F_r^E effektiver Falloutfaktor für das Nuklid r und den Emittenten E ($1/\text{m}^2$)

Entsprechend schreibt sich die Ablagerung durch Ausregnen am Aufpunkt r:

$$W_r^E(\bar{r}) = \sum_E Q_r^E \cdot W_r^E(\bar{r}) \quad (\text{ Ci/m}^2 \text{ a })$$

mit Q_r^E Quellstärke (Ci/a)
 W_r^E effektiver Washout-Faktor für den Schadstoff r und
den Emittenten E (1/m²)

Die verschiedenen additiven Gamma-Submersionsbeiträge der einzelnen Emittenten werden am gleichen Aufpunkt $\vec{r}$ überlagert. Die unter Umständen komplexe Verteilung der Radionuklide mehrerer Emittenten in der Atmosphäre wird in den Einzelbeiträgen der Emittenten berücksichtigt.

$$C_{\gamma r}(\vec{r}) = \sum E Q_r^E \cdot \chi_{\gamma r}^E(\vec{r}) \quad (\text{Ci s/m}^2 \text{ a})$$

mit Q_r^E Quellstärke des Nuklides r (Ci/a)
 $\chi_{\gamma r}^E$ Gamma-Langzeitausbreitungsfaktor des Emittenten E
am Aufpunkt $\vec{r}$ (s/m²)

3.4 Berechnung der individuellen Strahlenexposition an den vorgegebenen Rasterkoordinaten für alle Expositionspfade

In Kapitel 3.2 wurden die für die Strahlenexposition wesentlichen Faktoren - wie die Konzentration $C_r(\vec{r})$, Ablagerung durch Fallout $F_r(\vec{r})$ und Washout $W_r(\vec{r})$ und der entsprechende Gamma-Langzeitfaktor $C_r(\vec{r})$ - für mehrere Emittenten an den Aufpunkten r definiert. Zusammen mit diesen Faktoren und den Gleichungen des Kapitels 2.2 können die Berechnungsgleichungen der Strahlenexposition für die einzelnen Expositionspfade allgemeiner formuliert werden.

Die Beta-Submersion, d.h. die Strahlenexposition der Haut, verursacht durch die beim Zerfall der Nuklide emittierten Elektronen und Positronen, schreibt sich

$$D_{\beta r}(\vec{r}) = C_r(\vec{r}) \cdot g_{\beta r} \quad (\text{mrem/a})$$

mit C_r Konzentration am Aufpunkt $\vec{r}$ (Ci s/m³ a)
 $g_{\beta r}$ Dosisfaktor des Nuklides r der Beta-Submersion
 (mrem m³/Ci s)

Die Gamma-Submersion aufgrund der verschiedenen Abluftfahnen der einzelnen Emittenten ergibt sich zu

$$D_{\gamma r}(\vec{r}) = C_{\gamma r}(\vec{r}) \cdot g_{\gamma r} \quad (\text{mrem/a})$$

mit $C_{\gamma r}$ Gamma-Langzeitfaktor am Aufpunkt $\vec{r}$ (Ci s/m² a)
 $g_{\gamma r}$ Dosisfaktor des Nuklides r für die Gamma-Submersion
 (mrem m²/Ci s)

Die Strahlenexposition aufgrund der abgelagerten Gamma-Strahler berechnet sich zu:

$$D_{\gamma r}^B(\vec{r}) = [F_r(\vec{r}) + W_r(\vec{r})] \cdot K_{\gamma r}^B \cdot g_{\gamma r}^B \quad (\text{mrem/a})$$

mit F_r, W_r durch Fallout und Washout am Aufpunkt $\vec{r}$ der abgelagerten Menge (Ci/m² a)
 $g_{\gamma r}^B$ Dosisfaktor des Nuklides r für die Gamma-Bodenstrahlung (mrem m²/Ci s)
 $K_{\gamma r}^B$ Akkumulationsfaktor, der die Emissionsdauer bzw. die Einwirkungszeit beinhaltet (s)

Die Strahlenexposition der Organe infolge der Inhalation von Schadstoffen ergibt sich

$$D_{ro}^H(\vec{r}) = C_r(\vec{r}) \cdot V \cdot g_{ro}^H \quad (\text{mrem/a})$$

mit C_r Konzentration am Aufpunkt $\vec{r}$ (Ci s/m³ a)
 V Atemrate (m³/s)
 g_{ro}^H Inhalationsdosiskonstante des Nuklides r und Organ o
 (mrem/Ci)

Die Ingestion berechnet sich nach

$$D_{ro}^I(\vec{r}) = [F_r(\vec{r}) \cdot K_r^F + W_r(\vec{r}) \cdot K_r^W] \cdot g_{ro}^I \quad (\text{mrem/a})$$

mit F_r, W_r abgelagerte Menge am Aufpunkt $\vec{r}$ (Ci/m² a)
 g_{ro}^I Ingestionsdosiskonstanten des Nuklides r für das Organ o (mrem/Ci)
 K_r^F radioökologischer Umrechnungsfaktor des Fallouts (siehe Definition in Kapitel 2.2) (m²)
 K_r^W radioökologischer Umrechnungsfaktor des Washouts (siehe Kapitel 2.2) (m²)

Die Gesamtstrahlenexposition eines Organs o berechnet sich als Summe der Strahlenexposition der einzelnen Expositionspfade über alle Nuklide

$$D_o(\vec{r}) = \sum_{\text{Ex}} \sum_r D_{ro}^{\text{Ex}}(\vec{r}) \quad (\text{mrem/a})$$

mit D_{ro}^{Ex} die Strahlenexposition des Organes o verursacht durch das Nuklid r über den Expositionspfad Ex .

Dabei werden zur Zeit die Organe

Haut, Knochen, Leber, Lunge, Niere, Schilddrüse,
 MDK und Ganzkörper

sowie die Expositionspfade

$$D_{\gamma r}, D_{\gamma r}^B, D_{ro}^H, D_{ro}^I$$

berücksichtigt. Zusätzlich muß bei der Haut die Beta-Submersion $D_{\beta r}$ in Rechnung gestellt werden.

4 SESAM - EIN PROGRAMM ZUR BERECHNUNG DER STRAHLEN- EXPOSITION IM FALLE MEHRERER EMITTENTEN

4.1 Allgemeine Bemerkungen

Bei der Konkretisierung eines Modells nach Kapitel 3 zur Berechnung der Strahlenexposition im Einzugsgebiet mehrerer kern-technischer Emittenten in Form eines handhabbaren Computerprogrammes spielen die unterschiedlichsten Gesichtspunkte eine Rolle, die sowohl die Struktur und den Aufbau des Programmes prägen als auch die Grenzen in den Anwendungsmöglichkeiten vorgeben.

Im Falle des Programms SESAM sollte den in § 45 der StrlSchV /8/ festgelegten Forderungen

"... Diese Strahlenexposition muß für die ungünstigsten Einwirkungsstellen unter Berücksichtigung sämtlicher relevanter Belastungspfade einschließlich der Ernährungsketten berechnet werden ..." und

"... Sofern andere Anlagen oder Einrichtungen an diesen oder anderen Standorten zur Strahlenexposition in den bezeichneten Einwirkungsstellen beitragen, hat die zuständige Behörde darauf hinzuwirken, daß die ... genannten Werte insgesamt nicht überschritten werden."

entsprochen werden. Das Programm hatte daher folgende Randbedingungen zu erfüllen:

- Berechnung der Strahlenexposition aller relevanten Belastungspfade für mindestens in /1/ angesprochene Organe, Ganzkörper, Schilddrüse, Knochen, Leber, Lunge, Niere, Haut und MDK
- Berechnung der Strahlenexposition für die in /1/ dokumentierten Bevölkerungsgruppen Kleinkinder und Erwachsener
- Berücksichtigung von Vorbelastungen entfernterer Anlagen und Einrichtungen anderer Standorte

- Berechnung der Strahlenexposition mehrerer Emittenten am gleichen Standort
- Ermittlung der ungünstigsten Einwirkungsstellen im Einzugsgebiet mehrerer Emittenten des gleichen oder verschiedener Standorte
- Aufschlüsselung der Strahlenexposition der Organe an der ungünstigsten Einwirkungsstelle nach Expositionspfaden und Nukliden
- Berücksichtigung unbegrenzt vieler Emittenten am gleichen oder anderen Standort bei der Berechnung der Strahlenexposition und
- Berechnung der Strahlenexposition großräumiger oder eng begrenzter Gebiete und Darstellung in Form von Isodosislinien und Relief-Bildern für alle Bevölkerungsgruppen und Organe.

Damit können alle wichtigen Fragestellungen im Zusammenhang mit der Berechnung der

- Strahlenexposition einer kerntechnischen Anlage unter Berücksichtigung der Vorbelastung des Standortes (wie z.B. Erweiterung einer Anlage durch Zubau, Berechnung der Vorbelastung entfernterer Anlagen bei der Planung oder auch die Einbeziehung der Umweltbelastung durch die umliegenden nuklearmedizinischen Einrichtungen)
- Strahlenexposition mehrerer Emittenten einer Anlage (z.B. Wiederaufarbeitungsanlage, Kernforschungszentren oder auch nuklearmedizinische Klinikanlagen) oder
- regionale Strahlenexposition im Einzugsgebiet mehrerer Anlagen zur Abschätzung der Grundbelastung größerer Gebiete durch die Emission von Schadstoffen mit der Abluft

untersucht und die genehmigungsrelevanten Fragen wie die

- Bestimmung der ungünstigsten Einwirkungsstellen jedes Organs und
- die maximale Strahlenexposition der verschiedenen Bevölkerungsgruppen (Kleinkinder, Erwachsener) aufgeschlüsselt nach Expositionspfade und Nuklide

im Einzugsgebiet mehrerer Emittenten bearbeitet werden. Angesichts des Rechenaufwandes - beispielsweise benötigt die Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition nach Nukliden und Expositionspfaden unter Zugrundelegung von 2500 Rasterkoordinaten, einer Nukliddatei von 50 Nukliden, den insgesamt 5 Expositionspfaden und 8 Organen pro Emittenten einen Speicherplatzbedarf von 2×10^7 bytes - ergeben sich programmiertechnische Erfordernisse wie

- Benutzerfreundlichkeit,
- kurze Rechenzeiten und
- kostenoptimierter Speicherplatzbedarf.

Um alle diese Forderungen in fachlicher sowie programmiertechnischer Hinsicht zu erfüllen und trotzdem ein handhabbares, kostenoptimiertes und in seinen Anwendungsmöglichkeiten flexibles Programm zu verwirklichen, wurde das Programm SESAM auf verschiedenen Ebenen in modularer Technik erstellt, wobei die Datenmengen sowie die Schnittstellen zwischen den einzelnen Ebenen über externe Datenträger wie Magnetband oder Platte erfolgt.

4.2 Struktur und Aufbau

Das Programm SESAM setzt sich aus drei selbständigen Ebenen zusammen, die über zwei Schnittstellen untereinander verbunden sind (siehe Abb. 4.2.1). Jeder Ebene ist ein Aufgabenbereich innerhalb der Berechnung der Strahlenexposition mehrerer Emittenten zugeordnet, der durch ein oder mehrere Programme bearbeitet wird. Der Informationsaustausch der verschiedenen Programmebenen erfolgt bei SESAM nur in einer Richtung:

Die unterste Programmebene 1 erarbeitet Datenmaterial, das in standardisierter Form über den externen Datenträger Magnetband in der Schnittebene 1.2 als Eingabedaten der Programmebene 2 dient. Diese wiederum arbeitet das über die Schnittebene 1.2 zur Verfügung gestellte Datenmaterial in geeigneter Weise über die Schnittebene 2.3 für die Programmebene 3 auf. Innerhalb

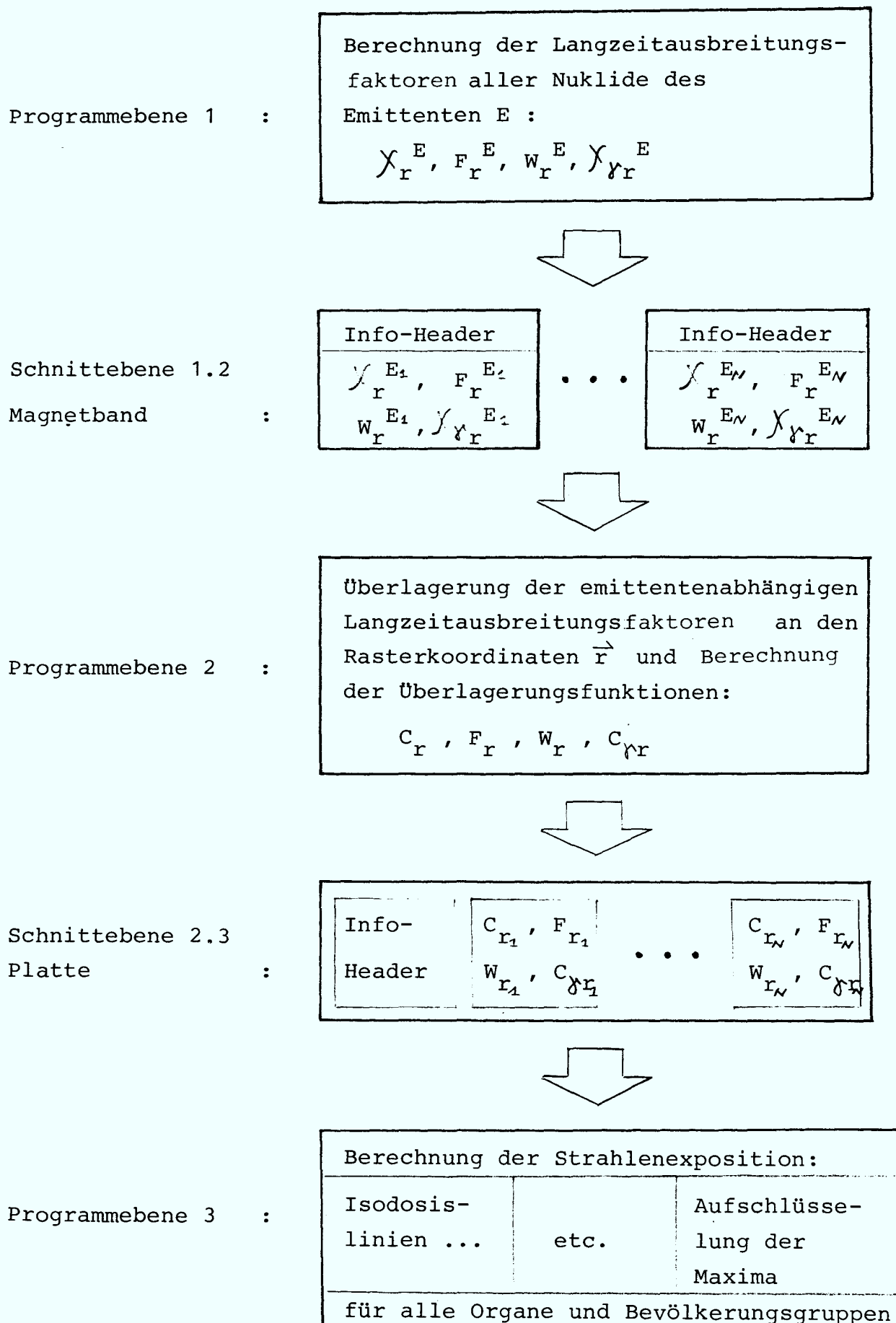


Abb. 4.2.1 : Strukturdiagramm des Programmes SESAM

der höchsten Programmebene 3 werden dann aufgrund des Datenmaterials der Schnittebene 2.3 alle für die Berechnung der Strahlenexposition im Einzugsbereich mehrerer Emittenten interessierenden Aspekte in modularer Weise untersucht.

Die einzelnen Aufgabenbereiche der verschiedenen Programmebenen von SESAM wurden so gewählt, daß sie ein in sich geschlossenes Teilproblem lösen:

Die Programmebene 1 behandelt die atmosphärische Ausbreitung und Ablagerung der Schadstoffe aus der Sicht eines Emittenten, d.h. die Langzeitausbreitungsfaktoren - der Langzeitausbreitungsfaktor χ_r^E , der Fallout-Faktor F_r^E , der Washout-Faktor W_r^E und der Gamma-Submersionsfaktor χ_{yr}^E - werden in dem emittenteneigenen Polarkoordinatensystem für das emittierte Nuklidspektrum berechnet. Dazu benötigt man die standortspezifischen meteorologischen Daten - die 3-dimensionale Häufigkeitsstatistik p_{ijk} , die vereinfachte Niederschlagsstatistik N_i , den Windprofilexponenten m_j - und die emittentenabhängigen Parameter sowie die Emissionshöhe H^E , Emissionsspektrum, die effektive Ablagerungsgeschwindigkeit, die Washout-Konstanten, die Ausbreitungsparameter $p_{zj}(H^E)$ und $q_{zj}(H^E)$ und die Gamma-Submersionsmatrizen $R_j(H^E)$.

Diese nuklidabhängigen Langzeitausbreitungsfaktoren werden für jeden Emittenten getrennt auf Magnetband geschrieben, wobei den ersten Daten die den Emittenten charakterisierende Information, wie die Standortkoordinaten und das emittierte Nuklidspektrum, vorangestellt wird.

In der Programmebene 2 wird das für die Strahlenexposition interessierende Gebiet - z.B. die nähere Umgebung einer Anlage zur Erfassung des ungünstigsten Aufpunktes oder größere regionale Gebiete zur Berechnung der Exposition besiedelter Räume innerhalb des Einzugsbereiches mehrerer Emittenten - als kartesisches Koordinatensystem festgelegt. Das Koordinatensystem bzw. die Rasterkoordinaten $\vec{r}$ können dabei je nach Fragestellung vom Anwender selber frei gewählt werden. Diesen Rasterkoordinaten $\vec{r}$ ist auf der Schnittebene 2.3 für bis zu 50 Nuklide ein exter-

ner Datenbereich auf Platte zugeordnet, der die Konzentration, trockene und nasse Ablagerung und der normierte Gamma-Submersionsfaktor an diesen Rasterkoordinaten enthalten (siehe Abb. 4.2.1). Den ersten Nukliddaten der Schnittstelle 2.3 ist ein Informationsteil vorangestellt, der das bisher erfaßte Nuklidspektrum, die Rasterkoordinaten $\vec{r}$ etc. für die notwendige Organisation der nachfolgenden Daten beinhaltet. Von der Programmebene 2 werden für jeden Emittenten sein Nuklidspektrum, der Emittentenstandort innerhalb des Rasterkoordinatensystems und die Langzeitausbreitungsfaktoren der Nuklide eingelesen und die Konzentration $C_r(\vec{r})$, der Fallout $F_r(\vec{r})$, der Washout $W_r(\vec{r})$ und der normierte Gamma-Submersionsfaktor $C_r(\vec{r})$ an den Rasterkoordinaten $\vec{r}$ berechnet. Diese Werte werden den entsprechenden Nukliddaten der Schnittebene 2.3 überlagert. Durch diese Organisationsform der getrennten Bearbeitung jedes Emittenten braucht die Zahl der Emittenten in SESAM nicht beschränkt zu werden und ermöglicht durch diese Speicherplatzverwaltung auf dem externen Datenträger Platte einen kostenoptimierten Einsatz bei der Berechnung der Strahlenexposition, insbesondere bei vielen Emittenten. Durch die sequentielle Verarbeitungsform der Programmebene 2 kann der Anwender des Programms SESAM selber bestimmen, wieviele Emittenten er in einem Rechengang auf dem Computer bei der Überlagerung berücksichtigen will. So können alle interessierenden Zwischenergebnisse - z.B. zuerst die Berechnung der Vorbelastung einer Anlage durch entferntere Kernkraftwerke und danach die Eigenbelastung - bei den Strahlenexpositionsuntersuchungen auf der nachfolgenden Programmebene 3 ohne zusätzliche Rechenkosten auf der Programmebene 2 durchgeführt werden.

Auf der Programmebene 3 wird die Strahlenexposition der gewünschten Bevölkerungsgruppe im gewählten Einzugsbereich der Emittenten berechnet. Dabei wurde großer Wert auf problemorientierte und kostenoptimierte Rechnungen der unterschiedlichen Fragestellungen dieser Ebene gelegt. In modularer Weise können zur Zeit folgende Probleme behandelt werden:

- Berechnung der Strahlenexposition aller Organe an den Rasterkoordinaten mit Ausgabetabellen geordnet nach Expositionspfaden

- Zeichnen der Isodosislينien aller Organe eines Rastergebietes äquidistanter Koordinatentupel für einzelne sowie mehrerer Expositionspfade, wobei Einzelnuclide, Nuklidgruppen oder alle Nuklide berücksichtigt werden können,
- Zeichnen anschaulicher Reliefdarstellungen der Strahlenexposition des Einzugsgebietes äquidistanter Rasterung für einzelne bzw. mehrere Expositionspfade, wobei wiederum Einzelnuclide, Nuklidgruppen oder das gesamte Nuklidspektrum berücksichtigt wird,
- Berechnung der Strahlenexposition entlang gerader Anlagenbegrenzungen bzw. beliebiger Schnitte im Einzugsbereich eines äquidistanten Netzes und Ausgabe der Organdosen der einzelnen Expositionspfade in tabellarischer Form,
- Berechnung der Maxima der Strahlenexposition aller Organe entlang beliebiger Schnitte und Aufschlüsselung nach Nuklidanteilen und Expositionspfaden und
- Zeichnen beliebiger Nuklidverteilungen der relevanten Faktoren der Nuklidkonzentration C_r , Fallout F_r und Washout W_r sowie des normierten Gamma-Submersionsfaktors $C_{\gamma r}$ in einem äquidistanten Koordinatennetz.

Die Berechnungen können in SESAM wahlweise als Summe über alle Nuklide oder auch für Einzelnuclide bzw. Nuklidgruppen durchgeführt werden, um gegebenenfalls für einige kritische Nuklide wie z.B. J 131, Sr 90 etc. den unterschiedlichen Beitrag der einzelnen Emittenten des Gebietes am ungünstigsten Aufpunkt zu untersuchen. Die Programme wurden dabei so angelegt, daß die Strahlenexpositionsrechnung unabhängig von den verschiedenen Bevölkerungsgruppen, zur Zeit für den Erwachsenen und das Kleinkind, durchgeführt werden können. Das benötigte Datenmaterial der gewünschten Bevölkerungsgruppe - Dosisfaktoren der Expositionspfade und radioökologische Umrechnungsfaktoren der Nuklide - muß in standardisierter Form auf einer Datenbank zur Verfügung stehen. Diese Daten zusammen mit den Nuklidkonzentrationen C_r , den Ablagerungen F_r und W_r und den Gamma-Submersionsfaktoren $C_{\gamma r}$ der Schnittebene 2.3 (siehe Abb. 4.2.1) werden von den einzelnen Programmodulen der Ebene 3 von SESAM eingelesen und entsprechend der angesteuerten Datenbank für die ausgewählte Bevölkerungsgruppe problemorientiert verarbeitet.

4.3 Berechnung der emittentenabhängigen Langzeitausbreitungsfaktoren der einzelnen Nuklide

Wie schon vorher erläutert, werden auf der Programmebene 1 die Langzeitausbreitungsfaktoren in dem emittenteneigenen Polarkoordinatensystem für das emittierte Nuklidspektrum eines Emittenten berechnet. Dabei wurde bei der Konzipierung dieses Programmabschnittes von SESAM großer Wert auf die allgemeine Verwendbarkeit gelegt. Neben der Aufbereitung und Abspeicherung der Daten auf Magnetband für die Überlagerung mehrerer Emittenten können die Langzeitausbreitungsfaktoren auch in tabellarischer Form ausgedruckt werden, so daß dieser Programmteil von SESAM generell zur Berechnung von Langzeitausbreitungsfaktoren herangezogen werden kann. Im weiteren soll der Programmablauf dieser Ebene detaillierter an Hand des Flußdiagramms der Abbildungen 4.3.1 und 4.3.2 beschrieben werden.

Die Legende eines Emittenten startet am Knotenpunkt 1 (siehe Abb. 4.3.1). Dort werden emittentencharakterisierende Daten - ein beliebiger Text für die spätere Identifizierung auf Magnetband, die Standortkoordinaten bezüglich eines vereinbarten Ursprungs und mehrere logische Steuerparameter für den weiteren Programmablauf - von Lochkarten eingelesen. Mit den Steuerparametern sind zum einen kostenoptimierte Programmabläufe und zum anderen flexible Problemanpassungen verbunden, deren Funktionen in der Reihe ihres Auftretens im Flußdiagramm erklärt werden.

Als erstes wird der Steuerparameter L1 erreicht. Er dokumentiert die Berechnung der Langzeitausbreitungsfaktoren mehrerer Emittenten nacheinander im selben Rechenlauf auf dem Computer. Entsprechend dieser Möglichkeit kann mit dem Steuerparameter L2 entschieden werden, ob die später benötigten meteorologischen Statistiken eines Standortes dem Programm schon vorliegen oder nicht, d.h. werden im selben Rechenlauf die Langzeitausbreitungsfaktoren mehrerer Emittenten an einem Standort berechnet, so brauchen diese Statistiken nur beim ersten Emittenten eingelesen werden. Im Augenblick wird die 3-dimensionale Häufigkeitsstatistik p_{ijk} vom Magnetband gelesen, während die vereinfachte

Niederschlagsstatistik N_i von Lochkarten eingegeben wird. Eine weitere Konsequenz der Verarbeitung mehrerer Emittenten ist der Steuerparameter L3. Wurden die Gamma-Submersionsmatrizen R_{1j} vom vorangegangenen Emittenten gleicher Emissionshöhe H schon angefordert, kann dieser Arbeitsgang ebenfalls übergangen werden. Sonst müssen an dieser Stelle des Programms diese Matrizen eingelesen werden, die in Jülich höhenabhängig in einer Datenbank auf Magnetband vorliegen (siehe Abb. 4.3.1).

Nach dem Knotenpunkt 3 wird von den Ausbreitungsparametersätzen der "Berechnungsgrundlagen" /1/ mit Hilfe des Steuerparameters L4 entsprechend der Emissionshöhe ein Satz ausgewählt.

Im Programm sind insgesamt 16 radiale Entfernungskordinaten von 100 m bis 100 km in logarithmisch äquidistanten Abständen vereinbart, an denen die Langzeitausbreitungsfaktoren in den 12 Ausbreitungssektoren berechnet werden sollen. Mit dem Steuerparameter L5 kann der Anwender andere Radialkoordinaten von Lochkarten einlesen. Danach werden im Programm alle Teilrechnungen ausgeführt, die nicht nuklidspezifisch sind, um den weiteren Ablauf der Rechnung möglichst ökonomisch durchzuführen. Jetzt werden, falls der Benutzer es wünscht, die notwendigen Angaben des Emittenten für die Überlagerungsrechnung der Programmebene 2 von SESAM auf Magnetband geschrieben (siehe Abb. 4.3.2). Am Knotenpunkt 5 beginnt die nuklidspezifische Verarbeitung innerhalb des Programms. An dieser Stelle werden die Nukliddaten - Nuklidname zur Identifizierung des Nuklids, die Quellstärke und die Halbwertszeit - des emittierten Nuklidspektrums eingelesen. Nach der Verarbeitung des letzten Nuklids ist die Berechnung dieses Emittenten abgeschlossen, und das Programm versucht, nach Verzweigung zum Knotenpunkt 1, den nächsten Emittenten anzugehen. Sonst werden die Langzeitausbreitungsfaktoren in den 12 Ausbreitungssektoren an den 16 radialen Entfernungskordinaten berechnet. Danach werden die Daten, je nach Wunsch des Anwenders, auf Magnetband abgespeichert und in tabellarischer Form ausgeschrieben (siehe Abb. 4.3.2).

Ein/Ausgabe:

Programmablauf:

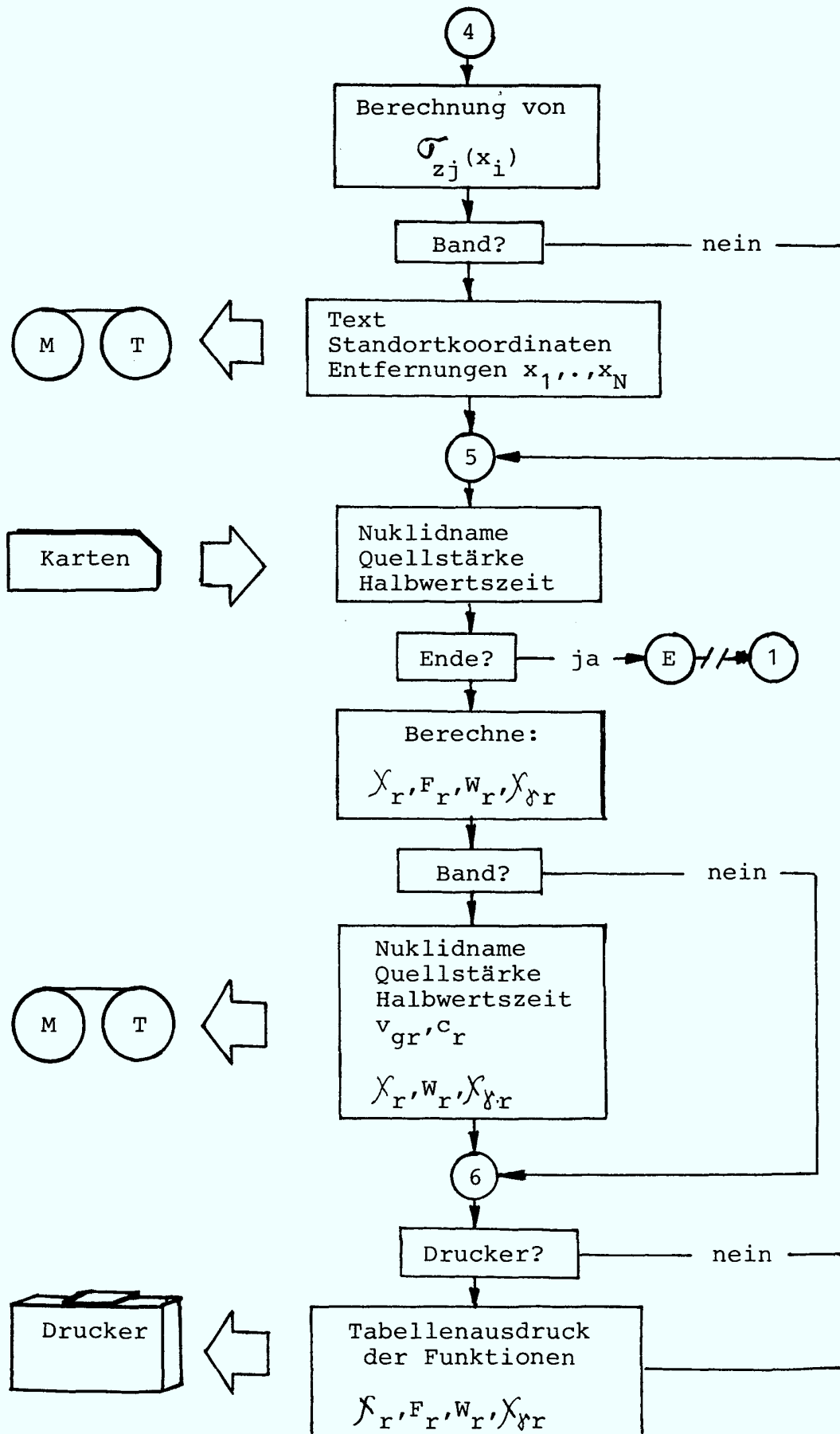


Abb. 4.3.2 : Flußdiagramm der Programmebene 1 2. Teil

Ein/Ausgabe:

Programmablauf:

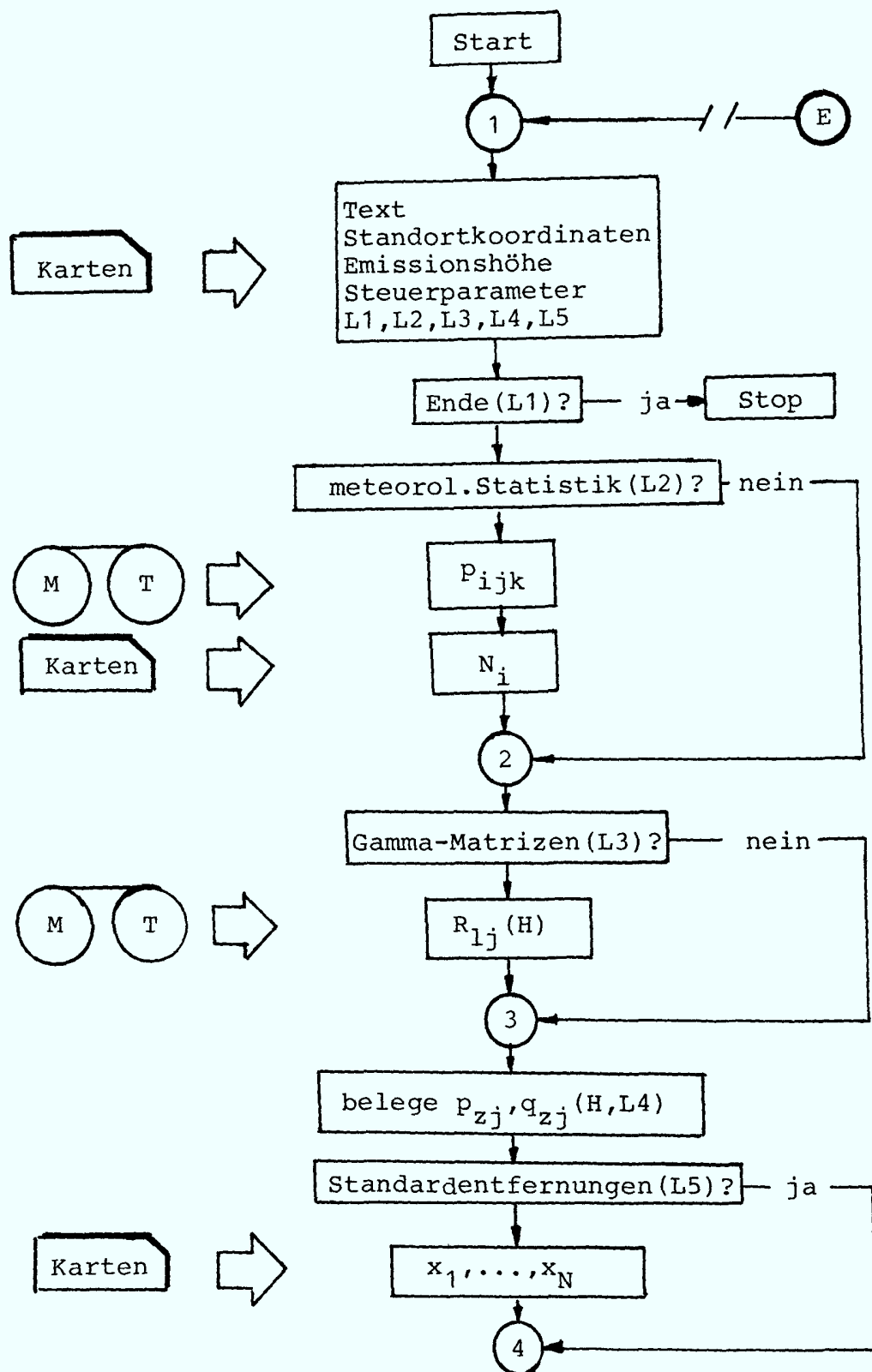


Abb. 4.3.1 : Flußdiagramm der Programmebene 1 1. Teil

Ein wesentlicher Grundgedanke bei der Konzeption von SESAM bestand in der zweckdienlichen Arbeitsaufteilung bei der Berechnung der Strahlenexposition mehrerer Emittenten mit klar umrissenen Schnittstellen zwischen den einzelnen Aufgabenbereichen. Die erste Schnittebene wird durch die auf Magnetband geschriebenen Langzeitausbreitungsfaktoren der Emittenten gebildet (siehe Abb. 4.2.1 und Abb. 4.3.2), deren Datenorganisation in Abb. 4.3.3 schematisch dargestellt ist und an dieser Stelle kurz beschrieben werden möge. Jedem Emittenten ist auf Magnetband ein abgeschlossener Daten-File der Struktur nach Abb. 4.3.3 zugeordnet. Den nuklidbezogenen Daten ist als erstes ein Informationsblock vorangestellt. Dieser Informationsblock enthält alle notwendigen Angaben des Emittenten für die Überlagerungsrechnung der Programmebene 2. Zu diesen Angaben gehören neben einem vom Anwender frei wählbaren Text zur verbalen Identifizierung des Emittenten vor allen Dingen die Standortkoordinaten dieses Emittenten - z.B. Längen- und Breitengrade oder Rechteckkoordinaten bezüglich eines vorher vereinbarten Fixpunktes - und die Radialkoordinaten x_i , an denen die Langzeitausbreitungsfaktoren der Nuklide für diesen Emittenten berechnet worden sind. Mittels dieses Informationsblockes wird das nachfolgende Überlagerungsprogramm der Ebene 2 von SESAM befähigt, ohne zusätzliche Angaben des Anwenders die Rechnungen selbständig durchzuführen. Diesen einleitenden Emittentenangaben folgen die einzelnen Nuklid-Datenblöcke. Jeder Nuklid-Datenblock hat wiederum einen vorangestellten Informationsteil, der alle Nuklidangaben enthält. Zu diesen Angaben gehören ein Dateiname des Nuklids zur Identifizierung (z.B. SR90, J131 etc), die emittierte Quellstärke, die Washout- und Fallout-Konstanten sowie die radiologische Zerfallswahrscheinlichkeit. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß der Datei-Name eines Nuklids in SESAM dem Datenbankmaterial zur Berechnung der Strahlenexposition angepaßt sein muß, das in Jülich im Augenblick verwendet wird. Nach diesem Nuklidinformationsteil folgen die Langzeitausbreitungsfaktoren der Gamma-Submersion, der Konzentration und des Washout. Auf den Langzeitausbreitungsfaktor des Fallout wurde aus Kostengründen verzichtet, da der funktionale Verlauf dieses Faktors durch einfache Multiplikation des Langzeitausbreitungsfaktors

Emittentenangaben
Datenbereichs-
anfang

Text Standortangaben Entfernungsangaben $x_1, \dots, x_E$
--

Nuklid 1

Nuklidangaben
Gammasubmersions- langzeitausbreitungs- faktor $\chi_{r_1}(i, x_j)$
Langzeitausbreitungs- faktor $\chi_{r_1}(i, x_j)$
Washout- langzeitausbreitungs- faktor $w_{r_1}(i, x_j)$

•
•
•

Nuklid N

Nuklidangaben
Gammasubmersions- langzeitausbreitungs- faktor $\chi_{r_N}(i, x_j)$
Langzeitausbreitungs- faktor $\chi_{r_N}(i, x_j)$
Washout- langzeitausbreitungs- faktor $w_{r_N}(i, x_j)$

Datenbereichsende

Ende der Daten des Emittenten E

Abb. 4.3.3 : Datenorganisation der Schnittebene 2.1
auf Magnetband

der Konzentration mit der Ablagerungsgeschwindigkeit des Nuklids erzeugt werden kann.

4.4 Überlagerung der nuklidabhängigen Langzeitausbreitungsfaktoren der einzelnen Emittenten an vorzugebenden Rasterkoordinaten

Als nächstes wird in SESAM die Überlagerung der Emittenten berechnet. Dabei werden die im vorangestellten Kapitel erarbeiteten Daten der Emittenten getrennt eingelesen, die Ausbreitungsfaktoren der beteiligten Nuklide an den vom Anwender festgelegten Rasterkoordinaten berechnet, mit der Vorbelastung der schon berücksichtigten Emittenten überlagert und nuklidweise auf einer Datenplatte extern abgespeichert (Abb. 4.2.1). Bevor an Hand des Flußdiagrammes der Programmablauf und die Möglichkeiten dieses Programmteiles von SESAM beschrieben werden, soll zum besseren Verständnis zuerst die Datenorganisation der Schnittebene 2.3 auf Platte erläutert sowie die notwendige Vorbehandlung zu Beginn einer neuen Überlagerungsrechnung erklärt werden.

Die Schnittebene 2.3, d.h. der Datenspeicher zwischen der Überlagerungsrechnung der Langzeitausbreitungsfaktoren und der daraus resultierenden Dosisrechnung, wurde aus programmtechnischen Gründen mit einer Platte ausgelegt. Der gesamte zur Verfügung gestellte Speicherplatz auf der Platte ist zur Zeit in 153 logische Records zu je 8000 bytes unterteilt und muß für den direkten Zugriff seitens FORTRAN IV vom Rechenzentrum angelegt werden. Die Plattenverwaltung durch das Programm ist in Abb. 4.4.1 zu sehen. Die ersten drei logischen Records enthalten Information über das Einzugsgebiet, d.h. den Koordinatenursprung und die Rasterkoordinaten, sowie die Nukliddatei, in der die bei der Überlagerung schon berücksichtigten Nuklide aufgeführt sind. In den darauf folgenden Records sind die zugehörigen Langzeitausbreitungsfaktoren abgespeichert. Die Zuordnung der Ausbreitungsdaten, d.h. die Langzeitausbreitungsfaktoren der entsprechenden Nuklide, ist durch die Stellung des Nuklids in der Nukliddatei gegeben (siehe Abb. 4.4.1). Der Plat-

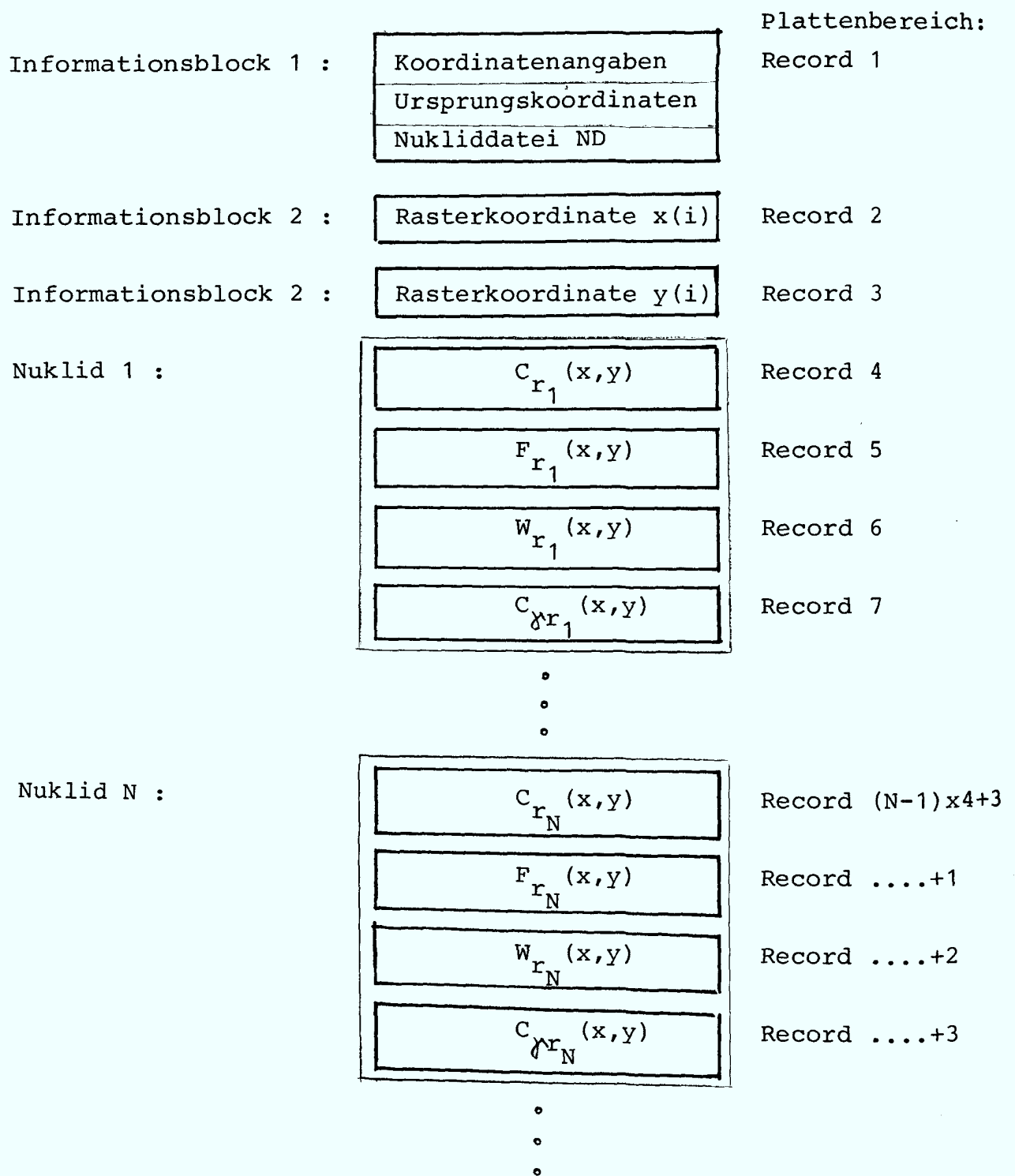


Abb. 4.4.1 : Datenorganisation der Schnittebene 2.3
auf Platte

tenspeicherplatz ist zur Zeit so angelegt, daß bis zu 50 verschiedene Nuklide bei der Überlagerung berücksichtigt werden können.

Vor der ersten Überlagerungsrechnung mit SESAM muß der Anwender die Platte für sein Problem vorbereiten und beschreiben. Dies geschieht mit einem Initialisierungsprogramm, dessen Flußdiagramm in Abb. 4.4.2 dargestellt ist. Der Anwender hat in diesem Programm die Möglichkeit, Polarkoordinaten, Rechteckskoordinaten oder auch beliebige Koordinaten einzulesen. Diese Koordinaten werden dann in kartesischer Darstellung auf den zweiten und dritten logischen Record der Platte geschrieben (siehe Abb. 4.4.1). Des weiteren wird der erste logische Record mit den vom Anwender eingelesenen Ursprungskoordinaten und der gelöschten Nukliddati angelegt. Als letztes müssen alle nachfolgenden Records, die die Ausbreitungsdaten der Nuklide enthalten sollen, mit Nullen beschrieben werden. Durch diesen Arbeitsgang wird die Vorbelastung an den Rasterkoordinaten gelöscht. Vermittels dieses Initialisierungsvorganges wird dem Anwender von SESAM die Möglichkeit geboten, den Einzugsbereich, in dem die Strahlenexposition mehrerer kerntechnischer Emittenten untersucht werden soll, nahezu unbegrenzt dem zu bearbeitenden Problem anzupassen.

Nach diesen Vorbemerkungen zur Datenorganisation auf der Platte soll der Programmablauf der eigentlichen Überlagerungsrechnung geschildert werden. Das Flußdiagramm dieses Programnteils von SESAM ist in der Abb. 4.4.3 zu sehen. Nach dem Starten des Programms wird von der Datenplatte der erste logische Record mit den Ursprungskoordinaten und der Nukliddati eingelesen (siehe Abb. 4.4.1 und 4.4.3). Am Knotenpunkt 1 beginnt der Arbeitsgang des Emittenten. Nach ihm werden die Rasterkoordinaten des Einzugsbereiches vom zweiten und dritten logischen Record der Platte eingegeben und der Informationsblock des Emittenten vom Magnetband abgerufen (siehe Abb. 4.3.3). Dieser Informationsblock enthält die Standortkoordinaten des Emittenten und die radialen Entfernungen, an denen in dem emittenteneigenen Polarkoordinatensystem die Langzeitausbreitungsfaktoren berechnet wurden. Danach werden die Rasterkoordinaten des Einzugs-

Ein/Ausgabe:

Programmablauf:

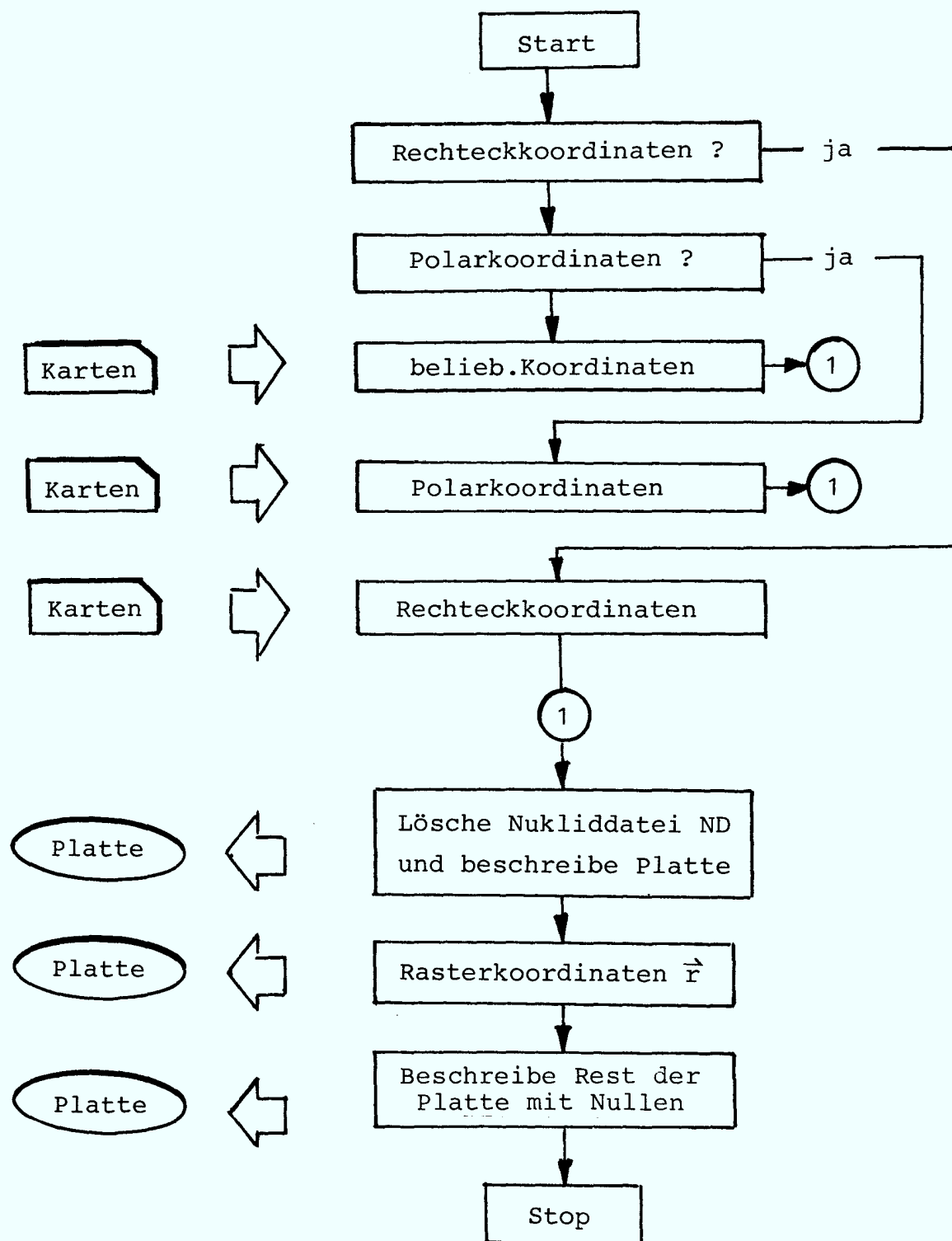


Abb. 4.4.2 : Flußdiagramm des Initialisierungsprogrammes der Schnittebene 2.3

bereichs in das Polarkoordinatensystem des Emittenten transformiert und umsortiert, um die spätere Interpolationsrechnung rechenzeitmäßig zu optimieren. Am Knotenpunkt 2 startet die nuklidweise Verarbeitung der Langzeitausbreitungsfaktoren. Entsprechend der Datenstruktur der Schnittebene 1.2 (siehe Abb. 4.4.3.3) werden vom Magnetband die Nuklidangaben - wie z.B. der Name etc. - und die zugehörigen Ausbreitungsfaktoren eingelesen. Bei diesem Einlesevorgang wird gleichzeitig das Datenende des Emittenten angezeigt, und das Programm verzweigt dann zum Knotenpunkt 1, um den nächsten Emittenten aufzurufen. Im anderen Fall werden die Interpolationsrechnungen durchgeführt, d.h. an den Rasterkoordinaten werden die Langzeitausbreitungsfaktoren berechnet. Bei dieser Interpolationsrechnung werden aus der unmittelbaren Umgebung des jeweiligen Rasterpunktes 8 Werte herangezogen, wobei dem funktionalen Verlauf der Langzeitausbreitungsfaktoren in radialer Richtung Rechnung getragen wird. Mit Hilfe des eingelesenen Namens wird die Position des Nuklids innerhalb der Nukliddatei auf der Platte bestimmt, wobei noch nicht eingetragene Nuklide, in der Regel die des ersten zu berechnenden Emittenten, am Ende der eingetragenen Nuklide in die Datei aufgenommen werden. Entsprechend der Stellung des Nuklids in der Datei werden von der Platte die Vorbelastungen der voranberechneten Emittenten eingelesen, bei neu eingetragenen Nukliden in der Datei ist diese Vorbelastung im Initialisierungsvorgang der Platte genullt worden, die interpolierten Werte der Ausbreitungsfaktoren an den Rasterkoordinaten aufaddiert und die resultierenden Daten auf die Platte zurückgespeichert. Anschließend werden am Knotenpunkt 2 die Langzeitausbreitungsfaktoren des nächsten Nuklids eingelesen.

Aufgrund der oben geschilderten Struktur und Rechenorganisation dieses Programmteils ist dem Benutzer größtmögliche Flexibilität in der Anwendung eingeräumt worden, die an dieser Stelle noch einmal kurz verdeutlicht werden soll. Durch den Initialisierungsvorgang der Platte kann der Anwender die Rasterkoordinaten und damit den Einzugsbereich nach seinen Anforderungen selber bestimmen, d.h. er kann großräumige Gebiete mit weiten Gitterabständen oder auch kleinräumige mit enger Maschenwei-

Ein/Ausgabe:

Programmablauf:

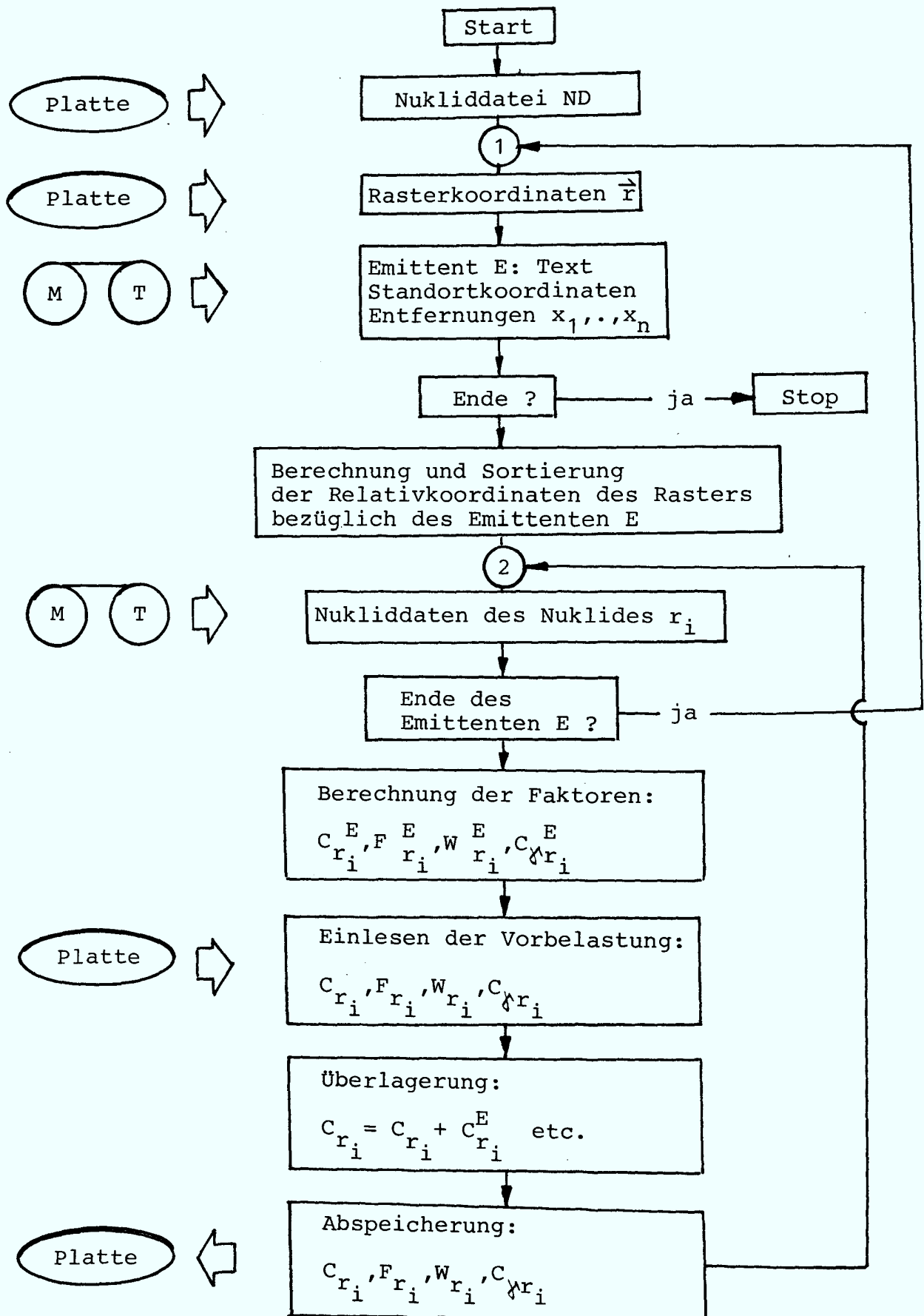


Abb. 4.4.3: Flußdiagramm der Programmebene 2

te, quadratförmige oder rechteckige Einzugsbereiche untersuchen. In jedem Fall kann der Anwender auf dieselben berechneten Emittentendaten der Schnittebene 1.2 zurückgreifen, unabhängig von der Ausdehnung des Einzugsbereiches, in der die Strahlenexposition mehrerer Emittenten untersucht und berechnet werden soll. Des weiteren ist dem Anwender freigestellt, wieviele Emittenten er in einem Rechenlauf im Computer überlagern will. Die Anzahl und welche Emittenten er in einem Lauf berücksichtigt, veranlaßt er mit externen Steuerkarten, deren Form und Parameter vom jeweiligen Betriebssystem des Computers abhängen. Wesentlich und für den Anwender wichtig ist nur, daß die Datenplatte nach jedem Rechenlauf die Überlagerung aller bisher berechneten Emittenten beinhaltet. So kann der Benutzer beispielsweise bei mehreren Blöcken einer kerntechnischen Anlage die Rechnung für den ersten Block mit anschließender Strahlenexpositionsrechnung durchführen, danach den zweiten Block überlagern und die Strahlenexposition dieser beiden Blöcke bestimmen, um zum Schluß z.B. den dritten Block zu berücksichtigen und die maximale Strahlenexposition an der ungünstigsten Einwirkungsstelle in der Umgebung der drei Blöcke zu berechnen. Durch diese Programmtechnik hat der Benutzer die Möglichkeit, die Vorbelastung eines Standortes zu ermitteln, welche durch beliebig viele Emittenten der nahen oder fernen Umgebung verursacht werden kann.

4.5 Berechnung der Strahlenexposition der verschiedenen Expositionspfade an den vorgegebenen Rasterkoordinaten

Nachdem auf der ersten Programmebene die Langzeitausbreitungsfaktoren und auf der zweiten Programmebene die Überlagerung der Schadstoffkonzentrationen der einzelnen Emittenten nuklidweise ermittelt und auf der Datenplatte abgespeichert wurde, berechnet der dritte Programmteil von SESAM die daraus resultierende Strahlenexposition der verschiedenen Organe für die Bevölkerungsgruppen Erwachsener und Kleinkind der "Berechnungsgrundlagen" /1/. Dieser Programmteil von SESAM wurde modulartig aufgebaut, um die unterschiedlichen Fragestellungen kostenoptimal

untersuchen zu können. Zur Zeit stehen dem Anwender von SESAM auf dieser Ebene drei Möglichkeiten in Form von selbständigen Programmen zur Verfügung:

- Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerungsgruppen Erwachsener und Kleinkind im ausgewählten Einzugsbereich und Darstellung in Form von Isodosislينien und Reliefbildern durch den Programm-Modul 1,
- Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerungsgruppen Erwachsener und Kleinkind entlang ausgewählter Schnittgeraden im vorgegebenen Einzugsbereich unter der Angabe von Aufpunkten maximaler Strahlenexposition mit dem Programm-Modul 2 und
- Berechnung und Aufschlüsselung der Strahlenexposition aller Organe nach Nukliden und Expositionspfaden an ausgewählten Aufpunkten für die Bevölkerungsgruppen Erwachsener und Kleinkind mit dem Programm-Modul 3.

Das Basisdatenmaterial der Bevölkerungsgruppen Erwachsener und Kleinkind, d.h. die Dosiskonstanten für die Expositionspfade und die radioökologischen Umrechnungsfaktoren der Ingestion dieser Konsumgruppen, sind nach den Angaben in den "Berechnungsunterlagen" /1/ nuklidweise in einer Datenbank erfaßt und können im direkten Zugriff unter FORTRAN IV abgerufen werden. Auf die Datenorganisation dieser Datenbank wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen, da sie in Zusammenhang mit der Beschreibung des Rechenprogramms LISA /2/ schon dokumentiert wurde.

Alle drei Programm-Module der dritten Programmebene von SESAM haben einen gemeinsamen Programm-Code, der im wesentlichen die Dateneingabe organisiert. Das Flußdiagramm dieses Teils ist in Abb. 4.4.1 zu sehen und wird vorweg beschrieben:

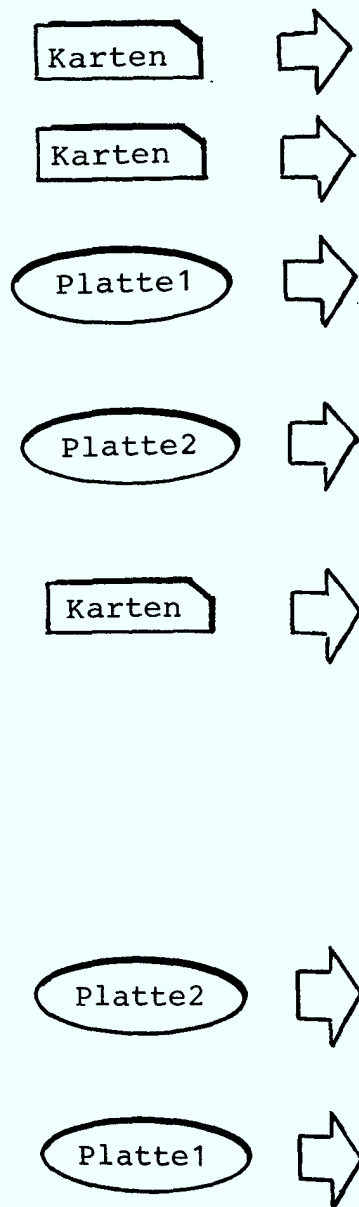
Nach dem Start des jeweiligen Programm-Moduls liest der Benutzer von SESAM die Organe, für welche die Strahlenexposition berechnet werden soll, über Lochkarten ein. Im Augenblick stehen ihm die 8 Organe Ganzkörper, Schilddrüse, Knochen, Lunge, Leber, Niere, MDK und Haut zur Auswahl, da für diese Organe die Dosis-

konstanten der "Berechnungsgrundlagen" /1/ in der Datenbank vorliegen. Danach kann der Anwender bestimmen, welche von den Expositionspfaden Gamma-Submersion, Gamma-Bodenstrahlung, Beta-Submersion, Inhalation oder Ingestion bei der Berechnung der Organdosen berücksichtigt werden sollen. Die berechnete Organdosis stellt sich dann als Summation über die Einzeldosen der ausgewählten Expositionspfade dar. Durch diese Möglichkeit der Programmsteuerung kann der Benutzer die Organdosen einzelner Expositionspfade oder auch beliebiger Expositionspfadgruppierungen getrennt untersuchen. Als nächstes müssen im Programmablauf zwei Nukliddaten, die Nukliddaten ND1 der überlagerten Langzeitausbreitungsfaktoren (Platte 1 in Abb. 4.5.1) und die Nukliddaten ND2 der Datenbank (Platte 2 in Abb. 4.5.1), eingelesen und verwaltet werden. Die Auswahl der gewünschten Bevölkerungsgruppe Erwachsener oder Kleinkind wird durch externe Programmsteuerkarten durchgeführt. Ebenso kann der Benutzer von SESAM entscheiden, ob die Strahlenexposition als Summe über alle Nuklide der Nukliddaten ND1 oder über eine von ihm festgelegte Auswahl an Nukliden der Nukliddaten ND1 berechnet werden soll. Durch diese Möglichkeit kann beispielsweise die Strahlenexposition der Schilddrüse durch die Emission von Radiojod getrennt untersucht werden.

Am Knotenpunkt 1 beginnt dann die Berechnung der Strahlenexposition der Organe und Expositionspfade im vorgegebenen Einzugsbereich (siehe Abb. 4.5.1). Entsprechend den Rechengleichungen des Kapitels 3 werden die Ausbreitungsfaktoren der Datenplatte 1 und die Dosisfaktoren der Datenbank auf Platte 2 nuklidweise abgerufen und für die verschiedenen Aufgabenstellungen der Programm-Module abgearbeitet und aufbereitet:

Der Programm-Modul 1 berechnet die Organdosen als Summe über die Expositionspfade und Nuklide an den Rasterkoordinaten des gewählten Einzugsgebietes (siehe Abb. 4.5.2). Der Benutzer kann für ausgewählte Organe Isodosislinien plotten lassen. Neben dieser Darstellungsform können auch Reliefbilder der Organdosen unter beliebigen Ansichten, d.h. von jeder Ausbreitungsrichtung aus gesehen, gezeichnet werden. Für diese Plottbilder muß

Ein/Ausgabe:



Programmablauf:

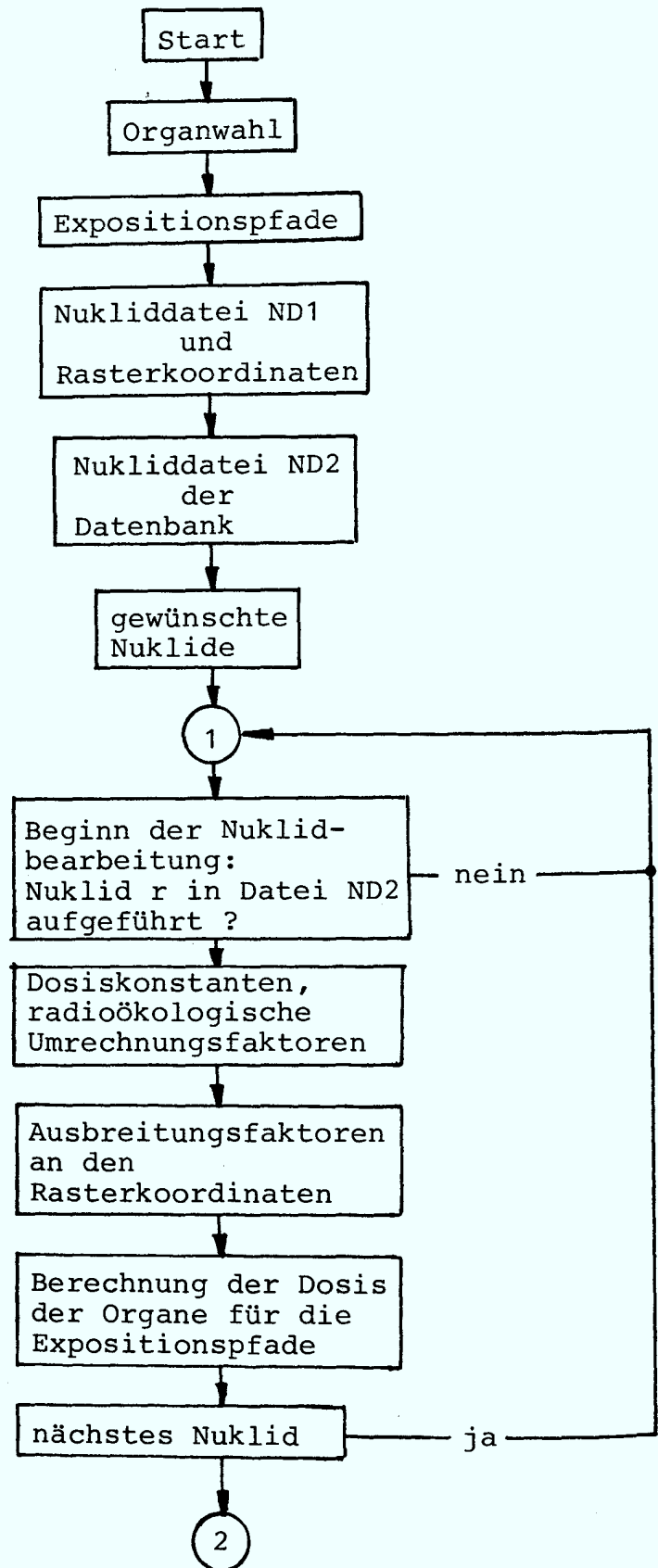


Abb. 4.5.1 : Flußdiagramm der Programmebene 3 1. Teil

der Anwender äquidistante Rasterkoordinaten gewählt haben, um eine verzerrte Darstellung der Bilder zu vermeiden. Zur Dokumentation der Strahlenexposition können die Organdosen an den Rasterkoordinaten tabellarisch ausgedruckt werden, wobei hier auch die verschiedenen Expositionspfadanteile der Dosen mit aufgelistet werden können.

Der Programm-Modul 2 wurde erstellt, um ohne zusätzlichen Überlagerungsrechenaufwand auf der Programmebene 2 die Strahlenexposition entlang beliebiger Schnittgeraden im Einzugsbereich der Rasterkoordinaten berechnen zu können. Mit diesen Rechnungen sollen vor allen Dingen die Strahlenexposition auf den Anlagenbegrenzungen von kerntechnischen Einrichtungen oder auch ausgewählte Ausbreitungsrichtungen erfaßt werden. Mittels der Dosisverteilung des vorgegebenen Rasterbereiches werden die Organdosen entlang der so definierten Geraden berechnet, dieser Dosisverlauf in tabellarischer Form ausgedruckt und die Aufpunkte und Höhe der maximalen Strahlenexposition der verschiedenen Organe abgefragt und ausgegeben. Dem Benutzer dieses Programm-Moduls ist es freigestellt, mehrere Schnittgeradenrechnungen während eines Laufes auf dem Computer nacheinander durchzuführen.

Zum Schluß sei noch der in Abb. 4.5.4 skizzierte Programm-Modul 3 beschrieben. Mit ihm kann der Anwender von SESAM an beliebig vielen Aufpunktkoordinaten innerhalb des Ratergebietes die Strahlenexposition der Organe nach Expositionspfaden und Nukliden aufgeschlüsselt berechnen und in Form von Übersichtstabellen ausdrucken lassen. Dieser Programm-Modul wird im allgemeinen für die detaillierte Angabe der maximalen Strahlenexposition am ungünstigsten Aufpunkt benutzt werden. Daneben kann es aber auch für spezielle Fragestellungen in Zusammenhang mit unterschiedlichen Emissionskatastern der Einzelemittenten eingesetzt werden. Beispiele hierfür kann die Untersuchung der Expositionsanteile einzelner relevanter Nuklide an der Gesamtdosis und Rückschlüsse auf die Hauptverursacher oder die Ermittlung wechselnder prozentualer Dosisanteile der Expositionspfade innerhalb des betrachteten Einzugsbereiches sein.

Ein/Ausgabe:

Programmablauf:

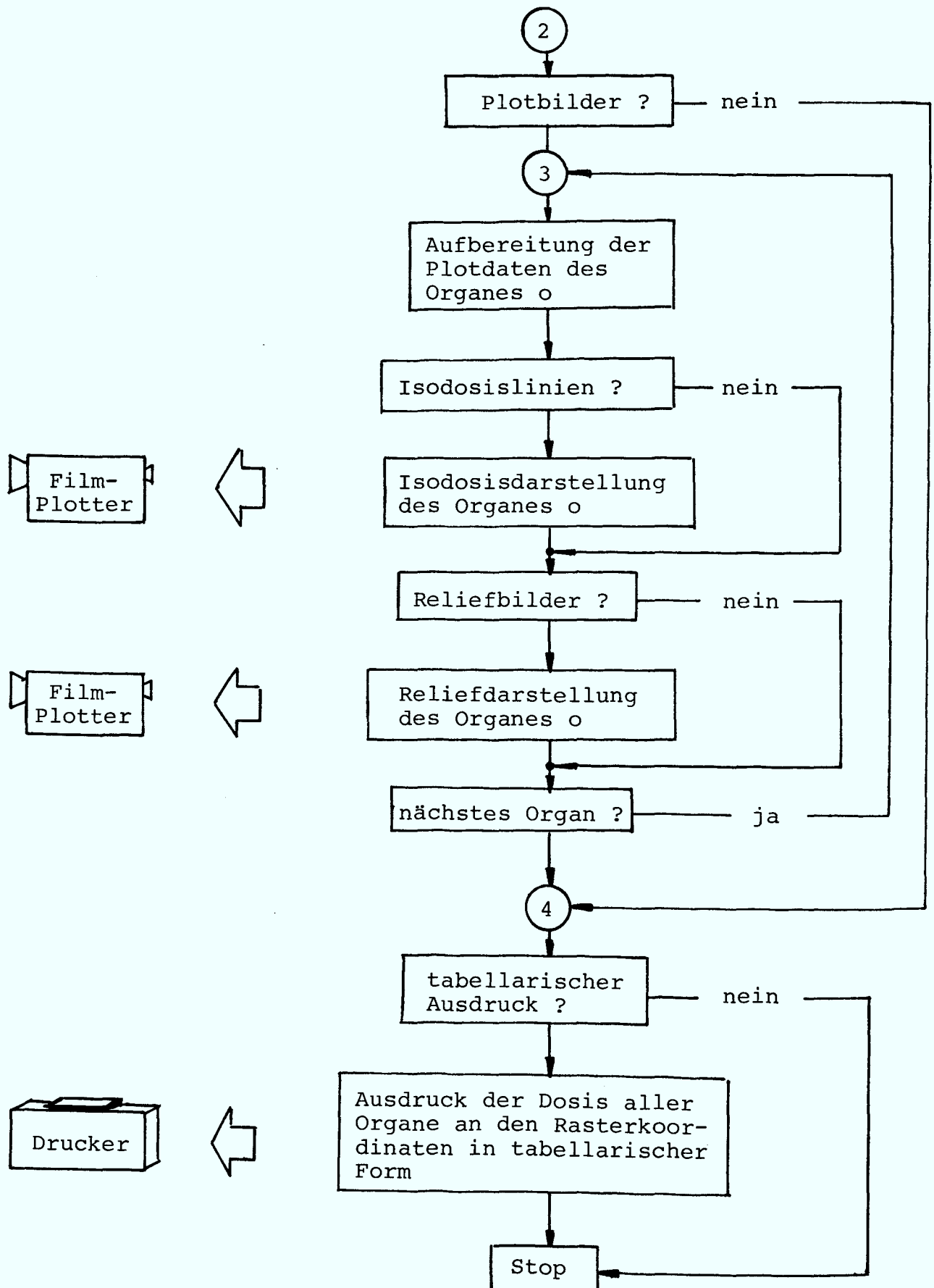


Abb. 4.5.2 : Flußdiagramm der Programmebene 3 2.Teil
Programm-Module 1

Ein/Ausgabe:

Programmablauf:

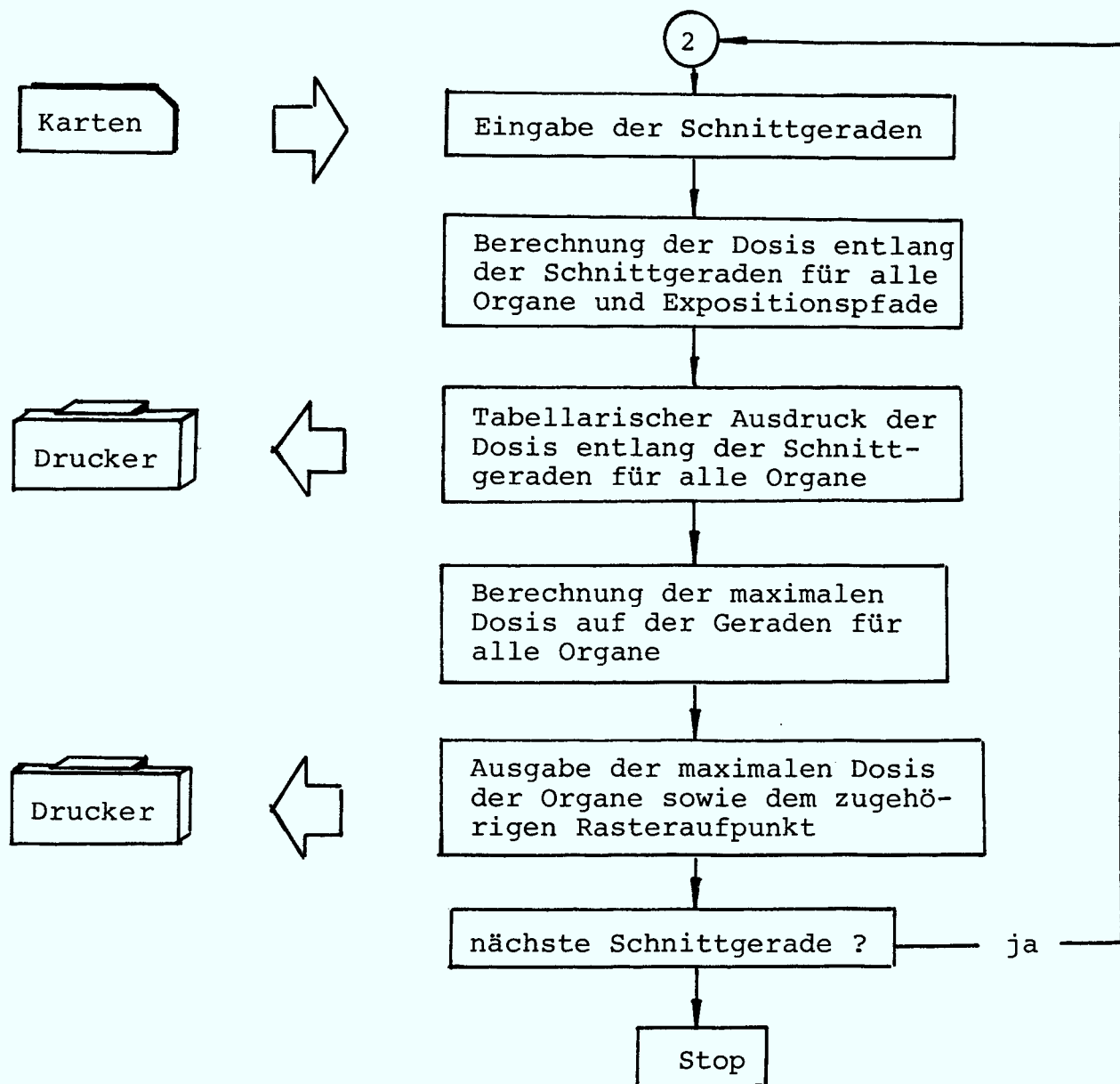


Abb. 4.5.3 : Flußdiagramm der Programmebene 3 2.Teil
Programm-Module 2

Ein/Ausgabe:

Programmablauf:

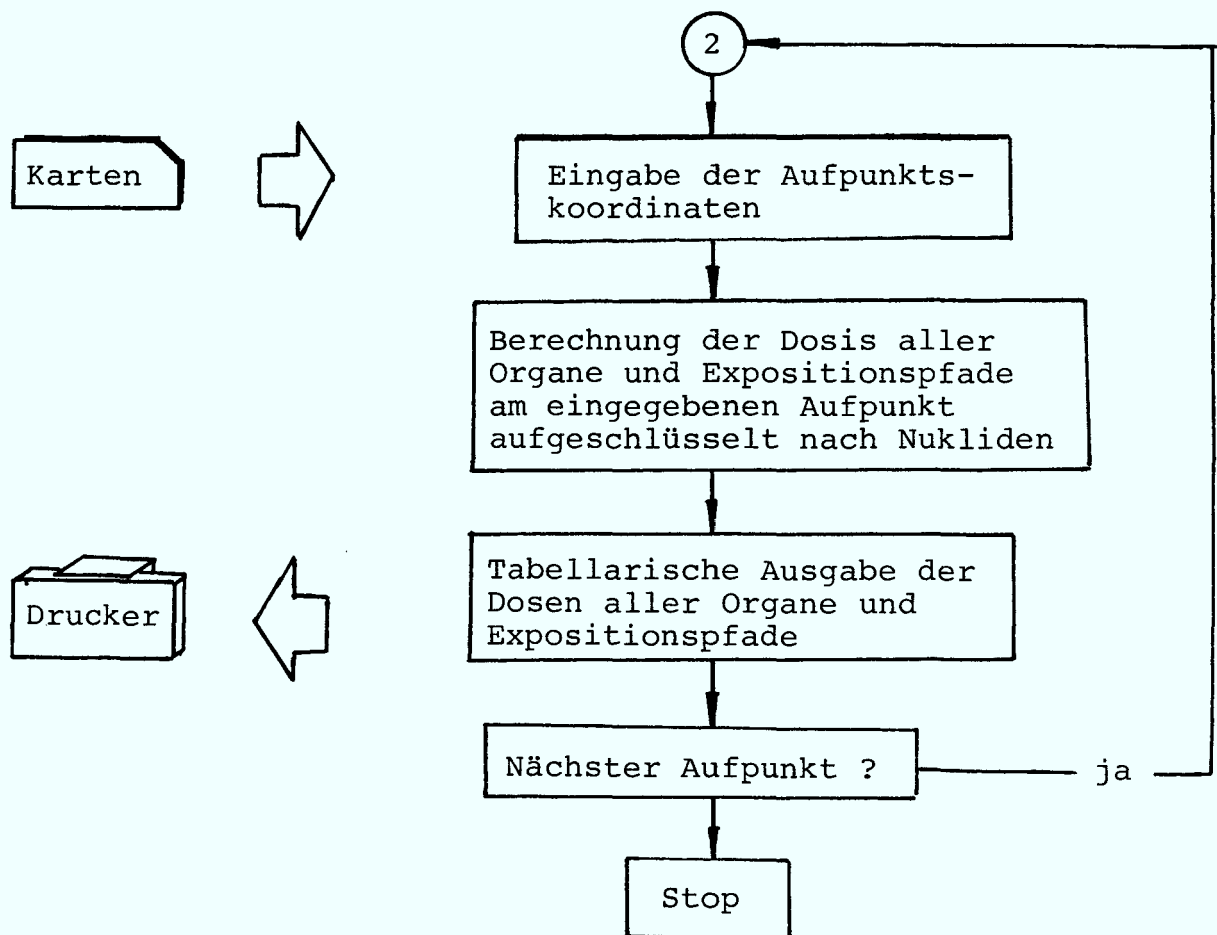


Abb. 4.5.4 : Flußdiagramm der Programmebene 3 2.Teil
Programm-Module 3

5 BEISPIELRECHNUNG

5.1 Auslegung und Geometrie des Rechenbeispiels

Als Rechenbeispiel soll die Strahlenexposition einer kerntechnischen Anlage dreier Kraftwerksblocks im Umfeld von zwei weiteren Kernkraftwerken betrachtet werden. Bei der Auslegung eines solchen Rechenbeispiels können entweder eine konkret geplante Anlage, d.h. die Geometrie der Kamine sowie der Anlagenbegrenzungen, Emissionshöhen und Nuklidspektren der einzelnen Kraftwerksblöcke und die standortspezifischen meteorologischen Statistiken, herangezogen werden, oder eine hypothetische Anlage mit zwar willkürlichen geometrischen Anordnungen, aber realistischen Emissionsquellstärken und -höhen konzipiert werden. Wie später am Beispiel des ungünstigsten Aufpunktes der maximalen Strahlenexposition gezeigt werden wird, können Erkenntnisse über die Strahlenexposition einer Kernkraftwerksanlage dreier Blocks nicht verallgemeinert werden, da die für den § 45 der StrSchV /8/

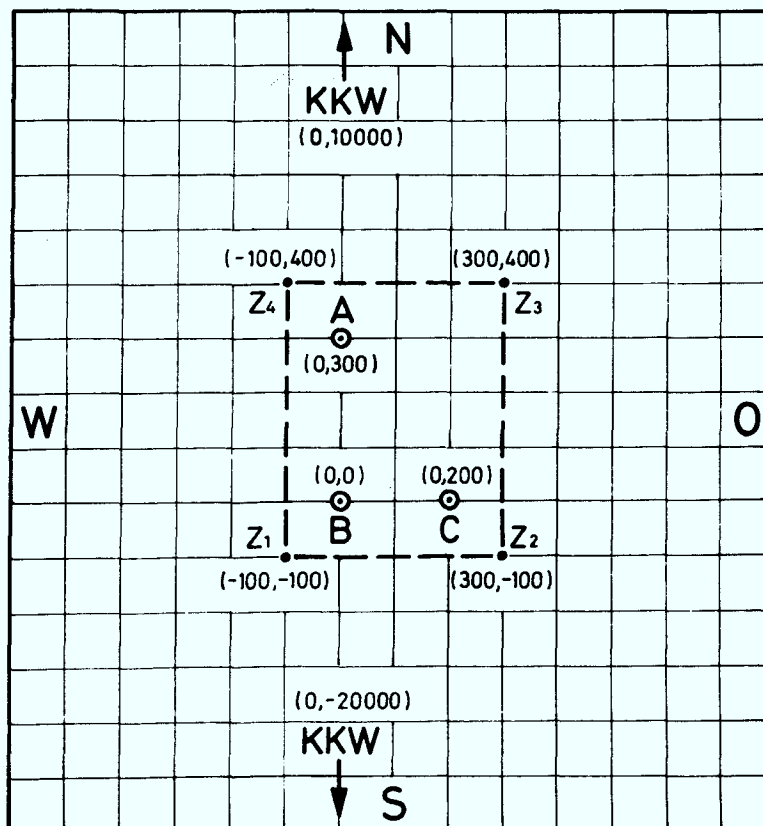


Abb. 5.1.1: Geometrie des Rechenbeispiels

maßgebliche unmittelbare Umgebung direkt durch die örtlichen Gegebenheiten wie die Kampanordnung, Emissionshöhen und -spektren und den meteorologischen Verhältnissen geprägt wird. Aus diesem Grunde wurde eine hypothetische Anlage als Rechenbeispiel herangezogen, deren geometrische Anordnung in Abb. 5.1.1 zu sehen ist. Die Kernkraftwerksanlage soll aus drei Blöcken A, B und C bestehen, wobei die Kaminkoordinaten des Blockes B als Koordinatenursprung gewählt wurde. Block A soll sich 300 m nördlich und Block C 200 m östlich von Block B befinden. Als Anlagenbegrenzung wurde vereinfachend ein Rechteck mit den Eckpunkten Z_1 bis Z_4 (siehe Abb. 5.1.1) definiert, so daß die minimale Entfernung eines Blockes zur Begrenzung 100 m beträgt. Trotz der relativen Zaunnähe der einzelnen Emittenten umfaßt das so eingeschlossene Areal eine Fläche von 20 ha. Eine Erweiterung der Anlagenbegrenzung um 100 m in jeder Richtung würde eine Vergrößerung des Areals auf 42 ha bedeuten. Zur Demonstration der Vorbelastung wurde 10 km nördlich und 20 km südlich jeweils ein Kernkraftwerk der gleichen Größenordnung wie die einzelnen Blocks der zentralen Kernkraftwerksanlage gelegt.

Allen Kernkraftwerken des Rechenbeispiels, d.h. den Blöcken A, B und C sowie den nördlich und südlich gelegenen Kernkraftwerken, liegen einheitlich folgende Annahmen zugrunde:

1. eine Emissionshöhe von 100 m,
2. die meteorologischen Statistiken wie die Häufigkeitsstatistik und die Niederschlagsverteilung des Standortes Jülich und
3. die Emissionsquellstärken

20.000 Ci/a Edelgase
 1 Ci/a Aerosole
 300 mCi/a J131

die sich entsprechend den prozentualen Angaben für einen Druckwasserreaktor in den "Berechnungsgrundlagen" /1/ auf die dort verzeichneten Nuklide aufteilen.

Auf der Basis obiger A gaben wurden auf der untersten Programmebene von SESAM die Langzeitausbreitungsfaktoren der in Abb. 5.1.1 skizzierten Emittentenanordnung berechnet und auf Magnetband nuklidweise abgespeichert. Da es sich in diesem Rechenbeispiel um fünf identische Kernreaktoren handeln soll, brauchte dieser Rechengang nur einmal durchlaufen zu werden.

Um die vielfältigen Möglichkeiten des Programms SESAM an diesem Rechenbeispiel zu zeigen, wird in Kapitel 5.2 die Strahlenexposition der näheren Umgebung der zentralen Kernkraftwerksanlage in Form von Isodosislinien und Reliefdarstellungen berechnet, in Kapitel 5.3 der Dosisverlauf entlang der Anlagenbegrenzung diskutiert und in Kapitel 5.4 auf die Fragen in Zusammenhang mit der maximalen Strahlenexposition nach § 45 der StrSchV /8/ eingegangen. Zum Schluß sollen noch regionale Aspekte der Strahlenexposition des Rechenbeispiels in Kapitel 5.5 angesprochen werden.

5.2 Die Strahlenexposition der näheren Umgebung

Wie schon in vorangegangenen Kapiteln erläutert, kann der Benutzer bzw. Anwender von SESAM die Aufpunkte, an denen die Strahlenexposition berechnet werden soll, der jeweiligen Fragestellung flexibel anpassen. Im Falle der näheren Umgebung der drei Kernkraftwerksblocks wurde bei dem Rechenbeispiel ein Ausschnitt von 4 x 4 km Größe gewählt. Das erzeugte äquidistante Raster hatte einen Gitterabstand von 100 m, sein Koordinatenursprung wurde in den Block B der Anlage gelegt (siehe Abb. 5.1.1). Dieser Ausschnitt ist besonders geeignet, alle Fragestellungen in Zusammenhang mit der maximalen Strahlenexposition beantworten zu können. Auf der einen Seite ist das Umfeld hinreichen groß, um die Anlagenbegrenzungen sowie eventuelle Maxima außerhalb der Anlage einzuschließen, und auf der anderen Seite führt der Rasterabstand zu keinem übertriebenen Rechenaufwand bei der Überlagerung der Emittenten.

Im folgenden sollen durch eine Reihe von Darstellungen die Mög-

lichkeiten von SESAM veranschaulicht werden. Zum besseren Verständnis wird noch einmal auf den generellen Rechenablauf in SESAM hingewiesen. Auf der zweiten Ebene werden die Emittenten nacheinander überlagert. Dabei bleibt es dem Anwender von SESAM freigestellt, wieviele und welche Emittenten er in einem Rechengang berücksichtigen will. Am Ende jedes Rechenganges der zweiten Ebene kann der Benutzer auf der höchsten Ebene die Strahlenexposition aller bis dahin überlagerten Emittenten berechnen. Konkret am Rechenbeispiel erläutert, kann der Anwender z.B. alle fünf Emittenten, d.h. die drei Blöcke A, B und C sowie das nördlich und südlich gelegene Kernkraftwerk in einem Rechengang überlagern. Danach können Untersuchungen des Dosisverlaufs, der Maxima, der Strahlenexposition usw. für diese fünf kerntechnischen Emittenten durchgeführt werden. Detailauswirkungen einzelner Emittenten werden dabei nicht erkannt. Andererseits kann die Überlagerung der fünf Emittenten auch schrittweise in getrennten Rechengängen mit anschließender Berechnung der Strahlenexposition erfolgen. Diese Möglichkeit erlaubt dem Anwender, z.B. die Entwicklung der Strahlenexposition einer kerntechnischen Anlage durch den Zubau weiterer Blocks erfassen und darstellen zu können. Letztere Möglichkeit der Addition bzw. des Zubaus weiterer Blocks ist in den Abbildungen 5.2.1 bis 5.2.3 am Beispiel der Ganzkörperdosis dargestellt. Dabei wurde im ersten Rechengang neben dem Block A auch die Vorbelastung durch die Kernkraftwerke im Norden und Süden der zentralen Anlage berücksichtigt. Im einzelnen stellen die Abbildungen 5.2.1 bis 5.2.3 die Ganzkörperdosis durch die Vorbelastung und Block A bzw. durch die Blöcke A und B sowie durch A, B und C dar. Die Ganzkörperdosis wurde als Summe über alle Expositionspfade, d.h. Gamma-Submersion, Gamma-Bodenstrahlung, Inhalation und Ingestion, für den Erwachsenen berechnet. Die Dosisverteilung ist sowohl als Reliefdarstellung als auch in Form von Isodosislينien in den Abbildungen zu sehen. In diesem Zusammenhang soll auf das Wandern des absoluten Maximums bei den Isoplethendarstellungen und auf die deutlich ausgeprägten Washout-Spitzen der Quellen bei den Reliefdarstellungen aufmerksam gemacht werden. Die Abbildungen 5.2.4 bzw. 5.2.5 zeigen die Organdosen - ebenfalls als Summe über alle Expositionspfade - des Knochens bzw. der Schilddrüse für die Vor-

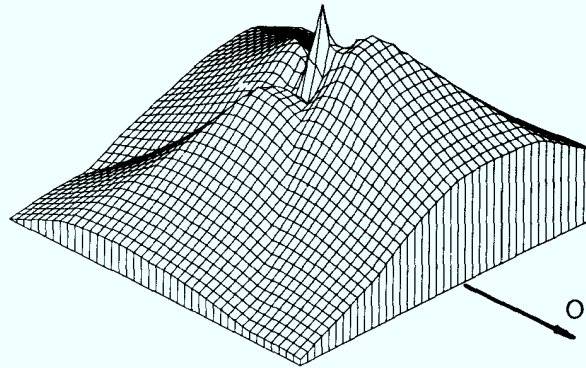


Abb. 5.2.1a : Relief-Darstellung der Ganzkörperdosis durch Block A

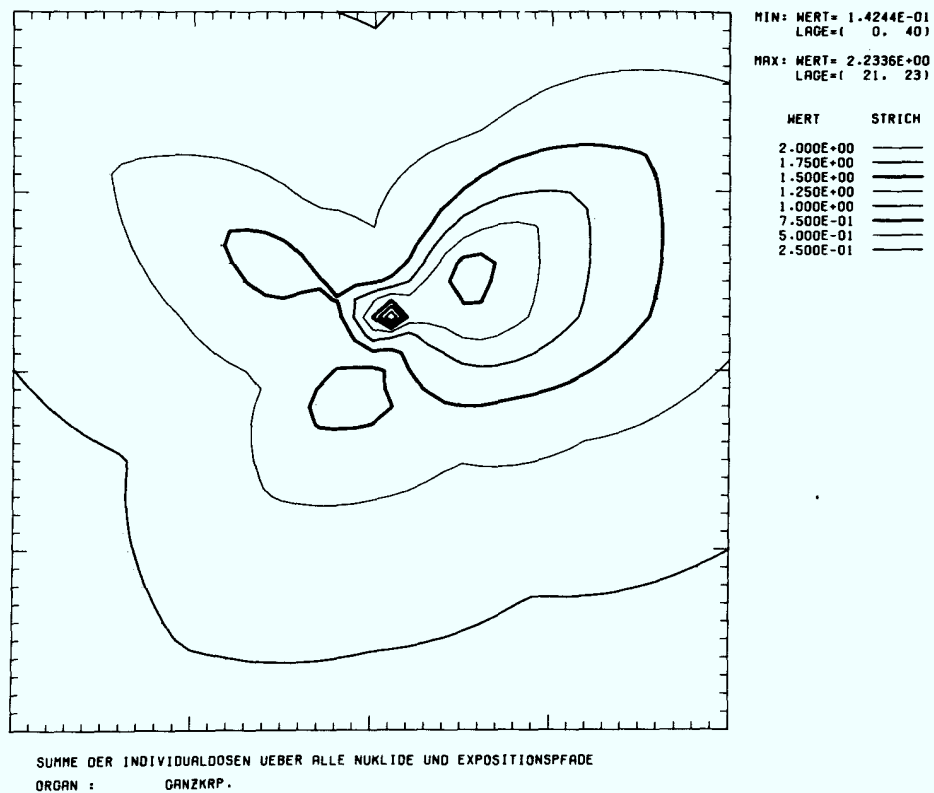


Abb. 5.2.1b : Isodosislinien der Ganzkörperdosis durch Block A

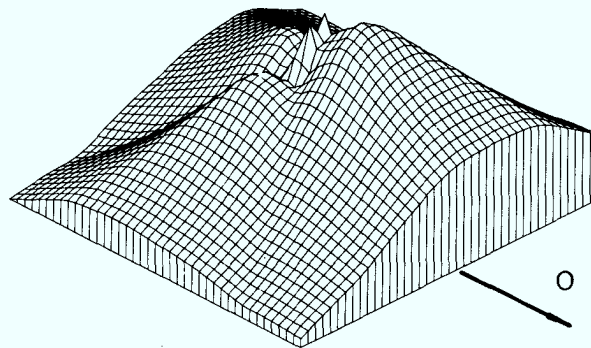


Abb. 5.2.2a : Relief-Darstellung der Ganzkörperdosis
durch Block A und B

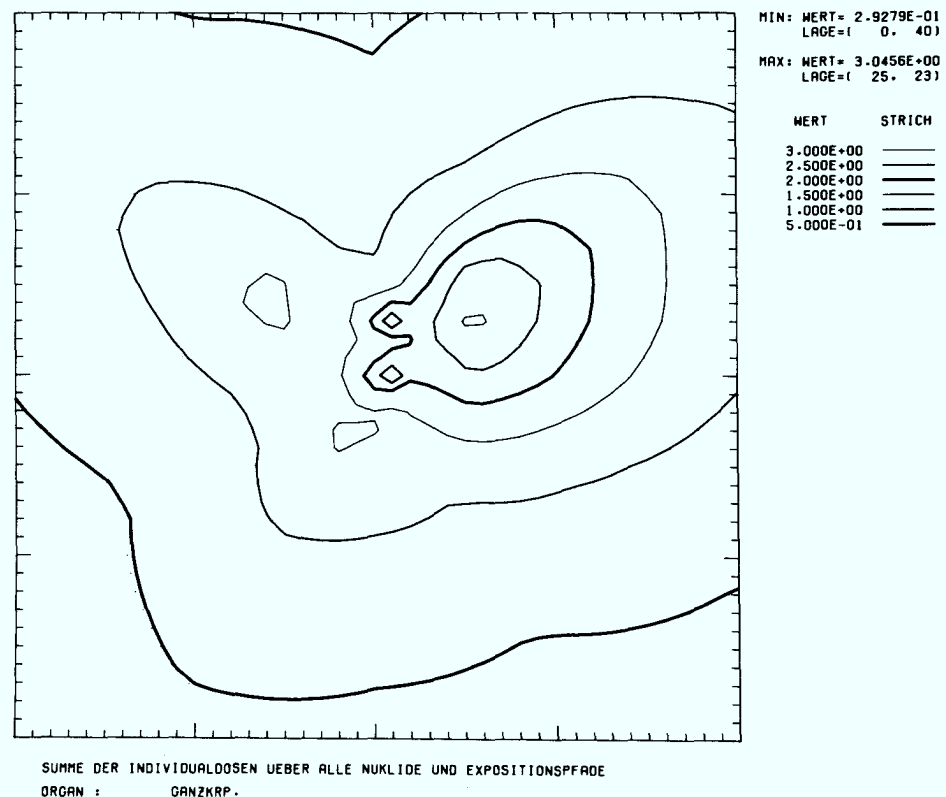


Abb. 5.2.2b : Isodosislinien der Ganzkörperdosis
durch Block A und B

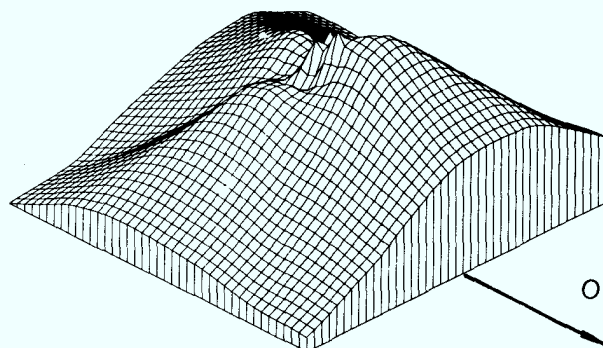


Abb. 5.2.3a : Relief-Darstellung der Ganzkörperdosis
durch die Blöcke A, B und C

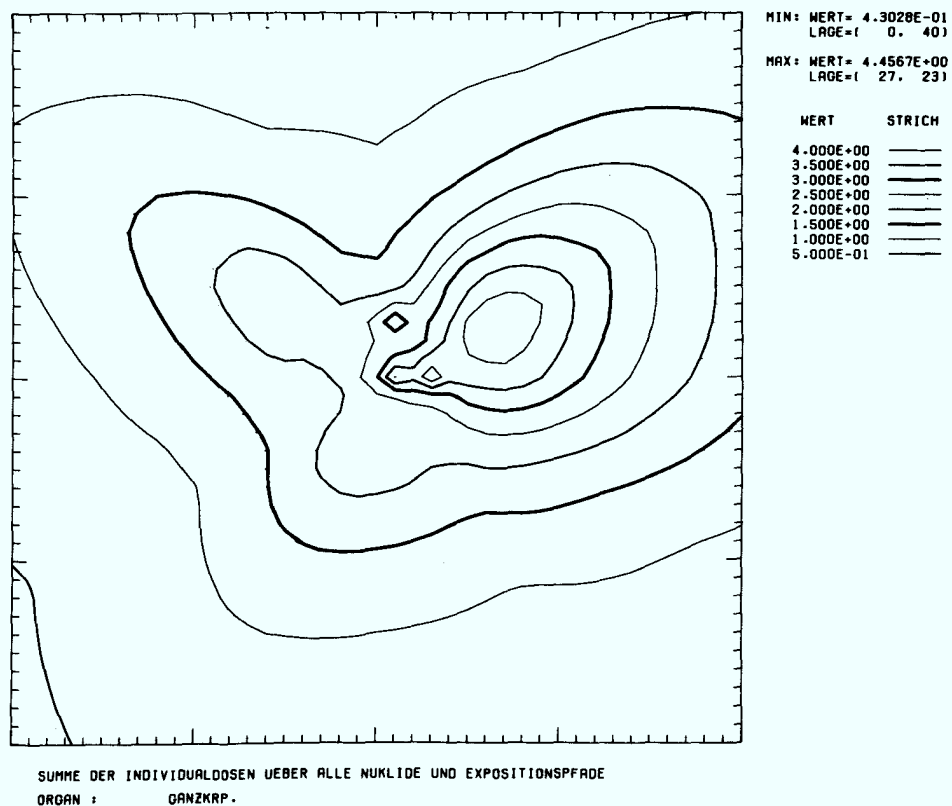


Abb. 5.2.3b : Isodosislinien der Ganzkörperdosis
durch die Blöcke A, B und C

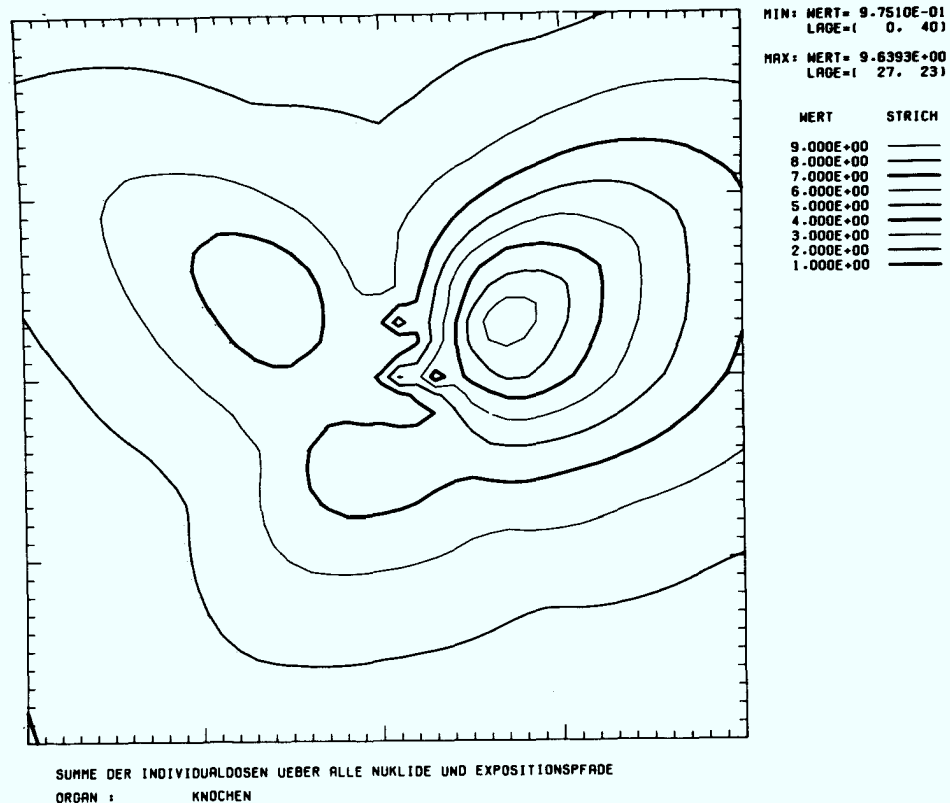


Abb. 5.2.4: Isodosisverteilung des Organs Knochen durch Block A, B und C sowie der Vorbelastung

belastung und die drei Blöcke A, B und C. Im Gegensatz zum Maximum der Ganzkörperdosis (siehe Abb. 5.2.3) liegen die Maxima dieser Organdosen an einer anderen Stelle. Die Ursache hierfür soll bei der Diskussion der Maximaldosen in Kapitel 5.4 erläutert werden. Das Wandern der Maximaldosis des Ganzkörpers (Abb. 5.2.1 bis 5.2.3) macht ebenfalls deutlich, daß neben der Erhöhung der Quellstärke die lokale Verteilung der Emittenten eine wesentliche Rolle bei der Frage der maximalen Strahlenexposition spielt.

Die Abbildungen 5.2.6 bis 5.2.8 sollen die Entwicklung der Strahlenexposition durch Zubau weiterer Blocks am Beispiel der Ingestionsdosis des Knochens weiter unterstreichen. Die Iso-

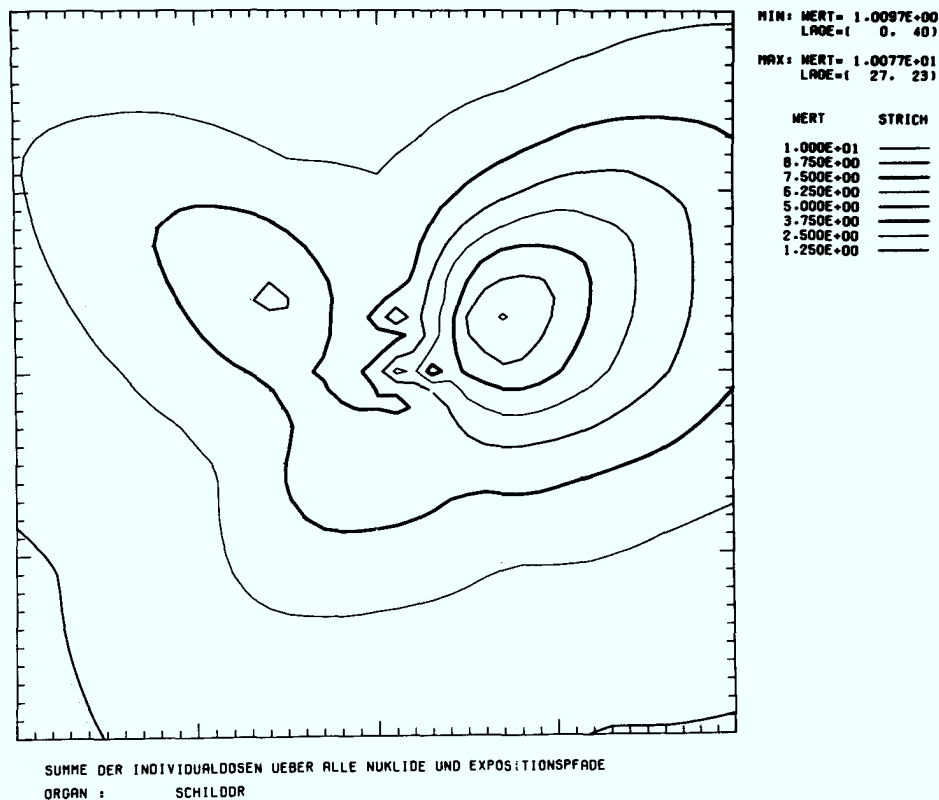


Abb. 5.2.5: Isodosisverteilung des Organs Schilddrüse durch Block A, B und C sowie der Vorbelastung

plethen der Ingestionsdosis des Knochens in den Abbildungen 5.2.6 für Block A, 5.2.7 für Block A und B und 5.2.8 für Block A, B und C (alle Abbildungen enthalten wiederum die Vorbelastung durch das nördlich und südlich gelegene Kernkraftwerk) sind unter anderen Gesichtspunkten als die vorangegangenen Isodosislinien dargestellt. Um eine quantitative Zuordnung der Ingestionsdosis zur nutzbaren Agrarfläche zu bekommen, wurden prozentuale "flächenbezogene" Isoplethen des Knochens gezeichnet, d.h. Isodosislinien, die 10 %, 20 % ... 90 % der Gesamtfläche umschließen. Beispielsweise entspricht die 30 % Isodosislinie, daß 30 % der Gesamtfläche eine Ingestionsdosis größer oder gleich der zugeordneten Organdosis aufweist. Sieht man einmal von der starken Struktur der Isoplethen um die Quellen ab -

deutlich treten die Washout-Spitzen der Emittenten A (Abb. 5.2.6), A und B (Abb. 5.2.7) und A, B und C (Abb. 5.2.8) und die Washout-Beiträge in der für Jülich charakteristischen Niederschlagsvorzugsrichtung nach Nordosten hervor, während die anderen Richtungen durch den Fallout-Faktor geprägt als tiefer "Graben" in Erscheinung treten - soll an dieser Stelle nur auf zwei Isoplethen näher eingegangen werden. Zum einen betrifft dies die für das Maximum zuständige 10 % Isoplethe. Für Block A ist die zugeordnete Dosis 1,08 mrem, beim Zubau von Block B 2,14 mrem und im Endausbau mit Block C 3,21 mrem. Da der Zubau mit Kraftwerken gleicher Quellstärke erfolgte, tritt durch die lokale Verteilung der Blöcke bei diesen hohen Dosen eine leichte Entlastung der Ingestionsdosis bezogen auf das den Aktivitätsableitungen entsprechende Verhältnis von 1:2:3 innerhalb dieser Isoplethe auf.

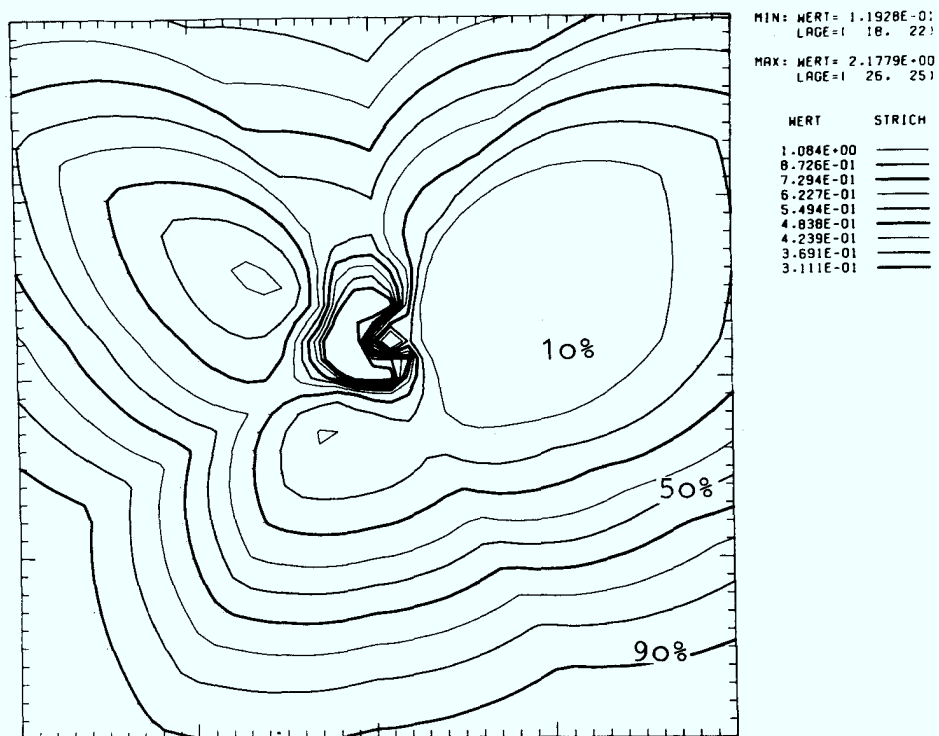


Abb. 5.2.6: Ingestionsdosis des Knochens für den Block A

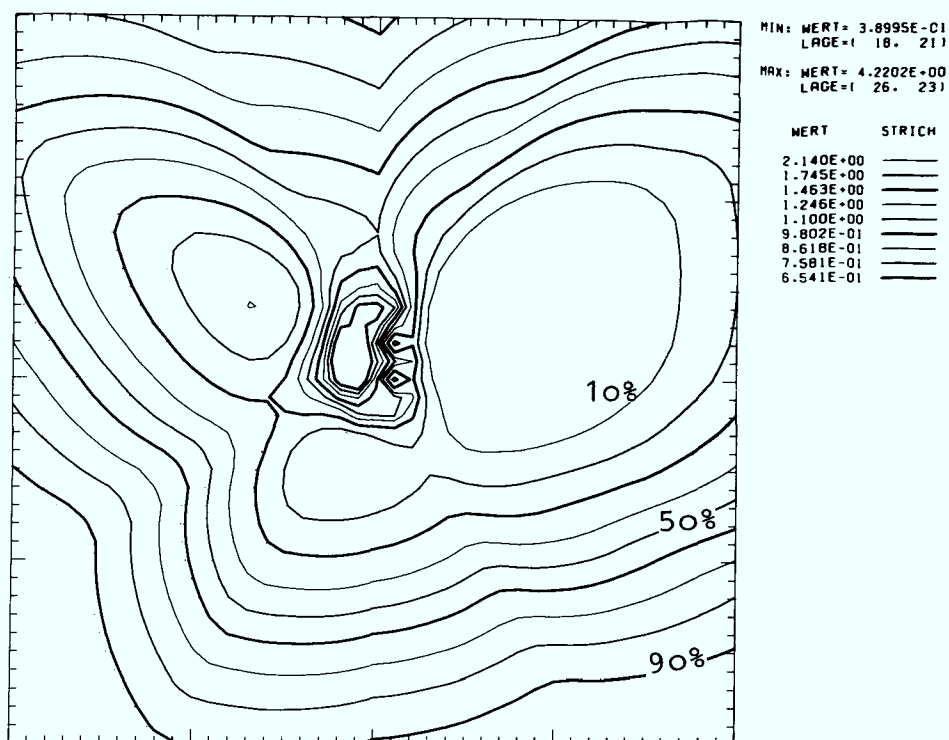


Abb. 5.2.7 : Ingestionsdosis des Knochens durch den Block A und B

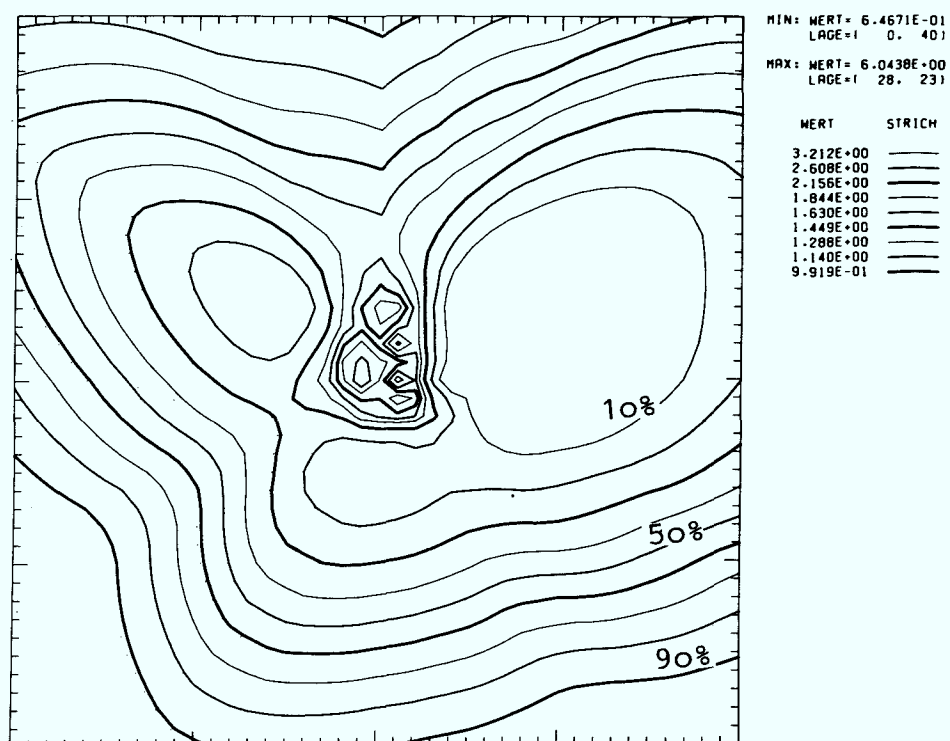


Abb. 5.2.8 : Ingestionsdosis des Knochens durch die Blöcke A, B und C

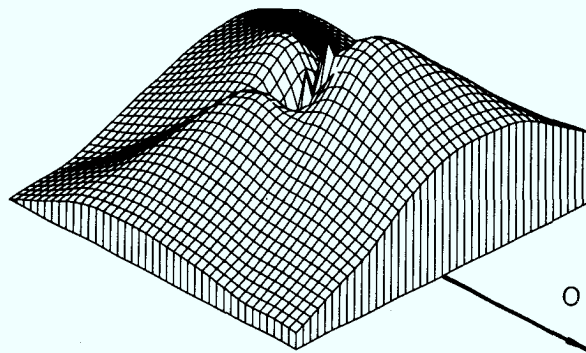


Abb. 5.2.9a : Relief-Darstellung der Gamma-Bodenstrahlung
des Ganzkörpers durch die Blöcke A, B und C

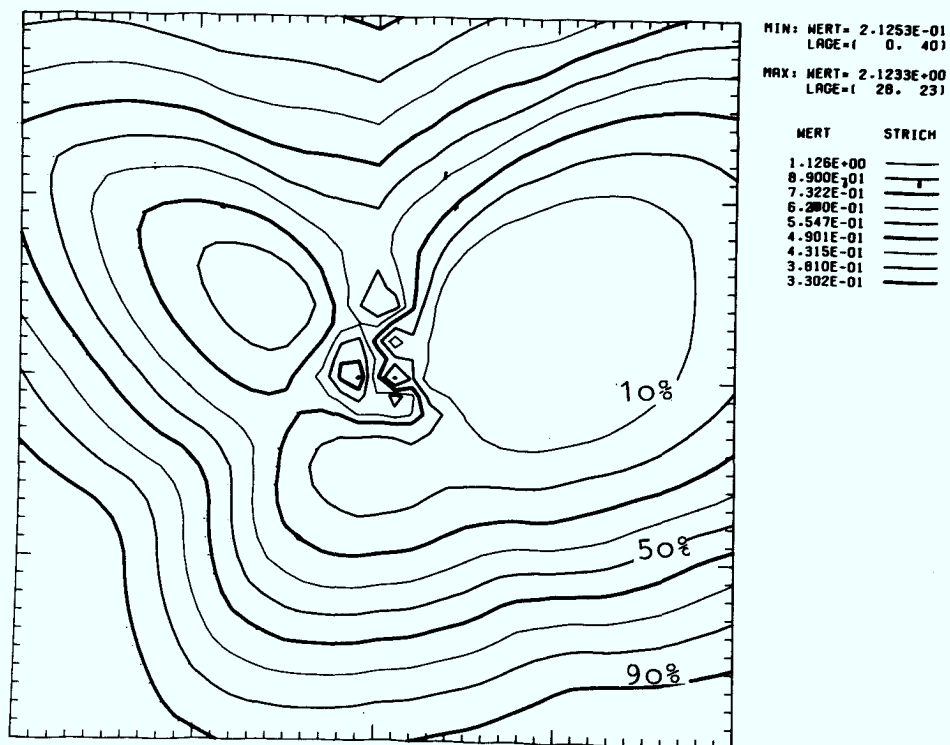


Abb. 5.2.9b : Isodosislينien der Gamma-Bodenstrahlung
des Ganzkörpers durch die Blöcke A, B und C

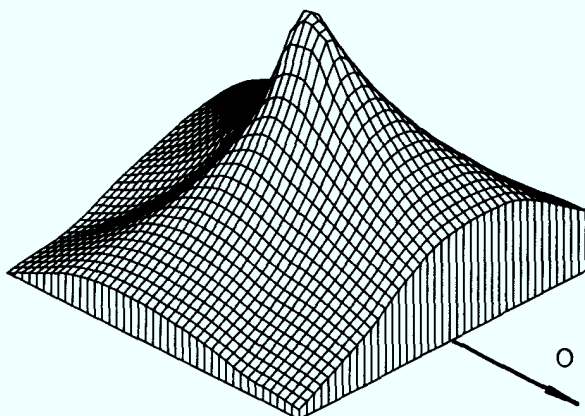


Abb. 5.2.10a : Relief-Darstellung der Gamma-Submersion
des Ganzkörpers durch die Blöcke A, B und C

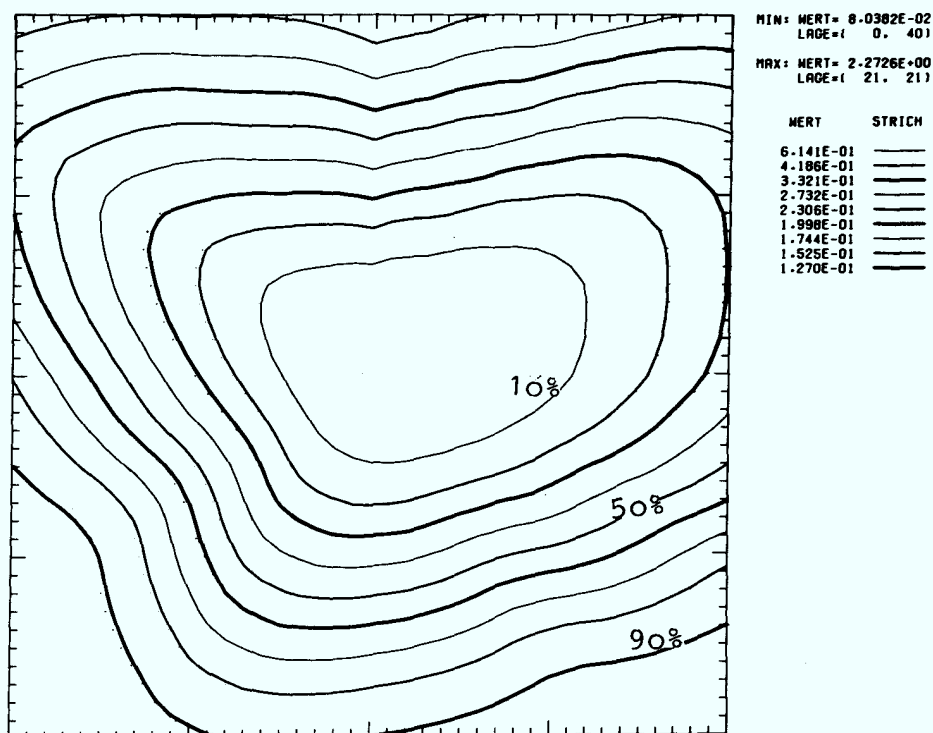


Abb. 5.2.10b : Isodosislinien der Gammasubmersion
des ganzkörpers durch die Blöcke A, B und C

Die gegenläufige Tendenz kann bei der 90 % Isoplethe beobachtet werden. Bei ihr steigt die zugeordnete Dosis von 0,31 mrem auf 0,65 mrem bzw. 0,99 mrem stärker an.

Die Abbildungen 5.2.9 und 5.2.10 zeigen ebenfalls flächenbezogene Isodosislinien der Gamma-Bodenstrahlung und der Gamma-Submersion durch die Blöcke A, B und C für die Ganzkörperdosis. Die Gamma-Bodenstrahlung (Abb. 5.2.9) wird durch die nasse und trockene Ablagerung der Schadstoffe aus der Abluftfahne bestimmt. Entsprechend der meteorologischen Statistik von Jülich sind neben den Washout-Spitzen der drei Emittenten die verbreiteten Haupt- und Nebenmaxima der dem Langzeitausbreitungsfaktor proportionalen Fallout-Beiträge sichtbar. Die Gamma-Submersionsdosen der drei Quellen überlagern sich wegen der großen Reichweite der Gamma-Strahlung derart, daß im vorliegenden Beispiel die Einzelquellen in der überlagerten Dosisverteilung nicht mehr erkennbar sind (Abb. 5.2.10).

5.3 Die Strahlenexposition entlang der Anlagenbegrenzung

Bei der Diskussion um den geometrischen Ort der maximalen Strahlenexposition der verschiedenen Organe muß der Strahlenexposition entlang der Anlagenbegrenzung aus zwei Gründen besondere Aufmerksamkeit zugewendet werden. Zum einen ist die Gamma-Submersionsdosis in Quellnähe am höchsten, d.h. die Gamma-Submersion hat im allgemeinen auf der Anlagenbegrenzung ihr Maximum. Zum anderen ist in Quellnähe die nasse Ablagerung der Schadstoffe größer als die trockene Ablagerung. Je nach den meteorologischen Verhältnissen eines Standortes und der Emissionshöhe bildet sich ein zweites Maximum der Gesamtablagerung aufgrund des mit dem ansteigenden Langzeitausbreitungsfaktors zunehmenden Fallout in größerer Quellentfernung aus. Ist die Gesamtablagerung an der Anlagenbegrenzung für eine konkrete Anlage größer als die entsprechende Ablagerung dieses zweiten Maximums, so wird die Ingestionsdosis immer auf der Anlagenbegrenzung ihr Maximum haben.

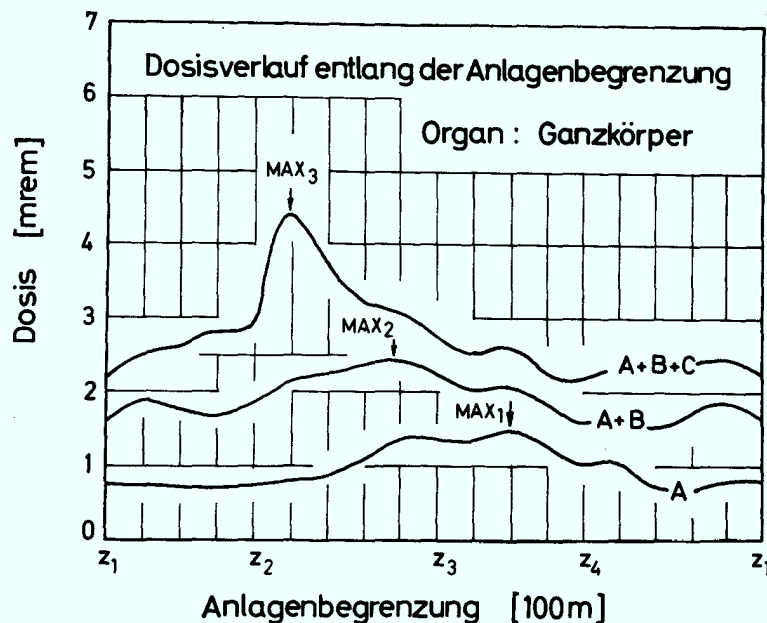


Abb. 5.3.1: Dosisverlauf entlang der Anlagenbegrenzung für das Organ Ganzkörper

Der relevante Aufpunkt, d.h. die ungünstigste Einwirkungsstelle, liegt dann auf der Anlagenbegrenzung.

Im Falle des Rechenbeispiels wurde die Anlagenbegrenzung willkürlich als Rechteck mit den Eckpunkten z_1 , z_2 , z_3 und z_4 so definiert, daß die minimale Entfernung eines Emittenten zur Anlagenbegrenzung 100 m beträgt (Abb. 5.1.1). In den Abbildungen 5.3.1 und 5.3.2 sind die Dosen für die Organe Knochen bzw. Schilddrüse dargestellt. Die Strahlenexposition des Ganzkörpers (Abb. 5.3.1) wird maßgeblich durch die Gamma-Submersion mitgeprägt. Aus diesem Grunde ist das Maximum Max_1 des Blockes A allein im Gegensatz zur Knochendosis (Abb. 5.3.2) am emittentennächsten Anlagenpunkt in der Mitte zwischen z_3 und z_4 , d.h. direkt nördlich von Block A (Abb. 5.3.1). Durch den Zubau des Blockes B verschiebt sich für beide Organe das Anlagenmaximum nach Osten zwischen beide Emittenten, um bei vollem Ausbau in Richtung des Eckpunktes z_2 , d.h. schwermäßig in Richtung der Verbindungslinie von Block B und C (Abb. 5.1.1) zu wandern. Der ausgeprägte Dosisverlauf um das Maximum Max_3 der Blöcke A, B und C

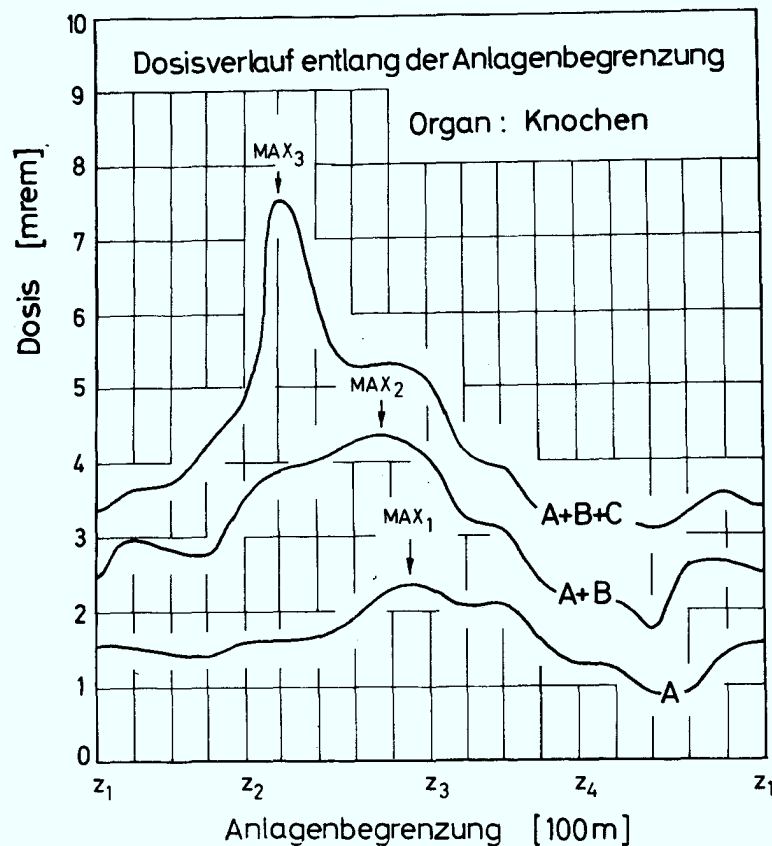


Abb. 5.3.2: Dosisverlauf entlang der Anlagenbegrenzung für das Organ Knochen

wird durch die unmittelbare Zaunnähe des Blockes C verursacht. Außerdem ist für dieses Maximum MAX_3 der unterschiedliche Beitrag der einzelnen Kernkraftwerksblocks in beiden Abbildungen abzulesen, der durch die geometrische Anordnung der Emittenten sowie der Anlagenbegrenzung zustande kommt. Gerade in diesem Beispiel wird deutlich, daß mittels eines hypothetischen Rechenbeispiels kein allgemeiner Schluß hinsichtlich des Maximums konkreter Anlagen gezogen werden kann, sondern immer eine Untersuchung des Dosisverlaufes der verschiedenen Organe längs der Anlagenbegrenzung erforderlich sein wird.

5.4 Die maximale Individualdosis

Aus den vorangegangenen Kapiteln 5.2 und 5.3 wurde deutlich, daß für jede konkrete Anlage eines Standortes sich eine für die-

se Anlage typische Maximaldosis ergeben wird, wobei die ungünstigste Einwirkungsstelle für die einzelnen Organe verschieden sein kann.

Im Falle des Rechenbeispiels ergab sich für die Organe Knochen, Schilddrüse, Lunge, Leber, Nieren, Magen-Darm-Kanal und Haut ein gemeinsamer Aufpunkt maximaler Strahlenexposition, während der Ganzkörper seinen Aufpunkt an einem anderen Ort hat. Die Tabellen 5.4.1 bis 5.4.8 enthalten für den Erwachsenen die maximalen Organdosen nach Nukliden und Expositionspfaden aufgeschlüsselt, wobei die Spalte "Gamma" sowohl die jeweilige Gamma-Bodenstrahlung als auch die Gamma-Submersion beinhaltet. Neben diesen finden sich für die Organe Ganzkörper, Knochen und Schilddrüse weitergehende Tabellen 5.4.9 bis 5.4.11, in denen die maximalen Organdosen prozentual nach Emittenten und Nukliden bzw. nach Emittenten und Expositionspfaden aufgelistet sind.

Im folgenden soll an Hand der Organe Ganzkörper, Knochen und Schilddrüse die maximale Dosis diskutiert werden. Die Ganzkörperdosis (Tab. 5.4.1 und 5.4.9) wird zu 84 % durch die Gamma-Strahlung - mit einem Anteil von 44 % Gamma-Submersion und 42 % Gamma-Bodenstrahlung - und zu 14 % durch die Ingestion verursacht. Dabei trägt der Block A zu 18 %, der Block B zu 35 % und der Block C zu 46 % zur Maximaldosis bei (Tab. 5.4.9). Leitnuklid dieses Organs ist mit 19 % Cs137. Der hohe Anteil von 84 % Gamma-Strahlung bei nur 16 % Ingestionsanteil ist auf die Zaunnähe von Block C zurückzuführen.

Die Knochendosis (Tab. 5.4.2 und 5.4.10) wird zu 55 % durch Ingestion, 40 % durch Gamma-Strahlung und 5 % durch Inhalation verursacht. Die einzelnen Blöcke tragen - anders als im Falle der Ganzkörperdosis - zu 29 % Block A, zu 29 % Block B und zu 39 % Block C zum Maximum bei. Leitnuklide sind hier Sr90 mit 46 %, Cs137 mit 15 % und Co60 mit 14 %. Auffallend ist der relativ hohe Beitrag der Transurane Pu239 und Pu240 mit jeweils 2 % an Inhalationsbelastung.

Die Schilddrüsendosis weist im Hinblick auf die Beiträge der ein-

zelnen Emittenten bzw. Blöcke ein ähnliches Verhalten wie die Knochendosis auf. Nahezu ausschließlich wird der Ingestionsbeitrag der Schilddrüse durch das Nuklid J131 geprägt.

Für alle drei Organe - wie auch für die anderen hier nicht diskutierten Organe Lunge, Leber, Niere, Magen-Darm-Kanal und Haut - spielt im Maximum die Vorbelastung durch die beiden entfernter gelegenen Kernkraftwerke im Norden (KKW N) und im Süden (KKW S) nur eine untergeordnete Rolle. Der Anteil durch beide Kernkraftwerke schwankt beispielsweise für die drei Organe zwischen 0,7% beim Ganzkörper und 1,4% bei der Schilddrüse.

NUKLID	BETA	GAMMA	INGEST.	INHALAT.	SUMME
KR85M	0.0	4.55E-02	0.0	0.0	4.55E-02
KR85	0.0	4.43E-04	0.0	0.0	4.43E-04
KR87	0.0	9.67E-02	0.0	0.0	9.67E-02
KR88	0.0	7.14E-01	0.0	0.0	7.14E-01
XE131M	0.0	1.96E-02	0.0	0.0	1.96E-02
XE133	0.0	7.30E-01	0.0	0.0	7.30E-01
XE135	0.0	2.47E-01	0.0	0.0	2.47E-01
XE138	0.0	4.05E-02	0.0	0.0	4.05E-02
C058	0.0	1.11E-02	3.61E-03	3.38E-05	1.47E-02
C060	0.0	1.14E+00	3.81E-02	1.40E-04	1.18E+00
CS134	0.0	8.28E-02	1.56E-01	4.00E-04	2.40E-01
CS137	0.0	7.42E-01	1.88E-01	5.00E-04	9.30E-01
CE144	0.0	4.64E-04	8.32E-06	1.60E-04	6.32E-04
SR90	0.0	0.0	3.37E-01	5.76E-04	3.37E-01
PU239	0.0	2.18E-06	2.25E-05	8.23E-04	8.48E-04
PU240	0.0	0.0	2.25E-05	8.23E-04	8.45E-04
J131	0.0	3.23E-03	6.85E-03	4.06E-05	1.01E-02
SUMME	0.0	3.87E+00	7.30E-01	3.50E-03	4.61E+00

Tab. 5.4.1 : Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition des Ganzkörpers nach Nukliden und Expositionspfade

NUKLID	BETA	GAMMA	INGEST.	INHALAT.	SUMME
KR85M	0.0	2.30E-02	0.0	0.0	2.30E-02
KR85	0.0	2.26E-04	0.0	0.0	2.26E-04
KR87	0.0	4.83E-02	0.0	0.0	4.83E-02
KR88	0.0	3.60E-01	0.0	0.0	3.60E-01
XE131M	0.0	9.95E-03	0.0	0.0	9.95E-03
XE133	0.0	3.71E-01	0.0	0.0	3.71E-01
XE135	0.0	1.26E-01	0.0	0.0	1.26E-01
XE138	0.0	1.91E-02	0.0	0.0	1.91E-02
C058	0.0	1.18E-02	7.05E-03	8.82E-05	1.90E-02
C060	0.0	1.22E+00	7.36E-02	3.65E-04	1.30E+00
CS134	0.0	8.88E-02	2.39E-01	6.29E-04	3.28E-01
CS137	0.0	7.96E-01	8.83E-01	2.26E-03	1.68E+00
CE144	0.0	4.97E-04	3.64E-04	1.17E-02	1.25E-02
SR90	0.0	0.0	4.83E+00	1.69E-02	4.85E+00
PU239	0.0	2.34E-06	1.71E-03	1.06E-01	1.08E-01
PU240	0.0	0.0	1.71E-03	1.06E-01	1.08E-01
J131	0.0	1.93E-03	8.86E-03	1.06E-04	1.09E-02
SUMME	0.0	3.08E+00	6.04E+00	2.44E-01	9.37E+00

Tab. 5.4.2 : Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition des Knochens nach Nukliden und Expositionspfade

NUKLID	BETA	GAMMA	INGEST.	INHALAT.	SUMME
KR85M	0.0	2.30E-02	0.0	0.0	2.30E-02
KR85	0.0	2.26E-04	0.0	0.0	2.26E-04
KR87	0.0	4.83E-02	0.0	0.0	4.83E-02
KR88	0.0	3.60E-01	0.0	0.0	3.60E-01
XE131M	0.0	9.95E-03	0.0	0.0	9.95E-03
XE133	0.0	3.71E-01	0.0	0.0	3.71E-01
XE135	0.0	1.26E-01	0.0	0.0	1.26E-01
XE138	0.0	1.91E-02	0.0	0.0	1.91E-02
CO58	0.0	1.18E-02	7.05E-03	8.82E-05	1.90E-02
CO60	0.0	1.22E+00	7.36E-02	3.65E-04	1.30E+00
CS134	0.0	8.88E-02	3.05E-01	1.04E-03	3.95E-01
CS137	0.0	7.96E-01	3.65E-01	1.30E-03	1.16E+00
CE144	0.0	4.97E-04	1.63E-05	4.17E-04	9.31E-04
SR90	0.0	0.0	4.52E-01	1.50E-03	4.54E-01
PU239	0.0	2.34E-06	4.38E-05	2.15E-03	2.19E-03
PU240	0.0	0.0	4.38E-05	2.15E-03	2.19E-03
JI31	0.0	1.93E-03	5.43E+00	6.44E-02	5.50E+00
SUMME	0.0	3.08E+00	6.63E+00	7.34E-02	9.79E+00

Tab. 5.4.3 : Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition der Schilddrüse nach Nukliden und Expositionspfade

NUKLID	BETA	GAMMA	INGEST.	INHALAT.	SUMME
KR85M	0.0	2.30E-02	0.0	0.0	2.30E-02
KR85	0.0	2.26E-04	0.0	0.0	2.26E-04
KR87	0.0	4.83E-02	0.0	0.0	4.83E-02
KR88	0.0	3.60E-01	0.0	0.0	3.60E-01
XE131M	0.0	9.95E-03	0.0	0.0	9.95E-03
XE133	0.0	3.71E-01	0.0	0.0	3.71E-01
XE135	0.0	1.26E-01	0.0	0.0	1.26E-01
XE138	0.0	1.91E-02	0.0	0.0	1.91E-02
CO58	0.0	1.18E-02	2.77E-03	8.05E-05	1.47E-02
CO60	0.0	1.22E+00	2.45E-02	2.20E-04	1.25E+00
CS134	0.0	8.88E-02	9.73E-01	1.53E-03	1.06E+00
CS137	0.0	7.96E-01	1.53E+00	2.61E-03	2.33E+00
CE144	0.0	4.97E-04	1.47E-04	3.13E-03	3.77E-03
SR90	0.0	0.0	4.52E-01	1.50E-03	4.54E-01
PU239	0.0	2.34E-06	1.96E-04	1.53E-02	1.55E-02
PU240	0.0	0.0	1.96E-04	1.53E-02	1.55E-02
JI31	0.0	1.93E-03	8.86E-03	1.06E-04	1.09E-02
SUMME	0.0	3.08E+00	2.99E+00	3.98E-02	6.11E+00

Tab. 5.4.4 : Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition der Leber nach Nukliden und Expositionspfade

NUKLID	BETA	GAMMA	INGEST.	INHALAT.	SUMME
KR85M	0.0	4.55E-02	0.0	0.0	4.55E-02
KR85	0.0	4.43E-04	0.0	0.0	4.43E-04
KR87	0.0	9.67E-02	0.0	0.0	9.67E-02
KR88	0.0	7.14E-01	0.0	0.0	7.14E-01
XE131M	0.0	1.96E-02	0.0	0.0	1.96E-02
XE133	0.0	7.30E-01	0.0	0.0	7.30E-01
XE135	0.0	2.47E-01	0.0	0.0	2.47E-01
XE138	0.0	4.05E-02	0.0	0.0	4.05E-02
C058	0.0	1.11E-02	3.61E-03	1.62E-03	1.63E-02
C060	0.0	1.14E+00	3.81E-02	1.42E-02	1.19E+00
CS134	0.0	8.28E-02	4.30E-02	2.76E-03	1.29E-01
CS137	0.0	7.42E-01	5.71E-02	6.02E-03	8.05E-01
CE144	0.0	4.64E-04	8.32E-06	2.35E-03	2.82E-03
SR90	0.0	0.0	3.37E-01	5.88E-04	3.37E-01
PU239	0.0	2.18E-06	2.25E-05	1.23E-03	1.26E-03
PU240	0.0	0.0	2.25E-05	1.23E-03	1.26E-03
JI31	0.0	3.23E-03	6.85E-03	3.70E-04	1.05E-02
SUMME	0.0	3.87E+00	4.85E-01	3.04E-02	4.39E+00

Tab. 5.4.5 : Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition der Lunge nach Nukliden und Expositionspfade

NUKLID	BETA	GAMMA	INGEST.	INHALAT.	SUMME
KR85M	0.0	4.55E-02	0.0	0.0	4.55E-02
KR85	0.0	4.43E-04	0.0	0.0	4.43E-04
KR87	0.0	9.67E-02	0.0	0.0	9.67E-02
KR88	0.0	7.14E-01	0.0	0.0	7.14E-01
XE131M	0.0	1.96E-02	0.0	0.0	1.96E-02
XE133	0.0	7.30E-01	0.0	0.0	7.30E-01
XE135	0.0	2.47E-01	0.0	0.0	2.47E-01
XE138	0.0	4.05E-02	0.0	0.0	4.05E-02
C058	0.0	1.11E-02	6.09E-04	5.00E-06	1.17E-02
C060	0.0	1.14E+00	3.81E-03	2.06E-05	1.15E+00
CS134	0.0	8.28E-02	1.06E-01	2.00E-04	1.89E-01
CS137	0.0	7.42E-01	2.31E-01	3.82E-04	9.73E-01
CE144	0.0	4.64E-04	3.73E-05	6.82E-04	1.18E-03
SR90	0.0	0.0	3.37E-01	5.76E-04	3.37E-01
PU239	0.0	2.18E-06	1.01E-04	4.00E-03	4.10E-03
PU240	0.0	0.0	1.01E-04	4.00E-03	4.10E-03
JI31	0.0	3.23E-03	6.85E-03	4.06E-05	1.01E-02
SUMME	0.0	3.87E+00	6.85E-01	9.90E-03	4.57E+00

Tab. 5.4.6 : Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition der Niere nach Nukliden und Expositionspfade

NUKLID	BETA	GAMMA	INGEST.	INHALAT.	SUMME
KR85M	0.0	2.30E-02	0.0	0.0	2.30E-02
KR85	0.0	2.26E-04	0.0	0.0	2.26E-04
KR87	0.0	4.83E-02	0.0	0.0	4.83E-02
KR88	0.0	3.60E-01	0.0	0.0	3.60E-01
XE131M	0.0	9.95E-03	0.0	0.0	9.95E-03
XE133	0.0	3.71E-01	0.0	0.0	3.71E-01
XE135	0.0	1.26E-01	0.0	0.0	1.26E-01
XE138	0.0	1.91E-02	0.0	0.0	1.91E-02
CO58	0.0	1.18E-02	9.25E-02	3.83E-04	1.05E-01
CO60	0.0	1.22E+00	6.19E-01	1.82E-03	1.85E+00
CS134	0.0	8.88E-02	2.08E-01	4.45E-04	2.97E-01
CS137	0.0	7.96E-01	5.54E-01	9.97E-04	1.35E+00
CE144	0.0	4.97E-04	1.24E-01	6.13E-04	1.25E-01
SR90	0.0	0.0	2.39E-02	5.21E-05	2.39E-02
PU239	0.0	2.34E-06	1.32E-04	6.29E-07	1.35E-04
PU240	0.0	0.0	1.32E-04	6.29E-07	1.32E-04
JI31	0.0	1.93E-03	8.86E-02	9.66E-04	9.15E-02
SUMME	0.0	3.08E+00	1.71E+00	5.28E-03	4.80E+00

Tab. 5.4.7 : Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition des Magen-Darm-Kanals nach Nukliden und Expositionspfaden

NUKLID	BETA	GAMMA	INGEST.	INHALAT.	SUMME
KR85M	1.29E-02	2.30E-02	0.0	0.0	3.59E-02
KR85	1.14E-02	2.26E-04	0.0	0.0	1.16E-02
KR87	3.73E-02	4.83E-02	0.0	0.0	8.57E-02
KR88	1.96E-01	3.60E-01	0.0	0.0	5.56E-01
XE131M	4.77E-04	9.95E-03	0.0	0.0	1.04E-02
XE133	1.27E-01	3.71E-01	0.0	0.0	4.99E-01
XE135	8.44E-02	1.26E-01	0.0	0.0	2.10E-01
XE138	1.35E-02	1.91E-02	0.0	0.0	3.26E-02
CO58	6.95E-07	1.18E-02	7.05E-03	8.82E-05	1.90E-02
CO60	2.32E-06	1.22E+00	7.36E-02	3.65E-04	1.30E+00
CS134	2.05E-06	8.88E-02	3.05E-01	1.04E-03	3.95E-01
CS137	6.95E-06	7.96E-01	3.65E-01	1.30E-03	1.16E+00
CE144	8.21E-06	4.97E-04	1.63E-05	4.17E-04	9.39E-04
SR90	1.66E-06	0.0	4.52E-01	1.50E-03	4.54E-01
PU239	0.0	2.34E-06	4.38E-05	2.15E-03	2.19E-03
PU240	0.0	0.0	4.38E-05	2.15E-03	2.19E-03
JI31	6.76E-06	1.93E-03	8.86E-03	1.06E-04	1.09E-02
SUMME	4.83E-01	3.08E+00	1.21E+00	9.12E-03	4.79E+00

Tab. 5.4.8 : Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition der Haut nach Nukliden und Expositionspfaden

NUKLID	BLOCK A	BLOCK B	BLOCK C	KKW N	KKW S	SUMME
KR85H	2.3E-01	4.1E-01	6.7E-01	3.4E-03	1.5E-03	1.3E+00
KR85	2.3E-03	4.0E-03	6.5E-03	3.9E-05	2.0E-05	1.3E-02
KR87	4.9E-01	8.7E-01	1.4E+00	4.7E-03	1.7E-03	2.8E+00
KR89	1.3E+00	2.8E+00	5.4E+00	3.6E-05	1.4E-06	9.5E+00
XE131M	1.0E-01	1.8E-01	2.9E-01	1.7E-03	8.7E-04	5.7E-01
XE133	3.8E+00	6.6E+00	1.1E+01	6.5E-02	3.2E-02	2.1E+01
XE135	1.3E+00	2.2E+00	3.6E+00	2.0E-02	9.6E-03	7.2E+00
XE138	1.9E-01	3.5E-01	5.9E-01	3.5E-04	5.5E-05	1.1E+00
CO58	6.2E-02	1.2E-01	1.2E-01	2.0E-03	1.2E-03	3.0E-01
CO60	4.4E+00	9.2E+00	1.1E+01	1.4E-01	8.1E-02	2.5E+01
SR90	1.5E+00	2.7E+00	2.6E+00	4.7E-02	2.8E-02	6.9E+00
J131	1.6E-01	2.4E-01	9.9E-02	5.6E-03	3.2E-03	5.0E-01
CS134	1.2E+00	2.0E+00	1.4E+00	4.1E-02	2.4E-02	4.7E+00
CS137	3.8E+00	7.4E+00	7.8E+00	1.2E-01	7.1E-02	1.9E+01
CE144	5.2E-03	8.1E-03	4.5E-03	1.8E-04	1.0E-04	1.8E-02
PU239	1.8E-02	2.3E-02	6.6E-04	6.5E-04	3.7E-04	4.3E-02
PU240	1.8E-02	2.3E-02	6.4E-04	6.5E-04	3.7E-04	4.3E-02
SUMME	1.8E+01	3.5E+01	4.6E+01	4.5E-01	2.5E-01	1.0E+02

Tab. 5.4.9a : Prozentuale Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition des Ganzkörpers nach Nukliden und Emittenten

	BLOCK A	BLOCK B	BLOCK C	KKW N	KKW S	SUMME
BETASUB.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GAM.SUB.	7.4E+00	1.3E+01	2.3E+01	9.5E-02	4.6E-02	4.4E+01
BODENST.	7.2E+00	1.5E+01	1.9E+01	2.2E-01	1.3E-01	4.2E+01
INGES.ON	3.8E+00	6.2E+00	4.3E+00	1.3E-01	7.4E-02	1.4E+01
INHAL.ON	7.6E-02	9.7E-02	2.3E-03	2.7E-03	1.6E-03	1.8E-01
SUMME	1.8E+01	3.5E+01	4.6E+01	4.5E-01	2.5E-01	1.0E+02

Tab. 5.4.9b : Prozentuale Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition des Ganzkörpers nach Expositionspfaden und Emittenten

NUKLID	BLOCK A	BLOCK B	BLOCK C	KKW N	KKW S	SUMME
KR85M	1.7E-01	1.7E-01	2.1E-01	2.4E-03	1.0E-03	5.5E-01
KR85	1.6E-03	1.7E-03	2.0E-03	2.8E-05	1.3E-05	5.4E-03
KR87	3.5E-01	3.6E-01	4.4E-01	3.4E-03	1.1E-03	1.2E+00
KR89	8.9E-01	9.3E-01	1.2E+00	3.2E-05	1.0E-06	3.0E+00
XE131M	7.2E-02	7.4E-02	9.0E-02	1.2E-03	5.8E-04	2.4E-01
XE133	2.7E+00	2.8E+00	3.4E+00	4.6E-02	2.2E-02	8.9E+00
XE135	9.0E-01	9.4E-01	1.1E+00	1.4E-02	6.4E-03	3.0E+00
XE138	1.3E-01	1.4E-01	1.7E-01	2.6E-04	3.7E-05	4.4E-01
CO58	5.3E-02	5.6E-02	7.2E-02	1.4E-03	7.9E-04	1.8E-01
CO60	4.0E+00	4.1E+00	5.3E+00	9.6E-02	5.5E-02	1.4E+01
SR90	1.3E+01	1.4E+01	1.8E+01	3.5E-01	2.0E-01	4.6E+01
J131	1.2E-01	1.3E-01	1.7E-01	3.9E-03	2.2E-03	4.2E-01
CS134	8.2E-01	8.6E-01	1.1E+00	2.4E-02	1.3E-02	2.8E+00
CS137	4.5E+00	4.7E+00	6.1E+00	1.2E-01	6.9E-02	1.5E+01
CE144	7.2E-02	7.7E-02	9.9E-02	2.5E-03	1.4E-03	2.5E-01
PU239	6.3E-01	6.8E-01	8.8E-01	2.2E-02	1.2E-02	2.2E+00
PU240	6.3E-01	6.8E-01	8.8E-01	2.2E-02	1.2E-02	2.2E+00
SUMME	2.9E+01	3.1E+01	3.9E+01	7.1E-01	4.0E-01	1.0E+02

Tab. 5.4.10a : Prozentuale Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition des Knochens nach Nukliden und Emittenten

	BLOCK A	BLOCK B	BLOCK C	KKW N	KKW S	SUMME
BETASUB.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GAM.SUB.	5.2E+00	5.4E+00	6.7E+00	6.7E-02	3.1E-02	1.7E+01
BODENST.	6.6E+00	6.9E+00	8.9E+00	1.6E-01	9.0E-02	2.3E+01
INGES.ON	1.6E+01	1.7E+01	2.2E+01	4.4E-01	2.5E-01	5.5E+01
INHAL.ON	1.5E+00	1.6E+00	2.0E+00	5.1E-02	2.8E-02	5.1E+00
SUMME	2.9E+01	3.1E+01	3.9E+01	7.1E-01	4.0E-01	1.0E+02

Tab. 5.4.10b : Prozentuale Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition des Knochens nach Expositionspfaden und Emittenten

NUKLID	BLOCK A	BLOCK B	BLOCK C	KKW N	KKW S	SUMME
KR85M	6.2E-02	6.4E-02	7.8E-02	9.0E-04	3.8E-04	2.1E-01
KR85	6.0E-04	6.3E-04	7.6E-04	1.0E-05	4.9E-06	2.0E-03
KR87	1.3E-01	1.3E-01	1.6E-01	1.3E-03	4.2E-04	4.3E-01
KR89	3.3E-01	3.5E-01	4.6E-01	1.2E-05	3.7E-07	1.1E+00
XE131M	2.7E-02	2.8E-02	3.4E-02	4.6E-04	2.2E-04	8.9E-02
XE133	1.0E+00	1.0E+00	1.3E+00	1.7E-02	8.1E-03	3.3E+00
XE135	3.4E-01	3.5E-01	4.3E-01	5.3E-03	2.4E-03	1.1E+00
XE138	4.9E-02	5.1E-02	6.4E-02	9.8E-05	1.4E-05	1.6E-01
C058	2.0E-02	2.1E-02	2.7E-02	5.2E-04	2.9E-04	6.8E-02
C060	1.5E+00	1.5E+00	2.0E+00	3.6E-02	2.0E-02	5.1E+00
SR90	4.6E-01	4.8E-01	6.2E-01	1.2E-02	7.0E-03	1.6E+00
J131	2.3E+01	2.5E+01	3.2E+01	7.7E-01	4.2E-01	8.1E+01
CS134	3.6E-01	3.8E-01	4.9E-01	1.1E-02	5.9E-03	1.2E+00
CS137	1.2E+00	1.3E+00	1.7E+00	3.2E-02	1.8E-02	4.2E+00
CE144	1.5E-03	1.6E-03	2.1E-03	4.7E-05	2.6E-05	5.3E-03
PU239	4.8E-03	5.2E-03	6.6E-03	1.7E-04	9.3E-05	1.7E-02
PU240	4.8E-03	5.2E-03	6.6E-03	1.7E-04	9.3E-05	1.7E-02
SUMME	2.9E+01	3.1E+01	3.9E+01	8.8E-01	4.9E-01	1.0E+02

Tab. 5.4.11a : Prozentuale Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition der Schilddrüse nach Nukliden und Emittenten

	BLOCK A	BLOCK B	BLOCK C	KKW N	KKW S	SUMME
BETASUB.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GAM.SUB.	1.9E+00	2.0E+00	2.5E+00	2.5E-02	1.2E-02	6.5E+00
BODENST.	2.5E+00	2.6E+00	3.3E+00	5.9E-02	3.4E-02	8.4E+00
INGES.ON	2.4E+01	2.6E+01	3.3E+01	7.9E-01	4.4E-01	8.5E+01
INHAL.ON	1.6E-01	1.8E-01	2.3E-01	5.7E-03	3.2E-03	5.7E-01
SUMME	2.9E+01	3.1E+01	3.9E+01	8.8E-01	4.9E-01	1.0E+02

Tab. 5.4.11b : Prozentuale Aufschlüsselung der maximalen Strahlenexposition der Schilddrüse nach Expositionspfaden und Emittenten

5.5 Regionale Betrachtung der Strahlenexposition des Rechenbeispiels

Für eine großflächige Betrachtung der Strahlenexposition muß aus Rechenkostengründen auf eine Feinrasterung wie bei der unmittelbaren Umgebung von Kernkraftwerksanlagen verzichtet werden. Dementsprechend können auch nur diesem grobmaschigen Raster angepaßte Fragestellungen, wie z.B. erhöhte Grundbelastung im Umfeld mehrerer kerntechnischer Anlagen etc., beantwortet werden. Alle Fragen in Zusammenhang mit dem § 45 der StrSchV, d.h. der maximalen Strahlenexposition am ungünstigsten Aufpunkt, müssen, wie vorangehend gezeigt, lupenartig um die infrage kommenden Standorte mittels einer Feinrasterung behandelt werden, wobei in jedem Falle alle zur Strahlenexposition beitragenden Emittenten zu berücksichtigen sind.

Im Falle des Rechenbeispiels wurde ein äquidistantes Raster mit einem Gitterabstand von 2 km gewählt. Dieses Raster erstreckt sich von Block B 25 km nach Osten, wegen des 10 km entfernten Kraftwerkes 21 km nach Norden, 25 km nach Westen und aufgrund des 20 km entfernten südlichen Kraftwerkes 29 km nach Süden. Am Beispiel des Organs Ganzkörper des Erwachsenen ist in Abb. 5.5.1 die Strahlenexposition der zentral gelegenen kerntechnischen 3-Block Anlage (Fall 1), in Abb. 5.5.2 zusätzlich das im Norden befindliche Kernkraftwerk (Fall 2) und Abb. 5.5.3 auch die Strahlenexposition des südlichen Kraftwerkes (Fall 3) berücksichtigt. Deutlich tritt in allen Abbildungen die erhöhte Strahlenexposition der unmittelbaren Umgebung der einzelnen Anlagen in den Relief-Darstellungen zutage. Zum besseren Vergleich der einzelnen Dosisbeiträge der Anlagen wurden die Isoplethen flächenbezogen gezeichnet. So hat in der Abb. 5.5.1 50 % der Fläche, d.h. 1250 km^2 , eine Ganzkörperdosis $\leq 0,1 \text{ mrem}$ im Falle 1, im Falle 2 (Abb. 5.5.2) beträgt die dieser Dosis zugeordneten Fläche noch 40 %, d.h. 1000 km^2 , um sich im Falle 3 auf 20 %, d.h. 500 km^2 , zu verkleinern. Aus der Vielzahl der Interpretationsmöglichkeiten der Iso-

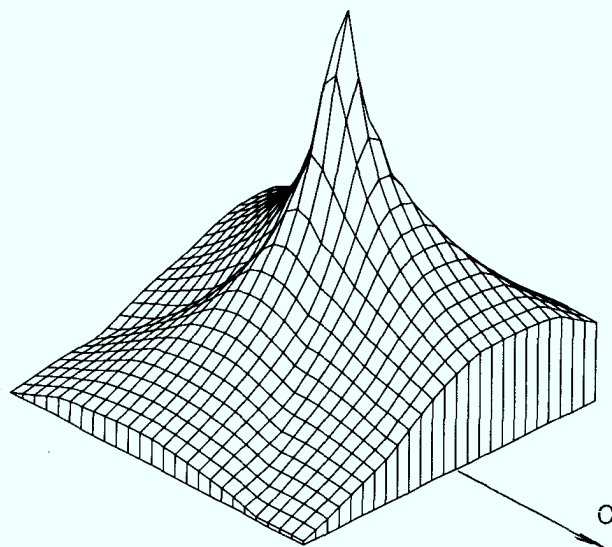


Abb. 5.5.1a : Relief-Darstellung der Ganzkörperdosis
durch die 3-Block Anlage

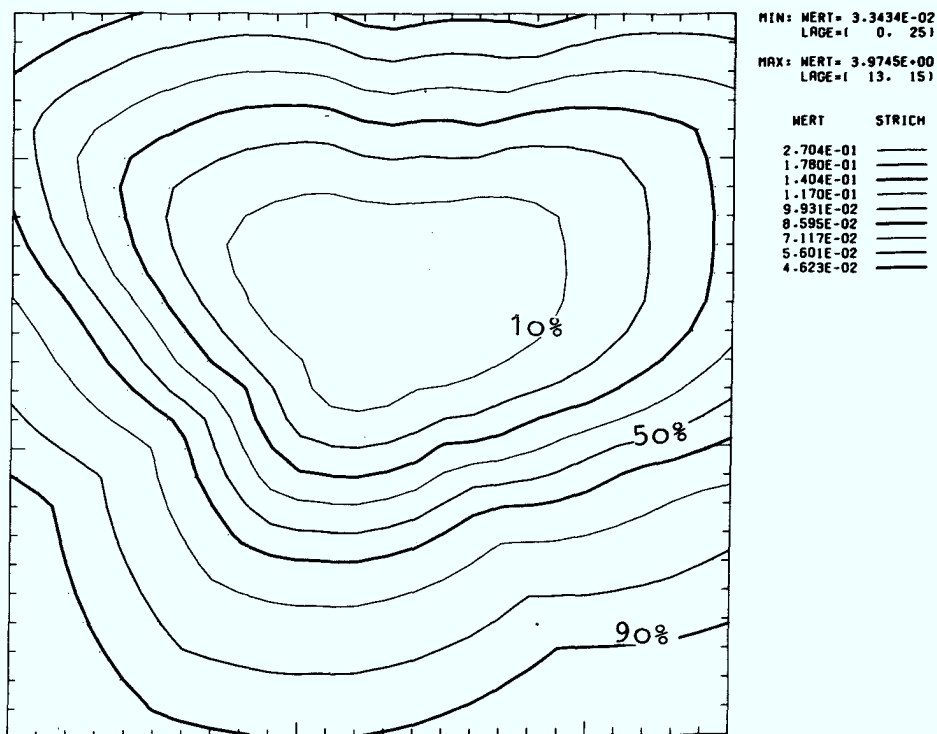


Abb. 5.5.1b : Isodosislinien der Ganzkörperdosis
durch die 3-Block Anlage

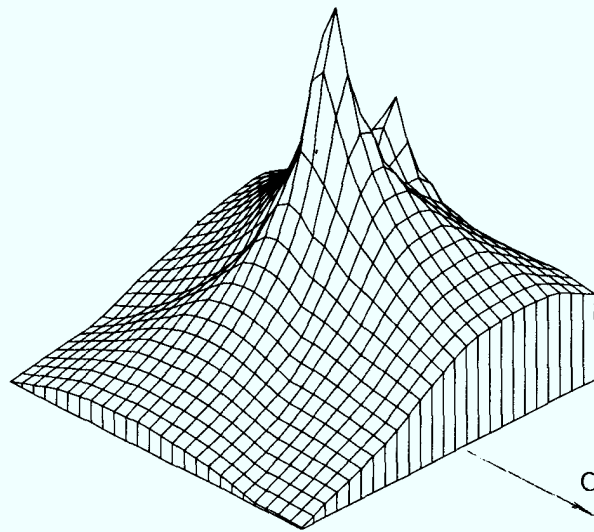


Abb. 5.5.2a : Relief-Darstellung der Ganzkörperdosis durch die 3-Block Anlage und nördlichen KKW

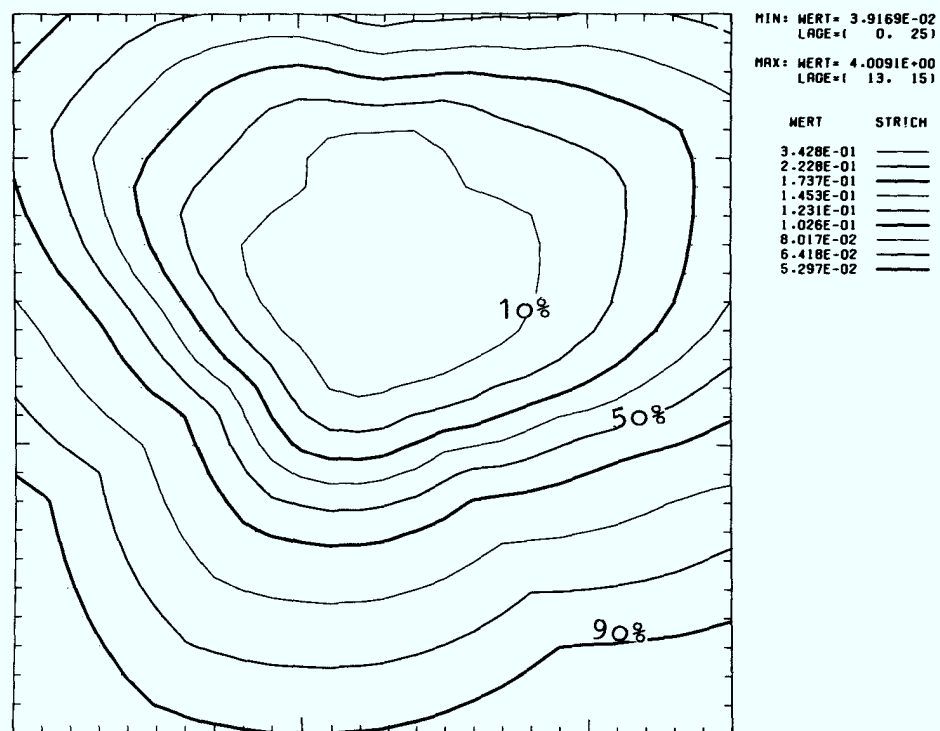


Abb. 5.5.2b : Isodosislinien der Ganzkörperdosis durch die 3-Block Anlage und dem nördlichen KKW

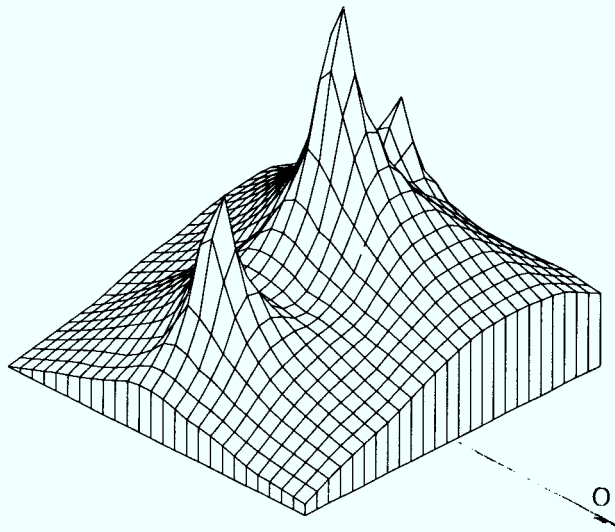


Abb. 5.5.3a : Relief-Darstellung der Ganzkörperdosis durch die 3-Block Anlage, sowie das nördlich und südlich gelegene KKW

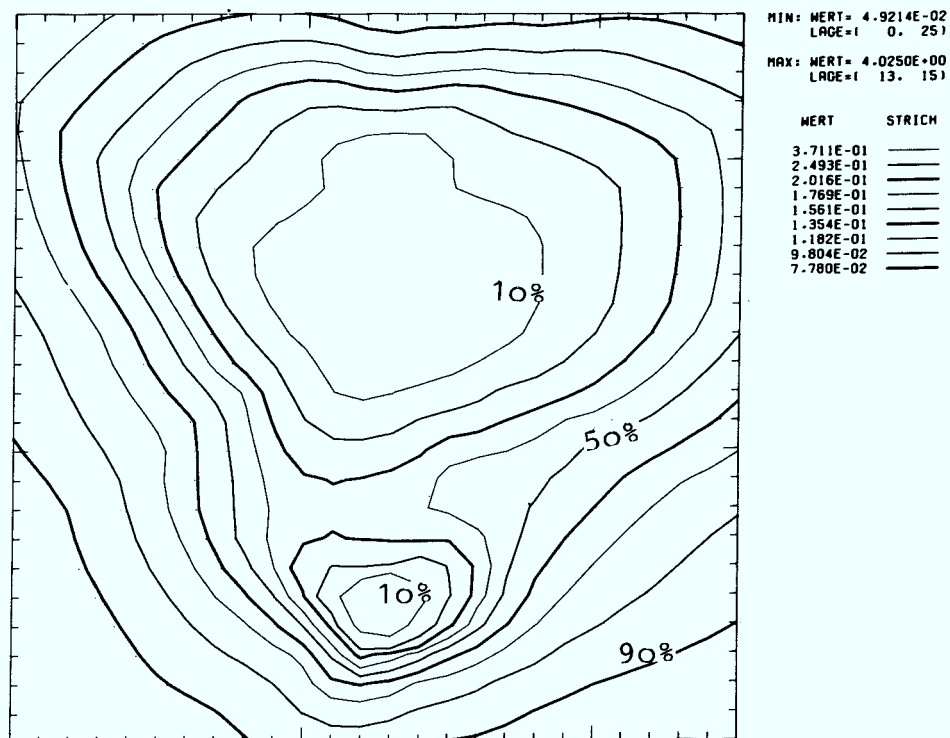


Abb. 5.5.3b : Isodosislinien der Ganzkörperdosis durch die 3-Block Anlage, sowie das nördlich und südlich gelegene KKW

plethendarstellungen der Abbildungen 5.5.1 bis 5.5.3 sei hier noch eine weitere aufgeführt. Betrachtet man die hohen Dosen, vergrößert sich die Fläche mit einer Strahlenexposition $\leq 0,27$ mrem im Falle 1 von 10 % nicht um den gleichen Faktor wie oben und ist im Falle 3 immer noch kleiner als 20 % der Gesamtfläche. Insgesamt gesehen wird die Fläche maximaler Strahlenexposition durch entferntere kerntechnische Anlagen nicht signifikant beeinflusst, d.h. vom Standpunkt eines "man-rem"-Konzepts ist der Beitrag der höheren Dosen in Quellnähe relativ gering, während sich der Beitrag der kleinen Dosen im Einzugsgebiet mehrerer kerntechnischer Anlagen um einen größeren Faktor als die entsprechende Zahl der Emittenten bzw. Quellstärken erhöht.

LITERATUR

- /1/ Der Bundesminister des Innern
Allgemeine Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung
der Strahlenexposition durch Emission radioaktiver
Stoffe mit der Abluft
Empfehlung der Strahlenschutzkommission, 1977
- /2/ K.J. Vogt, H. Geiß, E. Brunen, B. Bergendahl,
H.D. Brenk, F. Rohloff
LISA - ein Programm zur Berechnung der lokalen
individuellen Strahlenexposition durch Abluftfrei-
setzung aus kerntechnischen Anlagen
KFA-Bericht (in Vorbereitung)
- /3/ H. Geiß, K.J. Vogt, H.G. Ehrlich, G. Poster
Neuere Ergebnisse von Ausbreitungsexperimenten mit
50 und 100 m Emissionshöhe
Vortrag auf der Jahrestagung des Fachverbandes für
Strahlenschutz
Norderney, 1978
- /4/ K. Heinemann, M. Stoeppler, K.J. Vogt, L. Angeletti
Untersuchung zur Ablagerung und Desorption von Jod
auf Vegetation
1. Teil des Abschlußberichtes der im Rahmen des Ver-
trages Nr. SC 007/61 PSTD von der Association EURATOM-
C.E.A. geförderten Forschungsarbeiten
KFA-Bericht JÜL-1287, 1976
- /5/ H.D. Brenk, K.J. Vogt
Konzeption für eine praxisnahe Berechnung der Ablage-
rung radioaktiver Stoffe aus der Abluft kerntechnischer
Anlagen durch Niederschlag
KFA-Bericht JÜL-1328, 1976
- /6/ F. Rohloff, E. Brunen, H.D. Brenk, H. Geiß, K.J. Vogt
LISA - ein Programm zur Berechnung der lokalen indivi-
duellen Gammassubmersionsdosis durch Abluftfahnen aus
kerntechnischen Anlagen
KFA-Bericht JÜL-1577, 1979
- /7/ K. Heinemann, K.J. Vogt
Messungen zur Ablagerung und biologischen Halbwertszeit
von Jod auf Vegetation
Vortrag auf der Jahrestagung des Fachverbandes für
Strahlenschutz
Norderney, 1978
- /8/ Bundesgesetzblatt Teil I, Nr.125
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende
Strahlen (Strahlenschutzverordnung-StrlSchV)
Bonn, 1976