



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz

CARE

**Ein Modell zur Berechnung
der Strahlenexposition aus den
gemessenen Emissionsraten
kerntechnischer Anlagen**

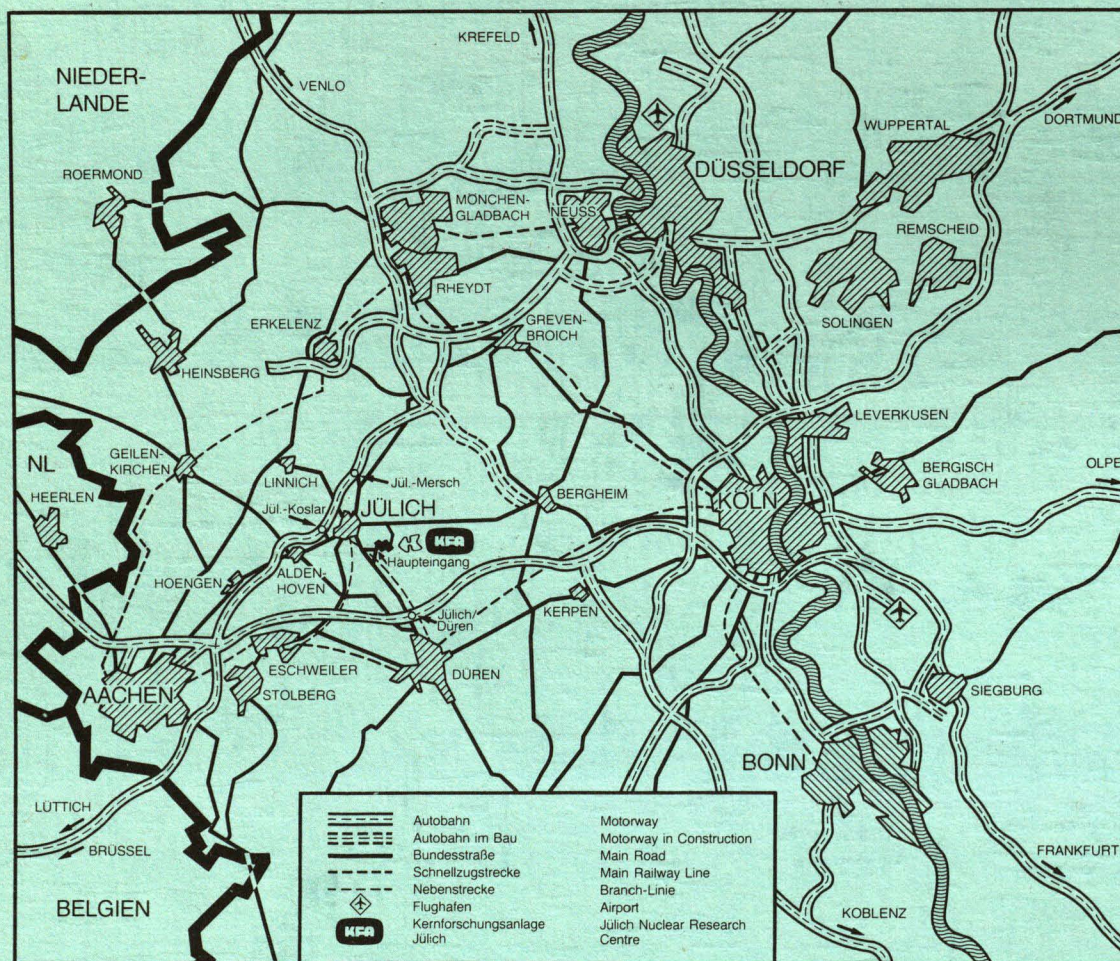
von

Ehrlich, H.-G.
Heinemann, K.
Vogt, K.

Jül - 1804

September 1982

ISSN 0366-0885



Als Manuskript gedruckt

Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 1804

Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz Jül - 1804

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
Telefon: 02461/610 · Telex: 833 556 kfa d

CARE

**Ein Modell zur Berechnung
der Strahlenexposition aus den
gemessenen Emissionsraten
kerntechnischer Anlagen**

von

Ehrlich, H.-G.
Heinemann, K.
Vogt, K.

Abstract

The programme CARE (calculation of the annual radiation exposure) calculates the annual environmental exposure of complex nuclear installations. In the diffusion calculation of pollutants, the real weather conditions of the year concerned are taken into account on an hourly basis together with the associated release rates measured for the various nuclides of individual emitters. According to their location in the plant, the contributions of the time-integrated pollutant concentrations of the individual emitters are superimposed at predefinable receiving points in the vicinity or on the boundary of an installation (plant fencing). In the conception of models for calculating the resultant 50-year dose commitments care was taken to ensure that the programme CARE is capable of treating both individual emissions limited in time and quasi-continuous emissions. The programme CARE can therefore be used also for a subsequent calculation of radiation exposure in the event of accidents.

Zusammenfassung

Das Programm CARE (calculation of the annual radiation exposure) berechnet die jährliche Umweltbelastung komplexer kerntechnischer Anlagen, wobei die realen Wetterbedingungen des betreffenden Jahres stundenweise zusammen mit den zum gleichen Zeitpunkt gehörenden gemessenen Abgaberaten der verschiedenen Nuklide der einzelnen Emittenten bei der Ausbreitungsrechnung der Schadstoffe berücksichtigt werden. Entsprechend ihrer Lage innerhalb der Anlage werden die Beiträge der zeitintegrierten Schadstoffkonzentrationen der einzelnen Emittenten an vorgebbaren Aufpunkten in der Umgebung oder der Anlagenbegrenzung (Betriebszaun) überlagert. Bei der Konzeption der Modelle zur Berechnung der resultierenden 50 Jahre-Folgedosen wurde darauf geachtet, daß das Programm CARE sowohl zeitlich begrenzte Einzelemissionen als auch quasi-kontinuierliche Emissionen behandeln kann. Das Programm CARE kann daher auch für die nachträgliche Berechnung der Strahlenexposition bei Störfällen herangezogen werden.

Zusammenfassung

Seite

1.	Einleitung	1
2.	Zur Problematik der Berechnung der Strahlenexposition komplexer kerntechnischer Anlagen	3
2.1	Aufgabenstellung	3
2.2	Meteorologische Parameter für die Ausbreitungsrechnung	3
2.3	Emissionsdaten	5
2.4	Mehrquellenproblematik	6
3.	Das mathematische Modell zur Berechnung der Jahresbelastung	8
3.1	Definition der zeitlich begrenzten Einzelemission	8
3.2	Ausbreitungsfunktionen zeitlich begrenzter Einzelmissionen	10
3.3	Strahlenexposition einer zeitlich begrenzten Einzelmission	13
3.4	Jahresbelastung als Summe der Strahlenexposition zeitlich begrenzter Einzelemissionen	17
3.5	Die Organdosen der Jahresbelastung als Summe über die Schadstoffe und Belastungspfade	22
4.	Das Programmpacket CARE	25
4.1	Vorbemerkung	25
4.2	Struktur und Aufbau	26
4.3	Berechnung der Ausbreitungsfunktionen	27
4.4	Überlagerung der Ausbreitungsfunktionen	29
4.5	Berechnung der Strahlenexposition	31
5.	Anwendungsbeispiele aus dem Bereich der Kernforschungsanlage Jülich	32
5.1	Berechnung der Strahlenexposition und Vergleich mit den Dosisgrenzwerten	32
5.2	Berechnung der Strahlenexposition im Nahbereich der Anlage	33
5.3	Behandlung von Zwischenfällen als Einzelemission	39
	Literatur	43

1. Einleitung

Im § 45 der StrlSchV /1/ sind für den Ganzkörper und die Einzelorgane Dosisgrenzwerte festgelegt, die an der ungünstigsten Einwirkungsstelle unter Berücksichtigung aller relevanten Expositionspfade eingehalten werden müssen. Die Einhaltung der Dosisgrenzwerte muß durch ein umfassendes Umweltmeßprogramm kontrolliert werden. Allerdings sind die durch die Ableitungen bedingten Konzentrationen der Radionuklide in der Umwelt zum größten Teil so gering, daß sie neben der natürlichen oder z.B. durch Atomwaffentests verursachten Radioaktivität nicht nachgewiesen werden können. Daher werden für jede kerntechnische Anlage getrennt im Genehmigungsverfahren Jahres- und Kurzzeitemissionsmengen für die Radionuklide festgelegt, deren Ableitungen zu bestimmen sind. Die Berechnung der Strahlenexposition aus diesen gemessenen Emissionsraten der Radionuklide ist dann der einzige Weg, eine umfassende Beurteilung der Umweltbelastung über die Einhaltung der Dosisgrenzwerte durch die betreffende Anlage sicherzustellen.

Häufig werden für diese Berechnung, ähnlich wie im Rahmen von Genehmigungsverfahren, Langzeitmodelle angewendet. Diese Modelle beruhen auf einem stark vereinfachenden Konzept, bei dem für die Jahresemissionsmengen der einzelnen Radionuklide eine quasi-kontinuierliche Emission unterstellt werden muß. Die Ausbreitung der Schadstoffe in der Atmosphäre kann dann mit Hilfe der Langzeitausbreitungsfaktoren beschrieben werden, wodurch die ungünstigste Einwirkungsstelle allein durch die meteorologische Ausbreitungsstatistik festgelegt wird und unabhängig vom individuellen Emissionsverlauf der Radionuklide während des Jahres ist. Die Voraussetzung der quasi-kontinuierlichen Emission ist aber bei den meisten kerntechnischen Anlagen höchstens für einzelne Radionuklide verwirklicht. Einzelmissionen oder nicht-konstante Emissionen führen in Zusammenarbeit mit speziellen meteorologischen Ausbreitungsbedingungen, wie z.B. starke Regenfälle oder lang anhaltende Wetterlagen, zu einer fehlerhaften Berechnung in diesen Modellen.

Aus diesem Grunde wurde für die Belange der Kernforschungsanlage Jülich das Modell CARE erarbeitet, das seit 1978 für die Berechnung der Umweltjahresbelastung der Gesamtanlage angewendet wird. Dieses Modell berechnet mit Hilfe der stundenweise ermittelten Emissionsraten der Radionuklide und der zugeordneten Stundenmittelwerte der meteorologischen Ausbreitungsbedingungen die Ausbreitung der Schadstoffe, wobei konsequenterweise die Gaußschen Kurzzeitausbreitungsfunktionen, d.h. die mit der Quellstärke multiplizierten Ausbreitungsfaktoren für die bodennahe Konzentration in Luft und die Ablagerung auf der Vegetation durch Fallout und Washout, angewendet wird. Durch die Unterteilung des Jahres in Stundenintervalle lassen sich sowohl Einzelemissionen, nicht-konstante sowie quasi-kontinuierliche Emissionen mit hinreichender Genauigkeit beschreiben. Die so berechnete ungünstigste Einwirkungsstelle kann sich von der mit Langzeitmodellen berechneten Stelle unterscheiden.

In dem vorliegenden Bericht wird in Kapitel 2 ein Überblick über die allgemeine Problematik zur Berechnung der Strahlenexposition aus der Sicht des Betreibers gegeben. Kapitel 3 beinhaltet die mathematische Formulierung des Modelles, das der Dosisberechnung in dem Programm CARE zugrunde gelegt wurde. Kapitel 4 gibt einen kurzen Abriß über die prinzipielle Struktur und die Anwendungsweise des Programmes CARE aus der Sicht des Anwenders und Kapitel 5 enthält Anwendungsbeispiele aus der Jahresbelastungsberechnung der Kernforschungsanlage Jülich aus den letzten Jahren mit erklärender Handhabung des Programmes CARE.

2. Zur Problematik der Berechnung der Strahlenexposition komplexer kerntechnischer Anlagen

2.1 Aufgabenstellung

In der Strahlenschutzverordnung /1/ wird festgelegt, daß durch die beim Betrieb kerntechnischer Anlagen mit der Abluft abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umwelt keine Strahlenexposition verursacht werden, die die für die relevanten Organe vorgegebenen Dosisgrenzwerte überschreiten.

Die Einhaltung der Dosisgrenzwerte kann durch Messungen von Umweltproben nur in begrenzten Umfange kontrolliert werden, da

- die Umgebungsüberwachung wegen des mit der Probenvorbereitung und ihrer Ausmessung verbundenen Aufwandes keine vollständige und lückenlose Erfassung der Strahlenexposition an allen Orten und zu jeder Zeit erlaubt und
- bei kerntechnischen Anlagen ohnehin die durch die Ableitungen bedingte Aktivitätskonzentration in der Umwelt im allgemeinen so gering ist, daß sie neben der natürlichen oder durch Atomwaffentests verursachten Radioaktivität nicht nachgewiesen werden kann.

Daher ist die Berechnung der Strahlenexposition aus den leichter zu messenden Emissionen oft der einzige Weg für eine umfassende Beurteilung der Umweltbelastung. Bei der Bestimmung der Strahlenexposition sind die Beiträge aller relevanten Expositionspfade zu berücksichtigen:

- γ -Submersionsdosis der Nuklide aus der Abluft, die γ -Strahlung emittieren,
- β -Submersionsdosis der Nuklide aus der Abluftfahne, die β -Strahlung emittieren,
- γ -Dosis durch Bodenstrahlung der Nuklide, die auf dem Boden abgelagert sind,
- Inhalationsdosis durch Einatmen der kontaminierten Atemluft und
- Ingestionsdosis durch Konsum kontaminierte Nahrungsmittel.

2.2 Meteorologische Parameter für die Ausbreitungsrechnung

Bei der Berechnung der Strahlenexposition bestimmt man in einem ersten Schritt die zeitintegrierte Aktivitätskonzentration der

Radionuklide in der Luft. Dazu benötigt man neben den in jedem Zeitintervall mit der Abluft abgeleiteten Aktivitäten der einzelnen Nuklide und der Freisetzungshöhe die vier meteorologischen Parameter Windrichtung, Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe, Diffusionskategorie und Niederschlagsintensität. Die meteorologischen Ausbreitungsparameter werden in der Regel als Stundenmittelwerte angegeben, da die Ausbreitungsbedingungen über diesen Zeitraum als ausreichend konstant angenommen werden können. Die zeitintegrierten Aktivitätskonzentrationen für längere Zeitabschnitte ergeben sich dann aus Überlagerung von Stundenwerten.

Nur wenn in jeder Stunde des betrachteten Zeitabschnittes (z.B. in einem Jahr) die Emissionsraten der einzelnen Nuklide konstant sind, kann die Umweltbelastung mit Hilfe des über die Häufigkeitsverteilung der vierdimensionalen meteorologischen Statistik berechneten Langzeitausbreitungsfaktors bestimmt werden. Wenn die Emissionsraten aber nicht konstant sind, was bei den meisten kerntechnischen Anlagen der Fall ist, benötigt man zur Berechnung der zeitintegrierten Konzentrationsverteilungen um die betreffende Anlage die stundenweise gemessenen meteorologischen Parameter und die dazugehörenden nuklidspezifischen stündlichen Emissionsmengen. Deutlich wird dieser Sachverhalt, wenn man sich vorstellt, daß im Extremfall aus einer kerntechnischen Anlage nur während einer Stunde im Jahr eine Ableitung erfolgt. Dann kann man auch nur in der Richtung eine Strahlenexposition erwarten, in die zur Zeit der Ableitung der Wind die Aktivität getragen hat. Das Verteilungsmuster der zeitintegrierten Konzentration, das mit der langjährigen meteorologischen Ausbreitungsstatistik verbunden ist, ist in diesem Falle nicht realisiert. Ähnlich wie in diesem Beispiel sind kerntechnische Störfälle mit Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Abluft zu behandeln. Auch hier muß eine Überlagerung der Dosisbeiträge kurzzeitiger Emissionen unter Berücksichtigung der für den Emissionszeitraum gemessenen meteorologischen Daten erfolgen. In der Kernforschungsanlage Jülich werden die für die Ausbreitungsrechnung benötigten meteorologischen Parameter kontinuierlich am meteorologischen Turm gemessen und u.a. zu Stundenmittelwerte aufbereitet und auf Datenträger abgespeichert.

2.3 Emissionsdaten

Aus den vorangegangenen Kapiteln ergibt sich die Forderung, für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft Stundenemissionswerte zu bestimmen. Ein Rechenmodell muß daher grundsätzlich davon ausgehen, daß diese Werte auch zur Verfügung gestellt werden. In der Praxis fallen bei der Überwachung der Edelgase in der Abluft kontinuierliche gemessene Emissionswerte an. Für diese Nuklidgruppe ist die Angabe von Stundenwerte leicht möglich. Schwieriger wird es für andere Nuklidgruppen, deren abgeleitete Aktivität aufgrund der niedrigen Konzentrationen mit Hilfe integrierender Meßverfahren (z.B. Sammlung der Aktivität auf Filtern) bestimmt werden muß. Erschwerend kommt hinzu, daß niedrige Konzentrationen in der Abluft für die meisten Nuklide nicht bedeuten, daß die durch sie bewirkte Strahlenexposition vernachlässigbar ist. Da es für die Berechnung der Strahlenexposition nicht ausreicht, die Ableitung einer Nuklidgruppe wie z.B. Aerosole oder Jod pauschal zu erfassen, sondern für jedes einzelne Nuklid Emissionswerte angegeben werden müssen, ergeben sich längere Sammelzeiten, die zwischen einer Woche und einem Vierteljahr liegen können. Vom kerntechnischen Ausschuß werden z.B. in der KTA-Regel 1503.1 für Kernkraftwerke folgende Sammelzeiten vorgeschrieben: Die Bilanzierung von Aerosolen und Jod soll einmal wöchentlich, die von Tritium einmal monatlich und die von Strontium, Alphastrahlern und Kohlenstoff 14 einmal vierteljährlich erfolgen. Zur Anwendung im Rechenmodell müssen die gemessenen Emissionsmengen auf die benötigten Stundenwerte umgerechnet werden. Dabei muß vorausgesetzt werden, daß die Ableitungen im Sammelintervall mit konstanter Emissionsrate erfolgt ist. Diese Vorgehensweise ist vom derzeitigen Stand der Meßtechnik aufgezwungen. In den Fällen, in denen die Verteilung der Emissionsraten im Mittlungszeitraum durch den Verlauf eines Experimentes oder durch definierte Betriebszustände bekannt ist, soll die Rechnung mit Stundenemissionsmengen von Programm durchgeführt werden.

2.4 Mehrquellenproblematik

Für komplexe kerntechnische Anlagen ergeben sich dadurch noch zusätzliche Probleme, daß auf einer größeren Fläche verteilt mehrere Emittenten vorhanden sind, die sich in ihrer Freisetzungshöhe, in dem Spektrum der abgeleiteten Nuklide, in ihren Jahresemissionsmengen und in der Schwankung der Emissionsraten stark unterscheiden. In der Kernforschungsanlage Jülich gibt es zur Zeit die unterschiedlichsten Emittenten wie z.B. Forschungsreaktoren, Heiße Zellen, Beschleuniger, Neutronengenerator, eine nuklearmedizinische Klinik mit Sonderkläranlage und eine Veraschungsanlage zur Verarbeitung brennbarer radioaktiver Abfälle. Für jeden dieser Emittenten ergibt sich eine eigene ungünstigste Einwirkungsstelle, die aufgrund der niedrigen Emissionshöhen auf das Betriebsgelände der Kernforschungsanlage Jülich fällt. Nach der Strahlenschutzverordnung müssen demnach die Dosisgrenzwerte am Betriebszaun als den Orten der ungünstigsten Einwirkungsstellen außerhalb des innerbetrieblichen Überwachungsbereiches eingehalten werden. Die ungünstigste Einwirkungsstelle der Gesamtanlage, für die die Einhaltung dieser Werte nachgewiesen werden soll, kann im allgemeinen Fall durch die ungünstigste Einwirkungsstelle eines Hauptemittenten bestimmt sein, sie kann aber auch mit keiner ungünstigsten Einwirkungsstelle eines Einzelemittenten zusammenfallen. Bei der Bestimmung der ungünstigsten Einwirkungsstelle der Gesamtanlage muß die Lage der einzelnen Emittenten untereinander und zum Betriebszaun, ihre Emissionshöhe und die gemessenen Spektren der Nuklide berücksichtigt werden. Der Ort der ungünstigsten Einwirkungsstelle kann sich mit den sich ändernden Emissionsmengen von Jahr zu Jahr verschieben. Er muß daher jedes Jahr neu bestimmt werden.

Das Rechenmodell muß für die Gebiete, in den die ungünstigste Einwirkungsstelle zu erwarten ist, die Beiträge aller Emittenten über alle Nuklidanteile aufsummieren und daraus das Maximum der Strahlenexposition aller Organe bestimmen. Durch Aufschlüsselung der Organdosen am Maximum z.B. nach den einzelnen Emittentenbeiträgen oder den einzelnen Nuklidanteilen lassen sich die genehmigten Werte der Einzelemittenten bzw. deren Anteile überprüfen, um dann eventuell notwendig werdende Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlenexposition daraus herzuleiten. Darüber hinaus

ist es sehr instruktiv, zu zeigen, wie groß die Strahlenexposition in den Ortschaften der Umgebung ist, bzw. wie schnell die Dosis mit der Entfernung von der Anlage abnimmt. Die hierfür benötigten Werte können in einer zweiten Rechnung bestimmt und auf einer vereinfachten Karte der Umgebung in Form von Isodosislinien dargestellt werden.

3. Das mathematische Modell zur Berechnung der Jahresbelastung

3.1 Definition der zeitlich begrenzten Einzelemission

Der zeitliche Ablauf von Schadstoffemissionen aus kerntechnischen Anlagen reicht von kurzzeitigen Puffs über Einzelmissionen von ein bis mehreren Stunden Dauer bis hin zu quasi-kontinuierlichen Emissionen. Neben diesem betriebsbedingten Ablauf ist der Ausbreitungsvorgang in der Atmosphäre, d.h. die momentan herrschende Wettersituation und deren Änderung während der Emission, ein wesentlicher Faktor für die Schadstoffverteilung in der Umgebung der kerntechnischen Anlage. Diese beiden, in ihren zeitlichen Ablauf voneinander unabhängigen Vorgänge, müssen im Hinblick auf die Berechnung der Jahresbelastung sinnvoll berücksichtigt werden. In dem vorliegenden Modell wird daher der gesamte Emissionsvorgang in eine Folge zeitlich begrenzter Einzelemissionen aufgelöst bzw. unterteilt (siehe Abb. 3.1.1)

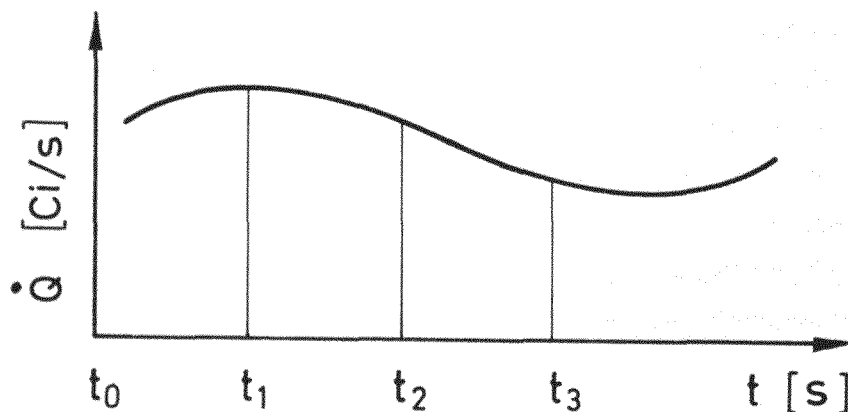


Abb. 3.1.1: Zeitliche Unterteilung des Emissionsablaufs

Innerhalb der einzelnen Zeitintervalle $(t_0, t_1), (t_1, t_2), \dots$ werden konstante meteorologische Ausbreitungs- und Ablagerungsbedingungen (Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Diffusionskategorie und Niederschlagsmenge) vorausgesetzt. Die

Dauer der Intervalle sollte bei Jahresbelastungsrechnungen eine Stunde betragen, wobei die Emissionsdaten und die meteorologischen Daten sich auf den gleichen Zeitraum beziehen müssen.

Die integrale Quellstärke während eines solchen Zeitintervalles ist dann maßgebend für die Berechnung der resultierenden Dosis:

$$Q^h = Q(t_i, t_{i+1}) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \dot{Q}(t) dt \quad (3.1.1)$$

Q^h integrale Quellstärke der h-ten Stunde des Jahres

$Q(t_i, t_{i+1})$ integrale Quellstärke des Zeitintervalles (t_i, t_{i+1})

$\dot{Q}(t)$ differenzielle Quellstärke als Funktion der Zeit t

Eine so definierte integrale Quellstärke wird im weiteren Verlauf mit dem Begriff 'zeitlich begrenzte Einzelemission' bezeichnet.

Sie ist 'zeitlich begrenzt', da sie einem definierten Zeitintervall mit den entsprechenden meteorologischen Ausbreitungs- und Ablagerungsbedingungen zuordnenbar ist.

Der Begriff 'Einzelemission' soll darauf hinweisen, daß sie bei der folgenden Konzeption der Dosisberechnung als zeitlich isolierte Emission betrachtet wird:

Das Modell berechnet die resultierende Dosis dieses Zeitintervalles, ohne daß eine eventuell vorhandene zeitlich langfristigere Emission vorausgesetzt wird.

Auf diese Weise können mit dem Modell kurzzeitige Puffs, fluktuierende Einzelemissionen und quasi-kontinuierliche Emissionen einheitlich behandelt werden.

3.2 Ausbreitungsfunktionen zeitlich begrenzter Einzel- emissionen

Die Schadstoffausbreitung zeitlich begrenzter Einzelemissionen wird mit Hilfe des Gaußschen Ausbreitungsmodells beschrieben /2/3/.

Die in den Berechnungsgleichungen verwendeten Koordinatensysteme sind in Abb. 3.2.1 dargestellt und haben im einzelnen folgende Bedeutung:

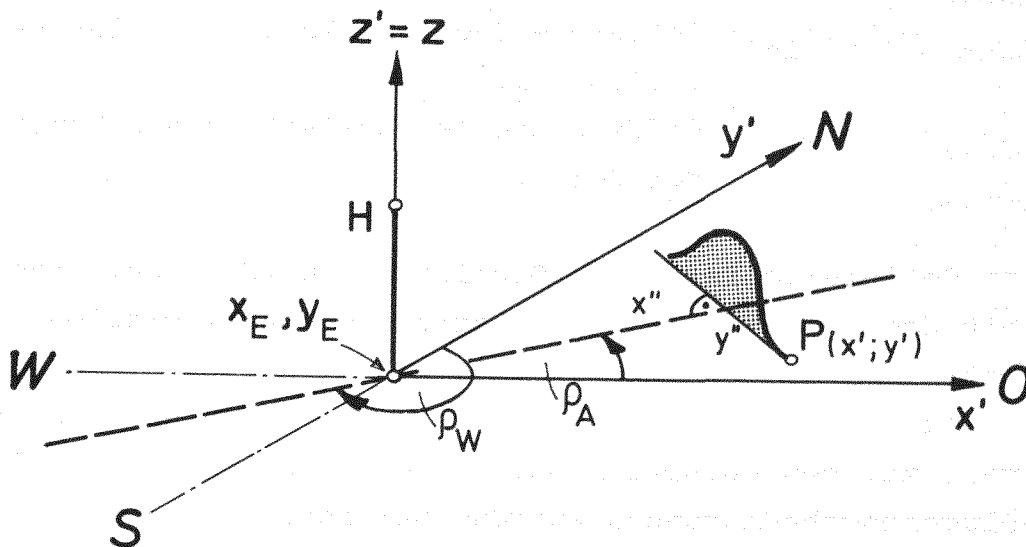


Abb. 3.2.1: Überblick der verwendeten Koordinatensysteme

$\{x, y\}$ absolutes kartesisches Koordinatensystem des zu erfassenden Gebietes

x_E, y_E Emittentenkoordinaten in dem absoluten System $\{x, y\}$

$\{x', y'\}$ emittenteneigenes kartesisches Koordinatensystem:
für das gilt:

$$\begin{aligned} x' &= x - x_E = r' \cos \gamma' \\ y' &= y - y_E = r' \sin \gamma' \end{aligned} \quad (3.2.1)$$

φ_W meteorologische Windrichtung am Orte (x_E, y_E)

φ_A Ausbreitungsrichtung am Orte (x_E, y_E) , für die gilt:

$$\varphi_A = 270^\circ - \varphi_W \quad (3.2.2)$$

x'', y'' Entfernungsparameter des Gaußschen Ausbreitungsmodells, für die gelten:

$$\begin{aligned}x'' &= r' \cdot \cos (\varphi_A - \varphi') \\y'' &= r' \cdot \sin (\varphi_A - \varphi')\end{aligned}\quad (3.2.3)$$

Für die Berechnung der Ausbreitungsfunktionen der zeitlich begrenzten Einzelemission werden folgende Emittentenangaben benötigt:

x_E, y_E Standortkoordination des Emittenten
 H effektive Emissionshöhe des Emittenten
 Q_r^h integrale Quellstärke des Schadstoffes r der h -ten Stunde

Desweiteren sind die der Quellstärke zeitlich zuzuordnenden, meteorologischen Daten des betreffenden Standortes anzugeben:

u_h gemittelte Windgeschwindigkeit der h -ten Stunde in Emissionshöhe
 φ_w^h gemittelte Windrichtung der h -ten Stunde
 N_h Niederschlag der h -ten Stunde
Ausbreitungsparameter des Gaußschen Modells entsprechend
 p_y, q_y der Diffusionskategorie der h -ten Stunde und der
 p_z, q_z effektiven Emissionshöhe H

Im einzelnen lauten dann die Berechnungsgleichungen der Ausbreitungsfunktionen:

Konzentration des Schadstoffes am Orte (x, y) :

$$C_r^h(x, y) = Q_r^h \cdot \frac{1}{u} \cdot S_{y''}^h(x, y) \cdot S_{z''}^h(x, y) \quad (3.2.4)$$

Die Funktionen $S_{y''}^h(x, y)$ und $S_{z''}^h(x, y)$ beinhalten die Gaußverteilungen:

$$S_{y''}^h(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left\{ \frac{e^{-y''^2/2\sigma_{y''}^2}}{\sigma_{y''}} \right\}_h \quad (3.2.5a)$$

$$S_{z''}^h(x,y) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \left\{ \frac{e^{-H^2/2\sigma_{z''}^2}}{\sigma_{z''}} \right\}_h \quad (3.2.5b)$$

$$\sigma_{y''} = p_y \cdot x''^{q_y} \quad (3.2.6a)$$

$$\sigma_{z''} = p_z \cdot x''^{q_z} \quad (3.2.6b)$$

Trockene Ablagerung durch Fallout am Orte (x,y):

$$F_r^h(x,y) = v_{gr} \cdot C_r^h(x,y) \quad (3.2.7)$$

v_{gr} Ablagerungsgeschwindigkeit des Schadstoffes r auf der betrachteten Vegetation

Nasse Ablagerung durch Washout am Orte (x,y):

$$W_r^h(x,y) = Q_r^h \cdot \frac{\Lambda_{rh}}{u_h} \cdot S_{y''}^h(x,y) \quad (3.2.8)$$

Der Washoutkoeffizient Λ_{rh} wird in der Literatur auf verschiedene Weise berechnet /2,4,5/.

Dabei empfiehlt sich nach /4/ im Falle von Zwischenfällen die intensitätsabhängige Darstellung:

$$\Lambda_{rh} = a_r \cdot N_h^{b_r} \quad (3.2.9a)$$

a_r, b_r schadstoffabhängige Washoutparameter

Für die routinemäßig abgeleiteten Schadstoffe ist der in /6/ empfohlene lineare Ansatz als geeigneter anzusehen, da er in gewisser Weise über die unterschiedlichen Niederschlagsarten (Schauer, Dauerregen, Graupel etc.) eines Jahres mittelt:

$$\Lambda_{rh} = c_r N_h \quad (3.2.9b)$$

c_r Washoutkonstante des Schadstoffes r

Gamma-Submersionsfunktion am Orte (x,y):

$$C_{Yr}^h(x,y) = Q_r^h \cdot \frac{1}{u_h} \cdot R_Y(x,y) \quad (3.2.10)$$

Der Gamma-Submersionsfaktor $R_Y(x,y)$ ist dabei wie folgt definiert:

$$R_Y(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\mu r}}{r^2} \frac{B(\mu r)}{2\pi\sigma_Y''\sigma_Z''} e^{-\{Y''^2/2\sigma_Y''^2 + (H-z)^2/2\sigma_Z''^2\}} dV'' \quad (3.2.11)$$

$B(\mu r)$ Aufbaufaktor nach /6/

r Abstand zwischen dem Volumenelement der
Abluftfahne und dem Orte (x,y)

Die Durchführung der 3-dimensionalen Integration in Gleichung 3.2.11 ist mit erheblichen Aufwand verbunden. Aus Kostengründen ist deshalb eine ähnliche Behandlung wie bei dem Langzeitausbreitungsfaktor der Gamma-Submersion nach /6/ angebracht:

$$R_Y(x',y') \equiv f\{R_{Yj}(r',\psi')\} \quad (3.2.12)$$

j Diffusionskategorie

ψ' Winkel zwischen dem Aufpunkt und der Ausbreitungs-
richtung, für den gilt:

$$\psi' = \varphi_A - \varphi'$$

Die Gamma-Submersionsfaktoren $R_Y(x',y')$ der Gl. 3.2.12 sind in einem emittenteneigenen Polarkoordinatensystem in verschiedenen Entfernungsbereichen gemäß der Gl. 3.2.11 zu berechnen. Der Gamma-Submersionsfaktor $R_Y(x,y)$ kann dann entsprechend der Lage des Aufpunktes zum Emittenten interpoliert werden.

3.3 Strahlenexposition einer zeitlich begrenzten Einzel- emission

Wie schon in den vorangegangenen Kapiteln angedeutet, geht die Konzeption der Dosisberechnung von zeitlich isolierten Einzel-

emissionen aus. Dies führt bei der Ingestion gegenüber /6/ zu einer geänderten Betrachtungsweise, während die übrigen Belastungspfade aufgrund ihres integralen Charakters wie in /6/ anzusetzen sind.

Gamma-Submersion:

$$D_{\gamma r}^{ho}(x,y) = C_{\gamma r}^h(x,y) \cdot g_{\gamma r}^o \quad (3.3.1)$$

$C_{\gamma r}^h(x,y)$ Gamma-Submersionfunktion des Schadstoffes r am Orte (x,y) der h-ten Stunde

$g_{\gamma r}^o$ Dosiskonstante der Gamma-Submersion des Schadstoffes r und Organes o

Beta-Submersion der Haut:

$$D_{\beta r}^h(x,y) = C_r^h(x,y) \cdot g_{\beta r} \quad (3.3.2)$$

$C_r^h(x,y)$ zeitintegrierte Konzentration des Schadstoffes r am Orte (x,y) der h-ten Stunde

$g_{\beta r}$ Dosiskonstante der Beta-Submersion der Haut durch den Schadstoff r

Bodenstrahlung durch abgelagerte γ -Nuklide:

$$D_{Br}^{ho}(x,y) = \{F_r^h(x,y) + W_r^h(x,y)\} \cdot g_{Br}^o \quad (3.3.3a)$$

$F_r^h(x,y)$ durch Fallout der h-ten Stunde abgelagerte Menge des Schadstoffes r am Orte (x,y)

$W_r^h(x,y)$ durch Washout der h-ten Stunde abgelagerte Menge des Schadstoffes r am Orte (x,y)

g_{Br}^o Dosiskonstante der Bodenstrahlung des Schadstoffes r und Organes o

Im Gegensatz zur Gamma-Submersion und Beta-Submersion, bei denen die Dosis nur während der relativ kurzen Transportzeit der Schadstoffe in der Atmosphäre akkumuliert wird, kann der Zerfall der abgelagerten Nuklide am Boden zu einer jahrelangen Exposition führen. Die Dosis der Bodenstrahlung errechnet sich durch die

Integration über die Aufenthaltsdauer der exponierten Person am Orte (x,y):

$$\int_0^{t_A} \dot{D}_{Br}^{ho}(x,y) \cdot e^{-\lambda_r \cdot t} dt = \dot{D}_{Br}^{ho}(x,y) \frac{1 - e^{-\lambda_r \cdot t_A}}{\lambda_r}$$

Im Sinne der Folgedosis soll angenommen werden, daß die Aufenthaltsdauer der exponierten Person vom Zeitpunkt der Ablagerung des Schadstoffes am Boden an $t_A = 50$ a beträgt und zur folgenden Dosis führt:

$$\dot{D}_{Br}^{ho}(x,y) = \dot{D}_{Br}^{ho}(x,y) \cdot NB_r \quad (3.3.3b)$$

Für den Bodenfaktor NB_r der Bodenstrahlung gilt:

$$NB_r = \frac{1 - e^{-\lambda_r t_A}}{\lambda_r} \quad (3.3.3c)$$

λ_r Zerfallswahrscheinlichkeit des Schadstoffes r

$t_A = 50$ a Aufenthaltsdauer der exponierten Person

In Zusammenhang mit den Ablagerungsfaktoren der zeitlich begrenzten Einzelemission in Gl. 3.3.3a sei darauf hingewiesen, daß der Washout nur im Falle von Niederschlag während der h-ten Stunde einen Beitrag leistet.

Inhalation:

Bei der Inhalation wird angenommen, daß sich die exponierte Person während der gesamten Akkumulationszeit am Orte (x,y) aufhält.

$$\dot{D}_{Ir}^{ho}(x,y) = C_r^h(x,y) \cdot V \cdot g_{Ir}^o \quad (3.3.4)$$

$C_r^h(x,y)$ zeitintegrierte Konzentration des Schadstoffes r am Orte (x,y) der h-ten Stunde

V Atemrate der exponierten Person

g_{Ir}^o Dosiskonstanten der Inhalation des Schadstoffes r und Organes o

Das Ingestionsmodell geht bei der Ausbreitung der Schadstoffe mit der Abluft nach /6/ von einer zeitlich konstanten lang-jährigen Ablagerungsrate durch Fallout und Washout auf die Vegetation und den Boden aus; Dies ist für die langjährige Prognose der zu erwartenden mittleren Strahlenexposition eine adäquate Voraussetzung. Bei konkreten Einzelemissionen oder bei Zwischenfällen müssen die Berechnungsgleichungen nach /6/ versagen. Das Ingestionsmodell wurde daher für den Fall zeitlich begrenzter Einzelemissionen umformuliert. An dieser Stelle sollen nur die für das Verständnis der Ingestionsbe-rechnung wesentlichen Merkmale des Gesamtmodelles erläutert werden:

Bei der Radionuklidaufnahme der Pflanzen unterscheidet man zwischen der direkten Kontamination der oberirdischen Pflanzen-teile und der Wurzelaufnahme aus dem Boden. Die direkte Kon-tamination durch zeitlich begrenzte Einzelemissionen kann nur innerhalb der Vegetationsperiode der betreffenden Pflanze er-folgen, während die Wurzelaufnahme auch Ablagerungen außerhalb der Vegetationsperiode berücksichtigen muß. Um eine zeitliche Entkopplung zwischen der direkten Kontamination der verschiedenen Nahrungsmittel und dem Konsum zu erreichen, wurde für alle Pflanzen ein einheitlicher Vegetationszeitraum vom 1.4 bis zum 30.9. eines Jahres unterstellt.

Direkte Kontamination:

$$D_{1r}^{ho}(x,y) = \{F_r^h(x,y) + f_W \cdot W_r^h(x,y)\} \cdot ND_r \cdot g_{In,r}^o \quad (3.3.5a)$$

$F_r^h(x,y)$ Ablagerung durch Fallout des Schadstoffes r am Orte (x,y) in der h-ten Stunde

$W_r^h(x,y)$ Ablagerung durch Washout des Schadstoffes r am Orte (x,y) in der h-ten Stunde

$f_W=0,2$ Anteil des Washoutes, der auf der Pflanze ver-bleibt

ND_r radioökologischer Faktor der direkten Kontamina-tion des Schadstoffes r

$g_{In,r}^o$ Dosiskonstante der Ingestion des Schadstoffes r und Organes o

Anmerkung: Die Ingestionsdosis $D_{1r}^{ho}(x,y)$ nach Gl. 3.3.5a ist nur dann zu berechnen, falls die h-te Stunde in den Vegetationszeitraum vom 1.4. bis zum 30.9. eines Jahres fällt.

Wurzelaufnahme:

$$D_{2r}^{ho}(x,y) = \{F_r^h(x,y) + W_r^h(x,y)\} \cdot NW_r \cdot g_{In,r}^o \quad (3.3.5b)$$

NW_r radioökologischer Faktor der Wurzelaufnahme des Schadstoffes r

Die Ingestionsbelastung ergibt sich aus der Summe der Einzeldosen der beiden Kontaminationsarten:

$$D_{In,r}^{ho}(x,y) = \delta(h) \cdot D_{1r}^{ho}(x,y) + D_{2r}^{ho}(x,y) \quad (3.3.5c)$$

$$\delta(h) = \begin{cases} 1 & \text{für h-te Stunde innerhalb der Vegetationsperiode} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die radioökologischen Faktoren ND_r und NW_r enthalten in kompakter Form den Nuklidtransfer von der Kontamination der Pflanzen zum Nahrungsmittelendprodukt und über die Verzehrsgewohnheiten weiter bis zum Endverbraucher. Sie werden mit dem vorher erwähnten nach /6/ auf die Situation der zeitlich begrenzten Einzelemission umformulierten Ingestionsmodell berechnet, das in /7/ näher beschrieben ist und die Faktoren für verschiedene Verzehrsgewohnheiten tabelliert enthält. In Bezug auf die Wurzelaufnahme der Radionuklide sei noch angemerkt, daß der Faktor NW_r eine Nuklidaufnahme über den Zeitraum von 50 Jahren nach der Emission berücksichtigt.

3.4 Jahresbelastung als Summe der Strahlenexposition zeitlich begrenzter Einzelemissionen

Bevor die Jahresbelastung einer exponierten Person am Orte (x,y) als Summe der stundenweise berechneten Einzeldosen formuliert wird, soll die bisherige Vorgehensweise noch einmal vergewärtigt werden:

In den Kap. 3.1 bis 3.3 wurde konsequent der Weg eines Schadstoffes r von der Emission durch einen Emittenten über die Ausbreitung aufgrund der zu der Zeit herrschenden meteorologischen Bedingungen bis hin zur Berechnung der daraus resultierenden Strahlenexposition verfolgt. Die nach Kap. 3.3 berechnete Einzeldosen beziehen sich demnach auf die Emission eines Emittenten während einer bestimmten Stunde des Jahres. Die Jahresbelastung durch einen Schadstoff am Orte (x,y) wird durch Summierung der Einzeldosen aufgrund der Stundenemissionen aller relevanten Emittenten der Umgebung während des ganzen Jahres berechnet.

Gamma-Submersion:

$$D_{yr}^{ao}(x,y) = \sum_h \sum_E \{D_{yr}^{ho}(x,y)\} \quad (3.4.1a)$$

$D_{yr}^{ho}(x,y)$ Einzeldosis aufgrund der h-ten Stundenemission des Emittenten E

Setzt man die Einzeldosis gemäß der Gl. 3.3.1 in Gl. 2.4.1a an, so erhält man:

$$D_{yr}^{ao}(x,y) = \sum_n \sum_E \{C_{yr}^h(x,y) \cdot g_{yr}^o\} \quad (3.4.1b)$$

Da die Dosiskonstanten der Gamma-Submersion g_{yr}^o unabhängig von der Ausbreitung der Schadstoffe ist, läßt sich mit der Definition

$$C_{yr}^a(x,y) = \sum_h \sum_E C_{yr}^h(x,y) \quad (3.4.1c)$$

die Gl. 3.4.1a unformulieren:

$$D_{yr}^{ao}(x,y) = C_{yr}^a(x,y) \cdot g_{yr}^o \quad (3.4.1d)$$

Für die Berechnung der Jahresbelastung ist es also vollkommen hinreichend, die entsprechend der Gl. 3.2.10 berechneten emittentenabhängigen Gamma-Submersionen C_{yr}^h am Orte (x,y) zu einem Jahresfaktor C_{yr}^a aufzusummieren.

Die Möglichkeit zur Berechnung der Organdosen der verschiedenen Bevölkerungsgruppen bleibt davon unberührt.

Beta-Submersion der Haut:

$$D_{\beta r}^a(x,y) = \sum_h \sum_E \{D_{\beta r}^h(x,y)\} \quad (3.4.2a)$$

$D_{\beta r}^h(x,y)$ Einzeldosis aufgrund der h-ten Stundenemission des Emittenten E

Setzt man Gl. 3.3.2 in Gl. 3.4.2a ein

$$D_{\beta r}^a(x,y) = \sum_h \sum_E \{C_r^h(x,y) \cdot g_{\beta r}\} \quad (3.4.2b)$$

und faßt die zeitintegrierten Konzentrationen C_r^h der nach Gl. 3.2.4 berechneten Stundenemissionen aller Emittenten am Orte (x,y) zu einer zeitintegrierten Jahreskonzentration $C_r^a(x,y)$ zusammen

$$C_r^a(x,y) = \sum_h \sum_E C_r^h(x,y) \quad (3.4.2c)$$

so erhält man:

$$D_{\beta r}^a(x,y) = C_r^a(x,y) \cdot g_{\beta r} \quad (3.4.2d)$$

Die Beta-Submersion der Haut ist direkt proportional der zeitintegrierten Schadstoffkonzentration am Orte (x,y) aufgrund Stundenemissionen aller Emittenten, wobei vorausgesetzt wird, daß sich die exponierte Person während des ganzen Jahres ausschließlich am Orte (x,y) aufhält.

Bodenstrahlung:

$$D_{Br}^{ao}(x,y) = \sum_h \sum_E \{D_{Br}^{ho}(x,y)\} \quad (3.4.3a)$$

Unter Zuhilfenahme der Gl. 3.3.3a und 3.3.3b ergibt sich

$$D_{Br}^{ao}(x,y) = \sum_h \sum_E \{F_r^h(x,y) + W_r^h(x,y)\} \cdot NB_r \cdot g_{Br}^o \quad (3.4.3b)$$

Aus Konsertivitätsgründen wird angenommen, daß sich unabhängig von der Vegetationszeit der Schadstoff während des ganzen Jahres auf der Pflanze ablagert. Setzt man für den Fallout

$$F_r^a(x,y) = \sum_h \sum_E F_r^h(x,y) \quad (3.4.3c)$$

und für den Washout

$$W_r^a(x,y) = \sum_h \sum_E W_r^h(x,y) \quad (3.4.3d)$$

an, so kann Gl. 3.4.3b wie folgt geschrieben werden:

$$D_{Br}^{ao}(x,y) = \{ F_r^a(x,y) + W_r^a(x,y) \} \cdot NB_r \cdot g_{Br}^o \quad (3.4.3e)$$

Die Bodenstrahlung wird durch die insgesamt am Orte (x,y) abgelagerte Menge durch Fallout und Washout bestimmt, wobei der Faktor NB_r (Gl. 3.3.3c) eine Aufenthaltsdauer der exponierten Person von 50a und die daraus erwachsenden Folgedosis beschreibt.

Inhalation:

$$D_{Ir}^{ao}(x,y) = \sum_h \sum_E \{ D_{Ir}^{ho}(x,y) \} \quad (3.4.4a)$$

Unter Einbeziehung der Gl. 3.3.4 erhält man:

$$D_{Ir}^{ao}(x,y) = \sum_h \sum_E \{ C_r^h(x,y) \cdot V \cdot g_{Ir}^o \} \quad (3.4.4b)$$

Setzt man ganzjährigen Aufenthalt der exponierten Person am Orte (x,y) voraus, kann die zeitintegrierte Konzentration des Jahres nach Gl. 3.4.2c in Gl. 3.4.4b eingesetzt werden:

$$D_{Ir}^{ao}(x,y) = C_r^a(x,y) \cdot V \cdot g_{Ir}^o \quad (3.4.4c)$$

Wie schon bei den anderen Belastungspfaden, läßt sich die Inhalationsexposition von der Summation der Einzeldosen auf eine Berechnung der zeitintegrierten Jahreskonzentration am Orte (x,y) reduzieren.

Ingestion:

$$D_{In,r}^{ao}(x,y) = \sum_h \sum_E \{D_{In,r}^{ho}(x,y)\} \quad (3.4.5a)$$

Setzt man Gl. 3.3.5c in Gl. 3.4.5a ein, ergibt sich für die Ingestionsdosis:

$$D_{In,r}^{ao}(x,y) = \sum_h \sum_E \{\delta(h) \cdot D_{1r}^{ho}(x,y) + D_{2r}^{ho}(x,y)\} \quad (3.4.5b)$$

Die Einzeldosis D_{1r}^{ho} berücksichtigt nur die direkte Ablagerung auf der Vegetation. Die Summation über diesen Term in Gl. 3.4.5b wird nur innerhalb der Vegetationsperiode (Andeutung durch den Index S) Beiträge liefern. Der zweite Term von Gl. 3.4.5b beinhaltet die über die Wurzel aufgenommenen Aktivitäten und muß die ganzjährig abgelagerten Mengen berücksichtigen:

$$D_{In,r}^{ao}(x,y) = \sum_S \sum_E D_{1r}^{ho}(x,y) + \sum_h \sum_E D_{2r}^{ho}(x,y) \quad (3.4.5c)$$

Zusammen mit den Bestimmungsgleichungen 3.3.5a und 3.3.5b ergibt sich

$$\begin{aligned} D_{In,r}^{ao}(x,y) &= \sum_S \sum_E \{F_r^h(x,y) + f_w \cdot W_r^h(x,y)\} \cdot ND_r \cdot g_{In,r}^o \\ &+ \sum_h \sum_E \{F_r^h(x,y) + W_r^h(x,y)\} \cdot NW_r \cdot g_{In,r}^o \end{aligned} \quad (3.4.5d)$$

Setzt man für die während der Vegetation abgelagerten Mengen durch Fallout

$$F_r^S(x,y) = \sum_S \sum_E F_r^h(x,y) \quad (3.4.5e)$$

und durch Washout

$$W_r^S(x,y) = \sum_S \sum_E W_r^h(x,y) \quad (3.4.5f)$$

und berechnet die ganzjährigen Ablagerungen gemäß den Gl. 3.4.3c und 3.4.3d, so ist letztlich die Ingestionsdosis in Gl. 3.4.5d gegeben durch:

$$\begin{aligned} D_{In,r}^{ao}(x,y) = & \{F_r^S(x,y) + f_W \cdot W_r^S(x,y)\} \cdot ND_r \cdot g_{In,r}^O \\ & + \{F_r^a(x,y) + W_r^a(x,y)\} \cdot NW_r \cdot g_{In,r}^O \end{aligned} \quad (3.4.5g)$$

Die Entwicklung der Ingestionsdosis aus der Summe über Einzeldosen in Gl. 3.4.5a bis hin zu der kompakten Form in Gl. 3.4.5g ist nur unter bestimmten Annahmen durchzuführen. Zu ihnen gehören unter anderem die Festlegung einer für alle Pflanzen geltenden einheitlichen Vegetationsperiode von einem halben Jahr, die hier vom 1.4. bis zum 30.9. angesetzt wurde, und die in den radioökologischen Faktoren ND_r und NW_r enthaltenen zeitlichen Entkopplung von Kontamination und Konsum der Nahrungsmittel. Auf die Berechtigung dieser Annahmen im Sinne von konservativen Abschätzungen soll in /7/ eingegangen werden.

3.5 Die Organdosen der Jahresbelastung als Summe über die Schadstoffe und Belastungspfade

Die Berechnungsgleichung der Organdosen des Kap. 3.4 für die verschiedenen Belastungspfade beziehen sich auf die Emission nur eines Schadstoffes. Die Gesamtbelastung des Organes für einen Belastungspfad ist als Summe über die Strahlenbelastung aller Nuklide anzusetzen:

Gamma-Submersion:

$$D_Y^{ao}(x,y) = \sum_r D_{Yr}^{ao}(x,y) \quad (3.5.1)$$

$D_{\gamma r}^{ao}(x,y)$ Gamma-Submersionsdosis des Organes o durch den Schadstoff r am Orte (x,y) (Gl. 3.4.1d)

Beta-Submersion der Haut:

$$D_{\beta}^a(x,y) = \sum_r D_{\beta r}^a(x,y) \quad (3.5.2)$$

$D_{\beta r}^a(x,y)$ Beta-Submersion der Haut durch den Schadstoff r am Orte (x,y) (Gl. 3.4.2d)

Bodenstrahlung:

$$D_B^{ao}(x,y) = \sum_r D_{Br}^{ao}(x,y) \quad (3.5.3)$$

$D_{Br}^{ao}(x,y)$ Bodenstrahlung des Organes o durch den Schadstoff r am Orte (x,y) (Gl. 3.4.3e)

Inhalation:

$$D_I^{ao}(x,y) = \sum_r D_{Ir}^{ao}(x,y) \quad (3.5.4)$$

$D_{Ir}^{ao}(x,y)$ Inhalationsdosis des Organes o durch den Schadstoff r am Orte (x,y)
(Gl. 3.4.4c)

Ingestion:

$$D_{In}^{ao}(x,y) = \sum_r D_{In,r}^{ao}(x,y) \quad (3.5.5)$$

$D_{In,r}^{ao}(x,y)$ Ingestionsdosis des Organes o durch den Schadstoff r am Orte (x,y) (Gl. 3.4.5g)

Addiert man die Beiträge der einzelnen Belastungspfade, so erhält man die Jahresbelastung eines Organes am Orte (x,y):

$$D^{ao}(x,y) = D_Y^{ao}(x,y) + D_B^{ao}(x,y) + D_I^{ao}(x,y) + D_{In}^{ao}(x,y) \quad (3.5.6)$$

Die Jahresbelastung ist nach /6/ für die Organe Ganzkörper, Schilddrüse, Knochen, Magen-Darm-Kanal, Lunge, Leber und Nieren entsprechend der Gl. 3.5.6 zu ermitteln. Bei der Berechnung der Hautdosis ist zusätzlich den in Gl. 3.5.6 berücksichtigten Belastungspfaden und die Beta-Submersion (Gl. 3.5.2) einzubeziehen. Unter dem Begriff "Ganzkörper"-Dosis ist entsprechend der StrlSchV die 50-Jahre Folgedosis bei gleichförmiger Ganzkörperbestrahlung zu verstehen.

Folgt man neueren Entwicklungen auf dem Gebiete des Strahlenschutzes, so kann nach /8/ mittels der einzelnen Organdosen einer exponierten Person eine effektive Ganzkörperdosis (Äquivalentdosis des Ganzkörpers) berechnet werden, die dann ein Maß für das Risiko bei ungleichförmiger Bestrahlung der einzelnen Organe sein soll:

$$H^a(x,y) = \sum_o w_o D^{ao}(x,y) \quad (3.5.7)$$

w_o Gewichtungsfaktor, der den Anteil des stochastischen Risikos darstellt, der sich aus dem Organ (Gewebe) o für das Gesamtrisiko ergibt

Neben den oben erwähnten Organen bzw. Geweben sind nach /8/ noch weitere wichtige Gewebedosen (Keimdrüsen, Brustdrüsen etc.) in Gl. 3.5.7 zu berücksichtigen.

4. Das Programmpacket CARE

4.1 Vorbemerkung

Das Rechenpacket CARE - calculation of the annual radiation exposure - ist ein Programm zur Berechnung der Jahresbelastung komplexer kerntechnischer Anlagen die durch die Aktivitätsfreisetzungen seiner Emittenten mit der Abluft verursacht werden. Bei der Auslegung des Programmpacketes CARE werden folgende zwei Aspekte der Umweltbelastung als Zielsetzungen vorgegeben:

- Die Berechnung der maximalen Strahlenexposition an der ungünstigsten Einwirkungsstelle gemäß §45 der StrlSchV. Im Falle kerntechnischer Anlagen mit mehreren Emittenten unterschiedlicher Emissionshöhe und örtlicher Lage innerhalb der Anlage werden die ungünstigsten Einwirkungsstellen der einzelnen Emittenten nicht am gleichen Orte zusammenfallen, sodaß die Berechnung für alle in Betracht kommenden Stellen in der Umgebung der Anlage zu erfolgen muß. Desweiteren soll an diesen Stellen eine möglichst umfassende Gesamtbeurteilung der Strahlenexposition gewährleistet sein, d.h. die berechneten Organdosen sollen nicht nur nach Nuklid- und Expositionspfadanteilen aufgeschlüsselt werden, sondern darüber hinaus die unterschiedlichen Emittentenbeiträge an der Gesamtbelastung angeben.

- Die Berechnung regionaler Aspekte der Strahlenexposition, d.h. die Darstellung der Organdosen in Form von Isodosislinien bis zu einem Entfernungsbereich von 20 bis 50 km. Die Organdosen sollen in diesem Falle nach Nukliden und Expositionspfaden aufgeschlüsselt werden können, wobei der zu erfassende Bereich von dem Benutzer flexibel vorgegeben werden kann.

Beide Aspekte beanspruchen in programmtechnischer Hinsicht einen großen aber unterschiedlich strukturierten Speicherplatzbedarf, da die erste Zielsetzung hohe Informationsdichte an wenigen Aufpunkten beinhaltet, für die Erfüllung der zweiten Forderung komprimierter Informationsgehalt an möglichst vielen Aufpunkten benötigt wird.

Die Jahresbelastung selbst wird in dem Programmpacket CARE als resultierende Strahlenexposition der stundenweise emittierten Schadstoffe ermittelt, wobei folgende Angaben als Eingabeparameter benötigt werden:

- Die gemessenen Abgaberraten der einzelnen Schadstoffe jedes Emittenten der kerntechnischen Anlage, die in chronologischer Reihenfolge für den gesamten Zeitraum stundenweise vorliegen sollten.

- Die für die Ausbreitung der Schadstoffe maßgebenden meteorologischen Daten des realen Wetterablaufes, d.h. Ausbreitungsrichtung, Diffusionskategorie, Windgeschwindigkeiten in allen benötigten Emissionshöhen und der Niederschlag, die stundenweise während des fraglichen Zeitraumes erfasst sein müssen.

Bei den hierfür anzuwendenden aufwendigen Rechenvorschriften des Kap. 3 müssen vor allem für die große Zahl der routinemäßig erfaßten Aktivitätsfreisetzungen rationelle Rechenverfahren zur Kosten- und Rechenzeitsenkung angewendet werden.

Letztlich ist das Rechenprogramm CARE, da es in erster Linie für die Belange der Kernforschungsanlage Jülich entwickelt wurde, ein Mehr-Quellen-Programm:

- Die individuelle Schadstoffausbreitung der Nuklide bzw. die daraus resultierende Strahlenexposition wird entsprechend der tatsächlichen Lage seiner Emittenten innerhalb der kerntechnischen Anlage an konkret markierbaren Aufpunkten in der Umgebung berechnet.

Der Aufbau des Programmpaketes CARE wurde dabei so allgemeinernd angelegt, daß sowohl die Zahl der Emittenten als auch ihre Lage innerhalb oder außerhalb der betreffenden kerntechnischen Anlage keiner Beschränkung unterliegt.

Um alle angesprochenen Randbedingungen in Hinblick auf die beiden Aspekte der Umweltbelastung in einem flexiblen und handhabbaren Computerprogramm realisieren zu können, wurde CARE als Programmpaket in abgeschlossene selbständige Teile zerlegt. In den folgenden Kapiteln wird auf den Umfang und die Anwendungsmöglichkeiten des Programmpaketes CARE eingegangen.

4.2 Struktur und Aufbau

Das Programmpaket CARE stützt sich bei der Berechnung der Umweltbelastung auf das in Kap. 3 formulierte Rechenmodell. Bei diesem Modell werden die Organdosen an konkreten Aufpunkten in der Umgebung der kerntechnischen Anlage als Summe über alle an

diesem Orte auftretenden Einzelbeiträge für jedes Organ berechnet. Diese Einzeldosen resultieren dabei aus den stundenweise emittierten Schadstoffen aller Emittenten der kerntechnischen Anlage, die über die einzelnen Expositionspfade das betreffende Organ an diesem Aufpunkt erreichen können. Dabei zeigte sich in Kap. 3.4, daß die Dosisbeiträge der verschiedenen Schadstoffe direkt mit Hilfe der aufsummierten Ausbreitungsfunktionen über die einzelnen Expositionspfade berechnet werden können, d.h. wie schon unter der Anwendung von Langzeitausbreitungsfaktoren im Falle des Mehr-Quellen-Modells SESAM /9/ lassen sich auch bei diesem Rechenmodell zwei Vorgänge unabhängig voneinander beschreiben: Die Ausbreitung der Schadstoffe durch turbulente Diffusion und die Wirkung der Stoffe auf den Menschen bzw. deren Strahlenexposition. Das Programmpaket wurde daher in drei abgeschlossene Teile zerlegt, wobei in den ersten zwei die Ausbreitungsrechnungen durchgeführt werden, während im dritten Teil die unterschiedlichen Aspekte der Dosisberechnung behandelt werden (s. Abb. 4.2.1).

4.3 Berechnung der Ausbreitungsfunktionen

In diesem ersten Schritt werden die Ausbreitungsfunktionen im Sinne der Ein-Quellen-Situation für jeden Emittenten getrennt berechnet. Dazu werden nach den Gleichungen des Kap. 3.2 und 3.4 die Ausbreitungsfunktionen für jedes emittierte Nuklid des Emittenten an standardisierten Aufpunkten eines emittenteneigenen Polarkoordinatenrasters stundenweise berechnet und über den gesamten zu berücksichtigenden Zeitraum aufsummiert. Diese so für die verschiedenen Aufpunkte ermittelten integralen Jahreswerte der Ausbreitungsfunktionen werden zusammen mit den Lagekoordinaten des Emittenten auf externen Datenträger geschrieben. Die Speicherung auf externe Datenträger erfolgt aus zwei Gründen: Zum ersten ist diese Rechnung mit erheblichen Rechenaufwand verbunden - für jede der 8760 Stunden eines Jahres ist in Ausbreitungsrichtung die Gaußverteilung zu bestimmen - und zweitens wird hierdurch gerade im Hinblick auf die unterschiedlichen Aspekte der Strahlenexposition die Flexibilität des Programmpaketes gewährleistet.

Für die Berechnung stehen dem Anwender zwei Programmversionen zur Verfügung (s. Abb. 4.2.1):

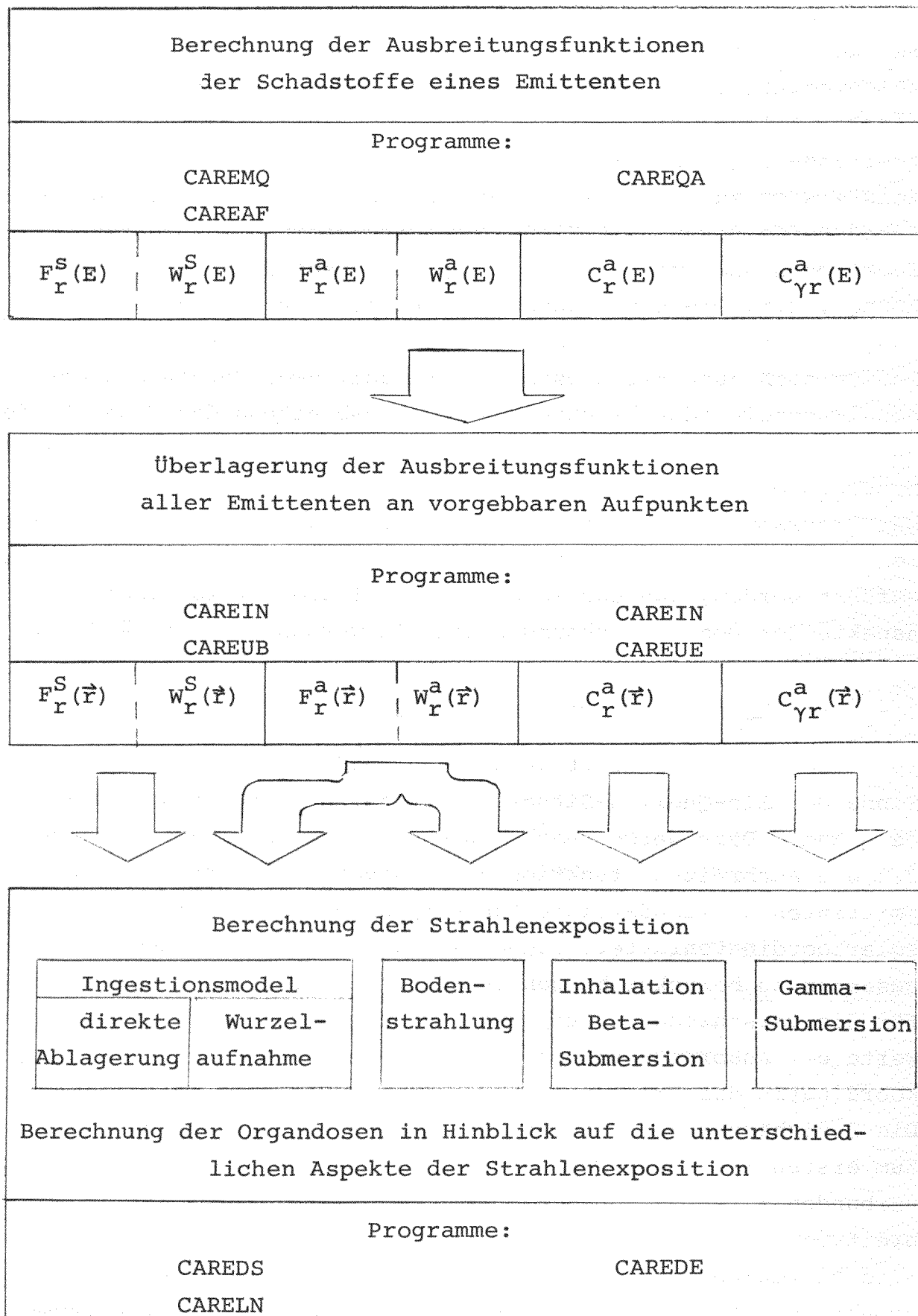


Abb. 4.2.1: Aufbau des Programmpaketes CARE

Mit den zusammengehörenden Programmen CAREMQ/CAREAF werden die routinemäßig erfaßten Emissionen aller Emittenten bearbeitet. Da die meteorologischen Daten in der Kernforschungsanlage Jülich als Stundenwerte auf Magnetband vorliegen und die Emissionsdaten aller Nuklide aller Emittenten gleichzeitig als Tageswerte auf Magnetband abgespeichert werden, wird die Berechnung des Ausbreitungsfunktionen aus rationellen Gründen in zwei Schritten durchgeführt. Im ersten Schritt werden aus obigem Datenmaterial mit dem Programm CAREMQ kompakte Statistiken - Zuordnung z.B. der Quellstärke, Windgeschwindigkeit, Diffusionskategorie und Ausbreitungsrichtung - für jedes Nuklid eines jeden Emittenten gemäß der Summenformeln des Kap. 2.4 erstellt, die dann in einem zweiten Schritt mit dem Programm CAREAF zu individuellen Ausbreitungsfunktionen eines jeden Nuklides weiter verarbeitet werden. Zur Abschätzung des Rechenaufwandes sei an dieser Stelle bemerkt, daß für die Kernforschungsanlage Jülich 40% des Gesamtaufwandes zu Lasten des Programmes CAREMQ gehen.

Mit dem Programm CAREQA können unter Angabe der Einzelwerte für die Quellstärke und den meteorologischen Ausbreitungsparametern die Ausbreitungsfunktionen von Einzelemissionen behandelt werden. Es dient der Berücksichtigung von Zwischenfällen bei der Jahresbelastung.

4.4 Überlagerung der Ausbreitungsfunktionen

In diesem Teil des Programmes CARE wird der zweite Schritt zur Berechnung der Ausbreitungsfunktionen der Schadstoffe durchgeführt. Dabei muß der Bezug zwischen den emittentenbezogenen Verteilungen der Schadstoffe des vorangegangenen ersten Rechenschrittes und den konkreten Aufpunkten in der Umgebung der kern-technischen Anlage hergestellt werden. Durch die Möglichkeit der freien Auswahl der Aufpunkte in dieser Phase der Ausbreitungsrechnung kann das Programmpaket CARE flexibel und problemorientiert allen anstehenden Sachfragen angepasst werden. Zum anderen wird mit diesem Teil der Übergang von der Ein-Quellen-Rechnung zur Mehr-Quellen-Betrachtung vollzogen. Dazu werden die im ersten Teil erstellten Ausbreitungsfunktionen für jedes Nuklid emittentenweise von Magnetband eingelesen, entsprechend der Lagekoordinaten des jeweiligen Emittenten an den vorgegebenen Aufpunkten interpoliert und für die nachfolgende Umweltbelastungsrechnung auf einer externen Datenplatte abgespeichert. Die

Entscheidung über die anzuwendende Organisationsform der Daten richtet sich nach dem später zuuntersuchenden Aspekt der Strahlenexposition. Im einzelnen ist folgender Programmablauf vorgegeben:

Mit dem Programm CAREIN wird die Datenplatte für die jeweilige Überlagerungsrechnung vorbereitet. Neben der Löschung sämtlicher früheren Informationen auf diesem externen Datenträger werden mit Hilfe dieses Programmes die Koordinaten der Aufpunkte für die Überlagerungsrechnung festgelegt. Die Anordnung dieser für die spätere Berechnung der Strahlenexposition maßgebenden Aufpunkte ist dabei dem Anwender völlig offen gelassen. Sie reicht von beliebigen Rechteckrastern über Polarkoordinatennetze bis hin zu frei wählbaren Koordinaten wie z.B. die einer Anlagenbegrenzung oder auch die von Ortschaften. Nach der Vorbereitung der Datenplatte für die Abspeicherung der Überlagerungsfunktionen, muß die Entscheidung über den Aspekt der zu untersuchenden Strahlenexposition getroffen werden. Dies ergibt sich zwangsläufig aus dem begrenzten Platz auf der Datenplatte, da alternativ entweder eine hohe Informationsdichte für wenige Aufpunkte oder komprimierte Information für entsprechend viele Aufpunkte gespeichert werden kann.

Mit dem Programm CAREUB werden die individuellen Ausbreitungsfunktionen der Nuklide an den durch CAREIN vorgegebenen Aufpunkten berechnet und als Summe über die Emittenten nuklidweise auf der Datenplatte abgespeichert. Durch den Verzicht auf die einzelnen Emittentenanteilen an den jeweiligen Aufpunkten können in diesem Programm bis zu 2000 Aufpunktskoordinaten berücksichtigt werden. Dieses Programm wird für die Berechnung von Isodosislinien der Strahlenexposition angewendet.

In dem Programm CAREUE ist die Zahl der Aufpunktskoordinaten für die Überlagerung auf 100 begrenzt. Mit Hilfe dieses Überlagerungsprogramms sollen detaillierte Fragen wie z.B. die Strahlenexposition an der Anlagenbegrenzung mit vollständiger Aufschlüsselung nach Emittenten- und Nuklidanteilen untersucht werden. Entsprechend der Zielsetzung werden die individuellen Ausbreitungsfunktionen der Nuklide an den wenigen Aufpunkten überlagert und nach Nukliden und Emittenten getrennt auf der Datenplatte abgespeichert. Die resultierenden Überlagerungen lassen die spätere vollständige Aufschlüsselung der Strahlenexposition nach Emitten-

ten, Nukliden oder Expositionspfaden an den gewählten Aufpunkten zu.

4.5 Berechnung der Strahlenexposition

Die Strahlenexposition wird entsprechend den Gleichungen des Kap. 3.4 für die einzelnen Expositionspfade und den Summenformeln des Kap. 3.5 für die verschiedenen Organe berechnet. Wie schon in Kap. 4.4 dargelegt, können mehrere Aspekte der Strahlenexposition untersucht werden. Für jeden diesen Aspekt steht dabei ein selbständiger Programmteil zur Verfügung. Trotz der unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten haben diese Programme alle folgende Möglichkeiten bei der Berechnung:

- In jedem Programm kann die Strahlenexposition nach /6/ für den Erwachsenen und das Kleinkind berechnet werden.
- Die Berechnung der Strahlenexposition kann für die Organe Haut, Knochen, Lunge, Leber, Niere, Magen-Darmkanal, Schilddrüse und Ganzkörper durchgeführt werden.
- In allen Programmen ist die Berechnung der Strahlenexposition über folgende Expositionspfade möglich:
Betasubmersion, Gammasubmersion, Bodenstrahlung, Inhalation und Ingestion. Wahlweise können die resultierenden Organdosen als Summe über alle Expositionspfade, für einzelne Expositionspfade oder als Summe einer beliebigen Auswahl an Expositionspfaden berechnet werden.
- Desweiteren kann die Strahlenexposition als Summe über alle Nuklide für Einzelnuklide oder auch als Summe einer beliebigen Nuklidauswahl berechnet werden.

Neben diesen generellen programmtechnischen Möglichkeiten decken die einzelnen Programmteile folgende Aspekte ab:

Das Programm CAREDE ist in erster Linie für Rechnungen zum §45 der StrlSchV erstellt worden. Dieses Programm erwartet die Überlagerungsfunktionen, die von dem Programm CAREUE erstellt wurden. Die berechneten Organdosen können in graphischer Form, z.B. als Schnitt entlang der Anlagenbegrenzung, und als Zahlen weiter in Tabellenform ausgegeben werden, wobei die Strahlenexposition nach Nukliden, Emittenten und Expositionspfaden aufgeschlüsselt werden kann. Bei diesem Programmteil wurde Wert auf eine möglichst umfassende Lagebeurteilung der Gesamtanlage gelegt, um gegebenenfalls aus den Ergebnissen Konsequenzen für die Ableitungen einzelner Emittenten ziehen zu können.

Beide Programmteile CAREDS/CARELN erwarten auf der Datenplatte die Überlagerungsanordnung, die mit dem Programm CAREUB erstellt wurde. Bei beiden Programmen ist also keine Hinterfragung nach den einzelnen Emittentenanteilen mehr möglich. CAREDS erstellt die Strahlenexposition z.B. für regionale Aspekte in der weiteren Umgebung der kerntechnischen Anlage und gibt die Organdosen in graphischer Form als Isodosislينien oder tabelliert aus. Diese Organdosen können, wie oben erwähnt, für einzelne Nuklide oder Nuklidgruppen und einzelnen Expositionspfade oder beliebigen Teilsummen ausgegeben werden. Mit Hilfe des Programmes CARELN lassen sich unter denselben Gesichtspunkten wie bei dem Programm CAREDS beliebige Schnitte durch das auf der Datenplatte vorhandene Rastergebiet legen, die in graphischer Form und in Tabellen ausgegeben werden können. Als Anwendung läßt sich mit diesem Programm der schnelle Abfall der Strahlenexposition mit der Entfernung von der Anlage demonstrieren.

5. Anwendungsbeispiele aus dem Bereich der Kernforschungsanlage Jülich

5.1 Berechnung der Strahlenexposition und Vergleich mit den Dosisgrenzwerten

Aufgrund der niedrigen Emissionshöhen oder der großen Entfernung zum Betriebszaun liegen die absoluten Ausbreitungsmaxima für alle Emittenten der Kernforschungsanlage Jülich auf dem Betriebsgelände. Daher kann die Berechnung der maximalen Strahlenexposition gemäß §45 der StrlSchV am Betriebszaun als den Orten der ungünstigsten Einwirkungsstellen in den verschiedenen Richtungen erfolgen. Der Rechenablauf kann dabei folgendermaßen beschrieben werden:

Sowohl für die Berechnung der Strahlenexposition im Nahbereich zur Isopletendarstellung als auch bei der Bestimmung ihrer Werte am Betriebszaun werden mit den Programmen CAREMQ/CAREAF die Ausbreitungsfunktionen der routinemäßig auf Datenträgern erfaßten Ableitungen aller Emittenten berechnet. Darüber hinaus müssen noch die Ausbreitungsfunktionen für Einzelemissionen wie z.B. den Ausbreitungsexperimenten mit dem Programm CAREQA erstellt werden. Für die Berechnung der Strahlenexposition am Betriebszaun werden mit dem Programm CAREIN die Aufpunkte des Zaunes eingelesen und

mit dem Programm CAREUE die Überlagerungsfunktionen berechnet. Anschließend werden mit dem Programm CAREDE graphische Darstellungen und Tabellen der Strahlenexposition am Betriebszaun erstellt und nach unterschiedlichsten Gesichtspunkten aufgeschlüsselt.

Als Beispiel dieser Berechnung sollen 4 Abbildungen der Jahresbelastung aus dem Jahre 1980 dienen. Auf die Dokumentation der entsprechenden Zahlenwerte soll in diesem Bericht verzichtet werden. In Abbildung 5.1.1 ist die Knochendosis des Erwachsenen als Summe über alle Expositionspfade und Nuklide nach Emittenten aufgeschlüsselt dargestellt. Abrisse aller Abbildungen beschreibt im Norden beginnend die Lage der Aufpunkte am Zaun im Uhrzeigersinn. Das absolute Maximum der Knochendosis des Erwachsenen wird dabei allein vom Emittenten AVR verursacht.

Abbildung 5.1.2 zeigt eine weitergehende Analyse der Knochendosis des Erwachsenen. In dieser Darstellung wird die Dosis, die nur durch die Ingestion des Nuklides C14 verursacht wird, ebenfalls nach Emittenten aufgeschlüsselt gezeigt. Durch Vergleich mit Abbildung 5.1.1 erkennt man, daß das absolute Maximum im wesentlichen durch die Ableitung dieses einen Nuklides bestimmt ist. Der Grund hierfür liegt nicht in der hohen Emissionsrate des betreffenden Emittenten, sondern in der geringen Entfernung dieses Emittenten zum Betriebszaun.

Als Kontrast ist in den Abbildungen 5.1.3 und 5.1.4 der Dosisverlauf der Schilddrüse des Kleinkindes dargestellt. Abbildung 5.1.3 schlüsselt dabei die Schilddrüsendosis nach Emittenten auf, während in Abbildung 5.1.4 nach Nuklidanteilen differenziert wird. Bemerkenswert ist, daß zwei konkurrierende Maxima am Betriebszaun auftreten. Dieses zweite Maximum wird, wie in Abbildung 5.1.4 zu sehen ist, durch die Emission des Nuklides J125 aus dem Bereich der DE verursacht, die zu 100% als Ableitung von elementarem Jod angesetzt wurde. Diese J125-Emission wird im Kapitel 5.3 als Beispiel für eine Zwischenfallbehandlung aufgeführt werden.

5.2 Berechnung der Strahlenexposition im Nahbereich der Anlage

Im Falle der Kernforschungsanlage Jülich liegen die ungünstigsten Einwirkungsstellen am Betriebszaun. Da hier niemand wohnt und diese Flächen landwirtschaftlich nicht genutzt werden, errechnet

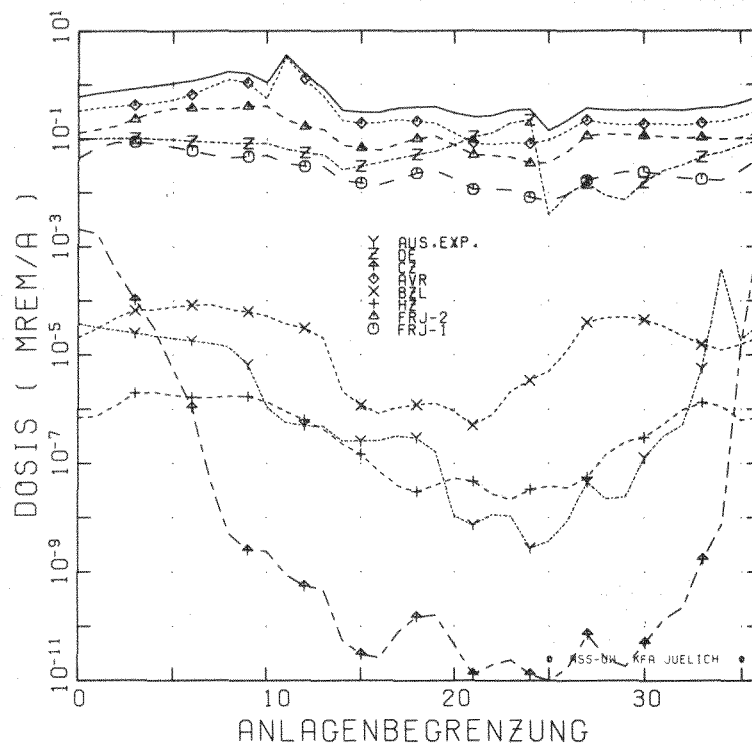


Abb. 5.1.1: Knochendosis des Erwachsenen entlang der Anlagenbegrenzung nach Emittenten aufgeschlüsselt (1980)

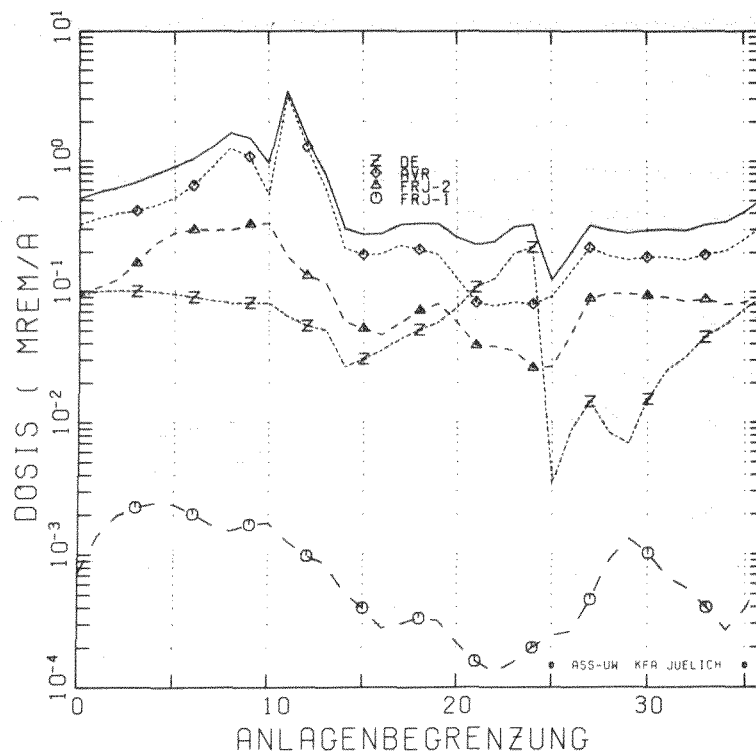


Abb. 5.1.2: Knochendosis des Erwachsenen über den Ingestionspfad durch das Nuklid C14 entlang der Anlagenbegrenzung nach Emittenten aufgeschlüsselt (1980)

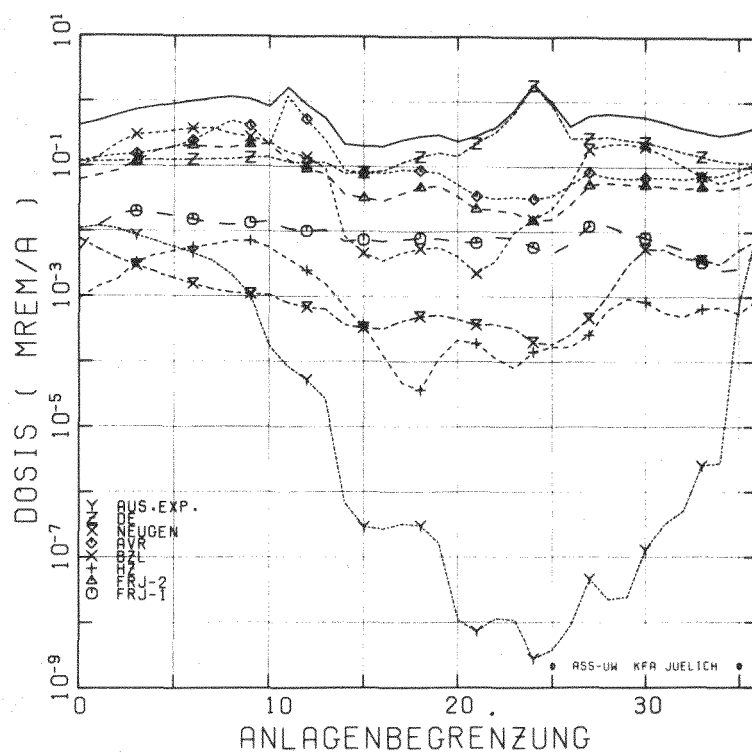


Abb. 5.1.3: Schilddrüsendosis des Kleinkindes entlang der Anlagenbegrenzung nach Emittenten aufgeschlüsselt (1980)

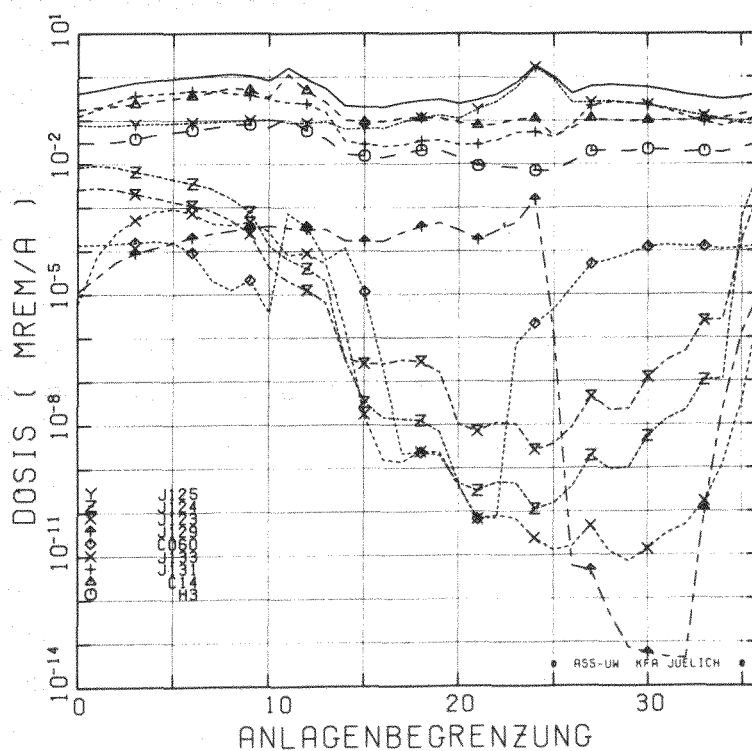


Abb. 5.1.4: Schilddrüsendosis des Kleinkindes entlang der Anlagenbegrenzung nach Nukliden aufgeschlüsselt (1980)

man für diese Orte eine fiktive Dosis. Die Berechnung der Strahlenexposition in der näheren Umgebung dient daher zur Dokumentation der potentiellen Strahlenbelastung der Bevölkerung, da bei ihr ein unmittelbarer Bezug zur Dosis von Einzelpersonen hergestellt werden kann. Die Dosisverteilungen solcher Rechnungen werden üblicherweise als Isodosislينien dokumentiert.

Wie schon für die Berechnung der Strahlenexposition am Betriebszaun sind für diese Rechnungen mit dem Programmen CAREMQ/CAREAF und CAREQA die individuellen Ausbreitungsfunktionen aller emittierten Nuklide emittentenbezogen auf Band vorbereitet worden. Mit dem Programm CAREIN wird ein Rechteckraster als Aufspunktskoordinatennetz vorbereitet, an dem dann mit dem Programm CAREUB die Überlagerung als Summe über alle Emittenten durchgeführt wird. Anschließend können mit dem Programm CAREDS und CARELN die interessierenden Isodosisdarstellungen oder Schnittdarstellungen erzeugt werden.

Als Anwendungsbeispiel wird auf die Berechnung der Jahresbelastung von 1978 zurückgegriffen. Die vier Isodosisdarstellungen erfassen einen Bereich von 27 km x 27 km und sind in schematische Karten der Umgebung mit dem Rechner eingezeichnet. Die Zahlenangaben an den jeweiligen Isodosislينien bezeichnen die Höhe der Strahlenexposition, die in der Einheit mrem/a angegeben ist.

In Abbildung 5.2.1 ist die Ganzkörperdosis der Erwachsenen zu sehen. Die Dosis wurde als Summe über alle Nuklide, Expositionspfade und Emittenten berechnet. Auffallend an der Dosisverteilung sind die zwei vorherrschenden Windrichtungen. Abbildung 5.2.2 stellt einen Beitrag zur obigen Ganzkörperdosis dar. Sie zeigt die Ingestionsdosis der H₃-Emissionen mit nahezu demselben Verteilungsmuster. Durch Vergleich beider Abbildungen sieht man, daß die Ganzkörperdosis im Jahre 1978 fast ausschließlich durch H₃ verursacht wird. Das Verteilungsmuster dieser Dosis wird in diesem Falle nicht durch die meteorologischen Wetterlagen des gesamten Jahres geprägt, sondern geht auf eine Hauptemission eines kurzen Zeitraumes mit zwei vorherrschenden Wetterlagen zurück.

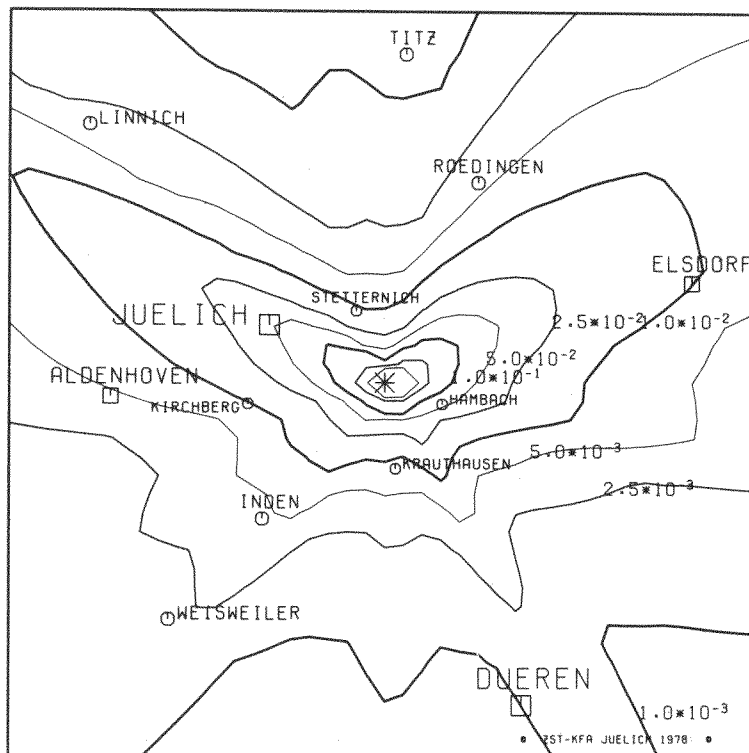


Abb. 5.2.1: Ganzkörperdosis des Erwachsenen in der näheren Umgebung (1978)

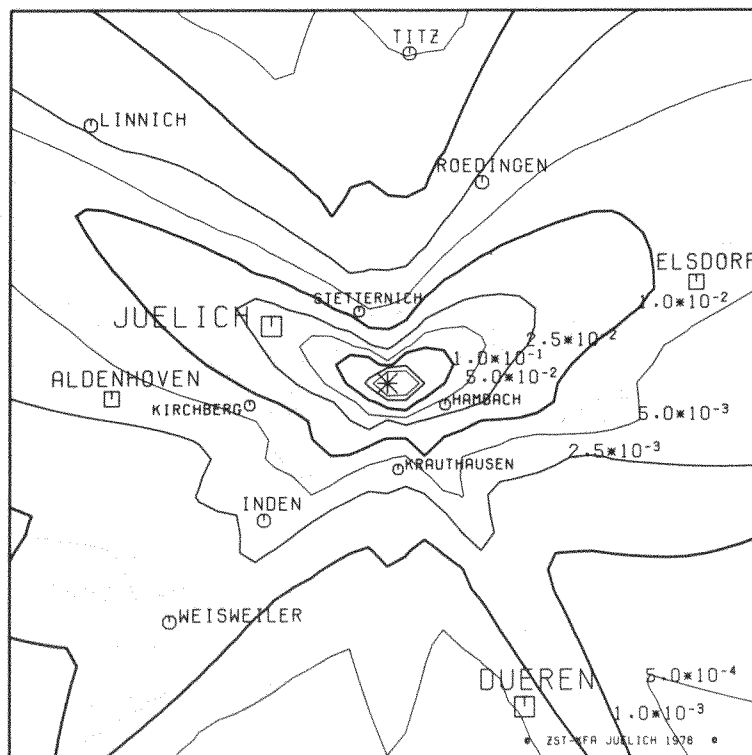


Abb. 5.2.2: Ganzkörperdosis des Erwachsenen über den Ingestionspfad durch das Nuklid H3 in der näheren Umgebung (1978)

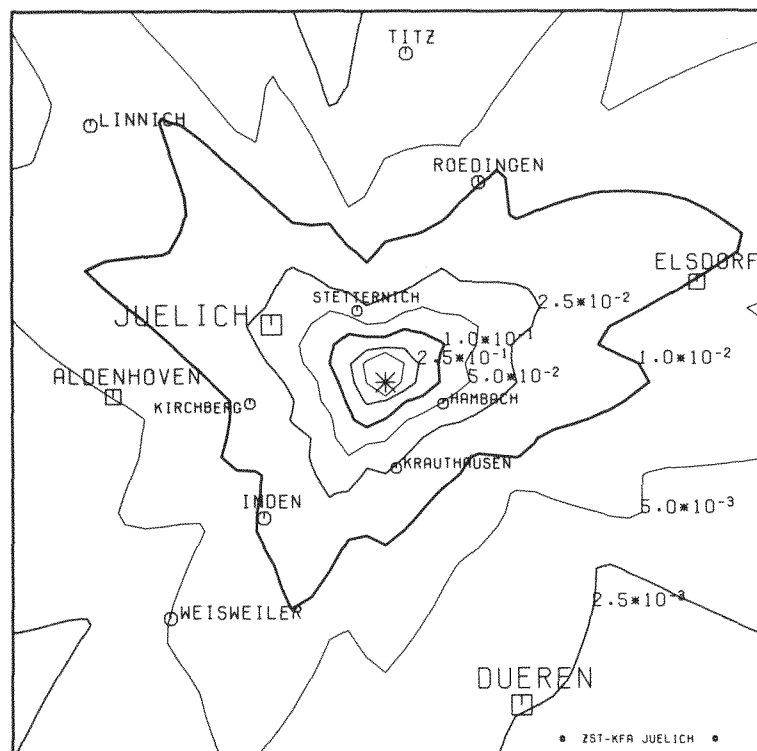


Abb. 5.2.3: Schilddrüsendosis des Erwachsenen über den Ingestionspfad durch das Nuklid J131 in der näheren Umgebung (1978)

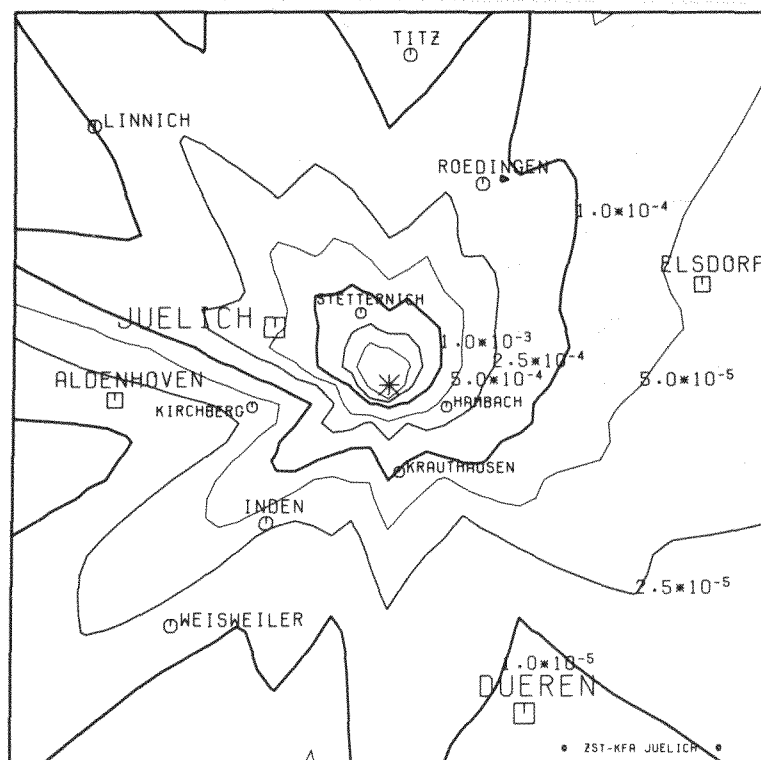


Abb. 5.2.4: Schilddrüsendosis des Erwachsenen über den Inhalationspfad durch das Nuklid J131 in der näheren Umgebung (1978)

In den Abbildungen 5.2.3 und 5.2.4 ist die Schilddrüsendosis des Erwachsenen durch die Emissionen von J131 aus der Anlage dargestellt. Dabei wird in Abbildung 5.2.3 die Dosis über den Ingestionspfad und in Abbildung 5.2.4 ausschließlich durch die Inhalation berechnet. Beim Vergleich beider Verteilungsmuster wird die unterschiedliche Behandlung von Ingestion und Inhalation des Nuklides J131 und der reale Bezug zwischen Emissionszeitpunkt und der daraus folgenden Strahlenexposition in dem Modell CARE deutlich. Während die Inhalation ganzjährig zu einer Strahlenbelastung führt, werden bei der Ingestion im Falle kurzlebiger Radionuklide nur solche Emissionen berücksichtigt, die während des Vegetationszeitraumes erfolgt sind.

5.3 Behandlung von Zwischenfällen als Einzelemission

Da in der Kernforschungsanlage Jülich neben den quasi-kontinuierlichen Emissionen auch betriebsnotwendig bei Experimenten Einzelemissionen vorkommen, wurde in dem Programm CARE auch diese Möglichkeit zur Berechnung der Strahlenexposition mit aufgenommen. Bei solchen Einzelemissionen handelt es sich hauptsächlich um kurzzeitige Ableitungen von wenigen Stunden, die zum Teil nicht mehr als Tagesmittelwerte zu behandeln sind, sondern stundenweise bei der Jahresbelastungsrechnung berücksichtigt werden müssen. Ähnlich kann die nachträgliche Beurteilung von Zwischenfällen erfolgen.

Durch die Eingabe der stundenweise gemessenen Emissionsrate der Nuklide, der Windrichtung, der Diffusionskategorie, der Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe und der Niederschlagsintensität werden mit dem Programmteil CAREQA die Ausbreitungsfunktionen in der gleichen standardisierten Weise auf Band geschrieben, wie dies im Routinefalle durch die Programme CAREMQ/CAREAF geschieht.

Anschließend können zur Beurteilung von Zwischenfällen über das Überlagerungspaket CAREIN/CAREUB zusammen mit dem Programm CAREDS Isodosisdarstellungen erzeugt und mit den Programmen CAREIN/CAREUE die maximale Dosis tabelliert werden. Die akute Störfallprognose und die Einleitung von Sofortmaßnahmen aufgrund von Rechenergebnissen kann mit dem Programm CARE dagegen nicht abgedeckt werden.

Als Beispiel einer Anwendung wurde eine Freisetzung von J 125 aus dem Jahre 1980 ausgewählt, die bei der Veraschung von kontaminierten Abfällen aufgrund von Fehldeklarationen der Anlieferer an drei Tagen zu Überschreitungen der genehmigten Tagesabteilungswerte der betreffenden Installation führte und für den damals das Programm CARE zum ersten Male bei Zwischenfälle angewendet wurde. Da die Emissionen während des Vegetationszeitraumes erfolgten wurde die Strahlenexposition für den bei Radiojod ungünstigsten Fall der Ingestionsbelastung der Schilddrüse von Kleinkindern berechnet.

In Abbildung 5.3.1 ist diese Schilddrüsendosis als Relief dargestellt, während Abbildung 5.3.2 die resultierende Isodosisdarstellung zeigt. In beiden Abbildungen beträgt das zugrunde gelegte Gebiet 4 km x 4 km, die Zahlenangaben an den Isodosislينien bezeichnen die Strahlenexposition in der Einheit mrem. Diese beiden Abbildungen werden ergänzt durch die nach Ablauf des Jahres 1980 routinemäßig erstellte Jahresbelastung. In Abbildung 5.3.3 ist die Schilddrüsendosis des Kleinkindes längs des Betriebszaunes zu sehen. Diese Dosis beinhaltet aus Vergleichbarkeitsgründen zur Zwischenfallrechnung nur die Ingestionsdosisanteile durch das Radiojod, das insgesamt 1980 aus dem Bereich der Anlage emittiert wurde. Das absolute Maximum wird allein durch die Emission des J125 aus dem oben geschilderten Falle gebildet. Wie der Abbildung weiter zu entnehmen ist, führte obiger Zwischenfall zu keiner nennenswerten Strahlenexposition der Bevölkerung. Abbildung 5.3.4 unterstreicht diese Schlußfolgerung, in der wie in Abbildung 5.3.3 die Schilddrüsendosis des Kleinkindes durch die Ingestionsbelastung des Radiojods als Isodosislينien dargestellt sind. Auch in dieser Abbildung sind deutlich die Auswirkungen des obigen Zwischenfalls auf die Dosisverteilung in dem 27 km x 27 km-Bereich um die Anlage zu sehen. Die Zahlenangaben an den Isodosislينien dieser Abbildungen geben die Dosis in den Einheiten mrem/a an.

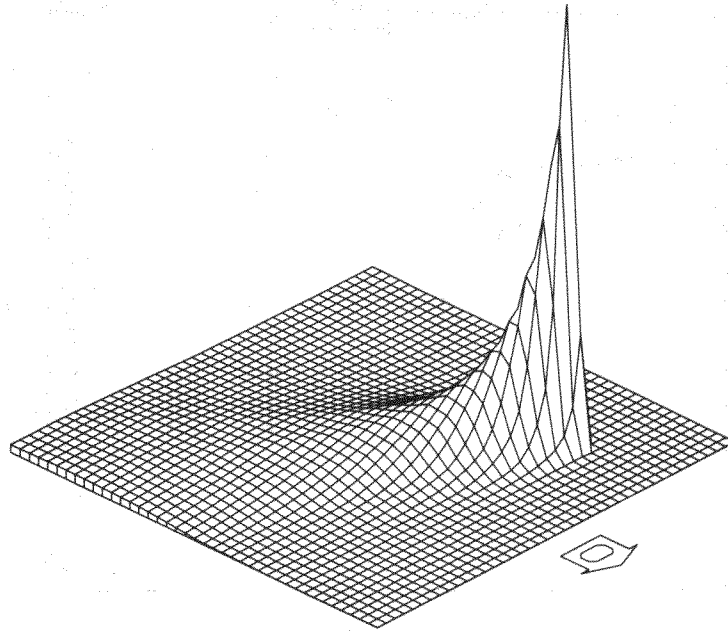


Abb. 5.3.1: Reliefdarstellung der Schilddrüsendosis des Kleinkindes über den Ingestionspfad durch das Nuklid J125 (1980)

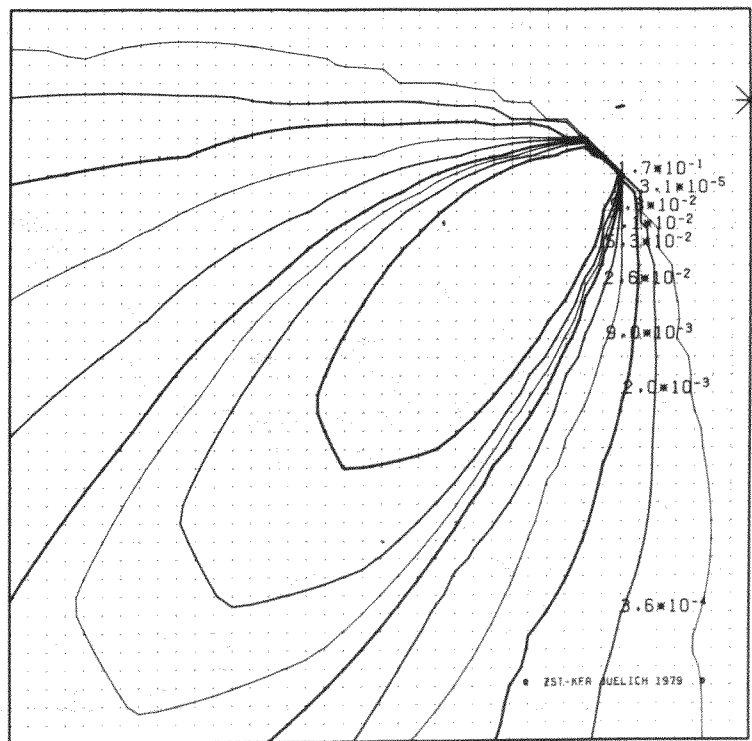


Abb. 5.3.2: Schilddrüsendosis des Kleinkindes über den Ingestionspfad durch das Nuklid J125 in der unmittelbaren Umgebung des Verursachers (1980)

Literatur

- /1/ Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 125
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen
(Strahlenschutzverordnung - StrlSchV)
Bonn, 1976
- /2/ D.H. Stade
Meteorology and Atomic Energy 1968
USAEC, TID-24190 (1968)
- /3/ F. Pasquill
Atmospheric Diffusion
van Nostrand, London 1962
- /4/ H.D. Brenk, K.J. Vogt
Konzeption für eine praxisnahe Berechnung der Ablagerung radioaktiver Stoffe aus der Abluft kerntechnischer Anlagen durch Niederschlag
KFA-Bericht Jül-1328, 1976
- /5/ J. Porstendoerfer
Radioaktive Aerosole und deren Exposition in der Biosphäre
German Research Report 1978 für Project St.Sch-627
sponsored by the Federal Ministry of the Interior,
Federal Republic of Germany
- /6/ Der Bundesminister des Innern
Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer
ISSN 0341 - 1435, Bonn, 1976
- /7/ H.G. Ehrlich, K. Heinemann
Radioökologische Umrechnungsfaktoren der Ingestion bei Einzelemissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft
KFA-Bericht (in Vorbereitung)

- /8/ Recommendation of the International
Commission on Radiological Protection
ICRP Publication 26
Peramon Press, Oxford - New York - Frankfurt, 1978

- /9/ H.G. Ehrlich, K.J. Vogt, E. Brunen
SESAM - Ein Modell zur Berechnung der Strahlenexposition
durch Emission von Schadstoffen mit der Abluft im Falle
der Mehr-Quellen-Situation
KFA-Bericht, Jül-1976, 1980