



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Zentralabteilung Strahlenschutz

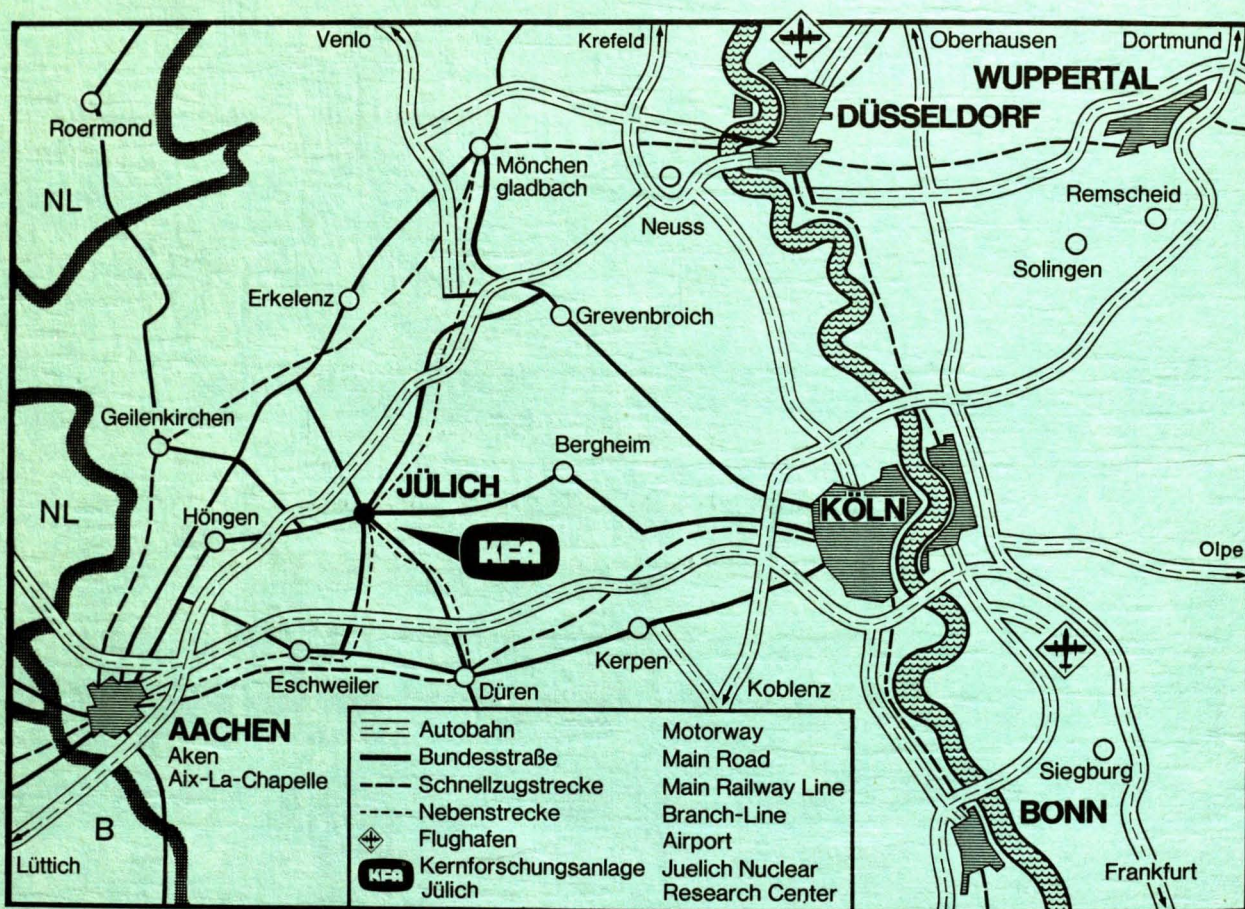
**Konzeption für eine praxisnahe
Berechnung der Ablagerung
radioaktiver Stoffe aus der Abluft kern-
technischer Anlagen durch Niederschlag**

von

H. D. Brenk und K. J. Vogt

**Jül - 1328
August 1976**

Als Manuskript gedruckt



Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 1328

Zentralabteilung Strahlenschutz Jül – 1328

Im Tausch zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH,
Jülich, Bundesrepublik Deutschland

**Konzeption für eine praxisnahe
Berechnung der Ablagerung
radioaktiver Stoffe aus der Abluft kern-
technischer Anlagen durch Niederschlag**

von

H. D. Brenk und K. J. Vogt

Abstract

In connection with a realistic calculation of soil contamination caused by the washout of radioactive nuclides from the waste air of nuclear installations, there arises the question of how to proceed, if, in view of the very time-consuming efforts required for the preparation of sufficiently secured statistics, dispersion-climatological data are available to a limited extent only, such as are required e.g. for safety reports for nuclear power stations. To clarify this question a practicable procedure is presented in this report, which, despite its simplified nature, permits a site-specific calculation of the washout, because it is based on the annual precipitation volumes for the individual sectors of the windrose available for about 80 stations of the German meteorological service. The site-independent data additionally required for calculating the washout are being specified.

Following this, the simplified method of calculation is being compared with procedures requiring a larger amount of data. The divergencies resulting therefrom are being discussed.

Zusammenfassung

Bei einer praxisnahen Berechnung der Bodenkontamination durch Washout radioaktiver Nuklide aus der Abluft kerntechnischer Anlagen, ergibt sich die Frage, wie verfahren werden soll, wenn ausbreitungsklimatologische Daten angesichts des enormen Zeitaufwandes zur Erstellung hinreichend abgesicherter Statistiken nur in begrenztem Umfang, etwa wie es für Sicherheitsberichte von Kernkraftwerken gefordert wird, vorliegen. Zur Klärung dieser Frage wird in diesem Bericht ein praktikables Verfahren vorgestellt, daß trotz seiner Vereinfachungen eine standortspezifische Berechnung des Washout erlaubt, weil es sich an den Jahresniederschlagsmengen für die einzelnen Sektoren der Windrose orientiert, die für etwa 80 Stationen des Deutschen Wetterdienstes vorhanden sind. Die zur Berechnung des Washout zusätzlich erforderlichen standortunabhängigen Daten werden angegeben.

Anschließend wird das vereinfachte Rechenverfahren datenmäßig aufwändigeren Verfahren gegenübergestellt. Die sich ergebenden Abweichungen werden diskutiert.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Grundlagen
 - 1.1 Langzeitwashoutfaktor
2. Berechnung unter Berücksichtigung beschränkten ausbreitungsklimatologischen Datenmaterials
 - 2.1 Ausbreitungsklimatologische Ausgangsdaten
 - 2.2 Berechnungsgleichungen
 - 2.3 Überprüfung der Voraussetzungen
3. Daten
 - 3.1 Ausbreitungsklimatologische Statistiken
 - 3.2 Washoutkonstanten
 - 3.2.1 Washoutkonstante für H₃
 - 3.2.2 Washoutkonstante für J₂-Dampf
 - 3.2.3 Washoutkonstante für Aerosole
4. Schlußbemerkungen
5. Literaturverzeichnis

1. Grundlagen

Für die Abscheidung durch Washout pro Zeit- und Flächeneinheit gilt nach CHAMBERLAIN [1]

$$\dot{W}(x,y) = \int_0^{\infty} \Lambda \chi \, dz \quad (1)$$

Λ : Washoutkonstante [s^{-1}]

χ : Aktivitätskonzentration in Luft [Ci/m^3]

Hieraus ergibt sich unter Annahme kontinuierlicher Emission (q)

$$\dot{W}(x,y) = \frac{\Lambda q}{\sqrt{2\pi} \bar{u} \sigma_y} e^{-\frac{y^2}{2 \sigma_y^2}} \quad (2)$$

$\bar{u}$: mittlere Ausbreitungsgeschwindigkeit [m/s]

σ_y : horizontaler Ausbreitungsparameter (senkrecht zur Ausbreitungsrichtung) [m^{-1}]

q : differentielle Emissionsquellstärke [Ci/s]

x,y : kartesische Koordinaten, wobei x die Quelldistanz darstellt [m],

wobei davon ausgegangen wird, daß sich eventuell zu berücksichtigende Abreicherungen der Abluftfahne wie in [2] beschrieben, durch

$$q = q_0 e^{-\Lambda t}$$

darstellen lassen.

Nach Integration über die Emissionszeit (T_E) ergibt sich die Gesamtkontamination des Bodens durch Washout zu

$$\tilde{W}(x,y) = W(x,y) \cdot Q \quad (3)$$

mit

$$W(x,y) = \frac{\Lambda_1 (\lambda_1)}{\sqrt{2\pi} \bar{u}_{jk} \sigma_{yj}} e^{-\frac{y^2}{2 \sigma_{yj}^2}} \quad (4)$$

$$Q = q T_E; \quad q \neq f(t)$$

$$\bar{u}_{jk} = \bar{u}_k(z_o) \cdot \left(\frac{H}{z_o}\right)^{m_j}$$

$W(x,y)$: Kurzzeitwashoutfaktor [m^{-2}]

Q : integrale Emissionsquellstärke [Ci]

λ : Niederschlagsintensität [mm/h] bzw. [mm/a] *

j : Index der Diffusionskategorie

k : Index der Ausbreitungsgeschwindigkeitsstufe

l : Index der Niederschlagsintensität

m_j : Windprofilexponenten nach KLUG [7]

1.1 Langzeitwashoutfaktor

Der Langzeitwashoutfaktor in Ausbreitungsrichtung (i) wird wie folgt definiert

$$\bar{W}_i(x) = \sum_{jkl} q_{ijkl} \cdot \frac{n}{2\pi x} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\Lambda_1}{\sqrt{2\pi} \bar{u}_{jk} \sigma_{yj}} e^{-\frac{y^2}{2 \sigma_{yj}^2}} dy \quad (5)$$

q_{ijkl} : 4-dimensionale Niederschlagsstatistik der Ausbreitungsrichtung (i), der Diffusionskategorie (j), der Windgeschwindigkeitsstufe (k) und der Niederschlagsintensitätsstufe (l).

* Die Stundenmittelwerte werden aus Gründen der Maßeinheit rein formal auf ein Jahr bezogen. Es handelt sich dabei nicht um Jahresmittelwerte.

Aus Gl. (5) ergibt sich der Langzeitwashoutfaktor zu

$$\bar{w}_i(x) = \frac{n}{2\pi x} \sum_{jkl} q_{ijkl} \frac{\Lambda_1}{\bar{u}_{jk}} \quad (6)$$

n : Anzahl der Sektoren der Windrose

2. Berechnung unter Berücksichtigung beschränkten ausbreitungs-klimatologischen Datenmaterials

2.1 Ausbreitungsklimatologische Ausgangsdaten

Die zur Berechnung des Langzeitwashoutfaktors notwendige 4-dimensionale Niederschlagsstatistik ist wohl in den seltensten Fällen vorhanden. Für die praktische Ausbreitungsrechnung muß stets von begrenztem Datenmaterial, etwa wie es für Standard-sicherheitsberichte von Kernkraftwerken gefordert wird, ausgegangen werden. Für die Herleitung einer unter diesen Voraussetzungen praktikablen Formel zur Berechnung der Bodenkontamination durch Auswaschungen von Radionukliden aus Abluftfahnen wird das nachfolgend aufgelistete Datenmaterial vorausgesetzt.**

- eine 3-dimensionale Verteilung der Ausbreitungsbedingungen (Ausbreitungsrichtung, Diffusionskategorie und Ausbreitungsgeschwindigkeit)
- langjährige Jahresmittel der Niederschläge und deren Aufteilung auf die einzelnen Ausbreitungsrichtungen*.

2.2 Berechnungsgleichungen

Geht man von den in Kap. 2.1 vorgegebenen Daten aus, so sind zu einer praktikablen Berechnung des Langzeitwashoutfaktors folgende Annahmen notwendig:

- a) $\bar{u}_{jk}$ in Gl. (6) läßt sich durch $\bar{u} = \sum_{jk} p_{jk} \bar{u}_{jk}$ ersetzen

*Die Windrichtung bezeichnet die Richtung aus der der Wind kommt. Im Gegensatz dazu bezeichnet die Ausbreitungsrichtung die Richtung in der die Belastung entsteht, d.h. die Richtung in die der Wind geht.

**Die meteorologischen Daten werden vom Deutschen Wetterdienst für verschiedene Standorte und meteorologische Stationen gemessen.

- b) Der Zusammenhang zwischen der Washoutkonstanten (Λ) und der Niederschlagsintensität (λ) ist linear

$$\Lambda_1 = c \lambda_1$$

Dann läßt sich die 4-dimensionale Statistik zu einer 2-dimensionalen kondensieren und man erhält aus Gl. (6)

$$\bar{W}_i = \frac{n \cdot c}{2\pi x \bar{u}} \sum_1 q_{i1} \lambda_1$$

Andererseits gilt für die in Kap. 2.1 vorausgesetzte langjährige mittlere Niederschlagsmenge (N_i) in Ausbreitungsrichtung (i)

$$N_i = \sum_1 q_{i1} \lambda_1 ,$$

so daß sich unter den genannten Voraussetzungen eine praktikable Berechnungsgleichung für den Washout wie folgt ergibt

$$\boxed{W_i(x) = \frac{nc}{2\pi x \bar{u}} N_i} \quad (7)$$

N_i : langjährige mittlere Niederschlagsmenge, aufgeteilt in die einzelnen Ausbreitungsrichtungen in [mm/a]

c : Proportionalitätskonstante in [$\frac{a}{s \cdot mm}$] (siehe Angaben in Kap. 3.2)

$\bar{u}$: mittlere Ausbreitungsgeschwindigkeit, jeweils repräsentativ für den vorgegebenen Standort in [m/s]

x : Quelldistanz in [m]

2.3 Überprüfung der Voraussetzungen

Vergleichsrechnungen auf der Basis von Gl. (6) und ausbreitungsklimatologischen Statistiken für den Standort der Kernforschungsanlage Jülich ergeben folgende Abweichungen von der Bestimmung des Washout mit aufwendigerem Datenmaterial:

1. Unter Berücksichtigung von Annahme a), d.h. unter Berücksichtigung nur einer repräsentativen Ausbreitungsgeschwindigkeit anstelle der gemäß der Wetterlage jeweils aktuellen Windgeschwindigkeit, ergibt sich mit

$$\Delta_1 = \frac{\frac{1}{\bar{u}} \sum_{i1} q_{i1} \Lambda_1}{\sum_{ijk1} q_{ijk1} (\Lambda_1 / u_{jk})} = 0,85$$

$$\Lambda_1 = \text{const (nur für diesen Fall)}$$

$$\bar{u} = \sum_{jk} p_{jk} \bar{u}_{jk}$$

$$\bar{u}_{jk} = \bar{u}_k(z_0) \cdot \left(\frac{H}{z_0}\right)^{m_j}; \quad z_0 = 30 \text{ m}$$

$$m_j \quad \text{nach Klug [7]}$$

eine Unterschätzung des Washout von 15 %. Dies trifft zu für H3 und aerosolbildende Nuklide.

2. Unter Berücksichtigung von Annahme b), d.h. unter Berücksichtigung eines linearen Zusammenhangs zwischen den Washoutkonstanten und der Niederschlagsintensität, ergibt sich mit

$$\Delta_2 = \frac{\sum_{ijk1} q_{ijk1} (\Lambda_{21} / \bar{u}_{jk})}{\sum_{ijk1} q_{ijk1} \cdot (\Lambda_{11} / \bar{u}_{jk})} = 1,7$$

$$\left. \begin{aligned} \Lambda_{11} &= 8 \cdot 10^{-5} \lambda_1^{0,584} \\ \Lambda_{21} &= 1,3 \cdot 10^{-4} \lambda_1 \end{aligned} \right\} \quad (\text{vgl. Kap. 3.2.2})$$

eine Überschätzung von 70 %. Dieser Fehler tritt in dieser Form nur für elementares Jod auf, da nur hier eine Vereinfachung von einer exponentiellen zu einer linearen Beschreibung der Washoutkonstanten durchgeführt wurde. Die relativ hohe Abweichung wird im wesentlichen durch die starke Überschätzung des Washout bei höheren Niederschlagsintensitäten verursacht. Fall 2 ist jedoch ohne praktische Folgen, da er bei der Berechnung des Washout nach Gl. (7) nur kombiniert mit Fall 1 vorkommt.

3. Für diesen Fall erhält man mit

$$\Lambda_3 = \frac{\frac{1}{\bar{u}} \sum_{il} q_{il} \cdot \Lambda_{21}}{\sum_{ijkl} q_{ijkl} (\Lambda_{11} / \bar{u}_{jk})} = 1,45$$

eine Überschätzung von insgesamt 45 %. Dies trifft nur zu für J_2 -Dampf.

Die zuvor ausgeführten systematischen Fehler gelten auf der Basis der Jülicher Statistiken. Sie sind selbstverständlich örtlichen, also statistischen Schwankungen unterworfen.

3. Daten

3.1 Ausbreitungsklimatologische Statistiken

Die für den Standort der Kernforschungsanlage Jülich vorliegende 4-dimensionale Niederschlagsstatistik wird der Anschaulichkeit halber hier nur in Form von Teilverteilungen aufgelistet, wie sie im Zusammenhang mit Gl. [7] von Interesse sind. Das gleiche gilt für die Verteilung von Ausbreitungsrichtung (i), Windgeschwindigkeit der Stufe (k) und die Diffusionskategorie (j), bei der man sich beschränken kann auf die Verteilung p_{jk} (Kap. 2.2).

KLASSEN- INDEX	KLASSEN- MITTEL (λ_1) [mm/h]	KLASSEN- GRENZEN [mm/h]	NIEDERSCHLAGS- HÄUFIGKEITEN $q_1 = \sum_{ijk} q_{ijkl}$	RELAT. NIEDER- SCHLAGSHÄUFIGK: $q_1/q_N [\%]$
1	0,025	> 0 ÷ 0,05	0	0
2	0,1	> 0,05 ÷ 0,15	$1,31 \cdot 10^{-2}$	13,5
3	0,2	> 0,15 ÷ 0,25	$2,66 \cdot 10^{-2}$	27,5
4	0,3	> 0,25 ÷ 0,35	$4,26 \cdot 10^{-3}$	4,4
5	0,4	> 0,35 ÷ 0,45	$1,24 \cdot 10^{-2}$	12,8
6	0,5	> 0,45 ÷ 0,55	$3,30 \cdot 10^{-3}$	3,4
7	0,6	> 0,55 ÷ 0,65	$8,80 \cdot 10^{-3}$	9,1
8	0,7	> 0,65 ÷ 0,75	$6,45 \cdot 10^{-4}$	1
9	0,8	> 0,75 ÷ 0,85	$5,55 \cdot 10^{-3}$	5,7
10	0,9	> 0,85 ÷ 0,95	$1,84 \cdot 10^{-4}$	0,2
11	1,0*	> 0,95 ÷ 1,1	$6,38 \cdot 10^{-3}$	6,6
12	1,2	> 1,1 ÷ 1,3	$2,74 \cdot 10^{-3}$	2,8
13	1,4	> 1,3 ÷ 1,5	$2,00 \cdot 10^{-3}$	2,0
14	1,6	> 1,5 ÷ 1,7	$1,87 \cdot 10^{-3}$	1,9
15	1,8	> 1,7 ÷ 1,9	$1,06 \cdot 10^{-3}$	1,1
16	2,0*	> 1,9 ÷ 2,5	$3,34 \cdot 10^{-3}$	3,4
17	3	> 2,5 ÷ 3,5	$2,17 \cdot 10^{-3}$	2,2
18	4	> 3,5 ÷ 4,5	$9,22 \cdot 10^{-4}$	0,9
19		> 4,5 ÷ ∞	$1,48 \cdot 10^{-3}$	1,5
* abgerundete Werte, genauer: 1,03 bzw. 2,2			$q_N = 9,68 \cdot 10^{-2}$	100 %

Tab. 1: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsintensität nach Klassen (1) für Jülich. (Gleichzeitig sind die Klassengrenzen u. die Klassenmittelwerte ($\bar{\lambda}$) angegeben. Für die jährliche Gesamtniederschlagshäufigkeit (q_N) gilt $q_N = \sum_1 q_1$.)

NIEDER- SCHLAGS- KLASSEN	AUSBREITUNGSSEKTOREN					
	1	2	3 (O)	4	5	6 (S)
1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	1.060E-03	4.263E-03	2.443E-03	1.175E-03	4.379E-04	3.918E-04
3	2.120E-03	7.766E-03	6.384E-03	3.042E-03	8.527E-04	7.605E-04
4	2.996E-04	1.221E-03	1.129E-03	3.226E-04	1.383E-04	1.613E-04
5	9.910E-04	3.434E-03	3.203E-03	1.014E-03	7.375E-04	4.148E-04
6	2.765E-04	7.605E-04	8.066E-04	3.918E-04	6.914E-05	9.218E-05
7	5.531E-04	2.420E-03	2.443E-03	6.683E-04	1.383E-04	2.996E-04
8	6.914E-05	2.305E-04	2.074E-04	6.914E-05	2.305E-05	0.000E+00
9	5.301E-04	1.268E-03	1.613E-03	4.840E-04	1.844E-04	2.765E-04
10	0.000E+00	2.305E-05	2.305E-05	2.305E-05	0.000E+00	0.000E+00
11	4.840E-04	1.682E-03	1.867E-03	5.301E-04	2.765E-04	4.609E-05
12	2.996E-04	7.605E-04	6.453E-04	2.305E-04	1.383E-04	2.305E-04
13	1.383E-04	5.301E-04	4.148E-04	1.383E-04	4.609E-05	6.914E-05
14	1.152E-04	3.226E-04	4.609E-04	1.613E-04	1.613E-04	2.305E-05
15	1.613E-04	1.152E-04	3.226E-04	6.914E-05	6.914E-05	0.000E+00
16	2.765E-04	5.992E-04	8.988E-04	2.996E-04	2.074E-04	1.383E-04
17	1.383E-04	3.226E-04	5.531E-04	1.844E-04	1.613E-04	2.305E-04
18	4.609E-05	2.074E-04	2.074E-04	9.218E-05	2.305E-05	2.305E-05
19	1.383E-04	2.765E-04	3.457E-04	1.844E-04	2.305E-05	6.914E-05
$q_i = \sum_{l=1} q_{il}$	$7.697 \cdot 10^{-3}$	$2.620 \cdot 10^{-2}$	$2.397 \cdot 10^{-2}$	$9.080 \cdot 10^{-3}$	$3.687 \cdot 10^{-3}$	$3.226 \cdot 10^{-3}$

NIEDER- SCHLAGS- KLASSEN	AUSBREITUNGSSEKTOREN					
	7	8	9 (W)	10	11	12 (N)
1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	3.687E-04	1.383E-04	3.918E-04	1.152E-03	4.148E-04	8.527E-04
3	2.765E-04	4.379E-04	6.683E-04	2.005E-03	1.152E-03	1.129E-03
4	2.305E-05	4.609E-05	6.914E-05	3.226E-04	2.535E-04	2.765E-04
5	2.305E-04	1.383E-04	3.226E-04	9.218E-04	6.222E-04	3.918E-04
6	1.383E-04	2.305E-05	6.914E-05	3.226E-04	2.765E-04	6.914E-05
7	2.996E-04	2.074E-04	1.613E-04	7.375E-04	5.301E-04	3.457E-04
8	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.305E-05	0.000E+00	2.305E-05
9	1.613E-04	9.218E-05	1.383E-04	2.765E-04	2.305E-04	2.996E-04
10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	6.914E-05	4.609E-05	0.000E+00
11	1.844E-04	1.152E-04	1.613E-04	5.301E-04	2.765E-04	2.305E-04
12	6.914E-05	6.914E-05	9.218E-05	1.152E-04	4.609E-05	4.609E-05
13	9.218E-05	2.305E-05	1.844E-04	1.613E-04	1.152E-04	6.914E-05
14	4.609E-05	0.000E+00	2.305E-05	2.765E-04	1.844E-04	9.218E-05
15	6.914E-05	0.000E+00	6.914E-05	1.152E-04	4.609E-05	2.305E-05
16	9.218E-05	2.305E-05	9.218E-05	2.305E-04	2.996E-04	1.844E-04
17	4.609E-05	2.305E-05	1.152E-04	1.844E-04	1.383E-04	6.914E-05
18	9.218E-05	2.305E-05	4.609E-05	2.305E-05	1.152E-04	2.305E-05
19	6.914E-05	4.609E-05	6.914E-05	9.218E-05	9.218E-05	6.914E-05
$q_i = \sum_{l=1} q_{il}$	$2.258 \cdot 10^{-3}$	$1.406 \cdot 10^{-3}$	$2.673 \cdot 10^{-3}$	$7.559 \cdot 10^{-3}$	$4.840 \cdot 10^{-3}$	$4.194 \cdot 10^{-3}$

Tab. 2: Verteilung der Niederschlagshäufigkeit (q_{il}) in Abhängigkeit von Ausbreitungsrichtung (i) und Niederschlagsintensität der Klasse (l) für Jülich

WIND- GESCHW.- STUFEN (k) *	DIFFUSIONSKATEGORIEN (j)						$\Sigma \rightarrow$
	F	E	D	C	B	A	
1	1.675E-02	0.000E+00	6.822E-03	2.212E-03	1.383E-03	4.148E-04	2.759E-02
2	4.102E-02	0.000E+00	1.957E-02	5.485E-03	6.453E-03	1.129E-03	7.365E-02
3	5.354E-02	0.000E+00	2.733E-02	8.135E-03	1.325E-02	1.567E-03	1.038E-01
4	3.256E-02	2.648E-02	4.386E-02	1.482E-02	1.085E-02	3.503E-03	1.321E-01
5	9.310E-03	2.800E-02	4.224E-02	1.498E-02	5.738E-03	3.365E-03	1.036E-01
6	1.705E-03	1.037E-02	5.939E-02	1.535E-02	9.841E-03	6.914E-04	9.735E-02
7	0.000E+00	5.416E-03	5.999E-02	1.443E-02	1.079E-02	0.000E+00	9.062E-02
8	0.000E+00	4.586E-03	5.107E-02	1.281E-02	1.092E-02	0.000E+00	7.939E-02
9	0.000E+00	2.673E-03	4.328E-02	1.224E-02	8.273E-03	0.000E+00	6.646E-02
10	0.000E+00	1.360E-03	4.572E-02	8.273E-03	1.244E-03	0.000E+00	5.660E-02
11	0.000E+00	1.175E-03	4.310E-02	6.407E-03	0.000E+00	0.000E+00	5.068E-02
12	0.000E+00	6.222E-04	2.897E-02	3.872E-03	0.000E+00	0.000E+00	3.346E-02
13	0.000E+00	5.301E-04	2.328E-02	2.950E-03	0.000E+00	0.000E+00	2.676E-02
14	0.000E+00	0.000E+00	1.830E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.830E-02
15	0.000E+00	0.000E+00	1.291E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.291E-02
16	0.000E+00	0.000E+00	9.380E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.380E-03
17	0.000E+00	0.000E+00	5.577E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.577E-03
18	0.000E+00	0.000E+00	3.779E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.779E-03
19	0.000E+00	0.000E+00	2.742E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.742E-03
20	0.000E+00	0.000E+00	1.798E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.798E-03
21	0.000E+00	0.000E+00	1.175E-03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.175E-03
22	0.000E+00	0.000E+00	8.527E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	8.527E-04
23	0.000E+00	0.000E+00	4.148E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	4.148E-04
24	0.000E+00	0.000E+00	2.765E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.765E-04
25	0.000E+00	0.000E+00	2.535E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.535E-04
26	0.000E+00	0.000E+00	1.383E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.383E-04
27	0.000E+00	0.000E+00	1.152E-04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.152E-04
28	0.000E+00	0.000E+00	4.609E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	4.609E-05
29	0.000E+00	0.000E+00	6.914E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	6.914E-05
30	0.000E+00	0.000E+00	9.218E-05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.218E-05
$\Sigma \checkmark$	1.549E-01	8.121E-02	5.525E-01	1.220E-01	7.875E-02	1.067E-02	

Tab.: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit der Stufe (k) und der Diffusionskategorie (j) für Jülich

* Die Windgeschwindigkeitsstufe (k) entspricht jeweils der Windgeschwindigkeit in Knoten, z.B. $k = 1 \hat{=} u_k(Z_0) = 1 \text{ kts}$

3.2 Washoutkonstanten

3.2.1 Washoutkonstante für H3

Für den Washout von H3 in Form von HTO wird von einem linearen Zusammenhang zwischen den Washoutkonstanten (Λ) und der Niederschlagsintensität (λ) ausgegangen. In Anlehnung an [3, 4] - dort wird eine Verdampfung während des Auswaschvorganges und nachfolgende Verdunstung von den Pflanzen von insgesamt 95 % angenommen - kann, von den dort angegebenen Daten ausgehend, eine Proportionalitätskonstante

$$c_{\text{eff}} = 3,4 \cdot 10^{-8} \frac{\text{a}}{\text{mm} \cdot \text{s}}$$

berechnet werden, so daß für die Washoutkonstante von HTO gilt

$$\Lambda_{\text{HTO}} = 3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{h}}{\text{mm} \cdot \text{s}} \cdot \lambda_1 \quad (8)$$

Andere Autoren [5] gehen zur Berechnung der Washoutkonstanten aus von Messungen der Washoutkonstanten von SO_2 . Unter der Voraussetzung der Proportionalität von Λ und D (D : Diffusionskoeffizient) wird für HTO ein mittlerer Wert von

$$\Lambda_{\text{HTO}} = \Lambda_{\text{SO}_2} \frac{D_{\text{HTO}}}{D_{\text{SO}_2}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

angegeben. Dabei wird vorausgesetzt, daß die durch den Washoutvorgang bewirkte Abreicherung von HTO in der Atmosphäre vernachlässigbar ist. (Nach [5] sind das ca. 15 %).

In der gleichen Literaturstelle wird vergleichsweise ein auf andere Weise ermittelter - Wert von

$$\Lambda_{\text{HTO}} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

angegeben.

Dieser Wert wurde berechnet aus Messungen der H3-Konzentration in der Atmosphäre und im Regenwasser.

Bei einer mittleren Niederschlagsintensität von 0,74 mm/h läßt sich für Jülich mit Gl. (8) ein Wert von

$$\Lambda_{\text{HTO}} = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

errechnen.

Bei der Angabe der beiden Werte in [5] wird nicht weiter auf den Zusammenhang zwischen den Washoutkonstanten und der Niederschlagsintensität eingegangen. Insbesondere fehlen Hinweise auf repräsentative Niederschlagsintensitäten, die den Messungen zugrunde liegen, so daß die beiden Λ -Werte lediglich zur Orientierung wegen der Größenordnung herangezogen werden können.

3.2.2 Washoutkonstante für J₂-Dampf

Nach Chamberlain [1] ist der Zusammenhang zwischen den Washoutkonstanten und der Niederschlagsintensität exponentiell. Aus der in (1) für J₂-Dampf angegebenen Kurve kann folgender Zusammenhang errechnet werden.

$$J_2 \Lambda_1 = 8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{h}}{\text{mm} \cdot \text{s}} \cdot \lambda_1^{0,584} \quad (9)$$

Auch die von Engelmann in [6] angegebenen "predicted values" folgen einem exponentiellen Verlauf. Mit den von ihm im gleichen Diagramm angegebenen Meßwerten für den Washout von Jod und Brom läßt sich dieser Verlauf jedoch nicht bestätigen. Die Meßwerte liegen außerdem z.T. erheblich niedriger als die vorhergesagten Werte.

Wegen der Unsicherheiten in der Beschreibung, insbesondere aber im Nachweis der Zusammenhänge zwischen Λ und λ ist zunächst, quasi als erste Näherung, auch ein linearer Zusammenhang denkbar, zumal die Abweichung der Kurve, die Gl. (9) beschreibt, von einer Geraden gering ist. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß diese Abweichung minimal wird, vor allem in dem Bereich zwischen 0 und 1 mm/h (auf diesem Bereich entfällt in Jülich mehr

als 80 % des Gesamtniederschlags), daß also gilt

$$\Lambda_1 = q_1 | 8 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda_1^{0,584} - c \lambda_1 | \rightarrow \text{Min},$$

erhält man mit

$$c = 1,5 \cdot 10^{-8} \frac{a}{\text{mm} \cdot \text{s}}$$

einen brauchbaren Wert.

3.2.3 Washoutkoeffizient für Aerosole

Für Aerosole mit einem Durchmesser größer als 2 μm geht Chamberlain [1] von einem linearen Zusammenhang zwischen Washoutkonstante und Niederschlagsintensität aus. Legt man einen Aerosoldurchmesser von 1 bis 2 μm zugrunde so ergibt sich nach [1]

$$c = 2,7 \cdot 10^{-9} \frac{a}{\text{mm} \cdot \text{s}}$$

4. Schlußbemerkungen

Der Washoutfaktor bildet neben dem Falloutfaktor die Ausgangsgröße zur Berechnung von Ingestionsdosen. Die in diese Rechnungen ebenfalls eingehenden Dosiskonstanten für den Belastungspfad Ingestion können aufgrund der Komplexität der Einflußgrößen und der z.T. notwendig werdenden sehr konservativen Annahmen erhebliche Überschätzungen der Ingestionsdosen verursachen.

Verglichen mit diesen Abweichungen erscheinen Fehler, wie sie sich im Zusammenhang mit der vorgestellten vereinfachten Berechnung des Washout ergeben (vgl. Kap. 2.3), zulässig. Dies

gilt umso mehr, als die Gesamtbodenkontamination außer bei Tritium nur zu 10 bis 30 % durch Washout verursacht wird und sich bei der Verifizierung der in der Literatur angegebenen Washoutkonstanten durch Experimente (vgl. Kap. 3.2) noch Abweichungen ergeben.

Hinzu kommt, daß aufgrund der Niederschlagsdaten, die vom Deutschen Wetterdienst für Standorte kerntechnischer Anlagen zur Verfügung gestellt werden können, keine Alternative existiert.

Insofern kann bei der Erfassung von Washoutvorgängen für praxisnahe Rechnungen von Gl. (7) ausgegangen werden.

5. Literaturverzeichnis

- [1] A.C. CHAMBERLAIN
Aspects of travel and deposition of aerosol -
and vapour clouds
AERE HP/R 1261 (1955)

- [2] K.J. VOGT
Umweltkontamination und Strahlenbelastung durch
radioaktive Abluft aus kerntechnischen Anlagen
Jül - 637 - ST, 1970

- [3] A. MARTIN, H. SIMON
Population exposure and the interpretation of
it's significance
IAEA - ST - 184/9
Portoroz 20-24 May 1974

- [4] A. MARTIN, T.M. FRY
Population dose committments from releases of
tritium, carbon-14 and Krypton-85
International Symosium an Radiation Protection -
Philosophy and Implementation
Aviemore, Scotland 2-6 June 1974

- [5] Siting of fuel reprocessing plants and waste
management facilities
ORNL - 4451, July 1970

- [6] R.J. ENGELMANN et al.
Washout coefficients for selected gases and
particulates
BNWL - SA - 657
Richland, Wash., June 24 th 1966

- [7] W. KLUG
Ein Verfahren zur Bestimmung der Ausbreitungs-
bedingungen aus synoptischen Beobachtungen
Staub-Reinhaltung der Luft 29, 4, 69