

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

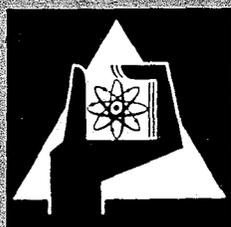
Dezember 1970

KFK 1336

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Der Beitrag austauscharmer Wetterlagen zur Strahlenbelastung
der Umgebung kerntechnischer Anlagen

L. A. König



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Dezember 1970

KFK 1336

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Der Beitrag austauscharmer Wetterlagen zur
Strahlenbelastung der Umgebung kerntechni-
scher Anlagen

von

L.A. König

Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird ein Verfahren zur Abschätzung des Einflusses austausch-
armer Wetterlagen auf die Strahlenbelastung der Umgebung kern-
technischer Anlagen beschrieben. Vorausgesetzt ist hierbei, daß
die Ergebnisse einer Dosisberechnung unter Vernachlässigung von
austauscharmen Wetterlagen sowie eine Windstatistik aufgeschlüs-
selt nach Richtung und Geschwindigkeit vorliegen. Das Verfahren
wird auf den Standort des Kernforschungszentrums Karlsruhe ange-
wendet, wobei sich in diesem speziellen Fall ein vernachlässigbar
kleiner Einfluß ergibt.

ABSTRACT

A method is described which allows to evaluate the influence of
meteorological conditions with low wind speed and weak vertical
mixing on the radiation exposure in the environment of nuclear
facilities. This calls for the availability of results derived
from dose calculation, letting aside the above weather conditions,
as well as wind statistics broken down by direction and velocity.
The method is applied to the site of the Karlsruhe Nuclear
Research Center and reveals, in this particular case, a negligible
influence.

1. Einleitung

In der vorliegenden Arbeit werden Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung des Beitrages von austauscharmen Wetterlagen ("Schwachwindwetterlagen") zur Strahlenbelastung der Umgebung kerntechnischer Anlagen abgeleitet. Diese Korrekturfaktoren ergeben sich zwangsläufig, wenn man dem im KFK-Bericht 930 [1] eingeschlagenen Weg zur Berechnung der Strahlenbelastung folgt und den Beitrag der austauscharmen Wetterlagen abtrennt. Im vorliegenden Bericht wird das in [1] angewandte Verfahren verallgemeinert. Zunächst werden, ausgehend von einer Raumsektoreinteilung, sich aus Winddaten ergebende Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung austauscharmer Wetterlagen eingeführt und durch Winddaten ausgedrückt. Schließlich werden Fragen der Anwendung dieser Faktoren behandelt und ein Zahlenbeispiel durchgerechnet.

2. Festlegung von Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Raumsektoren

Es sei $\alpha(u, \varphi) du d\varphi$ der Bruchteil der von einer Quelle pro Jahr emittierten Aktivität, der mit einer Geschwindigkeit zwischen u und $u+du$ in eine Richtung zwischen φ und $\varphi+d\varphi$ transportiert wird. Für $\alpha(u, \varphi)$ gilt also die Normierungsbedingung

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \alpha(u, \varphi) du d\varphi = 1 \quad (1)$$

Im folgenden wird von $\alpha(u, \varphi)$ angenommen, daß es sektorweise von φ unabhängig ist. Für den Sektor k gilt also

$$\alpha(u, \varphi) = \beta_k(u), \quad (2)$$

wobei nach Gl. (1)

$$\Delta\varphi \sum_k \int_0^{\infty} \beta_k(u) du = 1 \quad (3)$$

ist. Weiter wird angenommen, daß die durch die abgeleitete Aktivität verursachte momentane Dosisleistung proportional zu u^{-1} ist. Für den Bereich sehr kleiner Windgeschwindigkeiten kann man im Jahresmittel zumindest gedanklich die tatsächlichen Ausbreitungsvorgänge durch Strömungsvorgänge in die verschiedenen Sektoren näherungsweise ersetzen.

Ausgehend von diesen Überlegungen werden Gewichtsfaktoren

$$W_k = \Delta\varphi \int_0^{\infty} \frac{\beta_k(u)}{u} du \quad (4)$$

definiert.

$\beta_k(u)$ kann oberhalb einer Grenzgeschwindigkeit u_1 durch meteorologische Beobachtungen ermittelt werden. Unterhalb dieser Nachweisgrenze wird "Windstille", d.h. weder eine Windrichtung noch eine Windgeschwindigkeit, registriert. In diesem Bereich muß also der Ausdruck $\beta_k(u)/u$ so angesetzt werden, daß das Integral (4) endlich bleibt. Die bequemste Annahme ist

$$\beta_k(u) \sim u \text{ für } 0 \leq u < u_1. \quad (5)$$

Hierdurch nimmt $\beta_k(u)/u$ für $u \rightarrow 0$ einen konstanten Wert an. Dies entspricht qualitativ dem physikalischen Sachverhalt, daß die Konzentration nach der Ableitung nicht größer als jene im Schornstein werden kann.

3. Einführung von Korrekturfaktoren

Aus Gl. (4) folgt durch einfache Umformungen

$$W_k = W_{ko} \cdot (1 + \delta_k) \quad (6)$$

$$\text{mit } W_{ko} = \Delta\varphi \int_{u_1}^{\infty} \frac{\beta_k(u)}{u} du$$

und

$$\delta_k = \frac{\int_0^{u_1} \frac{\beta_k(u)}{u} du}{\int_{u_1}^{\infty} \frac{\beta_k(u)}{u} du}$$

Im Fall der Strahlenbelastung durch β -Strahlung und durch Inkorporation sowie - bei genügend grossem Abstand von der Quelle - auch im Fall der Strahlenbelastung durch äussere Gammastrahlung geben die durch Gl. (6) definierten Korrekturen δ_k den zusätzlichen Beitrag der Wetterlagen mit $u < u_1$ zur Strahlenbelastung an, wenn diese für $u \geq u_1$ berechnet ist. Bei kleineren Abständen von der Quelle müssen im Fall der Gammastrahlung die Beiträge der Einstrahlung aus benachbarten Sektoren mitberücksichtigt werden.

4. Berechnung der Gewichts- und Korrekturfaktoren aus den meteorologischen Daten unter Berücksichtigung der Windstillen

Es müssen nun noch die Integrale über $\beta_k(u)/u$ durch bekannte Daten ausgedrückt werden. Hierzu wird vorausgesetzt, daß für jeden Sektor k und jedes Geschwindigkeitsintervall j (definiert durch $u_{j-1} \leq u < u_j$) die auf die Zeitdauer bezogene Häufigkeit h_{jk} des Auftretens von in diesem Bereich fallenden Luftbewegungen bekannt sei. Ausgenommen ist der Fall der sogenannten Windstille mit der Häufigkeit h_0 , dem das Geschwindigkeitsintervall $j = 1$ zugeordnet wird.

Es gilt also

$$\sum_{j=2}^J \sum_{k=1}^K h_{jk} + h_C = 1. \quad (7)$$

(J ist die Anzahl der Geschwindigkeitsintervalle, K jene der Sektoren.) Windstille bedeutet physikalisch, daß die Windgeschwindigkeit unterhalb der Nachweisgrenze liegt und auch die Windrichtung nicht festgestellt werden kann. Die Abschätzung der in Gl. (6) eingeführten Korrekturfaktoren ist dann möglich, wenn für diesen Bereich h_{1k} so bestimmt wird, daß

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K h_{jk} = 1 \quad (8)$$

gilt. (Es ist also $\sum_k h_{1k} = h_C$.)

Zunächst sollen die Funktionen $\beta_k(u)$ durch die Größen h_{jk} ausgedrückt werden. Hierzu wird angesetzt

$$\int_{u_{j-1}}^{u_j} \beta_k(u) du = \frac{h_{jk}}{\Delta\varphi}. \quad (9)$$

Damit wird nach Gl. (3)

$$1 = \Delta\varphi \sum_k \int_0^{\infty} \beta_k(u) du = \sum_{j,k} h_{jk} \quad (10)$$

in Übereinstimmung mit Gl. (8). Eine Schwierigkeit besteht nun darin, daß für $\beta_k(u)$ eine differenzierbare Funktion eingesetzt werden sollte, während h_{jk} für die Intervalle j,k konstant vorgegeben wird. Es ist jedoch mühsam und gelingt nicht in allen Fällen, einen analytischen Ausdruck anzugeben, der die Bedingungen (9) erfüllt. Ist aber die Einteilung in Geschwindigkeitsintervalle genügend fein, so kann $\beta_k(u)$ mit Ausnahme des Geschwindigkeitsintervalls $j = 1$ stückweise konstant ange-

setzt werden, ohne daß hierdurch ein untragbar großer Fehler entsteht. Für das Geschwindigkeitsintervall $j = 1$ wird entsprechend Gl. (5)

$$\beta_k(u) = \beta_{k1}(u) = a_k u \quad (11)$$

angesetzt. Somit erhält man aus Gl. (9) unter Berücksichtigung von $u_0 = 0$

$$\int_{u_{j-1}}^{u_j} \beta_k(u) du = \begin{cases} a_k \frac{u_1^2}{2} = \frac{h_{1k}}{\Delta \varphi} \text{ für } j = 1 \\ \beta_{kj}(u_j - u_{j-1}) = \frac{h_{jk}}{\Delta \varphi} \text{ für } j \geq 2 . \end{cases} \quad (12)$$

Hieraus folgt

$$\beta_k(u) = \begin{cases} \frac{2h_{1k}}{u_1^2 \Delta \varphi} \cdot u \text{ für } j = 1 \\ \frac{h_{jk}}{(u_j - u_{j-1}) \Delta \varphi} \text{ für } j \geq 2 . \end{cases} \quad (13)$$

Setzt man Gl. (13) in Gl. (6) ein, so folgt

$$W_{ko} = \Delta \varphi \sum_{j=2}^J \int_{u_{j-1}}^{u_j} \frac{\beta_k(u)}{u} du = \sum_{j=2}^J \frac{h_{jk}}{u_j - u_{j-1}} \ln \frac{u_j}{u_{j-1}} \quad (14)$$

und

$$\delta_k = \frac{\frac{2h_{1k}}{u_1}}{\sum_{j=2}^J \frac{h_{jk}}{u_j - u_{j-1}} \ln \frac{u_j}{u_{j-1}}} \quad (15)$$

In Gl. (15) ist die Größe h_{1k} noch durch h_c auszudrücken. Dies ist nicht ohne Willkür möglich. Im KFK-Bericht 930 [1] wurden

folgende Lösungen durchgerechnet:

a) Gleichverteilung auf alle Sektoren:

$$h_{1k} = \frac{h_C}{K} \quad (16)$$

(K = Sektorenzahl)

b) gewichtete Verteilung proportional zur Häufigkeit der einzelnen Windrichtungen:

$$h_{1k} = \frac{h_C}{1-h_C} \sum_{j=2}^J h_{jk} \quad (17)$$

und

c) gewichtete Verteilung proportional zur Häufigkeit schwacher Winde in den einzelnen Richtungen:

$$h_{1k} = \frac{h_{2k}}{\sum_{k=1}^K h_{2k}} h_C \quad (18)$$

Lösungsvorschlag c) erscheint als der physikalisch vernünftigste, während a) sicher zu schematisch ist.

5. Anwendung der Gewichts- und Korrekturfaktoren

Die Anwendbarkeit der vorstehend eingeführten Korrekturfaktoren auf die Berechnung der verschiedenen Arten der Strahlenbelastung wird im folgenden untersucht.

5.1 Äußere Gammastrahlung

Es werden zwei Modelle diskutiert

1. das Modell der Ausbreitung in einer horizontalen

Ebene unter Vernachlässigung der vertikalen Ausbreitung und

2. das Modell der dreidimensionalen Ausbreitung .

Der radioaktive Zerfall der abgeleiteten Aktivität wird vernachlässigt, wodurch sich die Rechnung erheblich vereinfacht.

5.1.1 Ausbreitung der abgeleiteten Aktivität in einer horizontalen Ebene in Schornsteinhöhe

Die Ausbreitung der abgeleiteten Aktivität in einer horizontalen Ebene in Schornsteinhöhe wird in dem Bericht [1] behandelt. Das Ergebnis für die Jahresdosis am Ort P lautet nach Übergang auf die hier angewandte Bezeichnung

$$D_{\gamma}(P) = 8,76 \cdot 10^3 \frac{h}{a} \cdot K_{\gamma} Q \sum_{k=1}^K W_k H_k(P) \quad (19)$$

mit K_{γ} Gammadosiskonstante $\left[\frac{\text{rem m}^2}{\text{h Ci}} \right]$

pro Jahr abgeleitete Aktivität $\left[\frac{\text{Ci}}{a} \right]$

W_k Gewichtungsfaktoren nach Gl. (4)

$$H_k(P) = \frac{1}{\Delta \varphi} \int_{\varphi_{k-1}}^{\varphi_k} \int_0^{\infty} F(s) dr d\varphi$$

$$\text{und } F(s) = B(\mu s) e^{-\mu s} s^{-2}.$$

μ ist das totale Schwächungskoeffizient $[m^{-1}]$,
 s der Abstand zwischen dem Punkt P und dem
Flächenelement am Ort P' in der Höhe h (Quellhöhe)
über dem Boden und $B(\mu s)$ der "build-up"-Faktor.

Gl. (19) berücksichtigt, daß zu der Strahlenbelastung im Sektor k_p sämtliche Sektoren beitragen. Setzt man Gl. (6) in Gl. (19) ein, so folgt

$$D_Y(P) = 8,76 \cdot 10^3 \frac{h}{a} K_Y Q \left\{ \sum_{k=1}^K W_{ko} H_k(P) + \sum_{k=1}^K W_{ko} H_k \delta_k \right\} \quad (20)$$

$$\equiv D_{Y0}(P) + \Delta_Y(P) .$$

In der Nahzone ist eine Abschätzung nach oben derart möglich, daß man δ_k durch $\delta_{k,max}$, also den größten δ -Wert für alle k , ersetzt. Dann hat man

$$D_Y(P) \leq D_{Y0}(P) (1 + \delta_{k,max}) . \quad (21)$$

Bei großen Abständen von der Quelle überwiegt der Beitrag des Sektors k_p , in dem der Punkt P liegt. Dann gilt annäherungsweise

$$D_Y(P) \approx D_{Y0}(P) (1 + \delta_{k_p}) . \quad (22)$$

5.1.2 Dreidimensionale Ausbreitung

Im allgemeinen Fall gilt

$$D_Y(P) = 8,76 \cdot 10^3 \frac{h}{a} \cdot K_Y \int B(\mu s) e^{-\mu s} \overline{C(P')} s^{-2} dV . \quad (23)$$

$\overline{C(P')}$ ist die über ein Jahr am Ort P' des Volumenelements dV gemittelte Aktivitätskonzentration. Die übrigen Symbole wurden unter 5.1.1 erklärt.

Bei der rechnerischen Auswertung des Integrals in Gl. (23) hat man über die verschiedenen Raumsektoren und Wetterlagen zu summieren. Wiederum ist nur eine Abschätzung in Form der Gl. (21) und (22) möglich.

5.2 Strahlenbelastung durch äußere Betastrahlung und durch Inkorporation

Die Strahlenbelastung am Ort P für beide Belastungsarten ist proportional zu der über das Jahr gemittelten Konzentration $\overline{C(P)}$.

Unter der Annahme, daß die sogenannten Windstillen für jeden Sektor zu gleichen Anteilen auf die verschiedenen Wetterlagen verteilt werden, gilt

$$D(P) = D_o(P) \cdot (1 + \delta_{k_p}) \quad (24)$$

analog zu Gl. (22).

5.3 Zulässige Aktivitätsabgabe

Vorstehende Überlegungen können in einfacher Weise auf die Berechnung der zulässigen Aktivitätsabgabe angewandt werden: Die unter Vernachlässigung der Windstillen berechneten Werte sind lediglich um Faktoren der Form $(1 + \delta_{k,max})^{-1}$ zu reduzieren.

6. Zahlenbeispiel

In Tab. 1 sind als Beispiel für den Standort Karlsruhe berechnete Extremwerte von δ_k zusammengestellt. Die Werte fußen auf dem Bericht [1], sind aber mit einem Korrekturfaktor versehen, da die Häufigkeit der Windstillen mit der Höhe abnimmt. Im Bericht [1] war - einer Auswertung von Daten der Wetterwarte Karlsruhe durch Bolender [2] folgend - mit einem Windstillenanteil von 4,8 % für 17 m Höhe gerechnet worden. Nach Hübschmann [3] be-

trägt der Windstillenanteil für 60 m Höhe, die Höhe der niedrigsten in Frage kommenden Emittenten, nur noch 0,3 %. Somit können die sich nach [1] ergebenden Werte mindestens um einen Faktor 1/16 reduziert werden. Wie man erkennt, ergeben sich bei dem (nach 4. unrealistischen) Lösungsvorschlag (a) die größten Werte für δ_k , während man bei den anderen Lösungsvorschlägen noch Werte bis zu $\delta_k = 0,04$ erhält. Was die Isodosiskurven betrifft, muß festgehalten werden, daß die Größen δ_k bzw. W_k für den Standort Karlsruhe nicht voll zur Wirkung kommen,

- 1) weil eine Überlagerung der Immissionen mehrerer räumlich verteilter Quellen stattfindet und
- 2) weil die Strahlenbelastung fast ausschließlich durch γ -Strahlung erfolgt und daher die Beiträge aus allen Sektoren zu summieren sind.

Tab. 1 Extremwerte für den Standort Karlsruhe von δ_k (entnommen aus den Abb. 3a bis 3c in [1], bezogen auf 60 m Höhe

	L ö s u n g		
	a	b	c
Maximalwert	0,1	0,04	0,04
Windrichtung	NNW	NO	NNW
Minimalwert	0,01	0,006	0,01
Windrichtung	WSW	N	N,ONO

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die unter Berücksichtigung der Höhenabhängigkeit der Häufigkeit der Windstillen für den Standort Karlsruhe bestimmten Korrekturfaktoren vernachlässigbar klein und daher nicht experimentell nachzuprüfen sind.

7. Schlußbemerkungen

Die für den Standort des Kernforschungszentrums Karlsruhe nach dem in 5.1.1 skizzierten Modell durchgeführten Berechnungen stimmen mit den bisher gefundenen Meßergebnissen relativ gut überein. Eine präzisere Aussage über den Grad der Übereinstimmung wird höchstens nach weiteren Messungen möglich werden. Hierbei dürfen die Erwartungen nicht zu hoch gespannt werden, da in der Praxis die den Berechnungen zugrundeliegenden Bedingungen nur näherungsweise verwirklicht sind. Man denke z.B. nur an den tatsächlichen zeitlichen Verlauf der Ableitungen!

Es sei in diesem Zusammenhang noch darauf hingewiesen, daß wegen

$$\sum_k h_{1k} = h_C$$

nach Gl. (15) für die Lösungsvorschläge (a) bis (c) von S. 7

$$\sum_k W_{ko} \delta_k = 2 h_C / u_1 \quad (25)$$

gilt. Wählt man für P den Schornsteinfußpunkt O, so gilt

$$H_K(0) = H(0)$$

unabhängig von k. Damit folgt aus Gl. (20), daß die Schwachwindkorrektur

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^K W_{ko} H_K \delta_k &= H(0) \sum_{k=1}^K W_{ko} \delta_k & (26) \\ &= 2 H(0) h_C / u_1 \end{aligned}$$

unabhängig von der Wahl des Lösungsvorschlages wird. Gerade in dem Bereich, in dem eine meßbare Strahlenbelastung zu erwarten ist, wird hierdurch die Überprüfung der Lösungsvorschläge (a) bis (c) von S. 7 erschwert, selbst dann, wenn sie nicht wie in dem unter 6. gebrachten Zahlenbeispiel schon durch die Kleinheit von h_C unmöglich ist.

Literatur

- [1] J.J. Heil und L.A. König
Die Strahlenbelastung der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre, KFK 930 (1969) .
- [2] E. Bolender, persönliche Mitteilung
- [3] W. Hübschmann, persönliche Mitteilung