

*Die Bedeutung statistisch verteilter Emissionen mit der Abluft
aus kerntechnischen Anlagen für die Strahlenbelastung*

von

K. Hinrichsen

Meteorologisches Institut der Universität Hamburg

Bundesstrasse 55

2000 Hamburg 13

8/86

Zusammenfassung

Die Ableitbedingungen kerntechnischer Anlagen mit der Fortluft sind in mehreren Schritten gelockert worden. Während in früheren Genehmigungen zwischen Lang- und Kurzzeitabgaben unterschieden wurde, können die zulässigen Tagesemissionen seit 1982 innerhalb einer Stunde erfolgen. Dadurch ist das Zusammentreffen hoher Emissionen mit Wettersituationen, die nur zu einer geringen Verdünnung der Nuklide führen, wahrscheinlicher geworden. Eine Folge sind höhere potentielle Strahlenexpositionen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen in Einzeljahren.

Für den Witterungsablauf des Sommerhalbjahres 1980 in Hamburg wurde die mögliche Erhöhung gegenüber einer angenommenen kontinuierlichen Emission untersucht. Insbesondere für die Bodenkontamination ist mit wesentlich höheren Werten zu rechnen als bei Anwendung des Langzeitausbreitungsfaktors.

1. *Einleitung*

Kerntechnische Anlagen emittieren nicht kontinuierlich. Dies kann zu einer nicht konservativen Abschätzung der potentiellen Strahlenbelastung führen, wenn der Berechnung jährliche Aktivitätsabgaben und mittlere atmosphärische Verdünnungsfaktoren zugrunde gelegt werden. Diesem Umstand wird durch den Regelungsinhalt von Genehmigungsbescheiden Rechnung getragen. In mehreren Schritten wurden die Ableitungsbedingungen jedoch zunehmend weniger restriktiv formuliert. Zu welcher Erhöhung der Strahlenexposition das in der Umgebung kerntechnischer Anlagen führen kann, soll im folgenden untersucht werden.

In Kap. 2 wird die Historie der "Grenzwertsysteme" dargestellt. Kap. 3 stellt die Methodik der Untersuchung dar, Kap. 4 enthält die Ergebnisse und Kap. 5 deren Bewertung.

2. *Hintergrund*

In den 70-er Jahren wurden für die norddeutschen AKWs Emissionen mit der Fortluft genehmigt, bei denen nach Langzeit- und (höheren stündlichen) Kurzzeitabgaben unterschieden wurde. Die potentielle Strahlenbelastung wurde so ermittelt, daß die Langzeitabgaben mit einem (kleinen) Langzeitausbreitungsfaktor, die Kurzzeitabgabe mit einem (wesentlich größeren) Kurzzeitausbreitungsfaktor zu multiplizieren waren.

Der Kurzzeitausbreitungsfaktor beschreibt die Verdünnung der Nuklide bis sie die Erdoberfläche erreichen an einzelnen Stunden. Für die Abschätzung der Strahlenbelastung wird eine für den jeweiligen Standort geringe Verdünnung angenommen. Typische Werte für einen 100 m hohen Schornstein in der BRD sind Verdünnungsraten um das 100000-fache.

Der Langzeitausbreitungsfaktor gibt die mittlere Verdünnung am ungünstigsten Aufpunkt in der Nähe eines Emittenten an. Er ergibt sich aus der Summe aller Kurzzeitausbreitungsfaktoren eines im allgemeinen 10-jährigen Beobachtungszeitraums. Typische Werte liegen bei einer zehnmillionenfachen Verdünnung.

Die erste Betriebsgenehmigung für das AKW Brunsbüttel begrenzte z.B. die Jod-131-Ableitungen folgendermaßen:

Langzeitemission: $1\text{E}10$ Bq/Jahr $(1.1\text{E}6 \text{ Bq/Stunde}) (1\text{E}10 = 1.10^{10})$

Kurzzeitemission: $5\text{E}8$ Bq/Jahr $(1.1\text{E}7 \text{ Bq/Stunde})$

Die Kurzzeitemissionen wurden vom AKW Brunsbüttel regelmäßig nahezu ausgeschöpft und schränkten die betriebliche Flexibilität erheblich ein [11].

Das Lang-/Kurzzeitsystem gewährleistete, daß nur an wenigen Stunden im Jahr erhöhte Kurzzeitabgaben getätigt werden durften.

Die 1979 in Kraft getretene "Allgemeine Berechnungsgrundlage ..." [2] des Bundesministers des Inneren führte zu einer wesentlichen Lockerung der Ableitbedingungen. Sie gestattet die Anwendung des Langzeitausbreitungsfaktors, wenn statistisch verteilte Emissionen vorliegen und folgende Bedingungen eingehalten werden:

- a. In einem Halbjahr darf die Hälfte der zulässigen Jahresemission nicht überschritten werden.
- b. Die in 24 Stunden abgegebene Aktivität ist kleiner $1/100$ des Jahresgrenzwerts.
- c. Die über eine Stunde gemittelte Aktivität ist kleiner als das 4.4-fache der Tagesabgabe.

Diese Regelung führt - bei gleicher Jahresemission - gegenüber dem Lang-/Kurzzeitsystem zu einer drastischen Erhöhung der potentiellen Strahlenexposition durch die zulässige größere Anzahl hoher Stundenabgaben, die mit ungünstigen Ausbreitungsverhältnissen (geringe Verdünnung) zusammentreffen können.

Immerhin wurde sichergestellt, daß die gesamte zulässige Tagesemission über mindestens 4.4 Stunden verteilt werden mußte.

Gestützt auf Arbeiten aus der Kernforschungsanlage Jülich [3, 4] wurde 1982 die "Empfehlung über den Regelungsinhalt von Bescheiden bezüglich der Ableitung radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor" vom BMI erlassen, in der auf die Begrenzung der Stundenemissionen (Bedingung c) ganz verzichtet wurde. Sie zog eine entsprechende Änderung der "Allgemeinen Berechnungsgrundlagen ..." nach sich [5]. Nunmehr darf der Langzeitausbreitungsfaktor bei zufällig verteilten Emissionen zur Abschätzung der Strahlenbelastung angewendet werden, wenn

- a. in 180 aufeinanderfolgenden Tagen nicht mehr als die Hälfte der Jahresemission getätigt wird und

- b. die Tagesemission Q_d 1/100 der Jahresemission Q_a nicht überschreitet.
Für Jod-131 gilt während der Weideperiode: $Q_d \leq 1/200 Q_a$.

3. Vorgehensweise

Da die Einhaltung der in § 45 Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte in jedem Kalenderjahr zu gewährleisten ist, wurde untersucht, um welchen Faktor der Langzeitausbreitungsfaktor wie häufig überschritten werden kann, wenn statistisch verteilte Emissionen gemäß den Bedingungen a.-c. während des Sommerhalbjahrs 1980 in Hamburg getätigt worden wären.

Dazu ist die Bestimmung des Langzeitausbreitungsfaktors c_a erforderlich. Er beträgt $c_a = 1.66 \text{ E-7 s/m}^3$ für die Dezinnie 1971-1980 in Hamburg. Der maximale Aufpunkt liegt in $x = 720 \text{ m}$ Entfernung (100 m hoher Schornstein, kein Auftrieb der Abgase) im 30° -Sektor $45\text{-}75^\circ$.

Außerdem muß eine vier-dimensionale Ausbreitungsklassenstatistik vorliegen, um die nach den unterschiedlichen Regelungsinhalten zulässigen zufällig verteilten Stundenemissionen mit den zu der betreffenden Stunde herrschenden Ausbreitungsverhältnissen korrelieren zu können.

Eine vier-dimensionale Ausbreitungsklassenstatistik enthält für den gewählten Zeitraum die stündlichen Angaben von Windrichtung und -geschwindigkeit, Ausbreitungsklasse nach Klug/Manier und die Niederschlagsmenge. Es wurde das Sommerhalbjahr 1.5. - 31.10.1980 ausgewählt, dessen mittlere Windgeschwindigkeit etwas höher als das langjährige Mittel war und dessen Niederschlagsmenge ca. 50% über dem 30-jährigen Mittel von 1931-1960 lag. Die Weideperiode dauert in Norddeutschland von Mai bis Oktober. Sie ist insbesondere für das Nuklid Jod-131 wegen des Weide-Kuh-Milch-Pfads wichtig.

Das Berechnungsverfahren folgt exakt der von Geiß 161 angegebenen Methodik. Es wird der (stündliche) Kurzzeitausbreitungsfaktor c_h gemäß 121 verwendet.

$$c_h = \frac{1}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2 \sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{z^2}{2 \sigma_z^2}\right)$$

Es bedeuten:

u: Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe Z

y: kartesische Koordinate senkrecht zur Ausbreitungsrichtung
 σ_y, σ_z : horizontaler und vertikaler Ausbreitungsfaktor gemäß I5I.

Die in Kapitel 2 genannten Ableitbedingungen unterscheiden sich durch die Anzahl H der Stunden, in denen die gesamte Jahres-/Halbjahresemission getätigt werden darf. Somit ergeben sich unterschiedliche "Quasilangzeitausbreitungsfaktoren".

$$Q_c = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H c_h$$

Bei Ausschöpfung des Halbjahresgrenzwertes mußten die Emissionen gemäß I2I auf mindestens 219 Stunden, davon nur 4.4 Stunden an einem Tag, verteilt werden: $H = 219$.

Gemäß I5I sind die an 180 aufeinanderfolgenden Tagen zulässigen Emissionen an langlebigen Aerosolen und Edelgasen auf mindestens 50 Tage zu verteilen, wobei die Tagesemission während einer Stunde abgegeben werden darf: $H = 50$.

Bei Ausschöpfung der in der Weideperiode zulässigen Jod-131-Abgaben müssen diese auf mindestens 100 Tage verteilt werden: $H = 100$.

Das Verhältnis

$$V_H = Q_c/c_a = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H c_h/c_a$$

gibt an, um welchen Faktor V_H der "Quasilangzeitausbreitungsfaktor" sich vom Langzeitausbreitungsfaktor - der für kontinuierliche Emissionen gilt - unterscheidet, wenn statistisch verteilte Emissionen gemäß I2I bzw. I5I getätigt und die zulässigen Genehmigungswerte ausgeschöpft werden. V_H geht multiplikativ in die Berechnung der Inhalationsdosis und β -Submersionsdosis ein.

Für die (stündliche) Kurzzeitkontamination K_h von Vegetation und Boden mit Nukliden gilt

$$K_h = F + f \cdot W$$

wobei

$$F = V_g \cdot c_h$$

der Falloutfaktor gemäß I2I ist und V_g die Ablagerungsgeschwindigkeit.

$$W = \frac{b \cdot N}{\sqrt{2 \pi \sigma_y^2} \cdot u} \exp\left(-\frac{y^2}{2 \sigma_y^2}\right)$$

ist der Washoutfaktor und

$$f = \begin{cases} 0.2 \\ 1 \end{cases} \quad \text{für } \begin{cases} \text{Vegetation} \\ \text{Boden} \end{cases}$$

gibt an, welcher Teil der durch Niederschläge ausgewaschenen Nuklide auf der Vegetation/Boden liegen bleibt.

N ist die stündliche Niederschlagsmenge. v_g und b sind gemäß I2I nuklid-spezifische Konstanten

Nuklid	V_g (m/s)	b (a/mm s)
elementares Jod	1E-2	1.5E-8
Aerosol	1E-3	3 E-9

Der "Quasilangzeitkontaminationsfaktor" QK beträgt

$$QK = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H K_h$$

Der mittlere jährliche Beitrag des Washout zur Kontamination ist kleiner als 10%. Deshalb gilt für den Langzeitkontaminationsfaktor vereinfachend I6I

$$K_a = V_g \cdot c_a$$

K_a beschreibt die Ablagerung von Nukliden auf Vegetation und Boden bei kontinuierlichen Emissionen. Für die gemäß I2I und I5I zulässigen Ableitungsbedingungen gibt

$$R_H = QK/K_a = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H K_h / v_g c_a$$

den Faktor an, um den sich die Kontamination gegenüber kontinuierlichen Emissionen ändert.

4. Ergebnisse

4.1. Diskussion anderer Untersuchungen

Arbeiten aus dem Kernforschungszentrum Jülich I3, 4, 6I ergaben für die Wetterabläufe verschiedener Jahre an den Standorten Karlsruhe und Jülich und die Schornsteinhöhen 50, 100 und 200 m Werte des Quasilangzeitausbreitungsfaktors und Quasikontaminationsfaktors, die sich im Mittel kaum vom jeweiligen Langzeitwert unterschieden: $V_H \approx R_H \approx 1$. Allerdings ergaben sich in den betrachteten Zeiträumen maximale Werte von $V_H = 2.3$ und $R_H = 8$. Da diese aber nur mit geringer Häufigkeit auftraten (im Promille-Bereich), wurde die Empfehlung ausgesprochen, auf eine Begrenzung der Stundenemissionen zu verzichten. Dabei wurden drei Punkte nicht beachtet:

1. Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, daß die Dosisgrenzwerte in jedem Jahr einzuhalten sind, unabhängig von Häufigkeitsbetrachtungen.
2. Die Ergebnisse gelten nur für die ausgewählten Wetterstatistiken. Sie wurden jedoch auf die ganze BRD übertragen.
3. Entsprechende Untersuchungen für die Kontamination des Bodens mit Aerosolen liegen bislang nicht vor, obwohl zu erwarten ist, daß der Beitrag des Washout hier zu besonders hohen Werten von R_H führt, weil $f = 1$ zu setzen ist.

4.2. *Ergebnisse für das Sommerhalbjahr 1980 am Standort Hamburg*

Mit einem Zufallszahlengenerator (Rechenanlage: CDC-172) wurden 1000-mal je H einstündige Emissionen überlagert und die Verhältnisse V_H und R_H gebildet. Tabelle 1 listet die maximalen Werte von V_H und R_H auf, die als Folge der unterschiedlichen Ableitbedingungen auftraten.

Wie zu erwarten, liefert der Regelungsinhalt I2I ($H = 219$) geringere Überschreitungen der Langzeitausbreitungs- und Langzeitkontaminationsfaktoren c_a bzw. K_a als die nach I5I zulässigen Ableitbedingungen ($H = 100$ bzw. $H = 50$). Je geringer die zulässige Anzahl einstündiger Emissionen (bei gleichem genehmigten Halbjahresemissionsgrenzwert), umso größer ist die maximale Überschreitung gegenüber kontinuierlicher Emission. Besonders hoch ist R_H für die Bodenkontamination, da der Beitrag des Washout wegen des sporadischen Auftretens von Niederschlag besonders zu Buche schlägt.

Für Jod-131 stimmt der maximale Wert von R_H gut mit dem von Geiß I6I für Wetterdaten von Jülich berechneten überein.

Für die Kontamination der Vegetation mit J-131 ergibt sich $R_H = 12$, wenn beachtet wird, daß sich V_g bei feuchtem Gras und Klee gegenüber trockenem verdoppelt I7I. Die Berücksichtigung erfolgte jedoch nur grob, da

- a. das Gras nach geringen Niederschlagsmengen nicht drei Stunden lang feucht bleibt;
- b. nächtliche Taubildung und Nebel nicht eingingen.

Tabelle 2 zeigt für die Kontamination der Vegetation mit J-131, wie häufig der "Quasilangzeitkontaminationsfaktor" QK um einen bestimmten Faktor R_H vom Langzeitkontaminationsfaktor K_a abweicht. Gemäß I5I wurde angenommen, daß die für die Weideperiode zulässige Jod-131-Emission an 100 Tagen zu je 1/100 abgegeben wird. Danach ist mit der Wahrscheinlichkeit 1 zu erwarten, daß R_H einmal während einer angenommenen 40-jährigen Betriebsdauer der kern-technischen Anlage um mehr als den Faktor 6.0 überschritten wird.

Nur in 3% der 1000 Simulationen ist R_H kleiner 1. Das findet seine Erklärung darin, daß QK für einen Aufpunkt in 500 m östlich des Emittenten berechnet wurde, weil in 1980 Westwinde mit häufigem Niederschlag korreliert waren.

Das gleiche gilt für die Kontamination des Bodens. Die Häufigkeit des Auftretens eines Faktors R_H für 50 einstündige Aerosol-Emissionen ist in Tabelle 3 dargestellt.

Der Langzeitkontaminationsfaktor R_a wird in 95% aller 1000 Simulationen überschritten. Noch in 1% aller Fälle ist $R_H > 79$.

5. *Bewertung*

Die betriebliche Flexibilität von kerntechnischen Anlagen wurde in den 70-er Jahren durch die Genehmigung von Kurzzeitabgaben erheblich eingeschränkt. 1982 wurden die 1979 in 121 festgelegten Ableitbedingungen nochmals gelockert.

Das statistische Material der Untersuchungen, die zu dieser Regelung führten, reichte zu einer abschließenden Beurteilung nicht aus. Schon die Arbeit von Geiß [6] hatte ergeben, daß die Kontamination von Gras mit Jod-131 bei 100 statistisch verteilten Stundenemissionen um den Faktor 8 höher liegen kann als bei der Annahme kontinuierlicher Emissionen. Die Übertragung des Einflusses von Niederschlagsereignissen von Jülich/Karlsruhe auf norddeutsche Standorte ist vom meteorologischen Standpunkt nicht haltbar. Das wird durch die hier vorgelegte statistische Analyse des Witterungsablaufs des Sommerhalbjahres 1980 in Hamburg beispielhaft belegt. Durch statistisch mögliches Zusammentreffen von einstündigen Emissionen und ungünstigen Ausbreitungsbedingungen kann die Kontamination des Bodens mit Aerosolen mehr als das 80-Fache des mit dem Langzeitkontaminationsfaktor berechneten Werts betragen.

Eine entsprechende Berücksichtigung bei der Abschätzung der potentiellen Strahlenexposition im Rahmen von Genehmigungsverfahren für kerntechnische Anlagen ist dringend geboten.

Literaturverzeichnis

- 111 TÜV Norddeutschland (1980):
Gutachtliche Stellungnahme Nr. 25-80-001.
- 121 Bundesminister des Inneren (1979):
Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer. Richtlinie zu § 45 StrlSchV).
- 131 Heinemann, K. und Vogt, K. (1979):
Statistische Untersuchungen zur notwendigen Begrenzung der Tages- bzw. Stundenemissionsmengen. Int. KFA-Bericht: ZST-No 0306.
- 141 Geiß, H., Heinemann, K. und Vogt, K. (1981):
Statistische Untersuchungen zur Begrenzung von Kurzzeitemissionen. FGU-Seminar: Radioökologie und Strahlenschutz, Berlin, 20.-25.5.1981.
- 151 Bundesminister des Inneren (1982):
Berichtigung und Änderung der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer".
- 161 Geiß, H. (1981):
Gutachten über die potentielle Strahlenexposition auf Grund der durch die Emission von Jod 131 über Fallout und Washout erzeugten Kontamination von Vegetation und Boden unter Berücksichtigung stündlicher Messungen der meteorologischen Einflußgrößen.
- 171 Heinemann, K. und Vogt, K. (1980):
Measurements of the deposition of iodine onto vegetation and the biological half-life of iodine and vegetation. Health Physics, 39, 463.