

BESTIMMUNG UND BEWERTUNG VON STÖRFALLFOLGEN NACH KURZZEITIGEN
AKTIVITÄTSFREISETZUNGEN AUS KERNKRAFTWERKEN: EINE NEUERE
METHODE

G. Schwarz

Brenk Systemplanung, D-5100 Aachen, FRG

H. Peter, A. Tamer

Kraftwerk Union AG, D-6050 Offenbach a. M., FRG

EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG

In der Bundesrepublik Deutschland (BRD) darf, insbesondere aufgrund gesetzlicher Anforderungen, die Genehmigung zum Bau und Betrieb von Kernreaktoren nur dann erteilt werden, wenn eine dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechende Vorsorge gegen Störfälle und ihre möglichen Folgen gegeben ist. Als Instrumentarium zum Nachweis dieser Vorsorge bedient man sich im Genehmigungsverfahren für nukleare Anlagen u.a. entsprechender Modellvorstellungen, mit deren Hilfe die möglichen Störfallfolgen deterministisch bestimmt werden.

Unter einer deterministischen Störfallfolgenabschätzung soll hier die Verfahrensweise verstanden werden, bei der zur Bestimmung der potentiellen Auswirkungen ein ganz bestimmter Geschehensablauf (Szenario) mit entsprechenden Parametern - häufig solche konservativer Art - zugrunde gelegt wird.

Diese Verfahrensweise ist verschiedentlich kritisiert worden, und zwar aus unterschiedlichen Gründen. So bleibt vor allem die Variabilität von Modellparametern sowie deren mögliche Interdependenzen außer Betracht. Weiterhin besteht die Gefahr, daß bei einer ausschließlichen oder partiellen Verwendung von "konservativen" Parameterwerten die möglichen Störfallfolgen weit überschätzt werden und so zu falschen Schlußfolgerungen, z.B. bezüglich eventueller Gegenmaßnahmen, führen können.

Überlegungen, diesen Kritikpunkten in geeigneter Form Rechnung zu tragen, haben dazu geführt, die Anwendbarkeit statistischer Methoden zur Störfallfolgenanalyse eingehender zu untersuchen sowie Möglichkeiten zur Bewertung von Störfallfolgen aufzuzeigen. Als Anwendungsbeispiel wird hierzu ein Ingestionsdosismodell zur Beschreibung des Aktivitätstransportes über Nahrungsketten nach kurzzeitigen Aktivitätsfreisetzungen und der daraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung gewählt.

METHODIK

Im Gegensatz zur deterministischen Verfahrensweise, bei der jeder Prozess eines Störfallfolgenmodells durch einen festen Parameter repräsentiert wird, sind bei der statistischen Vorgehensweise die Modellparameter stochastische Variablen mit bekannten Verteilungsfunktionen. Mathematisch gesehen ist somit die Bestimmung der Häufigkeitsverteilung der Ergebnisgröße, z.B. der organspezifischen Äquivalentdosis in der Bevölkerung, Ziel der Untersuchung. Die statistische Betrachtungsweise liefert somit nicht nur eine Aussage über das Ausmaß potentieller Störfallfolgen, sondern auch über die Häufigkeit, mit der ein bestimmtes Störfallausmaß auftreten kann.

In der Statistik sind verschiedene prinzipiell anwendbare Verfahrensweisen verfügbar, die für solche Problemstellungen

herangezogen werden können. Als ein relativ einfaches und flexibles numerisches Lösungsverfahren hat sich vor allem die Monte-Carlo Simulationsmethode erwiesen, die auch in dieser Untersuchung Anwendung findet.

INGESTIONS-DOSIS-MODELL

Das der folgenden Untersuchung zugrunde liegende Ingestions-dosismodell zur Bestimmung der alimentären Inkorporation radioaktiver Stoffe und der daraus resultierenden Strahlenexposition entspricht, von wenigen Ausnahmen abgesehen, der Verfahrensweise, die in [1] für eine Beurteilung von Auslegungsstörfällen in Kernkraftwerken vorgeschlagen worden ist.

Danach ist bei der Durchführung des Vorsorgenachweises eine Aktivitätsinkorporation über verschiedene Nahrungsmittelpfade, nämlich den Konsum von Milch, Fleisch und pflanzlichen Produkten zu unterstellen. Die Beschreibung der Aktivitätsausbreitung in der Atmosphäre erfolgt nach dem GAUSS'schen Fährtenmodell [2] bzw. im Falle von windschwachen Wetterlagen und Windstillen nach dem Le QUINIO'schen Puff-Modell [3].

Folgende ausgewählte, wichtige Einflußgrößen des Ingestions-dosismodells wurden hinsichtlich ihrer statistischen Eigenschaften eingehender untersucht: (1) die Ausbreitungs (χ)- und Ablagefaktoren (F, W) zur Bestimmung der Kontamination des Bodens und Bewuchses, (2) der Transferfaktor Boden-Pflanze und (3) die Ernährungsgewohnheiten von Erwachsenen. Für die übrigen Parameter des Ingestionsdosismodells, z.B. die Dosisfaktoren und bzgl. des Nuklidverhaltens im Boden, wurden hingegen vereinfachend die festen Referenzwerte - also keine Verteilungen - nach [1] zugrunde gelegt.

ERGEBNISSE

Tab. 1 enthält eine Zusammenstellung ausgewählter statistischer Kenngrößen der berechneten Dosisverteilung. Die Werte geben die Ingestionsdosis pro freigesetzter Aktivitätsmenge D/Q an einem festen Zeitpunkt in der Umgebung des Emittenten an. Zum Vergleich sind auch die nach der deterministischen Berechnungsvorschrift [1] ermittelten $(D/Q)_{SSK}$ -Werte angegeben.

Die Streubreite der durch einmalige, kurzzeitige Aktivitätsfreisetzungen bedingten potentiellen Ingestionsdosen ist nach Tab. 1 erheblich und beträgt aufgrund der Variabilität der im Ingestionsdosismodell involvierten Prozesse, Verhaltensweisen etc. etwa 2-4 Größenordnungen. Sie wird dominiert durch die zum Freisetzungszeitpunkt (zufällig) vorherrschenden meteorologischen Bedingungen sowie die individuell unterschiedlichen Ernährungsgewohnheiten. Weiterhin ist bemerkenswert, daß die nach der statistischen Methode berechneten D/Q -Werte, basierend auf der Simulation von 10000 Emissionssituationen, die $(D/Q)_{SSK}$ -Werte in keinem Fall überschreiten.

BEWERTUNGEN VON KURZZEITIGEN AKTIVITÄTSFREISETZUNGEN

Als quantitative Beurteilungsgrundlage zur Festlegung von störfallbedingten Emissionsrichtwerten können folgende Verfahrensweisen herangezogen werden: 1. eine sich am Risikobegriff orientierende Methode und 2. eine perzentilenorientierte Bewertung.

Bewertungsgröße des risikoorientierten Konzeptes ist in Anlehnung an den klassischen Risikobegriff das Produkt aus Störfall- oder Schadensausmaß und Eintrittshäufigkeit. Betrachtet man z.B. die normierte Strahlenexposition D/Q als Schadensmaß, so erhält man über die Beziehung

$$D_G = Q \int_0^{\infty} w(D/Q) (D/Q) d(D/Q) = Q \overline{(D/Q)}$$

eine unmittelbare Verknüpfung zur Festlegung eines Emissionsrichtwertes (Q) mittels eines Dosisgrenzwertes (D_G) und einer statistisch abgeleiteten Risikomaßzahl ($\overline{(D/Q)}$) (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Statistische Kenngrößen der berechneten Ingestionsdosis-häufigkeitsverteilung D/Q (pSv/Bq) an einem festen Aufpunkt (Freisetzungshöhe $H = 100$ m, Abstand vom Emittenten 500 m)

Emissionsdauer T_E (h)	J 131/Schilddrüse		Sr 90/Knochen	
	1	24	1	24
$\overline{D/Q}$	0,0012	0,0010	0,062	0,041
CV (%)	552	192	1133	371
$(D/Q)_{99}$	0,027	0,009	1,1	0,68
$(D/Q)_{99,9}$	0,086	0,016	10	1,8
$(D/Q)_{\max}$	0,14	0,027	26	3,5
$(D/Q)_{SSK}$	0,30	0,24	34	14
$\overline{D/Q}$	Erwartungswert der Verteilung			
CV	Variabilitätskoeffizient			
$(D/Q)_n$	n-Perzentile der Verteilung			
$(D/Q)_{\max}$	Maximaler (D/Q)-Wert bei 10000 Simulationen			

Bei der Zugrundelegung des perzentilenorientierten Konzeptes, bei dem äußerst selten auftretende Geschehensabläufe als praktisch bedeutungslos angesehen werden, erfolgt die Festlegung von Emissionsrichtwerten nach der Beziehung

$$D_G = Q \cdot (D/Q)_n$$

wobei $(D/Q)_n$ der Wert der normierten Dosisverteilung (oder eines anderen n Schadensmaßes) ist, die n-Prozent aller Ereignisabläufe umfaßt.

Tab. 2: Anwendung der verschiedenen Konzepte zur Festlegung von störfallbedingten Emissionsrichtwerten in GBq

Emissionsdauer T_E (h)	J 131/Schilddrüse		Sr 90/Knochen	
	1	24	1	24
<u>Risikoorientiertes Konzept ($D_G = 15$ mSv)</u>				
	— 13800 —		— 296 —	
(100-n)	<u>Perzentilenorientiertes Konzept ($D_G = 50$ mSv)</u>			
0,1 %	555	3070	4,8	27
1 %	1850	5440	44	74
5 %	13200	10800	-	229
<u>Deterministische Vergleichswerte ($D_G = 50$ mSv)</u>				
	166	210	1,5	3,3

In Tab. 2 sind als Anwendungsbeispiel die nach den beiden vorgenannten Bewertungskonzepten bestimmten Emissionsrichtwerte (Q) angegeben. Dabei wurden verschiedene Dosisgrenzwerte bzw. Überschreitungshäufigkeiten (100-n)% des Grenzwertes zugrunde gelegt. Ein Vergleich mit den nach dem deterministischen Verfahren bestimmten Emissionsrichtwerten läßt erkennen, daß letztere nach den vorliegenden Modellrechnungen zu deutlich geringeren Abgabewerten führen. Ihre Anwendung stellt daher möglicherweise eine zu restriktive Beurteilungsgrundlage für störfallbedingte Freisetzungen dar.

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Als Ergebnis zeigt sich, daß eine statistische Störfallfolgenanalyse sowohl von der Methodik als auch vom Aufwand her durchführbar ist. Beschränkungen ergeben sich möglicherweise in solchen Fällen, in denen der für eine statistische Untersuchung erforderliche Informationsstand aus der Literatur nicht unmittelbar bereitgestellt werden kann. Weiterhin ist der statistische Ansatz geeignet, die Beurteilungsgrundlage zur Bewertung von störfallbedingten (oder sonstigen kurzzeitigen) Radionuklidfreisetzungen zu objektivieren und damit auch den bisherigen kritischen Vorbehalten entgegenzuwirken.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Empfehlungen der Reaktorsicherheits- und Strahlenschutzkommission: Leitlinie zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit DWR gegen Störfälle (Entwurf), Geschäftsstelle der Reaktorsicherheitskommission, Köln 1982
2. Geiß, H., Nester, K., Thomas, P. und Vogt, K.J.: In der Bundesrepublik Deutschland experimentell ermittelte Ausbreitungsparameter für 100 m Emissionshöhe, JÜL-1707 (KfK-3095), Febr. 1981
3. Doury, A., Gerard, R. und Picol, M.: Abaques d'évaluation directe des transferts atmosphériques d'effluents gazeux (Deutsche Übersetzung), Rapport DSN No. 84 (Rev.1), Mars 1977