Zeitschrift: Protar

Herausgeber: Schweizerische Luftschutz-Offiziersgesellschaft; Schweizerische Gesellschaft der Offiziere des Territorialdienstes

Band: 22 (1956)

Heft: 9-10

Artikel: Zum Problem der radioaktiven Spätwirkung

Autor: Müller, Jean

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-363667

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Studienreise nach Schweden und Dänemark

Der Zentralsekretär des Schweizerischen Bundes für Zivilschutz, Major *P. Leimbacher,* hat über diese vom 5. bis 15. Mai 1956 dauernde Reise einen ausführlichen Bericht von 40 Seiten verfasst, der einen ausgezeichneten Ueberblick über das dort auf dem Gebiet des Zivilschutzes Gesehene und Gelernte bietet.

Der Berichterstatter betont einleitend die enge *Zusammenarbeit* zwischen den behördlichen Zivilschutzstellen und den privaten Vereinigungen für Zivilschutz, die sowohl auf Landesebene als auch in den Provinzen und unter reger Beteiligung von Frauen funktioniert. Wir notieren besonders auch die grosse Beteiligung der öffentlichen Hand an der *Finanzierung* der Aufgaben der Zivilschutzbünde, welche ein Ausmass erreicht, mit dem sich die schweizerischen Verhältnisse noch lange nicht messen können. Dass dabei die *Aufklärung* einen breiten Rahmen einnimmt, versteht sich von selbst und erweckt vorweg unser lebhaftes Interesse.

Mit diesen Hinweisen möchten wir der detaillierten *Auswertung* dieses Berichtes nicht vorgreifen, der uns mit den Eindrücken und Beurteilungen der anderen Delegationsteilnehmer noch lange beschäftigen wird.

FACHDIENSTE

Zum Problem der radioaktiven Spätwirkung

Von Obit. Jean Müller[1]

Unter gewissen Bedingungen muss nach der Explosion von Atomwaffen mit einer anhaltenden radioaktiven Verseuchung grösserer Gebiete gerechnet werden. Eine zuverlässige Beurteilung dieser Situation ist in einem zukünftigen Atomkrieg von grösster Bedeutung. Jede Unsicherheit der Führung nach erfolgtem Einsatz von Atomwaffen müsste unter Umständen schwerwiegendere Folgen zeigen als die materielle Wirkung der Explosion selbst.

Nach erfolgtem Einsatz von Atomwaffen müssen die verantwortlichen Kommandostellen möglichst rasch über die räumliche Situation der verbleibenden Radioaktivität und deren zeitliche Entwicklung orientiert sein.

Da über das Kaliber und den Typ der eingesetzten Waffe höchstens Mutmassungen bestehen können, ist eine *Messung* der Strahlungsintensität — es handelt sich bei der radioaktiven Spätwirkung in erster Linie um Gammastrahlung — an verschiedenen Geländepunkten unumgänglich. Diese Aufgabe wird durch die A-Equipen der Sanitätsabteilungen gelöst. Der ABC-Offizier der Heereseinheit wird deshalb sofort nach der Explosion motorisierte Trupps dieser Spezialisten so einsetzen, dass sie aus verschiedenen Richtungen konzentrisch gegen das Explosionszentrum («Punkt Null») vorstossen. Die auf eine bestimmte Zeit (normalerweise eine Stunde nach der Explosion) umgerechneten Messungen der A-Equipen ermöglichen die Aufstellung eines Situationsplanes der verbleibenden Radioaktivität, wobei die Orte gleicher Intensität in einfachen Fällen auf ellipsenähnlichen Kurven liegen, deren grössere Achse mit der mittleren Windrichtung zusammenfällt.

Eine quantitative Beurteilung der Strahlung verlangt eine Einheit der *Intensität* (auch «Dosisleistung») beziehungsweise der *Dosis.* Als biologische Einheit der Dosis wird das *Röntgen* verwendet, dargestellt durch die absorbierte Gammastrahlung, die in 1 cm^3 Luft bei Normalbedingungen durch Ionisation eine elektrostatische Ladungseinheit positiver und negativer Ionen erzeugt[2]).

Als Mass der Intensität der Strahlung soll in dieser Arbeit durchwegs die Einheit der Dosisleistung *Röntgen pro Stunde* (r/h) verwendet werden.

Zeitlicher Verlauf der Radioaktivität

Für eine bestimmte Art radioaktiver Isotope gilt das exponentielle Zerfallsgesetz

$$N = N_0 \cdot \exp\,(-\lambda \cdot t)$$

wobei N als Zahl oder Konzentration der noch nicht zerfallenen Atome der Strahlungsintensität zur Zeit t proportional ist. Charakteristisch für die Art des Zerfalls ist die Halbwertszeit $T = \frac{ln\,2}{\lambda}$, nach welcher die Intensität der Strahlung auf die Hälfte gesunken ist.

Die verbleibende Radioaktivität nach Atomexplosionen resultiert aus der Summe aller möglichen Zerfälle mit den verschiedensten Halbwertszeiten. Die Zeitabhängigkeit der summierten Intensität wird empirisch durch ein Potenzgesetz wiedergegeben, d. h. es gilt

$$I(t) = \int I_0(\lambda) \exp\,[-\lambda\,(t - t_0)]\; d\lambda = I_1 \cdot t^{-\alpha}.$$

I_1 bedeutet dabei die totale Dosisleistung eine Stunde nach der Explosion. Nach Uran- oder Plutoniumexplosionen wird erfahrungsgemäss mit einem Exponenten $\alpha = 1{,}2$ gerechnet. Aus dieser empirischen Gesetzmässigkeit kann auf die Zusammensetzung der Strahlung aus den verschiedenen Komponenten der ent-

[1] Physikalisches Institut der ETH.

[2] Für genauere Definition vgl. [1].

sprechenden Halbwertszeit T geschlossen werden. Durch Laplace-Transformation findet man für die Intensität mit den Zerfallkonstanten λ zur Zeit t_0

$$I_0(\lambda) = \frac{I_1}{\Gamma(\alpha)} \cdot \lambda^{\alpha-1} \cdot \exp(-t_0 \lambda)$$

oder numerisch

$$I_0(\lambda) = I_1 \cdot 1{,}1 \cdot \lambda^{0{,}2} \cdot \exp(-t_0 \lambda).$$

In Abb. 1 ist die Abhängigkeit der Intensität von der Halbwertszeit graphisch dargestellt. Es ergibt sich für die Halbwertszeit der jeweils intensivsten Strahlung

$$T = 3{,}5 \cdot t_0$$

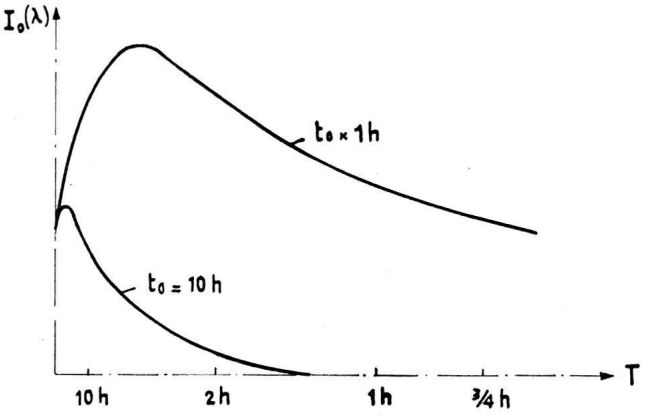

Abb. 1

Das Intensitäts-Zeit-Gesetz

$$I(t) = I_1 \cdot t^{-1{,}2}$$

darf nur unter der wichtigen Bedingung auf die praktischen Verhältnisse angewendet werden, dass am betreffenden Ort kein weiterer Anfall von radioaktiver Materie erfolgt, d. h. Aenderungen als Folge einer Konvektion der strahlenden Substanzen werden nicht erfasst.

Regeln über die Intensität und Dosis

Aus den eingangs erwähnten Gründen ist eine mindestens einmalige Messung der Strahlungsintensität an möglichst vielen Geländepunkten absolut notwendig. Unter der Bedingung der Konvektionsfreiheit kann jedoch hierauf die zeitliche Entwicklung der Strahlung beurteilt werden. Den ABC-Offizieren stehen dazu graphische Unterlagen zur Verfügung. Zum Zwecke der Vereinfachung dieser Beurteilung veröffentlichte R. P. Nadbath, Commander (MC) USN [2] einige Regeln, die im folgenden kritisch diskutiert werden sollen. Zwei amerikanische Regeln machen Aussagen über den zeitlichen Verlauf der Dosisleistung:

a) Nach der doppelten Zeit (vom Moment der Explosion an gerechnet) ist die Intensität auf die Hälfte des ersten Wertes minus 10 % gesunken;

b) nach der doppelten Zeit minus 10 % ist die Intensität auf die Hälfte gesunken.

Ein Beispiel soll diese beiden Regeln zusammenfassend illustrieren: 2 Stunden nach der Explosion werden 100 r/h gemessen. Nach 3,6 Stunden sind 50 r/h (Regel b) nach 4 Stunden 45 r/h (Regel a) zu erwarten. Zum Vergleich lauten die auf Grund des Potenzgesetzes gefundenen «genauen» Zahlen: Nach 3,56 Stunden 50 r/h, nach 4 Stunden 43,5 r/h.

Eine weitere Faustregel, übernommen aus dem «Instruction Manual for Shipboard Radiological Defense» [3] besagt, dass die Dosisleistung in r/h gleichzeitig die Dosis für die folgende Stunde angibt. Diese Regel gibt selbstverständlich eine obere Grenze für die zu erwartende Dosis, ist aber unbefriedigend und sollte durch eine Aussage über den stündlichen Abfall der Strahlung ersetzt werden. Eine Näherungsbetrachtung zeigt, dass die stündliche Abnahme ausserordentlich gut wiedergegeben wird durch die Formel

$$\text{Abnahme} = \text{Intensität} \cdot \frac{1{,}2}{t+1}$$

Beispielsweise betrage die Strahlung 2 Stunden nach der Explosion 50 r/h. Unsere Formel ergibt sofort für die Abnahme während der dritten Stunde $50 \cdot \frac{1{,}2}{3} = 20$ r/h. Die Intensität nach 3 Stunden wird also noch 30 r/h betragen. Interessiert man sich für die Dosis während der dritten Stunde, so wird man den Mittelwert nehmen, also 40 r (zum Vergleich genauer Wert: 39 r).

In Tabelle 1 ist die stündliche Abnahme nach unserer Regel $I(t) \cdot \frac{1{,}2}{t+1}$ den genauen Werten zum Vergleich gegenübergestellt.

Tabelle 1

t	I_{genau}	ΔI_{genau}	$\Delta I_{Faustregel}$
1 h	100 r/h		
		56 r/h	60 r/h
2 h	44 r/h		
		17 r/h	18 r/h
3 h	27 r/h		
		8 r/h	8 r/h
4 h	19 r/h		
10 h	6,3 r/h		
		0,7 r/h	0,7 r/h
11 h	5,6 r/h		
23 h	2,3 r/h		
		0,1 r/h	0,1 r/h
24 h	2,2 r/h		

Eine wichtige amerikanische Regel befasst sich mit der totalen Dosis, die an einem bestimmten Ort von der beliebigen Zeit t an bei praktisch unbegrenztem Aufenthalt zu erwarten ist. Diese Regel ist exakt gleichwertig mit der graphischen Lösung und besagt

$$\text{Dosis (von t bis } \infty) = 5 \cdot I(t) \cdot t$$

(mnemotechnisch FIZ = Fünf • Intensität • Zeit)

Beispielsweise interessiere man sich für die totale Dosis von 6 Stunden nach der Explosion an, wenn die Dosisleistung zu dieser Zeit 4 r/h betrage. Die Formel ergibt $5 \cdot 4 \cdot 6 = 120$ r. Dass sich diese Formel direkt auf das empirische Gesetz stützt, wird leicht eingesehen:

$$D = \int_{t_a}^{\infty} I_1 \cdot t^{-\alpha}\, dt = \frac{1}{\alpha - 1} \cdot I_1 \cdot t_a^{-\alpha} \cdot t_a$$

Nadbath [2] schlägt eine weitere Regel vor, die aussagt, dass die Dosis während einer, zwei usw. oder fünf Halbwertszeiten gleich einem, zwei usw. bzw. fünf Zehntel der totalen Dosis bis zur Zeit unendlich (FIZ) beträgt. So wird beispielsweise abgeschätzt, dass die Dosis zwischen 2 und 3,6 Stunden nach der Explosion, wenn nach 2 Stunden 20 r/h gemessen werden, gerade 20 r beträgt. (Erklärung: von 2 bis 3,6 Stunden wird die Strahlung auf die halbe Intensität sinken, die Expositionsdauer ist also gerade identisch mit der ersten Halbwertszeit. Daraus folgt $D = \frac{1}{10} \cdot 5 \cdot 20 \cdot 2 = 20$ r.) Diese Formel ist im Gegensatz zur FIZ-Regel eine Näherung, indem bei der Betrachtung von n Halbwertszeiten der sich aus der Rechnung ergebende Faktor $(1 - 2^{-n/6})$ durch $\frac{n}{10}$ ersetzt wird. Der durchschnittliche Fehler beträgt dabei 10 %.

Trotz der geringen Bedeutung dieses Fehlers ist diese Formel als Faustregel nicht geeignet, da der Begriff der Halbwertszeit für die Gesamtstrahlung variabel ist und eine unnötige Komplikation einführt. Es zeigt sich hier der Vorteil der Regel über die stündliche Abnahme der Intensität $I(t) \cdot \frac{1{,}2}{t+1}$, mit deren Hilfe die Dosis für eine bestimmte Zeitspanne besser und einfacher errechnet werden kann.

Zusammenfassend kann für alle Probleme der radioaktiven Spätwirkung folgendes Schema von drei Faustregeln empfohlen werden:

1. **In der doppelten Zeit wird die Intensität auf 45 % sinken;**
2. **die stündliche Abnahme der Intensität beträgt $I(t) \cdot \frac{1{,}2}{t+1}$;**
3. **die totale Dosis von der Zeit t bis unendlich beträgt $5 \cdot I(t) \cdot 1$.**

Der Verlauf der Intensität ergibt sich somit aus den Regeln 1 und 2, während die zu erwartenden Strahlendosen auf Grund der Regeln 2 oder 3 errechnet werden.

Die physiologische Wirkung

Für die Wirkung der Gammastrahlung auf den Körper ist in erster Linie die aufgenommene Dosis in Röntgen charakeristisch. Obschon für die einzelnen Effekte die Art und Bedingungen der Strahlung wesentlich sind [3] [4], kann nach statistischen Daten folgendes Schema der physiologischen Wirkung angenommen werden [5]:

Aktuelle Dosis in r	% Kranke (inkl. Tote)	% tot
50	0	0
100	2	0
150	25	0
200	50	0
300	100	25
450	100	50
650	100	100

In etwas vereinfachter Form kann diese Tabelle wie folgt zusammengefasst werden:

50 r: keine Ausfälle;
200 r: 50 % krank, keine Toten;
400 r: 100 % krank, 50 % tot;
600 r: 100 % krank, 100 % tot.

Im Anschluss an diese Faustregeln ist es angebracht, sich über *die Genauigkeit der Beurteilung* Rechenschaft abzulegen. In erster Linie ist dabei die *physiologische Streuung* zu berücksichtigen, die eine exakte Voraussage der Wirkung der Strahlung auf die Truppe ohnehin verunmöglicht. Zudem ist jedenfalls mit örtlichen Schwankungen der Strahlungsintensität zu rechnen, die durch ein grobes Netz von wenigen Messpunkten nicht wiedergegeben werden. Im weiteren wird durch die Messung nur die Gammastrahlung quantitativ erfasst. Jede Beurteilung auf Grund der Messungen setzt deshalb voraus, dass keine zusätzlichen Schädigungen durch β- und α-strahlende Substanzen auftreten (Gasmaske!). Eine Vergrösserung der physiologischen Streuung würde im Kriegsfall zweifelsohne noch durch den Umstand vorgetäuscht, dass einzelne Personen von einer früheren Exposition unterschiedliche Strahlendosen akkumuliert haben. Eine vernünftige Beurteilung der radioaktiven Spätwirkung wird deshalb allen diesen Unsicherheitsfaktoren Rechnung tragen.

Nach dem Einsatz von Atomwaffen ist es von entscheidender Bedeutung, dass von den zuständigen Kommandanten rasch und sicher Entschlüsse gefasst werden. Es wäre unbefriedigend, wenn diese Entscheidungen nur auf Grund von graphischen Hilfsmitteln über die Radioaktivität getroffen werden könnten. In diesem Sinne sollen die einfachen Regeln für die Beurteilung der Lage einen wertvollen Beitrag darstellen.

[3] Zum Beispiel zeigt die Abhängigkeit von der Intensität ein Maximum der Empfindlichkeit bei 500—1000 r/h.

Literatur

[1] Kohlrausch (1956), 488 ff.
[2] R. P. Nadbath, U. S. Armed Forces Med. J. *6*, 1117 (1955).
[3] Zitiert in [2].
[4] W. Minder, Mitt. Eidg. Gesundheitsamt *46*, 76 (1955).
[5] Quellen zitiert in [2].