

Der F & H- Strahlenschutz-Rechenschieber und seine Anwendung



FAG Kugelfischer Georg Schäfer & Co.

Erzeugnisbereich Strahlungsmesstechnik

System Frieeseke & Hoepfner

Publ.-Nr. 81102d

**Gebrauchs-
Anleitung**

www.reglasdecalculo.com



Der F & H –

Strahlenschutz – Rechenschieber

und seine Anwendung

Inhaltsübersicht

Vorbemerkung	Seite 1
A) Begriffserklärung	Seite 2
B) Der Gebrauch des F & H Strahlenschutz- rechenschiebers zur Lösung der acht Grund- aufgaben.	
I, Dosisleistung und Aufenthaltszeit	Seite 3
II. Momentane Aktivität	Seite 5
III. Schutzdicke, Abschirmung	Seite 8
IV. Halbwertszeit	Seite 10
V. Photonenfluß	Seite 13
C) Die wichtigsten physikalischen Größen bei Strahlenschutzmessungen und ihre Definition	
I. Dosisleistung	Seite 14
II. Aktivität	Seite 16
III. Halbwertsdicke, Schutzschichtdicke	Seite 17
IV. Photonenfluß	Seite 20
D) Physikalische Daten radioaktiver Isotope (für Dosiskonstanten, Emissionswahrschein- lichkeiten etc.)	Seite 21 u. 22

Vorbemerkung

Durch den sich rasch ausweitenden Anwendungsbereich radioaktiver Isotope in allen Zweigen von Wissenschaft und Technik gewinnt das Problem des Strahlenschutzes für einen immer größeren Personenkreis erhöhte Bedeutung.

Zur Verhütung von Unfällen oder gesundheitlichen Schädigungen von Personen, die mit radioaktiven Stoffen oder in deren unmittelbarer Nähe arbeiten, ist ein wirksamer Strahlenschutz eine unbedingte Forderung, von den gesetzlichen Vorschriften ganz abgesehen. Dies gilt umsomehr, als heute schon routinemäßige Arbeiten mit Isotopen durch wenig geschultes Personal ausgeführt werden. Die von den verantwortlichen Stellen zu treffenden notwendigen Schutzmaßnahmen müssen sich daher auch auf eine genaue Festlegung der aufeinanderfolgenden Phasen des Arbeitsablaufes

erstrecken. Wesentliche Voraussetzung für alle evtl. Vorkehrungen ist die Kenntnis der am Arbeitsplatz zu erwartenden Strahlenbelastung. Dabei erfordert die stark durchdringende Gammastrahlung besondere Beachtung.

Wenngleich die rechnerische Bestimmung von Dosisleistungen, Aufenthaltszeiten, Schutzdicken o.ä. an Hand der bekannten Formeln keine besonderen Schwierigkeiten bereitet, so stellt sie doch bei der Arbeit eine unangenehme zeitliche Inanspruchnahme dar. Aus diesem Grunde wurde von der Fa. Frieseke & Hoepfner, aus den Erfahrungen der täglichen Praxis heraus, der "F & H -Strahlenschutz - Rechenschieber" für Gammastrahlen entwickelt. Er gestattet eine einfache und schnelle Ermittlung aller für die Beurteilung und Bemessung von Strahlenschutzanordnungen wichtigen Größen.

In der folgenden Beschreibung werden 8 häufig vorkommende Grundoperationen erläutert, doch läßt sich durch geeignete Kombination eine Vielzahl weiterer Aufgaben damit lösen.

In seiner jetzigen, verbesserten Ausführung bietet der F & H -Strahlenschutz - Rechenschieber Gewähr für hohe Einstell- und Ablesegenauigkeit sowie saubere Skalenteilung und Maßhaltigkeit.

Ob in Isotopen-Laboratorien oder Reaktoranlagen, der Industrie oder wissenschaftlichen Instituten, der F & H -Strahlenschutz - Rechenschieber wird überall dort zu einem unentbehrlichen Helfer werden, wo Fragen des Strahlenschutzes aktuell sind und einer raschen Lösung bedürfen.

A) Begriffserklärung

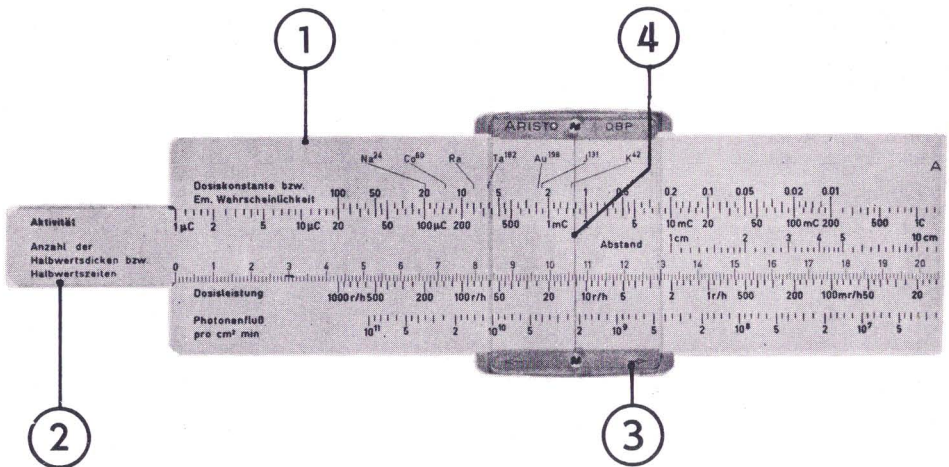


Abb. 1 Vorderseite des F & H - Strahlenschutz - Rechenschiebers.

- (1) "Vorderseite": Hierunter soll im folgenden diejenige Seite des Rechenschiebers verstanden werden, welche durch die rote Aufschrift "Strahlenschutz-Rechenschieber" sowie durch das F & H - Firmen-Emblem gekennzeichnet ist.
- "Rückseite": ist sinngemäß die andere Seite des Rechenschiebers.
- (2) "Zunge": wird das verschiebbare Mittelstück des Rechenschiebers genannt. Sie trägt auf der Vorderseite links die Skalenbezeichnungen: "Aktivität" sowie "Anzahl der Halbwertsdicken bzw. Halbwertszeiten"
- (3) "Läufer": heißt das verschiebbare Teil, welches beidseitig mit Glas belegt ist, in dessen Mitte ein Fadenstrich ("Läuferstrich" (4)) angebracht ist.

B) Der Gebrauch des F & H - Strahlenschutz - Rechenschiebers zur

Lösung der acht Grundaufgaben:

I. Dosisleistung und Aufenthaltszeit

Dosisleistung und Aufenthaltszeit sind grundlegende Größen bei allen Strahlenschutzbetrachtungen (s. C) I.). Ihre Berechnung ist daher eines der am häufigsten vorkommenden Probleme in der Strahlenschutz - Praxis.

1. Aufgabe: Es ist die Dosisleistung zu ermitteln, welche in einem bestimmten Abstand von einem Strahler bekannter Dosiskonstante und Aktivität wirksam ist.

Beispiel: Strahler: Ra (Dosiskonstante 8)
Aktivität: 20 mC
Abstand: 30 cm

Lösung: Sämtliche Einstellungen erfolgen auf der Vorderseite! Nachdem man den Läuferstrich auf die Dosiskonstante für Ra = 8 (oberste Skala) eingestellt hat, wird die Zunge so verschoben, daß der Aktivitätswert 20mC (obere Skala der Zunge) unter den Läuferstrich zu liegen kommt (Abb. 2).

Schiebt man nun den Läuferstrich auf den vorgegebenen 30 cm-Abstand vom Präparat (mittlere Skala der Zunge), so kann die in diesem Abstand vorhandene Dosisleistung auf der Skala "Dosisleistung" unter dem Läuferstrich abgelesen werden (Abb. 3).

Resultat: ca. 180 mr/h (Dosisleistung)

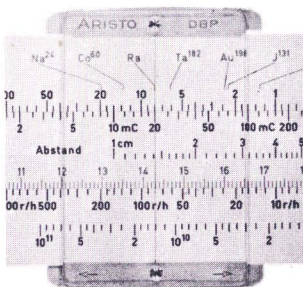


Abb. 2

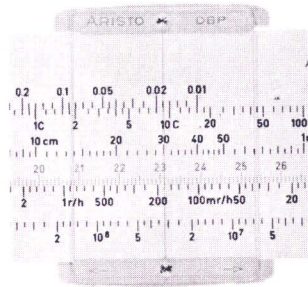


Abb. 3

2. Aufgabe: Im Anschluß an die 1. Aufgabe soll weiterhin ermittelt werden, welche Zeit man sich bei der gefundenen Dosisleistung aufhalten kann, ohne eine bestimmte zulässige Grenzdosis zu überschreiten.

Beispiel: Dosisleistung: $180 \frac{\text{mr}}{\text{h}}$ (1. Aufgabe)
Zulässige Dosis: 100 mr

Lösung: Bei unveränderter letzter Einstellung gemäß Aufgabe 1 wird der Rechnungsgang auf der Rückseite des Schiebers fortgesetzt. Während der Läufer beim Umdrehen nicht versehentlich bewegt werden darf, wird die Zunge so verschoben, daß das mit "Dosis" bezeichnete schwarze Dreieck auf die angenommene bzw. zugelassene Dosis (untere Skala der Zunge), hier 100 mr, zeigt. Die zulässige Aufenthaltszeit kann dann auf der Zeitskala (mittlere Skala der Zunge) unter dem Läuferstrich abgelesen werden (Abb. 4).

Resultat: ca. 34 Minuten (zulässige Aufenthaltszeit)

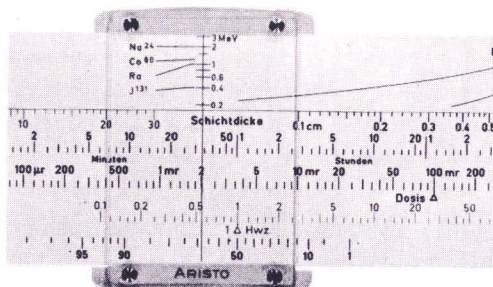


Abb. 4

II. Momentane Aktivität

Da die Aktivität der Strahler durch Zerfall ständig abnimmt, ist oft die momentan vorliegende Aktivität nicht bekannt. Auf Grund des Zerfallsgesetzes läßt sich dieser Wert aus der Aktivität der letzten Messung, der seit dieser Messung vergangenen Zeit und der Halbwertszeit des Strahlers berechnen.

3. Aufgabe: Gesucht ist die momentane Aktivität eines Strahlers in % der Ausgangsaktivität, wenn letztere vor einer bestimmten Zeit t gemessen wurde und die Halbwertszeit HWZ des Strahlers bekannt ist.

Beispiel: Strahler: J^{131}
Halbwertszeit: 1 HWZ = 8 Tage
Vergangene Zeit: $t = 14$ Stunden

Lösung: Gebraucht wird nur die Rückseite des Schiebers !
Zunächst stellt man den Läufer so ein, daß der Läuferstrich über dem mit " 1 HWZ" bezeichneten roten Dreieck steht. Nun verschiebt man die Zunge so, daß die gegebene Halbwertszeit von 8 Tagen (Zeitskala auf der Zunge) unter dem Läuferstrich liegt (Abb. 5). Stellt man weiterhin den Läuferstrich auf die seit der letzten Aktivitätsmessung vergangene Zeit $t = 14$ Stunden (Zeitskala auf der Zunge) ein, so zeigt der Läuferstrich gleichzeitig auf der untersten Skala (" % Aktivität") die momentane Aktivität in % an (Abb. 6).

Resultat: 95 % (Aktivität gegenüber der letzten Messung)

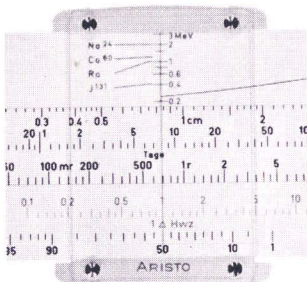


Abb. 5

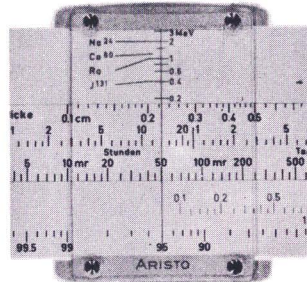


Abb. 6

Ist die nach vorstehendem Verfahren ermittelte prozentuale Restaktivität kleiner als 10 % - dieser Fall tritt dann ein, wenn die verstrichene Zeit t wesentlich größer als die Halbwertszeit ist - so wird die Ablesung auf der Skala " % Aktivität " ungenau.

Man benutzt dann besser das folgende Verfahren zur Berechnung des Absolutbetrages der momentanen Aktivität, welches allerdings die Kenntnis der Ausgangsaktivität voraussetzt. Dabei ermittelt man zuerst die Anzahl der innerhalb der Zeit t vergangenen Halbwertszeiten.

4. Aufgabe: Es ist die momentane Aktivität eines Strahlers zu berechnen, wenn seit der letzten Aktivitätsmessung die Zeit t verstrichen ist und die bei dieser Messung vorhandene Ausgangsaktivität sowie die Halbwertszeit des Strahlers bekannt sind.

Beispiel: Strahler: J 131
Halbwertszeit: 1 HWZ = 8 Tage
Ausgangsaktivität: 500 mC
Vergangene Zeit: $t = 40$ Tage

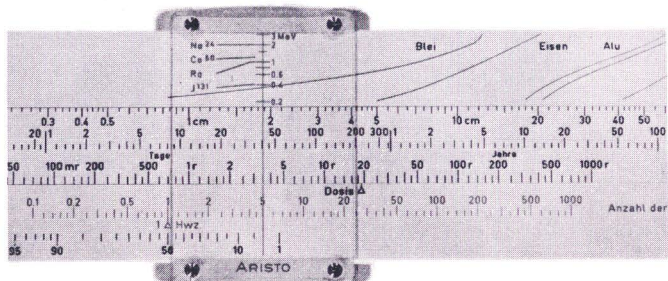
Lösung:

a) Anzahl der vergangenen Halbwertszeiten:

Die Einstellung auf der Rückseite des Schiebers erfolgt auf die gleiche Weise wie bei der Lösung der 3. Aufgabe, also erst Läuferstrich mit dem roten Dreieck " 1 HWZ " zur Deckung bringen. Zunge so verschieben, daß gegebene Halbwertszeit (= 8 Tage) unter dem Läuferstrich steht (s. Abb. 5). Schiebt man jetzt den Läuferstrich auf die vergangene Zeit von $t = 40$ Tagen (Zeitskala der Zunge), so schneidet der Läuferstrich auf der roten Skala "Anzahl der Halbwertszeiten" die Anzahl der in der Zeit t vergangenen Halbwertszeiten HWZ (Abb. 7).

Ablesung: 5 HWZ

Abb. 7



b) Momentane Aktivität:

Kennt man die Anzahl der vergangenen Halbwertszeiten, so wird der weitere Rechnungsgang zur Ermittlung der momentanen Aktivität auf der Vorderseite des Schiebers fortgesetzt.

Die Ausgangsaktivität des Strahlers, hier 500 mC, wird, wie bei der Bestimmung der Dosisleistung (s. diese) unter die Dosiskonstante (J^{131}) gestellt, so daß der Läuferfaden beide überdeckt. Auf der roten Skala "Anzahl der Halbwertsdicken bzw. Halbwertszeiten" (untere Skala der Zunge) erhält man nun unter dem Läuferfaden einen bestimmten Wert für die Anzahl der HWZ, im vorliegenden Beispiel 18,92 (Abb. 8).

Schiebt man bei unverändertem Läufer die Zunge um die unter a) ermittelte Anzahl der vergangenen HWZ nach rechts, hier beispielsweise um 5 HWZ - unter dem Läuferstrich steht dann auf der Skala 13,92 (18,92 HWZ - 5 HWZ = 13,92 HWZ) - so kann man auf der Aktivitätsskala (obere Skala der Zunge) unter dem Läuferstrich die momentane Aktivität ablesen (Abb. 9).

Resultat: ca. 15,8 mC (momentane Aktivität)

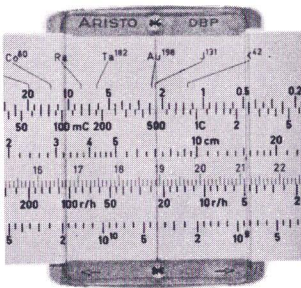


Abb. 8

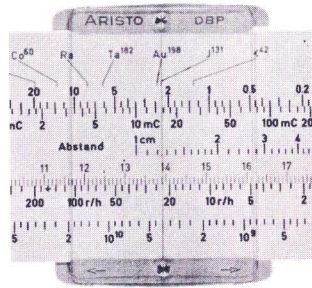


Abb. 9

III. Schutzdicke, Abschirmung

Um beim Arbeiten mit radioaktiven Stoffen die Strahlenbelastung des Personals möglichst klein zu halten, wird man immer bemüht sein, die austretende Strahlung durch eine entsprechende Schutzschicht auf ein vertretbares Maß zu reduzieren.

Die Bestimmung der erforderlichen Dicke der Abschirmung, bei Verwendung eines der üblichen Materialien, kann ebenfalls mit dem F & H - Strahlenschutz-Rechenschieber bequem durchgeführt werden.

5. Aufgabe: Es ist die notwendige Schichtdicke einer Eisenabschirmung festzustellen, um eine gegebene Dosisleistung eines Strahlers bekannter Energie auf eine zulässige Dosisleistung zu reduzieren. Vergleichsweise soll die Dicke einer gleich gut abschirmenden Wasserwand ermittelt werden.

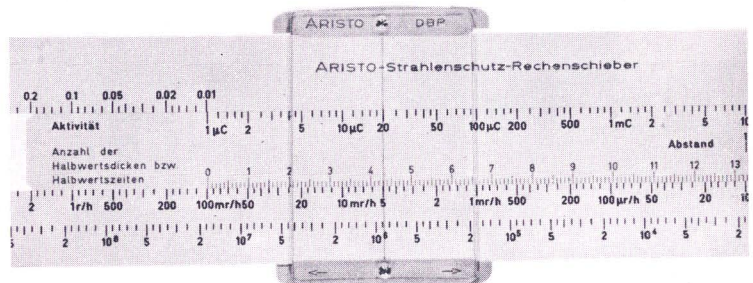
Beispiel: Gegebene Dosisleistung: $100 \frac{\text{mR}}{\text{h}}$
 Zulässige Dosisleistung: $5 \frac{\text{mR}}{\text{h}}$
 Strahler: J^{131} , 0,4 MeV

Lösung: Man stellt zunächst auf der Vorderseite des Schiebers durch Verschieben der Zunge den Anfang (0) der roten Skala ("Anzahl der Halbwertsdicken bzw. Halbwertszeiten") über die vorliegende Dosisleistung von z.B. $100 \frac{\text{mR}}{\text{h}}$ (auf der Skala "Dosisleistung" unter der Zunge).
 Über der zulässigen Dosisleistung, z.B. $5 \frac{\text{mR}}{\text{h}}$, kann auf der roten Skala die erforderliche Anzahl der Halbwertsdicken HWD abgelesen werden (Abb. 10). Die Benutzung des Läufers ist hierzu nicht unbedingt notwendig.

Ablesung:

4,3 HWD

Abb. 10



Nachdem so die erforderliche Anzahl der Halbwertsdicken feststeht, dreht man den Schieber um und stellt den ermittelten HWD-Wert, in diesem Falle 4,3 (rote Skala der Zunge), durch Verschieben der Zunge, unter das rote Dreieck "Anzahl der Halbwertsdicken" (oben links, s. Abb. 11). Schiebt man jetzt den Läuferstrich mit seiner MeV-Skala (z.B. $J^{131} \triangle 0,4 \text{ MeV}$) so über die entsprechende Materialkurve, daß die Energie des Strahlers sich mit der Materialkurve schneidet, dann kann man auf der darunterliegenden Skala "Schichtdicke" unter dem Läuferstrich die notwendige Schichtdicke für das gewählte Abschirmmaterial in cm ablesen (Abb. 12, z.B. für Eisen)

Resultat: 4 cm Schichtdicke für Eisen
oder vergleichsweise
27cm Schichtdicke für Wasser

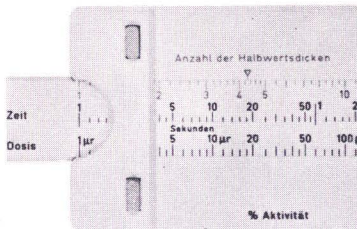


Abb. 11

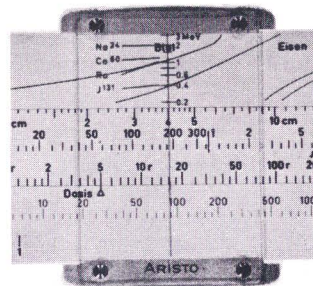


Abb. 12

IV. Halbwertszeit

Ist die Intensität eines Strahlers vor und nach einem bekannten Zeitabschnitt gemessen worden, so läßt sich mit Hilfe des Schiebers die Halbwertszeit des Strahlers nach einem einfachen Schema ermitteln. Dieses wird durch folgende Aufgabe bzw. Lösung erläutert.

6. Aufgabe: Man bestimme die Halbwertszeit eines Strahlers, dessen Aktivität (Impulsrate) vor und nach einem bekannten Zeitabschnitt T gemessen wurde.

Beispiel: 1. Messung: $8 \cdot 10^5 \frac{\text{Imp}}{\text{min}}$

2. Messung: $5 \cdot 10^4 \frac{\text{Imp}}{\text{min}}$

Zeit T : 32 Tage

Lösung: In einem ersten Rechnungsgang ermittelt man auf der Vorderseite des Schiebers die Anzahl der Halbwertszeiten, welche dem gemessenen Aktivitätsabfall entsprechen.

Dazu stellt man den Lauferstrich auf den bei der ersten Messung nachgewiesenen Wert der Impulsrate, hier $8 \cdot 10^5$, und zwar auf der untersten Skala "Photonenfluß pro $\text{cm}^2 \text{ min}$ ".

Hierauf verschiebt man die Zunge so, daß der Anfang (0) der roten Skala "Anzahl der Halbwertszeiten bzw. Halbwertszeiten" exakt unter den Lauferstrich zu liegen kommt (Abb. 13). Verschiebt man weiterhin den Läufer so, daß der Läuferstrich auf der untersten Skala über dem nach der Zeit T gemessenen Wert der Impulsrate, z.B. $5 \cdot 10^4$, steht, so erhält man unter dem Läuferstrich auf der roten Skala (der Zunge) die Anzahl der Halbwertszeiten HWZ, entsprechend dem gemessenen Aktivitätsabfall (Abb. 14).

Ablesung: 4 HWZ

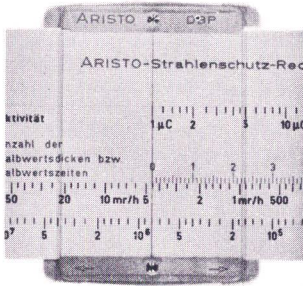


Abb. 13

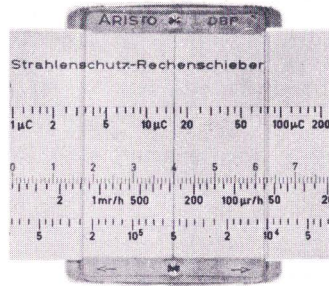


Abb. 14

Hat man so die Anzahl der Halbwertszeiten bestimmt, so dreht man den Schieber um und setzt den weiteren Rechnungsgang auf der Rückseite fort.

Der Läuferstrich wird auf die oben errechnete Anzahl der HWZ (rote Skala "Anzahl der Halbwertszeiten"), also auf 4 HWZ eingestellt. Als nächstes verschiebt man die Zunge und damit die Zeitskala so, daß die zwischen den Messungen liegende Zeit, für das gewählte Beispiel 32 Tage, unter dem Läuferstrich steht (Abb. 15).

Setzt man schließlich den Läuferstrich genau über das mit "1 HWZ" bezeichnete rote Dreieck, so läßt sich die gesuchte Halbwertszeit des Strahlers auf der Zeitskala unter dem Läuferstrich ablesen (Abb. 16).

Resultat: 8 Tage (Halbwertszeit)

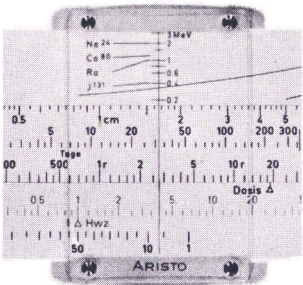


Abb. 15

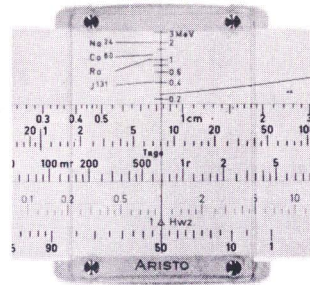


Abb. 16.

Ergibt die zweite Messung der Strahleraktivität eine Impulsrate, die größer als 50 % der ersten Messung ist - dies läßt sich durch eine überschlägige Abschätzung leicht feststellen - so wird das vorstehende Verfahren zur Berechnung der Halbwertszeit evtl. sehr ungenau. Man benützt dann besser die Skala " % Aktivität", wie es nachstehendes Beispiel demonstrieren soll.

7. Aufgabe: Man bestimme die Halbwertszeit eines Strahlers, dessen Aktivität (Impulsrate) vor und nach einem definierten Zeitabschnitt T gemessen wurde:

Beispiel: 1. Messung: $8 \cdot 10^5 \frac{\text{Imp}}{\text{min}}$
 2. Messung: $7,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Imp}}{\text{min}}$
 Zeit T : 14 Stunden

Lösung: Wie man aus den beiden Meßwerten auf den ersten Blick ersieht, ist die 2. Impulsrate wesentlich höher als 50 % der 1. Impulsrate, eine Berechnung nach der Methode von Aufgabe 6 ist hier also nicht zweckmäßig. Vielmehr errechnet man - bei einfachen Zahlenverhältnissen durch Kopfrechnung, sonst mit normalem Rechenchieber etc. - erst das prozentuale Verhältnis der 2. Impulsrate zur 1. Impulsrate, hier also $7,6/8 = 95\%$. Diesen Wert hält man auf der Skala " % Aktivität" (Rückseite, unten) mit dem Läuferstrich fest. Das Weitere vollzieht sich analog zu Aufgabe 6. Durch Verschieben der Zunge bringt man die zwischen den zwei Messungen gelegene Zeit T, in diesem Fall 14 Stunden, unter den Läuferfaden (Abb. 17). Stellt man letzteren sodann über das rote Dreieck " 1 HWZ", erhält man auf der Zeitskala unter dem Läuferfaden die Halbwertszeit des Strahlers (Abb. 18).

Resultat: 8 Tage (Halbwertszeit)

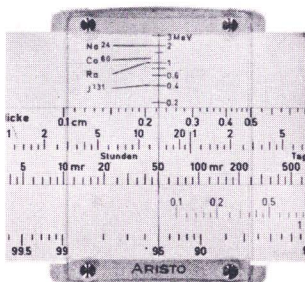


Abb. 17

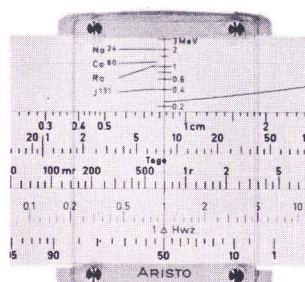


Abb. 18

V. Photonenfluß

Bei Strahlenschutzberechnungen kann es mitunter erforderlich sein, den Photonen- oder Teilchenfluß in einem bestimmten Abstand vom Strahler zu kennen. Unter Photonen- bzw. Teilchenfluß ist hier die Anzahl der pro Minute durch eine Fläche von 1 cm^2 durchtretenden Photonen (Gammaquanten) bzw. bei Betastrahlern die Anzahl der Beta-Teilchen zu verstehen. Der Photonenfluß wird mit dem F & H - Strahlenschutz - Rechenschieber durch einen einfachen Rechnungsgang wie folgt ermittelt.

8. Aufgabe: Es ist der Photonenfluß zu berechnen, welcher in einem gegebenen Abstand von einer Strahlungsquelle bekannter Emissionswahrscheinlichkeit und Aktivität auftritt.

Beispiel: Strahler: Co^{60}
 Emissionswahrscheinlichkeit: 2
 Aktivität: 3 mC
 Abstand: 60 cm

Lösung: Diese erfolgt zunächst wie bei Aufgabe 1. Man stellt den Läuferfaden auf die Emissionswahrscheinlichkeit der Quelle ein (Vorderseite, oberste Skala "Dosiskonstante bzw. Emissionswahrscheinlichkeit", s. auch Tabelle am Schluß). Für Co^{60} ist diese $1 + 1 = 2$. Durch Verschieben der Zunge wird die Aktivität, hier 3 mC, unter den Läuferstrich gebracht (Abb. 19).

Schiebt man jetzt den Läuferfaden auf den gegebenen Abstand von 60 cm (Skala "Abstand" auf der Zunge), so steht der Läuferfaden auf der untersten Skala (Photonenfluß pro $\text{cm}^2 \text{ min}$) gleichzeitig über dem gesuchten Wert für den Photonenfluß (Abb. 20).

Resultat: $3 \cdot 10^5$ (Teilchen pro $\text{cm}^2 \text{ min}$).

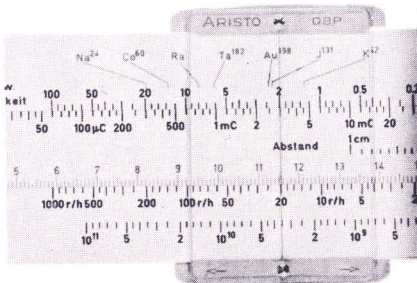


Abb. 19

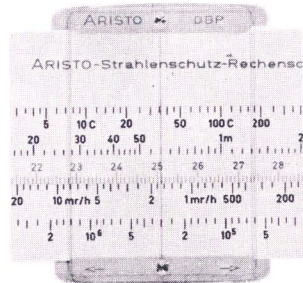


Abb. 20

C) Die wichtigsten physikalischen Größen bei Strahlenschutzmessungen
und ihre Definition.

I. Dosisleistung

(vgl. hierzu Aufgabe 1 und 2)

Sie ist die wichtigste Größe bei allen Strahlenschutz-Messungen und - Berechnungen.

Für die Berechnung wird eine punktförmige Strahlungsquelle zugrunde gelegt. Als punktförmig kann eine Quelle in guter Näherung dann angesehen werden, wenn ihre Ausdehnung im Vergleich zum Abstand von der Quelle hinreichend klein ist (für 1 % Genauigkeit des Quadrat. Abstandsgesetzes genügt ein Verhältnis von 1 : 7).

Definitionen:

Dosisleistung: die Dosisleistung ist gegeben durch die Dosis pro Zeiteinheit, z.B. in r/h .

Dosis: die Einheit der Dosis ist das Röntgen (r) . Ein r ist diejenige Menge Röntgen- oder Gammastrahlung, die in 1 cm³ Luft durch Auslösung von Elektronen über den Photo-, Compton- bzw. Paarbildungseffekt 1 elektrostatische Ladungseinheit ($2,08 \cdot 10^9$ Ionenpaare) erzeugt.

Dosiskonstante: die Dosiskonstante für Gammastrahlung gibt die Größe der Dosisleistung r/h in 1 cm Entfernung für ein bestimmtes, 1 mC-starkes, punktförmiges gammastrahlendes Präparat an (z.B. Co⁶⁰, J¹³¹).

Zulässige Dosis: Mit Rücksicht auf die bisher unzulängliche Atom-Gesetzgebung in Deutschland kann hier keine verbindliche Angabe gemacht werden. Nach internationalen Empfehlungen soll eine Dosis von 100 mr pro Woche nicht überschritten werden.

Es gilt folgende Beziehung:

$$L = \frac{A \cdot I_{\gamma}}{d^2}$$

Mit:

L = Dosisleistung in r/h

A = Aktivität in mC

I_{γ} = Dosiskonstante in $\frac{r}{h} \cdot \frac{cm^2}{mC}$

d = Abstand in cm

Das Ausmaß einer Schädigung durch die Strahlung radioaktiver Stoffe hängt von der insgesamt aufgenommenen Strahlungsdosis ab. Da ein bestimmter Wert der Strahlungsdosis aus gesundheitlichen Gründen nicht überschritten werden soll, ergibt sich bei bekannter Dosisleistung eine bestimmte zulässige Aufenthaltszeit im Strahlungsgebiet, nämlich

$$t_a = \frac{D}{L}$$

mit:

t_a = Aufenthaltszeit in h

D = Zulässige Dosis in r

L = Dosisleistung in $\frac{r}{h}$

II. Aktivität

(vgl. hierzu Aufgabe 3 und 4)

Ein radioaktiver Strahler weist eine bestimmte Strahlungsintensität auf, welche durch seine Aktivität gegeben ist. Diese unterliegt infolge der statistisch stattfindenden Zerfälle der Atomkerne einer dauernden zeitlichen Abnahme, welche einer Exponentialfunktion gehorcht (Zerfallsgesetz).

Man spricht daher von einer momentanen Aktivität. Diese ist selbstverständlich nur relativ zu verstehen, d.h. der in Abschnitt B (Aufgabe 3 und 4) dargelegte Rechnungsgang gilt auch, wenn man die Aktivität eines Strahlers zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt bestimmen will.

Definitionen:

Aktivität: die Aktivität eines radioaktiven Strahlers ist definiert als die Anzahl der Zerfallsakte pro Zeiteinheit.

Die Einheit der Aktivität ist das Curie (C). Eine Curie irgendeiner radioaktiven Substanz ist die Menge, von der in einer Sekunde $3,7 \cdot 10^{10}$ Atome zerfallen.

Die gebräuchlichsten Untereinheiten sind:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mC} &= 3,7 \cdot 10^7 \\ 1 \text{ } \mu\text{C} &= 3,7 \cdot 10^4 \text{ Zerfälle pro Sekunde} \\ 1 \text{ nC} &= 37 \end{aligned}$$

Halbwertszeit: Unter Halbwertszeit eines Strahlers ist die Zeit zu verstehen, nach der seine Aktivität auf die Hälfte gesunken ist, d.h. wenn gerade noch die Hälfte der am Anfang des Zeitabschnitts vorhandenen aktiven Atome übrig ist.

Es gilt:

$$A_t = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

mit:

A_0 = Ausgangsaktivität , z.B. in mC

A_t = Aktivität nach der Zeit t , in mC

$T_{1/2}$ = Halbwertszeit, z.B. in Jahren

t = Zeit zwischen den Messungen, in Jahren

III. Halbwertsdicke, Schutzschichtdicke

(vgl. hierzu Aufgabe 5)

a) Halbwertsdicke

Soll eine Dosisleistung A durch eine Abschirmung auf den Wert B reduziert werden, so ist, der gewünschten Reduzierung entsprechend, eine bestimmte Anzahl n von Halbwertsdicken erforderlich.

Definition: Die Halbwertsdicke eines Materials für eine bestimmte Strahlung ist die Dicke (z.B. in cm) , durch welche die Dosisleistung dieser Strahlung auf die Hälfte herabgesetzt wird. Die Halbwertsdicke hängt von der Energie der Strahlung und von dem durchstrahlten Material ab.

Soll z.B. eine Dosisleistung L auf die Hälfte reduziert werden, so ist 1 Halbwertsdicke notwendig.

Es besteht folgender Zusammenhang:

$$\frac{L_B}{L_A} = \frac{1}{2^n}$$

oder:

$$n = \frac{\log \frac{L_A}{L_B}}{\log 2}$$

mit:

L_A = vorhandene Dosisleistung in $\frac{r}{h}$

L_B = reduzierte Dosisleistung in $\frac{r}{h}$

n = gesuchte Anzahl von Halbwertsdicken bzw. Halbwertszeiten.

ferner gilt:

$$\frac{L_B}{L_A} = \frac{1}{2} = e^{-\mu d_{1/2}}$$

oder

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,69315}{\mu}$$

mit:

$d_{1/2}$ = Halbwertsdicke in cm

μ = Schwächungskoeffizient in cm^{-1}

Energie der Strahlung:

Die Energie der Strahlung radioaktiver Stoffe wird in Elektronenvolt (eV), meist in Kiloelektronenvolt (keV) oder Megaelektronenvolt (MeV) angegeben.

Die auf dem F & H - Strahlenschutz-Rechenschieber angegebenen Werte der Halbwertsdicken sind aus verschiedenen Unterlagen entnommen und als gemittelte Werte zu betrachten.

Literatur hierzu:

J. Moteff (Nucleonics Juli 1955)

R. Glocker (Röntgen und Radiumphysik für Mediziner)

Normblattentwurf DIN 6843 (Januar 1955)

b) Schutzschichtdicke

Die Dicke einer Schutzschicht ergibt sich aus der für die Schutzwirkung erforderlichen Anzahl n von Halbwertsdicken, multipliziert mit der Halbwertsdicke, also

$$d = n \cdot d_{1/2}$$

d = Schutzschichtdicke in cm

$d_{1/2}$ = Halbwertsdicke in cm

n = erforderliche Anzahl von Halbwertsdicken (s. C IIIa))

Bei der Bestimmung von Schutzschichtdicken ist zu beachten, daß bei allen vorstehenden Rechnungen eine etwa auftretende Streustrahlung sowie durch Beta-Absorption hervorgerufene Sekundärstrahlung nicht berücksichtigt ist. Je nach Strahlerart und Schutzschichtenanbringung müssen entsprechende Sicherheitszuschläge gemacht werden.

IV. Photonenfluss

(vgl. hierzu Aufgabe 8)

Bei der Berechnung des Photonенflusses wird davon ausgegangen, daß eine punktförmige Strahlungsquelle von bekannter Aktivität und Emissionswahrscheinlichkeit vorliegt, die ihre Strahlung gleichmäßig nach allen Seiten aussendet. Die Anzahl der Photonen bzw. Teilchen, die durch 1 cm^2 einer um den Strahler gedachten Kugelschale durchtreten, läßt sich nach der unten angegebenen Formel berechnen. Der Radius der Kugelschale entspricht dabei der Entfernung d vom Präparat.

$$P_n = \frac{A \cdot 3,7 \cdot 10^7 \cdot E}{4 \pi \cdot d^2} \cdot 60$$

Dabei ist

P_n = Photonenfluß (Anzahl der Teilchen) in $\text{min}^{-1} \text{cm}^{-2}$

A = Aktivität in mC

d = Abstand in cm

E = Emissionswahrscheinlichkeit

Die Emissionswahrscheinlichkeit (E), d.h. die Anzahl der pro Zerfall eines Atoms ausgesandten Photonen bzw. Teilchen, muß berücksichtigt werden, da obige Formel von der Aktivität ausgeht. Letztere gibt ja nur an, wieviel Atome pro Zeiteinheit insgesamt zerfallen, unabhängig von der tatsächlichen Emission.

Soll z.B. der gesamte Photonenfluß eines Strahlers bestimmt werden, von welchem pro Zerfall zwei Photonen hintereinander ausgesandt werden (E für jeden Zerfall gleich 1), so ist der in die Formel einzusetzende Wert gleich der Summe der einzelnen Emissionswahrscheinlichkeiten ($1+1=2$).

$$E_{\text{Gesamt}} = \sum E_{\text{Einzel}}$$

D) Physikalische Daten radioaktiver Isotope
(mit Angabe der Dosiskonstanten)

(Blatt 1)

Ordnungszahl und Element	Isotop	Strahlung α β γ	Halbwerts- zeit T	α Energie MeV	β -Energie in MeV $E_{\beta \text{ max.}}$	γ -Energie in MeV, häufig- ste Linien mit Emiss.- Wahrscheinlichkeit	I_{γ} , r/mC pro h in 1 cm
11 Natrium	^{24}Na	0 β^- γ	14,8	0	1,39	2,76(1,0); 1,38(1,0)	19,6
18 Argon	^{41}Ar	0 β^- γ	108 min	0	2,55; 1,18	1,37	7,5
19 Kalium	^{42}K	0 β^- γ	12,4 h	0	3,58(0,84) 1,92(0,16)	1,51 (0,16)	1,3
21 Skandium	^{46}Sc	0 β^- γ	85 d	0	0,36(0,98) 1,49(0,02)	1,12(1); 0,89(1)	11,6
25 Mangan	^{56}Mn	0 β^- γ	2,6 h	0	2,81 (0,5) 1,04 (0,3) 0,75 (0,2)	2,13(1,0); 1,81(1,0); 0,85	9,4
26 Eisen	^{55}Fe	0 K 0	2,9 a	0	?	0,07?	6
26 Eisen	^{59}Fe	0 β^- γ	46±0,5 d	0	0,46 (0,5) 0,27 (0,5)	1,28(0,42); 1,1(0,58)	6,55
27 Kobalt	^{60}Co	0 β^- γ	5,3(4,95?) a	0	0,31	1,17(1,0); 1,33(1,0)	13,5
29 Kupfer	^{64}Cu	β^+ 0 β^- γ K	12,8 h	0	β^+ 0,66(0,15) β^- 0,57(0,32)	1,34(0,43)	1,2
30 Zink	^{65}Zn	β^+ 0 K γ	250 d	0	β^+ 0,32(1,0)	(0,2?) 1,12 (0,46)	3,0
33 Arsen	^{76}As	β^- 0 K γ	62,8 h	0	3,14 (0,53) 2,49 (0,21) 1,29 (0,19)	2,10(0,08); 1,21(0,13); 0,65(?); 0,56(0,34)	3,4

Physikalische Daten radioaktiver Isotope
(mit Angabe der Dosiskonstanten)

(Blatt 2)

Ordnungszahl und Element	Isotop	Strahlung α β γ	Halbwerts- zeit T	Energie MeV	α MeV	β -Energie in MeV E_{β} max.	γ -Energie in MeV, häufig- ste Linien mit Emiss.- Wahrscheinlichkeit	I_{γ} in μ C pro h in 1 cm
37 Rubidium	^{86}Rb	0 β^- γ	19,5 d	0	0	1,8 (0,8) 0,72 (0,2)	1,08	1,2
53 Jod	^{131}J	0 β^- γ	8,0 d	0	0	0,6 (0,86) 0,25 (0,14)	0,72 (0,04); 0,64 (0,1); 0,36 (0,79); 0,28 (0,07) 0,08 (0,17)	2,25
54 Xenon	$^{133}\text{X}(e)$	0 β^- γ	5,4 d	0	0	0,35	0,081	0,2
55 Zäsium 56 Barium	^{137}Cs ^{137}Ba	0 β^- 0 0 0 I.U.	33 a 2,64 min	0	0	0,51 1,20	0,66	3,6
56 Barium 57 Lanthan	^{140}Ba ^{140}La	0 β^- γ	12,8 d 40 h	0	0	1,5 1,45	0,54; 0,49	12 ?
73 Tantal	^{182}Ta	0 β^- γ	117 d	0	0	0,53	14 Linien 0,046 $\leq E_{\gamma} \leq$ 0,26	6,1
77 Iridium	^{192}Ir	0 β^- γ	70 d	0	0	0,24 {0,16} 0,54 {0,40} 0,67 {0,43}	15 Linien 0,137 $< E_{\gamma} <$ 0,88	2,7
79 Gold	^{198}Au	0 β^- γ	2,69 d	0	0	0,96	0,68? 0,41	2,4
86 Radon 88 Radium	^{222}Rn ^{226}Ra	α^- γ β^- γ	3,83 d 1620 a	5,48 4,78; 4,61	0	siehe Zerfallsschema	0,088 (0,012) nur f. Ra	8 für Ra- Ra γ (0,5mm Pt-Filter)

Auszug aus: Strahlendosis und Strahlenwirkung (1954) von Boris Rajewski.



FAG Kugelfischer Georg Schäfer & Co.

Erzeugnisbereich Strahlungsmeßtechnik · System Frieseke & Hoepfner
Postfach 1660 · D-8520 Erlangen
Telefon (091 31) 6301 · Telex 629894

Der F & H- Strahlenschutz-Rechenschieber und seine Anwendung