



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 5.1
Seite: 1 von 6
Stand: Februar 2009

Zusammenstellung von Messgrößen
in den Bereichen Radioaktivität und Dosismessung

Bearbeiter: J.-W. Vahlbruch, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität, Hannover
H. Wershofen, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
Chr. Wilhelm, Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe
H. Hötzl, R. Winkler, vormals GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit,
Neuherberg

Die SI-Einheiten

Im Internationalen Einheitensystem (SI) [1], dessen Struktur und Anwendung in deutscher Sprache z. B. in [2] erläutert werden, sind für die Bereiche Radioaktivität und Dosismessung die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Einheiten zu verwenden [3, 4].

Messgröße	Einheitenname / Definition	Symbol	Einheit
Aktivität	Becquerel / Anzahl der Zerfälle pro Sekunde	<i>A</i>	Bq
Spezifische Aktivität	Becquerel durch Kilogramm	<i>a_r</i>	Bq/kg
Aktivitätskonzentration	Becquerel durch Liter	<i>c_r</i>	Bq/L*
Energiedosis	Gray / Joule durch Kilogramm	<i>D</i>	Gy
Energiedosisleistung	Gray durch Sekunde	<i>\dot{D}</i>	Gy·s ⁻¹
Äquivalentdosis	Sievert / Gray mal Qualitätsfaktor	<i>H</i>	Sv
Äquivalentdosisleistung	Sievert durch Sekunde	<i>\dot{H}</i>	Sv·s ⁻¹
Ionendosis	Coulomb durch Kilogramm	<i>I</i>	C·kg ⁻¹
Ionendosisleistung	Ampère durch Kilogramm	<i>\dot{I}</i>	A·kg ⁻¹

* Zur Vermeidung von Verwechslungen des „l“ mit „I“ ist es erlaubt, für Liter das Symbol „L“ zu benutzen [2].

Definitionen und Erläuterungen

Die folgenden Definitionen und Erläuterungen sind mit freundlicher Erlaubnis der Leitstellen des Bundes dem „Glossar zu den Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung“ entnommen [5]. In der aktuellen Fassung des Glossars findet sich auch ein umfangreiches Literaturverzeichnis mit den zu Grunde liegenden aktuellen Normen und Regelwerken.



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 5.1
Seite: 2 von 6
Stand: Februar 2009

Die SI-Einheiten können auch mit Vorsatzzeichen für dezimale Teile und Vielfache verwendet werden. Abgeleitete SI-Einheiten sind Produkte, Quotienten oder Potenzprodukte der SI-Basiseinheiten, wie z. B. das Volumen mit dem Einheitenzeichen m^3 oder die Geschwindigkeit mit dem Einheitenzeichen $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Abgeleitete SI-Einheiten, die einen besonderen Namen haben, sind z. B. Becquerel ($1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$) oder Sievert ($\text{Sv} = 1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{kg}^{-1} = 1 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$).

Aktivität

Die Aktivität einer Menge eines Radionuklids in einem bestimmten Energiezustand ist der Quotient $dN^*(t)/dt$, wobei $dN^*(t)$ der Erwartungswert für die Anzahl der spontanen Übergänge aus diesem Energiezustand im Zeitintervall dt ist. Für die Praxis bedeutet dies, dass die Aktivität eines Radionuklids die Anzahl der Kernumwandlungen (Zerfälle) in einem Zeitintervall ist.

$$A(t) = \frac{dN^*(t)}{dt} = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda \cdot N(t)$$

Dabei bedeuten:

$A(t)$ Aktivität des Radionuklids zum Zeitpunkt t in Bq;

$N(t)$ Anzahl der Atome zum Zeitpunkt t ;

λ Zerfallskonstante des Radionuklids in s^{-1} .

Spezifische Aktivität, Aktivitätskonzentration

Die spezifische Aktivität eines radioaktiven Stoffes oder Radionuklids ist der Quotient aus der Aktivität und der Masse dieses radioaktiven Stoffes.

$$a_r = \frac{A_r}{m}$$

Dabei bedeuten:

a_r spezifische Aktivität in $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;

A_r Aktivität des radioaktiven Stoffes oder Radionuklids r in Bq;

m Masse des radioaktiven Stoffes in kg.

Mit der Masse m ist in der Regel die Masse des gesamten radioaktiven Stoffes einschließlich aller nicht radioaktiven Beimengungen gemeint. Im Gegensatz hierzu wurde früher unter spezifischer Aktivität nur das Verhältnis der Aktivität eines Radionuklids zu seiner Masse verstanden.

Die Aktivitätskonzentration eines radioaktiven Stoffes oder Radionuklids ist der Quotient aus der in einem Volumen enthaltenen Aktivität und dem Volumen.

$$c_r = \frac{A_r}{V}$$



Dabei bedeuten:

- c_r Aktivitätskonzentration des radioaktiven Stoffes oder Radionuklids r in $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$;
 A_r Aktivität des radioaktiven Stoffes oder Radionuklids in Bq;
 V Volumen in m^3 .

Energiedosis / Energiedosisleistung

Unter der Energiedosis D versteht man den Differentialquotienten $\frac{d\bar{E}_i}{dm}$; dabei ist $d\bar{E}_i$ die mittlere Energie, die durch die ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement dV übertragen wird und $dm = \rho \cdot dV$ die Masse des Materials mit der Dichte ρ in diesem Volumenelement:

$$D = \frac{d\bar{E}_i}{dm} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\bar{E}_i}{dV}$$

Die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy). Die Energiedosis gilt für beliebige ionisierende Strahlungsarten. Zur Angabe der Energiedosis gehört unbedingt die Nennung des Bezugsmaterials (z. B. Energiedosis, gemessen in Wasser; Energiedosis, gemessen in Luft).

Die Energiedosisleistung ist der Quotient der in einer Zeitspanne erzeugten Energiedosis und dieser Zeitspanne:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

In den Gleichungen bedeuten:

- D Energiedosis in Gy;
 $d\bar{E}_i$ die mittlere in einem Volumenelement dV absorbierte Energie der Strahlenart i in J;
 dV Volumenelement in m^3 ;
 dm Masse des Materials in diesem Volumenelement dV in kg;
 ρ Dichte des Materials in $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
 \dot{D} Energiedosisleistung in $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$.

Die Einheit der Energiedosisleistung ist das Gray durch Sekunde ($\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$), gleichbedeutend mit Watt durch Kilogramm ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Äquivalentdosis / Äquivalentdosisleistung

Die Äquivalentdosis ist das Produkt aus der Energiedosis für Weichteilgewebe (Körpergewebe) und dem Qualitätsfaktor.

$$H = Q \cdot D$$

Die Äquivalentdosisleistung ist der Quotient der in einer Zeitspanne erzeugten Äquivalentdosis und dieser Zeitspanne:

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt}$$



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 5.1

Seite: 4 von 6

Stand: Februar 2009

Die Einheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv).

In den Gleichungen bedeuten:

H Äquivalentdosis in Sv;

Q Qualitätsfaktor; Faktor, der die Einflüsse der Strahlungsart und –Energie (Strahlungsqualität) auf die biologische Wirksamkeit der Strahlung berücksichtigt.

D Energiedosis in Gy;

\dot{H} Äquivalentdosisleistung in Sv·s⁻¹.

Die Einheit der Äquivalentdosisleistung ist das Sievert durch Sekunde ($1 \text{ Sv s}^{-1} = 1 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$).

In der Praxis der Umgebungsüberwachung sind für die Äquivalentdosisleistung die Einheiten nSv·h⁻¹ und μSv·h⁻¹ gebräuchlich.

Ionendosis / Ionendosisleistung

Die Ionendosis ist eine früher in der Dosimetrie benutzte Messgröße, die auf der Ionisation von Luft durch ionisierende Strahlung beruht. Die Ionendosis ist der Quotient aus der erzeugten elektrischen Ladung der Ionen gleichen Vorzeichens, die in Luft durch ionisierende Strahlung gebildet werden, und der Masse der Luft in dem betrachteten Volumen, in welchem die erzeugte elektrische Ladung gemessen wird.

$$I = \frac{dQ}{dm} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dQ}{dV}$$

Die Einheit der Ionendosis ist das Coulomb durch Kilogramm (C·kg⁻¹).

Die Ionendosisleistung ist der Quotient der in einer Zeitspanne erzeugten Ionendosis und dieser Zeitspanne.

$$\dot{I} = \frac{dI}{dt}$$

Die Einheit der Ionendosisleistung ist das Ampere durch Kilogramm (A·kg⁻¹).

In den Gleichungen bedeuten:

I Ionendosis in C·kg⁻¹;

dQ der Betrag der durch ionisierende Strahlung in einem Volumenelement dV erzeugten elektrischen Ladung der Ionen gleichen Vorzeichens in C;

dV Volumenelement in m³;

dm Masse der Luft in diesem Volumenelement dV in kg;

ρ Dichte der Luft in kg·m⁻³;

\dot{I} Ionendosisleistung in A·kg⁻¹.



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 5.1
 Seite: 5 von 6
 Stand: Februar 2009

Zusammenhang der SI-Einheiten mit den früher gebräuchlichen Einheiten

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Beziehungen zwischen den früher gebräuchlich Einheiten und den SI-Einheiten.

Messgröße	Alte Einheit	SI-Einheit	Beziehung
Aktivität	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
Energiedosis	Rad (rd)	Gray (Gy)	1 rd = 10^{-2} Gy
Äquivalentdosis	Rem (rem)	Sievert (Sv)	1 rem = 10^{-2} Sv
Ionendosis	Röntgen (R)	Coulomb durch Kilogramm ($C \cdot kg^{-1}$)	1 R = $258 \cdot 10^{-6} C \cdot kg^{-1}$

Bezeichnung von dezimalen Vielfachen und Teilen von Einheiten (SI-Vorsätze)

Bei der Angabe von Messergebnissen kommen oft sehr große oder sehr kleine Zahlenwerte vor. Um die Zahlenwerte leicht überschaubar darzustellen, hat man Vorsätze zur Bezeichnung von dezimalen Vielfachen und Teilen von Einheiten geschaffen. Die richtige Verwendung der SI-Vorsätze ist z. B. aus [2] zu entnehmen.

Zehnerpotenz	Vorsatz	Vorsatzzeichen
10^{24}	Yotta	Y
10^{21}	Zetta	Z
10^{18}	Exa	E
10^{15}	Peta	P
10^{12}	Tera	T
10^9	Giga	G
10^6	Mega	M
10^3	Kilo	K
10^2	Hekto	H
10^1	Deka	Da

Zehnerpotenz	Vorsatz	Vorsatzzeichen
10^{-1}	Dezi	d
10^{-2}	Zenti	c
10^{-3}	Milli	m
10^{-6}	Mikro	μ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Piko	p
10^{-15}	Femto	f
10^{-18}	Atto	a
10^{-21}	Zepto	z
10^{-24}	Yocto	y

Zur elektronischen Dokumentation von Messergebnissen werden Zehnerpotenzen häufig mit dem in den Programmiersprachen üblichen Zeichen "E" dargestellt, wie z. B. E3 für 10^3 bzw. E-5 für 10^{-5} .



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 5.1
Seite: 6 von 6
Stand: Februar 2009

Hinweis

Die folgenden, in der Literatur gelegentlich noch verwendeten Aktivitätseinheiten sind gesetzlich nicht zugelassen:

Einheit	Einheitenzeichen	Beziehung zu geltenden Einheiten
Curie	Ci	$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$
disintegrations per second entspricht: Zerfälle durch Sekunde	dps Zerf. / s	$1 \text{ dps} = 1 \text{ Bq}$
disintegrations per minute entspricht: Zerfälle durch Minute	dpm Zerf. / min	$1 \text{ dpm} = 1/60 \text{ Bq}$
Tritium unit	TU	$1 \text{ TU} = 0,1181 \text{ Bq/kg}$

Literatur

- [1] Bureau International des Poids et Mesures (BIPM): Le Système International d'Unités (SI). 6^e Édition, 1991: Pavillon de Breteuil, F-92310 Sèvres.– ISBN 92-822-2112-1
- [2] Leitfaden für den Gebrauch des Internationalen Einheitensystems, deutsche Übersetzung der SI-Broschüre des BIPM, 8. Aufl., 2007
Link zur Internetseite der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, aktuelle Broschüren zum herunterladen unter: <http://www.ptb.de/de/publikationen/download>
- [3] Gesetz über Einheiten im Messwesen (i. d. F. v. 22.2.1985), BGBl. I, S. 409–410
- [4] Einheitenverordnung vom 13.12.1985, BGBl. I, S. 2272–2275
- [5] Glossar zu den Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung, in aktueller Form auf der Internetseite der Leitstellen herunterladbar, die auf dem Internetserver des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit bereitgestellt ist: http://www.bmu.de/strahlenschutz/ueberwachung_der_umweltradioaktivitaet/messanleitungen/doc/41981.php