



Strahlendosimetrie

Dr. R. Mini



1) Grundlagen der Dosimetrie

Strahlendosimetrie

Strahlen:	ungebundener kontinuierlicher Energietransport
Dosis:	Gabe, Menge
Metrie:	Lehre der Messung
Strahlendosimetrie:	Lehre der Strahlenmengen- Messung
Messgrößen:	Energiefluss, Ladungsfluss, Teilchenfluss



Skalare Strahlungsfeldgrössen

Tab. 2.1 Skalare Strahlungsfeldgrössen

dA_{\perp} Querschnittsfläche einer differentiellen Kugel um einen interessierenden Punkt.
 E kinetische Energie korpuskularer Teilchen und Energie $h\nu$ von Photonen

Name	Symbol	SI-Einheit
spektrale Teilchenradianz (<i>spectral particle radiance</i>) oder spektrale, raumwinkelbezogene Teilchenflußdichte	$p_E(t, E, \Omega, \mathbf{r}) = \left. \begin{aligned} &= d^4N/(dt dE d\Omega dA_{\perp}) \\ &\varphi_{E,\Omega}(t, E, \Omega, \mathbf{r}) \end{aligned} \right\}$	$s^{-1}J^{-1}sr^{-1}m^{-2}$
spektrale Teilchenflußdichte spektrale, raumwinkelbezogene Teilchenfluenz	$\varphi_E(t, E, \mathbf{r}) = d^3N/(dt dE dA_{\perp})$ $\Phi_{E,\Omega}(E, \Omega, \mathbf{r}) = d^3N/(dE d\Omega dA_{\perp})$	$s^{-1}J^{-1}m^{-2}$ $J^{-1}sr^{-1}m^{-2}$
spektrale Teilchenfluenz Teilchenradianz (<i>particle radiance</i>) oder raumwinkel- bezogene Teilchenflußdichte	$\Phi_E(E, \mathbf{r}) = d^2N/(dE dA_{\perp})$ $p(t, \Omega, \mathbf{r}) = \left. \begin{aligned} &= d^3N/(dt d\Omega dA_{\perp}) \\ &\varphi_{\Omega}(t, \Omega, \mathbf{r}) \end{aligned} \right\}$	$J^{-1}m^{-2}$ $s^{-1}sr^{-1}m^{-2}$
Teilchenflußdichte (<i>particle fluence rate</i>)	$\varphi(t, \mathbf{r}) = d^2N/(dt dA_{\perp})$	$s^{-1}m^{-2}$
Teilchenfluenz (<i>particle fluence</i>)	$\Phi(\mathbf{r}) = dN/dA_{\perp}$	m^{-2}
Teilchenfluß (<i>particle flux</i>)	$\dot{N}(t) = dN/dt$	s^{-1}
Teilchenzahl (<i>particle number</i>)	N	1
spektrale Energieflußdichte (<i>spectral energy fluence rate</i>)	$\psi_E(t, E, \mathbf{r}) = d^3R/(dt dE dA_{\perp})$	$s^{-1}m^{-2}$
spektrale Energiefluenz	$\Psi_E(E, \mathbf{r}) = d^2R/(dE dA_{\perp})$	m^{-2}
Energieflußdichte (<i>energy fluence rate</i>)	$\psi(t, \mathbf{r}) = d^2R/(dt dA_{\perp})$	$Js^{-1}m^{-2}$
Energiefluenz	$\Psi(\mathbf{r}) = dR/dA_{\perp}$	Jm^{-2}
Energiefluß (Strahlleistung)	$\dot{R}(t) = dR/dt$	W
Strahlungsenergie ¹⁾ (<i>radiant energy</i>)	R	J

¹⁾ Nicht zu verwechseln mit „Energie der Strahlteilchen“.

Dosimetrie = Wirkungsdosimetrie 1

Wirkung:	primäre Strahlenwirkung (Anregung und Ionisation)	
Dosis:	Gabe, Menge	
Metrie:	Lehre der Messung	
Dosimetrie:	Lehre der Messung der primären Strahlenwirkung in einem bel. Absorber	
Messgrößen:	Energiedosis D	[Gy]



Dosimetrie = Wirkungsdosimetrie 2

Wirkung:	Biologische Schäden im Menschen (Molekülschäden, Mutationen, Chromosomenaberrationen)
Dosis:	Gabe, Menge
Metrie:	Lehre der Messung
Dosimetrie:	Lehre der Messung der biologischen Strahlenwirkungen in menschl. Organen T
Messgrössen:	Äquivalenzdosis H_T [Sv]



Dosimetrie = Wirkungsdosimetrie 3

Wirkung: **Medizinische Schäden im Menschen
(somatische und vererbbare
Strahlenrisiken)**

Dosis: **Gabe, Menge**

Metrie: **Lehre der Messung**

Dosimetrie: **Lehre der Messung bzw.
Abschätzung von Strahlenrisiken im
Menschen**

Messgrößen: **Effektive Dosis E [Sv]**



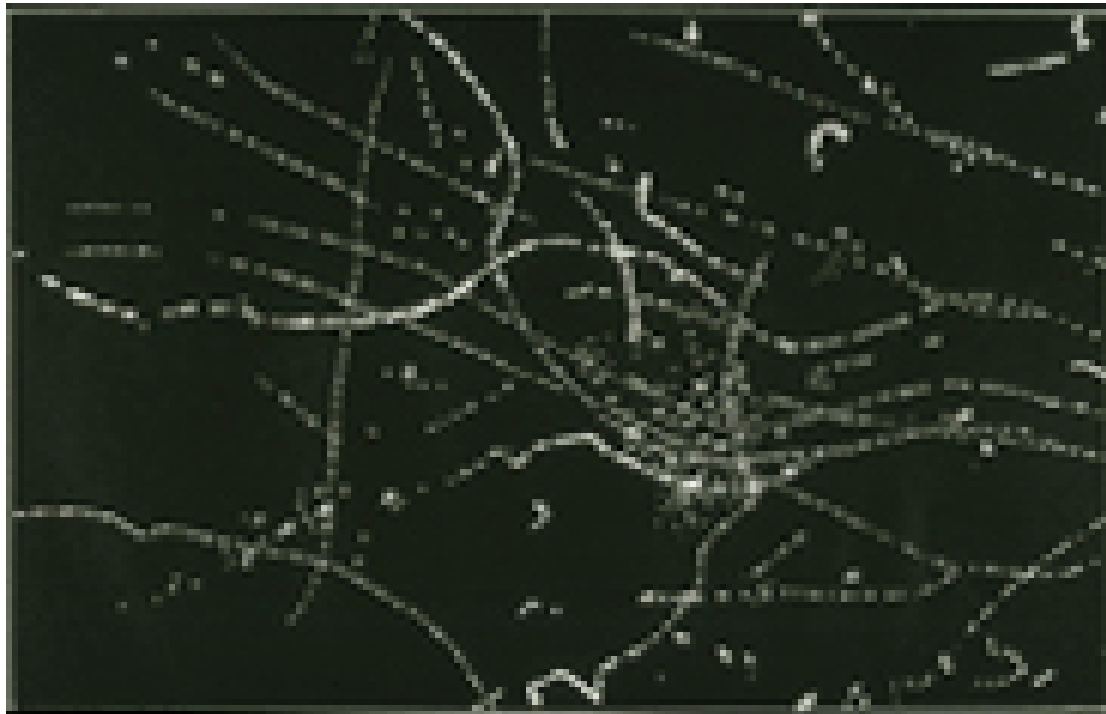
2) Messung der primären Strahlenwirkung

Anregung und Ionisation von Atomen



Mikrodosimetrie

Stochastische Natur der primären physikalischen Strahlenwirkung



Makrodosimetrie

Massenspezifische Dosisgrössen

-Ionenendosis J [C/kg]

-Energiedosis D [Gy=J/kg]



Dosimetrie in gasförmigen Medien

Direkte Bestimmung der primären physikalischen Wirkung ionisierender Strahlungen

Anzahl „Anregungen“ und Ionisationen pro Masse Gas
[C / kg]

in Gasförmigen Medien (Luft) anhand der

Ionisationsdosimetrie

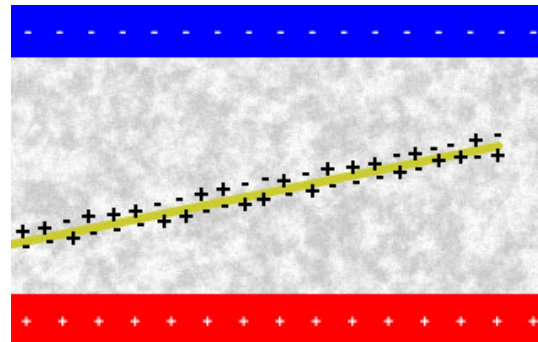


Gasionisationsdetektoren

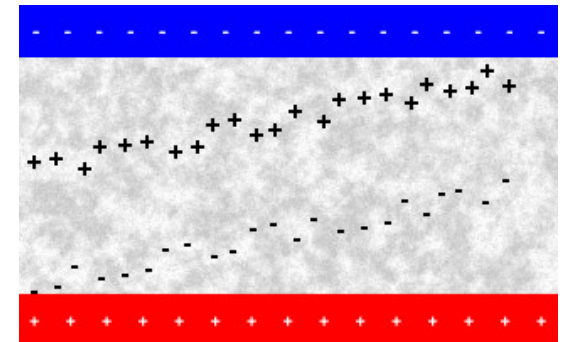
Sammlung von Ladung unter Wirkung eines elektrischen Feldes



Ionisationskammern bestehen aus einer mit Gas gefüllten Kammer und zwei Kondensator-platten. An den Platten liegt eine elektrische Spannung an



Tritt ein ionisierendes Teilchen in das Medium ein, erzeugt es auf seiner Flugbahn Ionen-Paare



Durch die anliegende Spannung werden die Ladungsträger getrennt und driften sofort entlang der elektrischen Feldlinien. Die Bewegung der Ladungsträger wird als Stromstoß registriert

Messung der primären Strahlenwirkung in gasförmigen Medien (Luft)

Ionendosis J

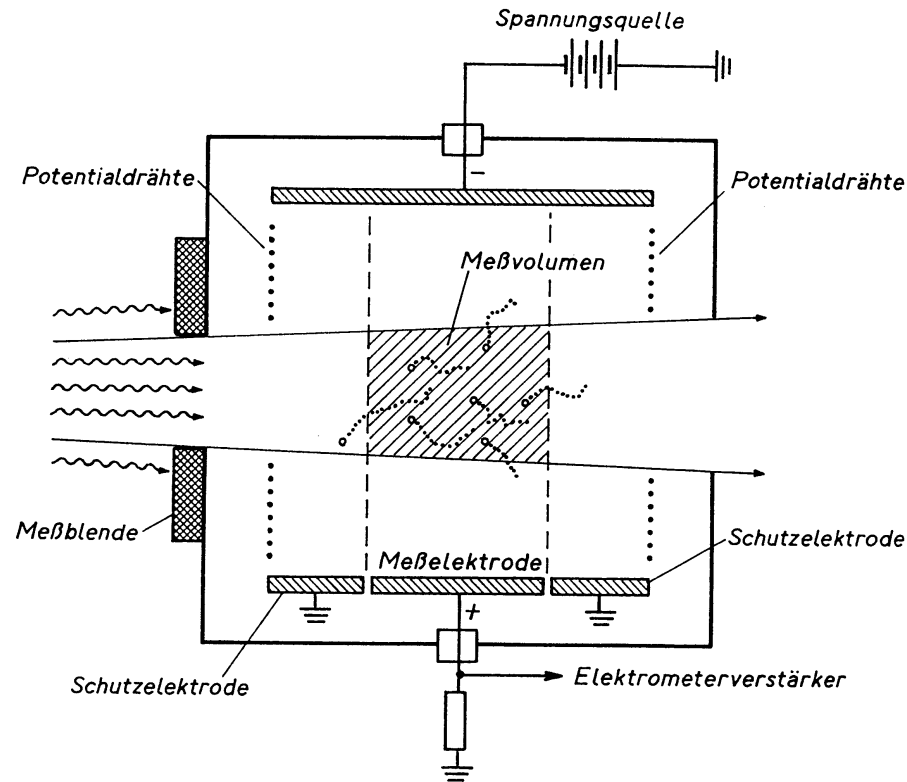
$$J = \frac{dQ}{dm_a} = \frac{dQ}{\rho_a \cdot dV}$$

Die Ionendosis J ist die durch Strahlenexposition eines Luftvolumens erzeugte elektrische Ladung dQ eines Vorzeichens geteilt durch die Masse dm des Luftvolumens (wobei $dm = \rho \cdot dV$).

Die SI-Einheit der Ionendosis J ist $[J] = \text{C/kg}$; früher war die Einheit für die Ionendosis J das Röntgen: $1 \text{ R} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$



Ionisationsdosimetrie



Parallelplatten-Ionisationskammer zur Messung der Standard-Ionendosis (schematisch) für Röntgenstrahlungen bis 400 kV Spannung. Das Meßvolumen ist so angeordnet, daß Sekundär-Elektronen-Gleichgewicht gewährleistet ist. Der Elektrodenabstand beträgt deshalb 60 cm, die Kammer-spannung für das Arbeiten im Sättigungsbereich mehr als 10 kV.

Messung der primären Strahlenwirkung in beliebigen Medien

Indirekte Bestimmung der primären physikalischen Wirkung
ionisierender Strahlungen

Anzahl Anregungen und Ionisationen
pro Masse Medium

in beliebigen Medien anhand der

Kalorimetrie



Prinzip der Kalorimetrie

Da die durch Anregung und Ionisation von der Strahlung an die Materie übertragene Energie letztlich weitgehend in Wärme umgewandelt wird, kann die Zahl der strahleninduzierten atomaren Veränderungen durch Messung der induzierten Absorbererwärmung bestimmt werden. Voraussetzung hierfür ist, dass die absorbierte Strahlenenergie möglichst vollständig in Wärme umgewandelt wird. Andere Formen der Energieumwandlung (z.B. chemische oder Kristallgitter-Veränderungen) müssen anderweitig bekannt oder vernachlässigbar sein.

Die Kalorimetrie ist zur Absolutbestimmung der Energiedosis gut geeignet, benötigt aber relativ hohe Dosen und einen grossen Messaufwand .



Dosisgrössen der klinischen Dosimetrie

Energiedosis D

$$D_{\text{med}} = \frac{dE_{\text{abs}}}{dm_{\text{med}}} = \frac{dE_{\text{abs}}}{\rho_{\text{med}} \cdot dV}$$

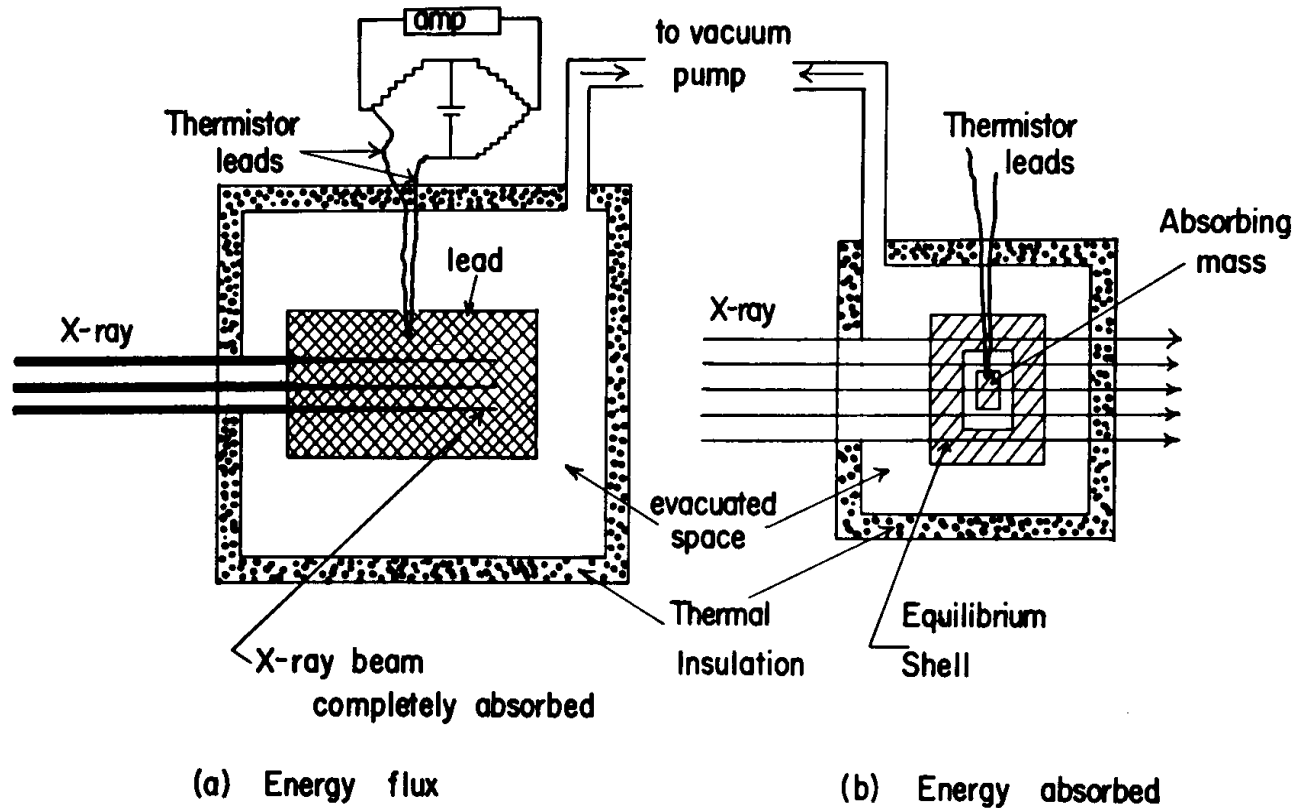
Die Energiedosis D ist der Erwartungswert der bei einer Strahlenexposition von einem Absorbermaterial lokal absorbierten Energie dE dividiert durch die Masse des bestrahlten Volumens $dm = \rho \cdot dV$.

Die SI-Einheit der Energiedosis D ist

$$[D] = \text{J/kg}, \text{ wobei } 1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Gy}$$



Kalorimeter



(a) Schematic diagram illustrating the method of measuring energy flux with a calorimeter. (b) Schematic diagram illustrating the method of measuring energy locally absorbed.

Allgemeines

Unter klinischer Dosimetrie versteht man die Anwendung quantitativer Dosismessverfahren bei der medizinischen Nutzung ionisierender Strahlungen.

Die klinische Dosimetrie ist ein zentraler Verantwortungsbereich der Medizinphysik und dient der sicheren und zuverlässigen Anwendung ionisierender Strahlungen am Menschen. Sie ist ein wichtiger Beitrag zur physikalischen Qualitätssicherung in der Radiologie.



Aufgaben der klinischen Dosimetrie

Zentrale Aufgabe der klinischen Dosimetrie ist die Messung der pro Massenelement im Patienten absorbierten Energie der Strahlung, der Energiedosis D , die weitgehend die biologischen Wirkungen der ionisierenden Strahlungen bestimmt.

Da eine direkte Messung der Energiedosis im Patienten nicht möglich ist, kommen in der Regel mehrstufige komplexe Dosisermittlungsverfahren zur Anwendung, die eine weitgehende Kenntnis der Eigenschaften der verwendeten Strahlenfelder voraussetzen. Informationen hierzu lassen sich mit spektrometrischen Messverfahren gewinnen.

Die klinische Dosimetrie ist ein Teilbereich der angewandten Physik.



Typische Aufgaben der Dosimetrie

Strahlentherapie

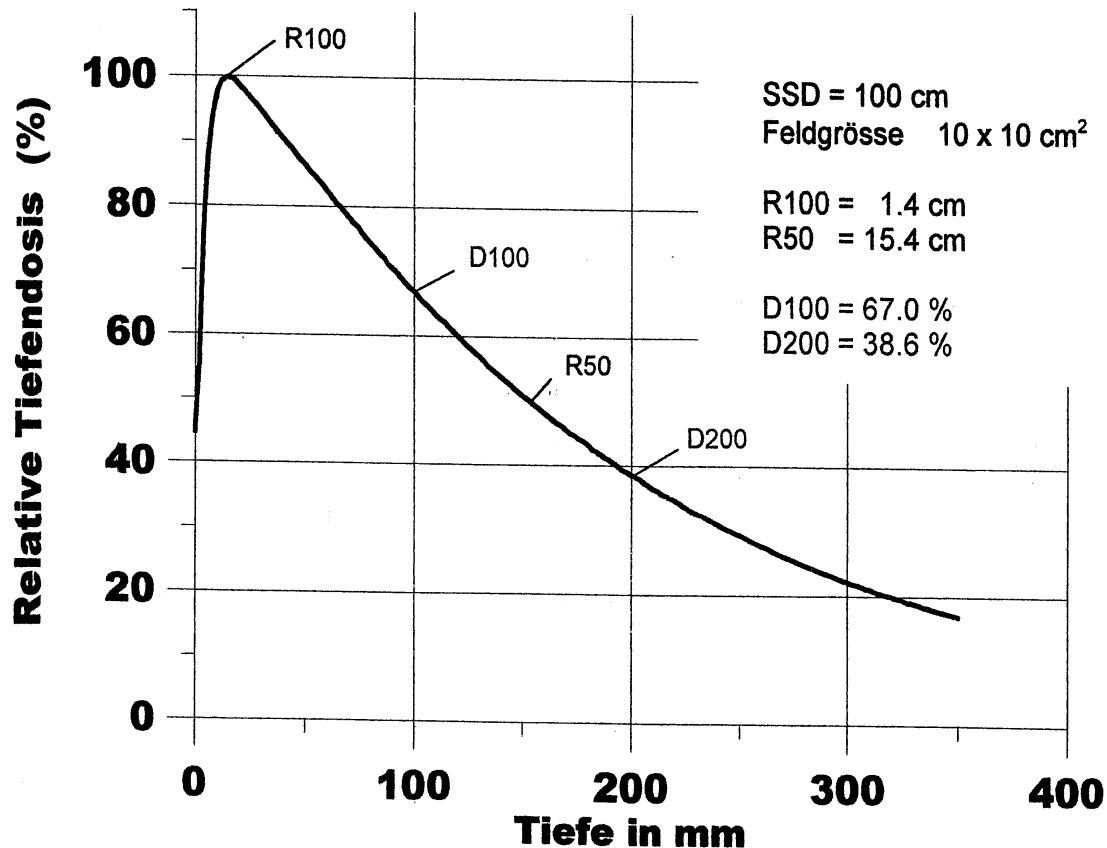
- Messung von Dosis- und Dosisleistungsverteilungen in einem Phantom
- Ermittlung der Strahlenqualität
- Messung von Kenndosisleistungen von Strahlenquellen
- Ermittlung von Expositionszeiten und Monitoranzeigen zur Erzielung bestimmter Dosen im Patienten
- Bestimmung der Basisdaten der therapeutisch verwendeten Strahlenfelder für die Bestrahlungsplanung (Wasserphantom)
 - Geräteeinstellung
 - Bestrahlungsgeometrie
 - Feldmodifikatoren
- Messtechnische Überprüfung der verwendeten dosimetrischen Planungs- bzw. Optimierungsalgorithmen
- Messungen für die physikalisch technische Qualitätssicherung



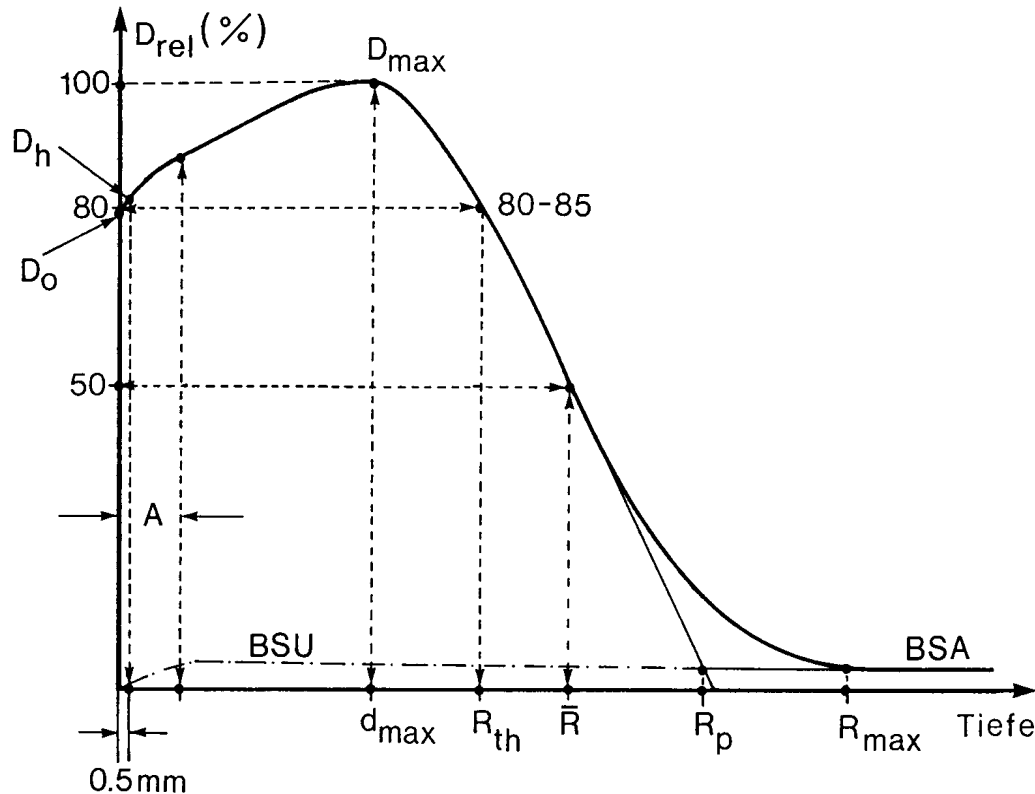
Kenndosisleistung für Photonenstrahlungen

Linac 2 - Photonen 6 MV

Prozentuale Tiefendosis



Elektronen-Tiefendosiskurven (TDK)



Größen zur Beschreibung von Elektronentiefendosiskurven: \bar{R} : mittlere, R_p : praktische, R_{max} : maximale, R_{th} : therapeutische Reichweite, d_{max} : Dosismaximumstiefe, D_0 : Oberflächendosis, D_h : Hautdosis (Dosis in 0.5 mm Tiefe), A: Aufbauzone, BSU: Bremsstrahlungsuntergrund (Anteil der durch Bremsstrahlungsphotonen verursachten Energiedosis im Bereich des Dosismaximums), BSA: Bremsstrahlungsausläufer (definiert als Anteil der Bremsstrahlung bei der praktischen Reichweite).

Typische Aufgaben der Dosimetrie

Nuklearmedizin

- Bestimmung der Kenndosisleistungen bzw. der Aktivität der verwendeten Radionuklide
- Messtechnische Überprüfung der verwendeten Dosisumrechnungsalgorithmen
- Referenzmessungen für die individuelle Patientendosimetrie
- Messungen zur Sicherstellung des Strahlenschutzes
 - Messung der Ortsdosisleistungen
 - Kontaminationsmessungen
 - Inkorporationsmessungen
- Messungen für die physikalisch technische Qualitätssicherung



Typische Aufgaben der Dosimetrie

Röntgendiagnostik

- Bestimmung der Kenndosisleistungen von Röntgenstrahlern
 - Messung der Bildempfängerdosis
 - Messung des erzeugten Dosisflächenproduktes
- Ermittlung der Strahlenqualität der verwendeten Röntgenstrahlungen
- Messung von untersuchungsspezifischen Dosisreferenzwerten
- Referenzmessungen für die individuelle Patientendosimetrie
- Strahlenschutzmessungen
 - Bestimmung der Ortsdosisleistungen
 - Ermittlung bzw. Überwachung der Personendosen
- Messungen für die physikalisch technische Qualitätssicherung



3) Dosimetrische Grössen



Dosisgrößen der klinischen Dosimetrie

Massenspezifische Dosisgrößen

-Energiedosis D	[Gy]
-Kerma K	[Gy]
-Ionenendosis J	[C/Kg]

Dosisgrößen der klinischen Dosimetrie

Energiedosis D

$$D_{\text{med}} = \frac{dE_{\text{abs}}}{dm_{\text{med}}} = \frac{dE_{\text{abs}}}{\rho_{\text{med}} \cdot dV}$$

Die Energiedosis D ist der Erwartungswert der bei einer Strahlenexposition von einem Absorbermaterial lokal absorbierten Energie dE dividiert durch die Masse des bestrahlten Volumens $dm=\rho \cdot dV$.

Die SI-Einheit der Energiedosis D ist

$$[D]=\text{J/kg, wobei } 1\text{J/kg}=1\text{Gy}$$



Dosisgrößen der klinischen Dosimetrie

Kerma K

$$K_{\text{med}} = \frac{dE_{\text{trans}}}{dm_{\text{med}}} = \frac{dE_{\text{trans}}}{\rho_{\text{med}} \cdot dV}$$

Unter Kerma K versteht man den Quotienten aus der durch Strahlenexposition in einem Volumen V im Medium med auf geladene Sekundärteilchen übertragene Bewegungsenergie E_{tran} und der Masse dm des Volumens (wobei $dm=\rho \cdot dV$).

Die SI-Einheit des Kerma K ist $[K]=\text{J/kg}$, wobei $1 \text{ J/kg}=1 \text{ Gy}$

KERMA: kinetic energy relaxed per unit mass



Energiedeposition in Materie

Photonenstrahlung

Bei Einstrahlung von Photonen in Materie erfolgt die Energiedeposition in zwei Stufen (indirekt ionisierende Strahlung):

- primäre Wechselwirkungen (Mass: KERMA K)

(Photo-, Compton-, Paarbildungs-Effekt)

Es entsteht ein Fluss geladener Sekundärteilchen (Elektronen, δ -Teilchen)

- Wechselwirkungen der Sekundärteilchen (Mass: Energiedosis D, Ionendosis J); (Anregung, Ionisation, chem. Veränderungen)

Elektronenstrahlung

Bei Einstrahlung von Elektronen erfolgt die Erzeugung einer Energiedosis in Materie in einem Schritt (direkt ionisierende Strahlung)

- Wechselwirkungen der Elektronen mit lokaler Energiedeposition durch Sekundärelektronen (Mass: Energiedosis D); (Stossbremsung)

- lokale "Bremsstrahlungsverluste" im Menschlichen Körper klein



Dosisgrössen der klinischen Dosimetrie

Ionendosis J

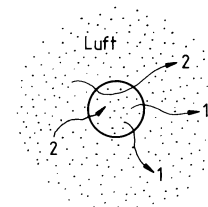
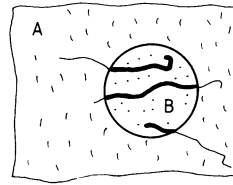
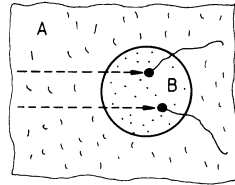
$$J = \frac{dQ}{dm_a} = \frac{dQ}{\rho_a \cdot dV}$$

Die Ionendosis J ist die durch Strahlenexposition eines Luftvolumens unmittelbar und mittelbar erzeugte elektrische Ladung dQ eines Vorzeichens geteilt durch die Masse dm des Luftvolumens (wobei $dm = \rho \cdot dV$).

Die SI-Einheit der Ionendosis J ist $[J] = \text{C/kg}$; früher war die Einheit für die Ionendosis J das Röntgen: $1 \text{ R} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$



Physikalische Dosisgrößen



Kerma D bzw. K

$$D = \frac{dE_{\text{tran}}}{dm} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dE_{\text{tran}}}{dV}$$

Energiedosis D

$$D = \frac{dE_{\text{abs}}}{dm_a} = \frac{1}{\rho_a} \cdot \frac{dE_{\text{abs}}}{dV}$$

Ionendosis J

$$J = \frac{dQ}{dm_a} = \frac{1}{\rho_a} \cdot \frac{dQ}{dV}$$

Einheiten und Zeichen

DosisgröÙe	Zeichen	SI-Einheit	Einheit alt	Umrechnung
Ionendosis	J	C/kg	R	$1 \text{ R} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$
Energiedosis	D	Gy	Rd	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rd}$
Kerma	K	Gy	Rd	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rd}$
Dosisleistungen	Zeichen	SI-Einheit		
Ionendosisleistung	\dot{J}	$\text{A/kg} = \text{C}/(\text{s} \cdot \text{kg})$		
Energiedosisleistung	\dot{D}	Watt/kg		
Kermaleistung	\dot{K}	Watt/kg		



4) Strahlenschutzdosimetrie

Dosisgrößen im Strahlenschutz

Körperdosisgrößen

Berechnete Dosisangaben, die im Zusammenhang mit den Risiken einer Strahlenexposition des Menschen stehen.

- Organ-Äquivalentdosis H_T
- Effektive Dosis E

Dosismessgrößen

Dosismessgrößen sind als Äquivalentdosen an einem bestimmten Raumpunkt definiert.

- Ortsdosis H^*
- Personendosis $H_p(10)$ und $H_p(0.07)$

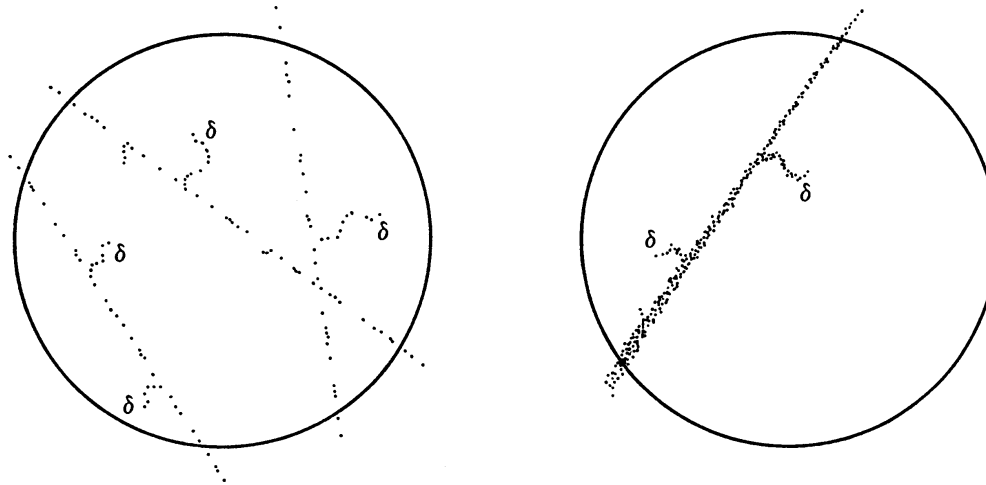


Körperdosisgrössen H_T und E



Ionisierungsdichte Q^*

$$Q^* = \frac{dQ}{dV}$$



locker bzw. dicht ionisierende Strahlungen
in mikroskopischen Volumina

Linearer Energietransfer LET

Der Lineare Energietransfer (LET) geladener Teilchen in einem Medium ist der Quotient aus dem mittleren Energieverlust dE , den das Teilchen durch Stöße erleidet, bei denen der Energieverlust kleiner ist als eine vorgegebene Energie Δ , und dem dabei zurückgelegten Weg des Teilchen ds .

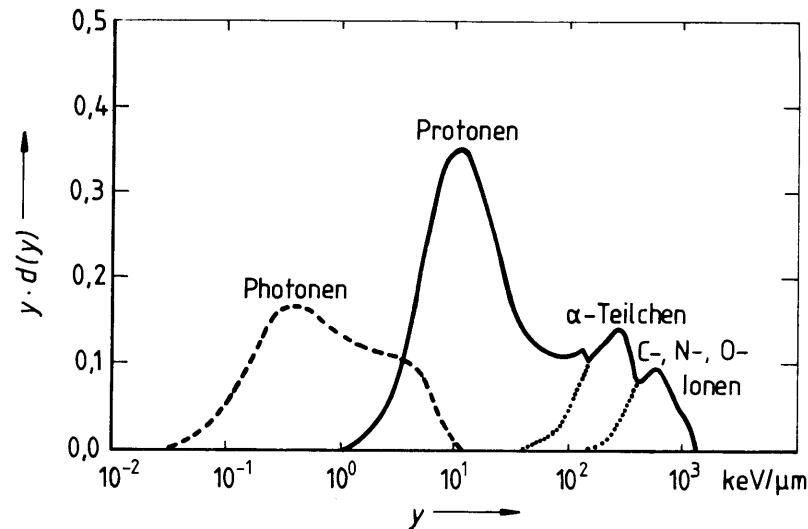
$$\text{LET} = L_{\Delta} = \left(\frac{dE}{ds} \right)_{\Delta}$$

mit

$$LET_{\infty} = S_{col}$$



Linearer Energietransfer LET



Direkt ionisierende Strahlung und die Sekundärteilchen indirekt ionisierender Strahlungen, deren unbeschränkter LET weniger als $3.5 \text{ keV}/\mu\text{m}$ beträgt ($L_\infty < 3.5 \text{ keV}/\mu\text{m}$), werden als locker ionisierende Strahlungen bezeichnet, Strahlungen mit höherem LET ($L_\infty > 3.5 \text{ keV}/\mu\text{m}$) als dicht ionisierend.

Linearer Energietransfer LET

Energie	Strahlentyp	LET _{100,D}
1.2 MeV	⁶⁰ Co-Gammastrahlung	6.9
22 MeV	Röntgenstrahlung	6.0
2 MeV	Elektronen	6.1
5.3 MeV	α-Teilchen	63.0



Körperdosisgrößen H_T und E

Die relative biologische Wirksamkeit RBW hängt ab:

- Expositionsintensität
- mikroskopische Ionisationsdichte
- Strahlenempfindlichkeit der Organe

Aus diesem Grunde reicht im Strahlenschutz die Erfassung der Energiedosis D nicht aus, um das Strahlenrisiko genügend genau Vorhersagen zu können.



Körperdosisgrößen H_T und E

1. Berücksichtigung der mikroskopischen Ionisationsdichten

Der Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R



Organ-Äquivalentdosis H_T

$$H_T = w_R \cdot D_T$$

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$



Organ-Äquivalentdosis H_T

Strahlungsart	Strahlungs-Wichtungsfaktoren w_R (ICRP60)	
Photonen	pauschal	1
Elektronen (incl. β)*, Myonen	alle $e^- + \mu$	1
Neutronen	$E < 10\text{keV}$	5
	$10\text{-}100\text{keV}$	10
	$0.1\text{-}2\text{ MeV}$	20
	$2\text{-}20\text{MeV}$	10
	$E > 20\text{MeV}$	5
Protonen	$E > 2\text{MeV}$	5**
α , Schwerionen, Spaltfragmente		20

Von ICRP vorgeschlagene neue pauschalisierte Strahlungs-Wichtungsfaktoren w_R als Funktion der Strahlungsqualität und Strahlungsart [ICRP 60]. *: gilt nicht für Augerelektronen aus Atomkernzerfall innerhalb der DNS, da dort die sonst durchgeführte Mittelung über ein großes Volumen unsinnig ist (Details dazu in [ICRP 60]). **: Für Protonen, die keine Rückstoßprotonen sind.

$$w_R(E_n) = 2.5 + 13 \cdot e^{-\frac{(\ln(2 \cdot E_n))^2}{3}} \quad (\text{für } E_n \leq 0.5 \text{ MeV})$$

$$w_R(E_n) = 2.5 + 13 \cdot e^{-\frac{(\ln(2 \cdot E_n))^2}{15}} \quad (\text{für } E_n > 0.5 \text{ MeV})$$



Körperdosisgrößen H_T und E

2. Berücksichtigung der unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeit der Gewebe T

Der relative Gewebe-Wichtungsfaktor w_T



Gewebe-Wichtungsfaktoren w_T

Herleitung :

$$P_{\text{tot}} = \sum_T P_T$$

P_T : organspezifische Mortalitätsrate

P_{tot} : Gesamte Mortalitätsrate

$$w_T = \frac{P_T}{P_{\text{tot}}}$$

w_T : Gewebe-Wichtungsfaktor

$$\sum_T w_T = \sum_T \frac{P_T}{P_{\text{tot}}} = \frac{1}{P_{\text{tot}}} \cdot \sum_T P_T = \frac{1}{P_{\text{tot}}} \cdot P_{\text{tot}} = 1 = 100\%$$

Vererbbares Risiko: schwere Erbschäden werden dem Mortalitätsrisiko gleichgesetzt



Effektive Dosis E

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \cdot \left(\sum_R w_R \cdot D_{T,R} \right)$$



Effektive Dosis E

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

Die effektive Dosis E ist ein Mass für das integrale Gesamtrisiko einer Strahlenexposition am Menschen.

Bei einer inhomogenen Teilkörperexposition entspricht E derjenigen Dosis, welche gleichmässig auf den gesamten Körper appliziert das gleiche Gesamtrisiko zur Folge haben würde.



Ermittlung von Risikofaktoren

- Atombombenüberlebende

- Erfasste Personen	76'000	
- <u>Krebstodesfälle bis 1985</u>	<u>5'936</u>	
- Stat. erwartete Krebstodesfälle falls Bev. nicht strahlenexponiert	5'596	
- <u>Vermutete strahlenbedingte Krebstodesfälle</u>	<u>340</u>	(~ 6 %)

- Radiologen und Röntgentechniker, die vor 1920 tätig waren

→ Zunahme der Krebsmortalität 70 %

- Patienten, die wegen eines Morbus Bechterew strahlenexponiert wurden

→ Erhöhte Leukämierate

- Frauen nach intensiven Thoraxdurchleuchtungen

→ Erhöhte Brustkrebsrate

- Uranbergwerker

→ erhöhte Lungenkrebsrate

Lebenszeitrisiken für Tumorerkrankungen für je 10'000 Personen bei einer Strahlenexposition mit 1 Sv bei niedriger Dosisleistung

Organ	Krebsfälle pro 10 ⁴ Personen und pro Sv	Risikokoeffizient	Lebenszeit- verlust	relativer letaler Anteil an allen Krebsfällen
	(10 ⁻⁴ · Sv ⁻¹)	(%/Sv)	(Jahre)	(%)
Blase	30	0.3	10	50
Brust	20	0.2	18	50
Colon	85	0.85	12.5	55
Haut	2	0.02	1.5	0.2
Knochenmark*	50	0.5	3.1	99*
Knochenoberfläche	5	0.05	15	70
Magen	110	1.1	12.5	90
Lunge	85	0.85	13.5	95
Leber	15	0.15	15	95
Ovarien	10	0.1	17	70
Schilddrüse	8	0.08	15	10
Speiseröhre	30	0.3	11.6	95
Restkörper	50	0.5	13.7	
Total:	500	5.0	15	80

Körperdosisgrössen H_T und E

Effektive Dosis

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

ICRP 60*		RöV	
Gewebeart, Organ	w_T -Faktor	Gewebeart, Organ	w-Faktor
Keimdrüsen	0.20	Keimdrüsen	0.25
Brust	0.05	Brust	0.15
rotes Knochenmark	0.12	rotes Knochenmark	0.12
Lunge	0.12	Lunge	0.12
- tracheo-bronchial	0.08-0.09**		
- pulmonär	0.04-0.03**		
Schilddrüse	0.05	Schilddrüse	0.03
Knochenoberfläche	0.01	Knochenoberfläche	0.03
Colon	0.12		
Magen	0.12		
Blase	0.05		
Leber	0.05		
Oesophagus	0.05		
Haut	0.01		
Rest	total: 0.05	Rest (max. 5)	je 0.06

Gewebe-Wichtungsfaktoren w_T zur Berechnung der Effektiven Dosis nach den neuesten Empfehlungen der [ICRP 60] zusammen mit den bisherigen deutschen Wichtungsfaktoren w für die Effektive Äquivalentdosis nach ([RöV], Anlage IV, Tab. 2). *: Bisher noch nicht in der deutschen Strahlenschutzregelung verwendet. Die neuen ICRP-Faktoren enthalten das sogenannte Detriment, das also Beeinträchtigungen der Gesundheit und nicht mehr ausschließlich die Krebsmortalität beschreibt. **: Diese weitere Differenzierung der Lungengewebe ist für später vorgesehen.

Hypothetisches Gesamtrisiko

Das hypothetische Gesamtrisiko lässt sich wie folgt aus der effektiven Dosis E abschätzen:

$$\text{Risiko} = E * F_R(\text{Ganzkörper})$$

mit

$F_R(\text{Ganzkörper})$: Ganzkörper-Mortalitätsrisiko
pro Dosis = 5% / Sv



Personendosen $H_p(10)$; $H_p(0.07)$
und
Ortsdosen $H^*(d)$



Personendosisgrössen $H_p(10)$ und $H_p(0.07)$

Bei durchdringender Strahlung wird als Personendosis $H_p(10)$ die Äquivalentdosis in ICRU-Weichteilgewebe in 10 mm Körpertiefe an der Tragstelle des Personendosimeters verwendet. Sie dient zur Abschätzung der effektiven Dosis E und der Organ-Äquivalentdosen H_T .

Bei Strahlungen mit geringer Durchdringungsfähigkeit dient die Äquivalentdosis in ICRU-Weichteilgewebe in 0,07 mm Körpertiefe an der Tragstelle des Dosimeters als Personendosis $H_p(0,07)$. Diese Dosis erlaubt eine Abschätzung der Haut- bzw. Oberflächendosis.



Ortsdosis $H^*(d)$

Unter Ortsdosis versteht man die „Äquivalentdosis $H^*(d)$ in Weichteilgewebe gemessen an einem bestimmten Ort im Raum. Diese wird mit richtungsunabhängigen Umgebungssonden (*) in einer Bezugstiefe d [mm] in einem Phantom (ICRU-Kugel) gemessen.

- ICRU-Kugel:
- Durchmesser 30 cm
 - Dichte $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$
 - Zusammensetzung:
 - 76,2% O
 - 11,1% C
 - 10,1% H
 - 2,6% N



Automatische Ortsdosismessungen in der Schweiz

NADAM

Bezeichnung:	<u>Netz</u> für <u>automatischen</u> <u>Dosis</u> alarm und <u>Messung</u> (NADAM)
Anzahl und Standorte:	58 Stationen verteilt über die ganze Schweiz
Messmethode:	GM Zählrohr
Messgrösse:	Ursprünglich Ionendosis, heute $H^*(10)$
Kalibrierung durch:	Ursprünglich SUEB, heute IRA
Datenregistrierung:	Alle 10 Minuten durch Meteo Schweiz / NAZ
Datenveröffentlichung:	Via web site NAZ (https://www.naz.ch/bamessungen.html)
Betreiber:	NAZ
Bemerkungen:	Neue Detektoren werden z.Z. evaluiert



Automatische Ortsdosismessungen in der Schweiz

MADUK

Bezeichnung:	<u>M</u> essnetz zur <u>a</u> utomatischen <u>D</u> osisleistungsmesungen in der <u>U</u> mgabung der <u>K</u> ernkraftwerke
Anzahl und Standorte:	57 Stationen insgesamt, jeweils im Umkreis von 5 km um die KKW
Messmethode:	Je 2 GM Zählrohre
Messgrösse:	$H^*(10)$
Kalibrierung durch:	PSI
Datenregistrierung:	Alle 10 Minuten durch die HSK
Datenveröffentlichung:	Teletext
Betreiber:	HSK
Bemerkungen:	



Zusammenfassung

Bezeichnung	Kategorie	Kurzzeichen	Bemerkung
Äquivalentdosis	Dosismessgröße	H	neue Qualitätsfaktoren als $f(\text{LET})$
Ortsdosen	Dosismessgröße	$H^*(d)$ $H'(d, \bar{\Omega})$	Umgebungs-Äquivalentdosis Richtungs-Äquivalentdosis
Personendosen	Dosismessgröße	$H_p(10)$ $H_p(0.07)$	Personendosis für durchdringende Strahlung Personendosis für Strahlung geringer Eindringtiefe
Körperdosen	berechnete Größe	H_T E	Organ-Äquivalentdosis Effektive Dosis

Neue Dosisgrößen im Strahlenschutz (alle haben die Einheit Sv, nach [ICRU 43]).



Strahlendosimetrie