

## Dosismeßverfahren in der radiologischen Technik

Allgemeines zur Dosimetrie von Photonen- und  
Elektronenstrahlung nach der Sondenmethode**DIN**  
**6800**  
Teil 1

Procedures in dosimetry; principles of photon and electron dosimetry with probe-type detectors

Aufgestellt vom Normenausschuß Radiologie im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. in Arbeitsgemeinschaft mit der Deutschen Röntgengesellschaft.

Kursiv gesetzte Textteile sind Anmerkungen.

Die Normen DIN 6800 Teil 1 bis Teil 6 enthalten allgemeine Regeln zur Dosismessung nach der Sondenmethode, Angaben über die Eigenschaften, Anwendungsbedingungen und Meßunsicherheiten der verschiedenen Dosimeterarten sowie Werte von Materialkonstanten und Umrechnungsfaktoren.

In DIN 6800 Teil 1 sind diejenigen Angaben und Regeln zusammengefaßt, die für die Verwendung aller Dosimeterarten als Sondendosimeter gelten. Diese Norm ist eine notwendige Ergänzung zu jeder weiteren Norm der Reihe DIN 6800. Sie soll aber auch als selbständige Norm zur Sondenmethode gelten.

Die Normen

DIN 6800 Teil 2 Ionisationsdosimetrie

DIN 6800 Teil 3 Eisensulfatdosimetrie

DIN 6800 Teil 4 Filmdosimetrie

DIN 6800 Teil 5 Thermolumineszenzdosimetrie (TLD)

DIN 6800 Teil 6 Photolumineszenzdosimetrie (PLD)

behandeln die verschiedenen Meßverfahren und Dosimeterarten.

Anwendungen dieser Meßverfahren auf bestimmte Meßaufgaben<sup>1)</sup> sind jedoch nicht Gegenstand dieser Norm. Alle Blätter dieser Norm verwenden Begriffe und Benennungen der radiologischen Technik nach DIN 6814 Teil 2 (Strahlenphysik) und DIN 6814 Teil 3 (Dosisgrößen und -einheiten) sowie Grundbegriffe der Meßtechnik nach DIN 1319.

<sup>1)</sup> Klinische Anwendungen der Ionisationsdosimetrie siehe DIN 6809 Teil 1, Klinische Dosimetrie, Therapeutische Anwendung gebündelter Röntgen-, Gamma- und Elektronenstrahlung, DIN 6817, Klinische Dosimeter mit Ionisationskammern für Röntgen- und Gammastrahlung, Regeln für die Herstellung, DIN 6819, Strahlenexposition des Patienten in der Röntgendiagnostik, Messung des Flächendosisprodukts. Anwendung von Filmdosimetern im Strahlenschutz siehe DIN 6816, Filmdosimetrie nach dem filteranalytischen Verfahren zur Strahlenschutzüberwachung.

## Inhalt

|                                                               | Seite    |                                                   | Seite    |
|---------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------|----------|
| <b>1 Stellung der Sondenmethode in der Dosimetrie</b>         | <b>2</b> | <b>4 Sondenarten und Dosisumrechnungsfaktoren</b> | <b>4</b> |
| 1.1 Sondenmethode                                             | 2        | 4.1 Sondenarten                                   | 4        |
| 1.2 Andere Methoden der Dosimetrie (Beispiele)                | 2        | 4.2 Abmessungen von Dosimetersonden               | 4        |
| <b>2 Dosimeter</b>                                            | <b>2</b> | 4.3 Definition des Dosisumrechnungsfaktors        | 4        |
| 2.1 Dosimetersonde                                            | 2        | 4.4 Umgebungsäquivalente Sonden                   | 4        |
| 2.2 Anzeigegerät, Anzeige, Anzeigebereich,<br>Dosismeßbereich | 3        | 4.5 Gleichgewichtssonden                          | 4        |
| <b>3 Sondendosis und Sondenfaktor</b>                         | <b>3</b> | 4.6 Hohlraumsonden                                | 5        |
| 3.1 Sondendosis                                               | 3        | <b>5 Fehler, Korrekturen und Meßunsicherheit</b>  | <b>6</b> |
| 3.2 Sondenfaktor                                              | 3        | Schrifttum                                        | 7        |
|                                                               |          | Weitere Normen                                    | 7        |

Fortsetzung Seite 2 bis 7  
Erläuterungen Seite 8

Normenausschuß Radiologie (NAR) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.  
Normenausschuß Kerntechnik (NKe) im DIN

## 1 Stellung der Sondenmethode in der Dosimetrie

Die Energiedosis in biologischem Gewebe und anderen Stoffen läßt sich in der Praxis nicht unmittelbar, d. h. an dem interessierenden Stoff selbst, messen. Man muß daher ein mittelbares Verfahren anwenden.

### 1.1 Sondenmethode

Das Meßvolumen einer Dosimetersonde (siehe Abschnitt 2.1) wird an die interessierende Stelle des zu bestrahlenden Objektes oder, falls das nicht möglich ist, an eine entsprechende Stelle in einem Ersatzobjekt (Phantom) aus geeignetem Material gebracht. Das Dosimeter muß so kalibriert sein, daß sich aus der korrigierten Anzeige  $M$  (siehe Abschnitt 2.2.2) durch Multiplikation mit dem Sondenfaktor  $k_p$  (siehe Abschnitt 3.2) die Sondendosis  $D_p$  (siehe Abschnitt 3.1) ergibt:

$$D_p = k_p \cdot M$$

Da das Sondenmaterial in der Regel von dem Material verschieden ist, aus dem das Objekt oder Phantom besteht (Umgebungsmaterial, siehe Bild 1), muß die Energiedosis  $D_m$  im Umgebungsmaterial durch Multiplizieren der Sondendosis  $D_p$  mit einem Dosisumrechnungsfaktor  $k_D$  ermittelt werden (siehe Abschnitte 4.2, 4.4.2, 4.5.2, 4.6.2):

$$D_m = k_D \cdot D_p$$

Die Sondenmethode ist das in der Praxis genaueste Verfahren zur Bestimmung der Energiedosis im interessierenden Material (siehe Schrifttum [3, 5, 8, 9, 12]). Sie wird in dieser Norm behandelt.<sup>1)</sup>

### 1.2 Andere Methoden der Dosimetrie (Beispiele)

Nicht alle Methoden der Dosimetrie benutzen das Sondenprinzip nach Abschnitt 1.1. Beispiele für andere Methoden geben die folgenden Abschnitte 1.2.1 bis 1.2.5. Viele Verfahrensregeln in dieser Norm und in den Folgeteilen können jedoch sinngemäß auch auf die Methoden nach Abschnitt 1.2 angewendet werden.

<sup>1)</sup> Einige Formelzeichen sind durch international einheitlichen Gebrauch begründet:  $M$  (measured indication),  $D_p$  (dose to probe material),  $D_m$  (dose to medium).

**1.2.1** Unter definierten Bedingungen wird die Standard-Ionendosis (siehe DIN 6814 Teil 3) ohne das zu bestrahlende Objekt an einer Stelle gemessen, an der sich das Objekt bei der Bestrahlung befinden wird. Aus der gemessenen Standard-Ionendosis wird in der Strahlentherapie mit Photonenstrahlung bis zu 3 MeV die Energiedosis im Gewebe an interessierenden Punkten mit Hilfe von Dosisverteilungstabellen ermittelt.

**1.2.2** Mit Freiluftkammern (Faß- und Parallelplatten-Ionisationskammern) wird die Standard-Ionendosis für Zwecke der Kalibrierung absolut gemessen (siehe Schrifttum [19, 20]).

**1.2.3** Mit Strahlenschutzdosimetern wird die Personendosis oder die Ortsdosis (siehe DIN 6814 Teil 3) im allgemeinen nach Methoden gemessen, die von der Sondenmethode abweichen.

**1.2.4** Flächendosimeter dienen zur Messung des Flächendosisprodukts (siehe DIN 6814 Teil 3) in der Röntgendiagnostik (siehe DIN 6819).

**1.2.5** Als Dosismonitor oder Dosisleistungsmonitor dient ein Dosimeter, das bei fester Aufstellung des Strahlungsdetektors im Strahlengang außerhalb des bestrahlten Körpers oder Phantoms und bei gleichbleibenden Bestrahlungsbedingungen eine zur Dosis bzw. Dosisleistung im Körper oder Phantom proportionale, gut reproduzierbare Anzeige liefert.

## 2 Dosimeter

Ein Dosimeter im Sinne dieser Norm besteht aus einer Dosimetersonde und dem Anzeigegerät. Zu einem Dosimeter können mehrere Sonden gehören, z. B. Ionisationskammern mit gleichem oder verschiedenem Ansprechvermögen (siehe Tabelle 1).

### 2.1 Dosimetersonde

Die Dosimetersonde (kurz: Sonde) besteht aus dem strahlenempfindlichen festen, flüssigen oder gasförmigen Material (kurz: Sondenmaterial), welches ein bestimmtes, für die Messung ausgenutztes Volumen (Meßvolumen) einnimmt, sowie im allgemeinen aus einer das Sondenmaterial umgebenden Wand oder Hülle (Wandmaterial) und gegebenenfalls aus zusätzlichen Bauteilen, z. B. elek-

Tabelle 1. **Anzeigegeräte und Sondendosen verschiedener Dosimeterarten**  
(siehe Schrifttum [1, 5, 8, 10, 13, 14, 15, 16]).

| Dosimeterarten                   | Dosimetersonde                       | Anzeigegerät                                  | Sondendosis                                                                |
|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Kalorisches Dosimeter            | Absorber mit Umhüllung               | Vorrichtung zur Wärmemengenmessung            | Energiedosis im Absorbermaterial                                           |
| Ionisationsdosimeter             | Ionisationskammer                    | Ladungs-, Strom- oder Spannungsmeßvorrichtung | Energiedosis im Kammergas                                                  |
| Eisensulfatdosimeter             | Dosimeterlösung im Bestrahlungsgefäß | Spektralphotometer oder Titriervorrichtung    | Energiedosis in der Dosimeterlösung                                        |
| Filmdosimeter                    | Film mit oder ohne Umhüllung         | Densitometer                                  | Energiedosis im Sondenmaterial des zur Kalibrierung verwendeten Dosimeters |
| Thermolumineszenzdosimeter (TLD) | Leuchtstoff mit oder ohne Umhüllung  | Photometer und Heizvorrichtung                |                                                                            |
| Photolumineszenzdosimeter (PLD)  | Phosphatglas mit oder ohne Umhüllung | Photometer und Ultraviolett-Lichtquelle       |                                                                            |

trischen Zuleitungen oder mechanischen Verbindungen. Soweit die Wandeinflüsse nicht erwünscht oder zu vernachlässigen sind, ist die Anzeige entsprechend zu korrigieren. Das Material der zusätzlichen Bauteile gehört nicht zur Wand und ist erforderlichenfalls durch eine zusätzliche Korrektur der Anzeige zu berücksichtigen, z. B. Stielkorrektur bei Ionisationsdosimetern (siehe DIN 6800 Teil 2). Bei der Messung ist die Sonde von dem Material umgeben, für welches die Energiedosis bestimmt werden soll (Umgebungsmaterial, siehe Bild 1). Das Wandmaterial kann ganz oder zum Teil mit dem Sondenmaterial oder mit dem Umgebungsmaterial übereinstimmen, aber auch Fremdmaterial enthalten. Als „Wanddicke“ einer Meßsonde gilt die flächenbezogene Masse des Wandmaterials.

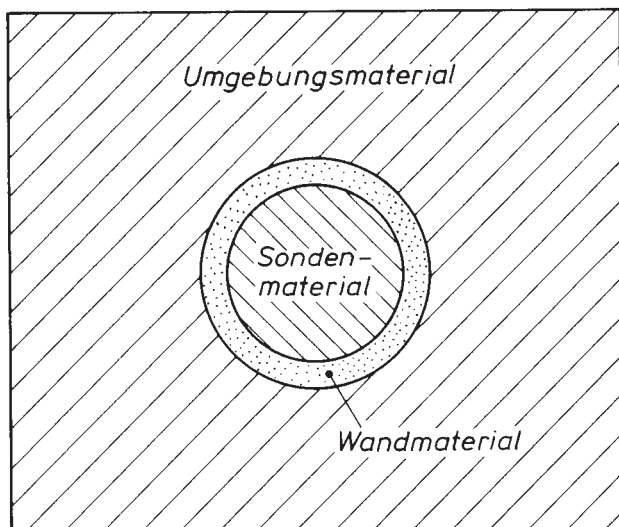


Bild 1. Dosimetersonde im Umgebungsmaterial

## 2.2 Anzeigegerät, Anzeige, Anzeigebereich, Dosismessbereich

### 2.2.1 Anzeigegerät

Das Anzeigegerät umfaßt das gesamte Meß- und Auswertungssystem, z. B. Ladungs-, Strom- oder Spannungsmeßvorrichtung für Ionisationskammern oder Einrichtung zur Filmentwicklung und Schwärzungsmessung (siehe Tabelle 1).

### 2.2.2 Anzeige

Die unkorrigierte Anzeige  $M_u$  ist der an einer Skale des Anzeigegerätes abgelesene Zahlenwert. Die korrigierte Anzeige  $M$  wird aus der unkorrigierten Anzeige  $M_u$  durch Korrekturen, d. h. durch Ausschaltung der erfaßten systematischen Fehler, erhalten (siehe Abschnitt 5.2).

### 2.2.3 Anzeigebereich

Der Anzeigebereich eines Dosimeters ist der Wertebereich der Anzeige, der am Anzeigegerät abgelesen werden kann.

### 2.2.4 Dosismessbereich

Der Dosismessbereich eines Dosimeters ist durch denjenigen Teil des Anzeigebereiches gegeben, für welchen der Fehler der Anzeige innerhalb von angegebenen Fehlergrenzen bleibt.

## 3 Sondendosis und Sondenfaktor

### 3.1 Sondendosis

Die Sondendosis (siehe Tabelle 1) ist

- bei absolutmessenden Ionisations-, Eisensulfat- und kalorischen Dosimetern die Energiedosis  $D_p$  im Sondenmaterial bei Erfüllung der Gleichgewicht- oder Bragg-Gray-Bedingungen oder bei Umgebungsäquivalenz (siehe Abschnitt 4),

- bei kalibrierten Ionisations-, Film-, TLD- und PLD-Dosimetern die Energiedosis  $D_p$  in dem Material, das sich im strahlenempfindlichen Volumen des zum Kalibrieren verwendeten Dosimeters bei Erfüllung der Gleichgewicht- oder Bragg-Gray-Bedingungen oder bei Umgebungsäquivalenz befindet.

Bei luftgefüllten Ionisationskammern ist die Sondendosis demnach die Energiedosis in Luft, die sich aus der zunächst ermittelten Gleichgewicht-Ionendosis  $J_a$  oder Hohlraum-Ionendosis  $J_c$  durch Multiplikation mit der Ionisierungskonstanten  $\bar{W}/e$  von Luft ergibt (siehe DIN 6800 Teil 2, Ausgabe Juni 1980, Abschnitt 4).

## 3.2 Sondenfaktor

### 3.2.1 Definition

Der Sondenfaktor  $k_p$  ist der Quotient aus der Sondendosis  $D_p$  (siehe Abschnitt 3.1) und der korrigierten Anzeige  $M$  (siehe Abschnitt 2.2.2):

$$k_p = D_p / M$$

Das Ansprechvermögen eines Dosimeters ist der Quotient aus der korrigierten Anzeige und der Sondendosis, d. h. der Kehrwert des Sondenfaktors.

### 3.2.2 Ermittlung des Sondenfaktors bei absolutmessenden Dosimetern

Bei absolutmessenden Dosimetern wird der Sondenfaktor aus Natur- und Materialkonstanten, z. B. Ionisierungskonstante  $\bar{W}/e$ , Ausbeutefaktor  $G$ , Eigenschaften des Wand- und Sondenmaterials, sowie aus geometrischen Daten der Sonde, z. B. Volumen oder Wanddicke, und aus Instrumentenkonstanten berechnet.

### 3.2.3 Ermittlung des Sondenfaktors durch Kalibrierung

Bei nicht absolutmessenden Dosimetern ergibt sich der Sondenfaktor  $k_p$  als Quotient aus der mit einem Normaldosimeter ermittelten Sondendosis  $D_p$  und der korrigierten Anzeige  $M$  des zu kalibrierenden Dosimeters, die unter denselben definierten Bestrahlungsbedingungen (Energiefluenz, Strahlenqualität, Geometrie) gemessen werden muß wie  $D_p$ . Der Sondenfaktor wird in diesem Falle als Kalibrierfaktor bezeichnet.

Eine Ausnahme ist die Filmdosimetrie (siehe DIN 6800 Teil 4), bei welcher die Sondendosis nicht mittels Sondenfaktors, sondern aus der „korrigierten Schwärzungskurve“ bestimmt wird.

### 3.2.4 Energieabhängigkeit des Sondenfaktors

Der Sondenfaktor  $k_p$  hängt in der Regel von der Strahlenqualität (siehe DIN 6814 Teil 2) ab. Daher muß der Sondenfaktor für die Strahlenart und den gesamten Energiebereich, für den das Dosimeter verwendet werden soll, bestimmt und angegeben werden.

Da das Energiespektrum der Strahlung im allgemeinen vom Ort im Phantom oder Gewebe abhängt, muß der Wert von  $k_p$  für das Spektrum am Meßort zugrunde gelegt werden. Bei Photonenstrahlung wird das Spektrum mit der Tiefe durch Absorption der Primärstrahlung und Erzeugung von Streustrahlung verändert (siehe Schrifttum [13, 14, 15, 22]), bei Photonenenergien oberhalb 100 keV ist dieser Einfluß auf den Sondenfaktor jedoch gering. Bei Elektronenstrahlung verbreitert sich das Spektrum mit der Tiefe, und die mittlere Elektronenenergie  $\bar{E}$  nimmt mit der Tiefe  $z$  annähernd nach der Beziehung  $\bar{E} = E_0 (1 - z/R_p)$  ab (siehe Schrifttum [9]), wobei die Energie  $E_0$  an der Oberfläche aus der praktischen Reichweite  $R_p$  der Elektronen zu berechnen ist (siehe Schrifttum [17, 18]).

### 3.2.5 Richtungsabhängigkeit des Sondenfaktors

Der Sondenfaktor kann von der Einfallsrichtung der Strahlung in bezug auf die Sonde abhängen. Daher sollten