

DIN 6847-2



ICS 11.040.50; 13.280

Ersatz für
DIN 6847-2:2003-12**Medizinische Elektronenbeschleuniger-Anlagen –
Teil 2: Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes**Medical electron accelerators –
Part 2: Rules for construction of structural radiation protectionAccélérateurs médicaux d'électrons –
Partie 2: Règles pour la conception structurelle de la radioprotection

Nur für die Normungsarbeit

Gesamtumfang 39 Seiten

Normenausschuss Radiologie (NAR) im DIN



Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe und Indizes	5
3.1 Begriffe	5
3.2 Indizes	7
4 Dosis- und Dosisleistungsangaben	7
5 Grenzwerte für die Dosis hinter der Abschirmung	7
6 Anforderungen an die Räume	8
7 Angaben des HERSTELLERS und des STRAHLENSCHUTZVERANTWORTLICHEN	8
7.1 Angaben des HERSTELLERS	8
7.2 Angaben des STRAHLENSCHUTZVERANTWORTLICHEN	10
8 Betriebsdaten	10
8.1 STRAHLUNGSENERGIE	10
8.2 Dosisleistung	10
8.3 BETRIEBSBELASTUNG	11
8.4 RICHTUNGSFAKTOR	11
8.5 AUFENTHALTSFAKTOR	12
8.6 Zusammenwirken der Faktoren U und T	12
9 Höchste zugelassene ORTSDOSIS	13
10 Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen	13
10.1 Allgemeines	13
10.2 Allgemeines Berechnungsschema	14
10.3 Abschirmung gegen BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung	14
10.4 Abschirmung gegen Elektronennutzstrahlung	15
10.5 Abschirmung gegen DURCHLASSSTRAHLUNG	16
10.6 Abschirmung gegen sekundäre BREMSSTRAHLUNG	19
10.7 Abschirmung gegen tertiäre BREMSSTRAHLUNG	21
10.8 Abschirmung gegen NEUTRONENSTRAHLUNG	22
10.9 Zusammenwirken mehrerer Strahlungsquellen, -arten und -komponenten	26
10.10 Bauliche Strahlenschutzvorkehrungen gegen RADIOAKTIVE STOFFE, die durch Kernphotoprozesse entstehen	27
11 Strahlenschutzbauzeichnung	28
11.1 Angaben des Errichters	28
11.2 Verbleib der Strahlenschutzbauzeichnung	28
12 Prüfung der Einhaltung von Strahlenschutzregeln	28
12.1 Anforderungen an die Räume nach 6 d) bis 6 i)	28
12.2 Prüfung der baulichen Abschirmungen, die vom NUTZSTRAHLENBÜNDEL getroffen werden können	28
12.3 Prüfung der baulichen Abschirmungen, die nicht vom NUTZSTRAHLENBÜNDEL getroffen werden können	29
13 Prüfung der RAUMLUFTTECHNISCHEN ANLAGE	29
Anhang A (informativ) Berechnungsbeispiel	31
Literaturhinweise	37
Stichwortverzeichnis	38

Bilder

Bild 1 — Produkt der ZEHNTELWERTDICKE z_X und Dichte ρ für BREMSSTRAHLUNG, DURCHLASSSTRAHLUNG, Röntgenstrahlungsanteil im NUTZSTRAHLENBÜNDEL der ELEKTRONENSTRAHLUNG und von Elektronen außerhalb des STRAHLERS erzeugte BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung für die in der Legende aufgeführten Materialien	17
Bild 2 — Produkt der ZEHNTELWERTDICKE z_X und Dichte ρ für BREMSSTRAHLUNG, DURCHLASSSTRAHLUNG, Röntgenstrahlungsanteil im NUTZSTRAHLENBÜNDEL der ELEKTRONENSTRAHLUNG und von Elektronen außerhalb des STRAHLERS erzeugte BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung für die in der Legende aufgeführten Materialien	18
Bild 3 — Faktor k_{XE} zur Bemessung von Abschirmungen gegen außerhalb des STRAHLERS erzeugte BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung	19
Bild AA.1 — Grundrisssskizze für das Berechnungsbeispiel zur Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen in ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGEN	32

Tabellen

Tabelle 1 — Höchste zugelassene ORTSDOSIS H_W	13
Tabelle 2 — Produkt aus ZEHNTELWERTDICKE z_{XS} bzw. z_{XT} und Dichte ρ für sekundäre bzw. tertiäre BREMSSTRAHLUNG	20
Tabelle 3 — ZEHNTELWERTDICKEN z_{Nn} und z_{Ns} für NEUTRONENSTRAHLUNG	24
Tabelle 4 — Parameter für die Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen nach 10.2 bis 10.8	25
Tabelle 5 — Verstärkungen von Abschirmungen beim Zusammenwirken mehrerer Strahlungskomponenten	27
Tabelle A.1 — Bestrahlungsbedingungen nach Angaben des STRAHLENSCHUTZVERANTWORTLICHEN für das Berechnungsbeispiel zur Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen nach Bild A.1	33
Tabelle A.2 — Betriebsdaten nach Angaben des HERSTELLERS für das Berechnungsbeispiel zur Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen nach Bild A.1	34
Tabelle A.3 — Berechnungsdaten zur Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen für die verschiedenen Strahlungskomponenten und Aufenthaltsorte in dem Berechnungsbeispiel nach Bild A.1	35

Vorwort

Diese Norm wurde vom Normenausschuss Radiologie im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. in Arbeitsgemeinschaft mit der Deutschen Röntgengesellschaft und in Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik, der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin sowie der Deutschen Gesellschaft für Radioonkologie erarbeitet. Außer den Regeln dieser Norm sind die geltenden gesetzlichen Vorschriften und behördlichen Richtlinien zu beachten.

Diese Norm legt Regeln für die Auslegung des baulichen STRAHLENSCHUTZES an medizinischen ELEKTRONEN-BESCHLEUNIGER-ANLAGEN im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens nach § 11 Absatz 2 StrlSchV fest.

In Übereinstimmung mit dem Verfahren in Publikationen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) wurden Benennungen von definierten Begriffen in KAPITÄLCHEN gedruckt. Eine Übersicht aller in dieser Norm verwendeten definierten Begriffe, einschließlich Quellenangaben und englischer Übersetzungen ist im Stichwortverzeichnis am Ende der Norm enthalten.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

DIN 6847, *Medizinische Elektronenbeschleuniger-Anlagen*, besteht aus:

- Teil 2: Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes
- Teil 5: Konstanzprüfungen von Kennmerkmalen

Änderungen

Gegenüber DIN 6847-2:2003-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Änderung des Titels der Norm;
- b) Berücksichtigung weiterer Abschirmmaterialien;
- c) Begrenzung des Energiebereiches auf den praktisch relevanten Bereich von 3 MeV bis 50 MeV;
- d) redaktionelle Überarbeitung.

Frühere Ausgaben

DIN 6847: 1965-11, 1972-01
DIN 6847-2: 1977-11, 1990-03, 2003-12

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die ERRICHTUNG von ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGEN zur Anwendung von BREMSSTRAHLUNG mit GRENZENERGIEN zwischen 3 MeV und 50 MeV und ELEKTRONENSTRAHLUNG mit Energien zwischen 3 MeV und 50 MeV bei der medizinischen Strahlenbehandlung. Diese Norm gilt nicht für die ERRICHTUNG von ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGEN zur Anwendung in der Tomotherapie.

Für die Sicherheit von ELEKTRONENBESCHLEUNIGERN gilt DIN EN 60601-2-1 (VDE 0750-2-1).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 6814 (alle Teile), *Begriffe der radiologischen Technik*

DIN 25400, *Zeichen für ionisierende Strahlung*

DIN EN 12599, *Lüftung von Gebäuden — Prüf- und Messverfahren für die Übergabe eingebauter raumluft-technischer Anlagen*

DIN EN 60601-2-1 (VDE 0750-2-1), *Medizinische elektrische Geräte — Teil 2-1: Besondere Festlegungen für die Sicherheit von Elektronenbeschleunigern im Bereich von 1 MeV bis 50 MeV*

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung — StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. Teil I, S. 1714, 2002, S. 1459)), zuletzt geändert durch Artikel 2 § 3 Absatz 31 des Gesetzes vom 1. September 2005 (BGBl. Teil I S. 2618)¹⁾

3 Begriffe und Indizes

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 6814 (alle Teile) und die folgenden Begriffe.

3.1.1

Betriebsbelastung

W_A

Produkt aus der Anzahl der Einzelbestrahlungen in einer Woche und der mittleren KENNDOSIS je Einzelbestrahlung

[DIN 6853-2:2005-10]

ANMERKUNG 1 Einheit der BETRIEBSBELASTUNG: „Gray“ (Einheitenzeichen Gy).

ANMERKUNG 2 Die BETRIEBSBELASTUNG W_A gibt den Umfang der Ausnutzung einer ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE an.

¹⁾ Nachgewiesen in der DITR-Datenbank der DIN Software GmbH, zu beziehen bei: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

3.1.2

Errichtung

Erstellung eines Bauwerks mit bautechnischen Strahlenschutzvorkehrungen oder Änderungen am Bau oder an Einrichtungen, welche die Strahlenschutzeigenschaften der Anlage beeinflussen, sowie Aufstellung und Anschluss des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS

3.1.3

Elektronenbeschleuniger-Anlage

Gesamtheit aus ELEKTRONENBESCHLEUNIGER, Installation, zugehörigen baulichen Mitteln und Energieversorgung

ANMERKUNG Zu baulichen Mitteln zählen z. B. Strahlenschutzwände.

3.1.4

Richtungsfaktor

U

Zahlenwert, der die Richtung des NUTZSTRAHLENBÜNDELS in Bezug auf die zu bemessende Abschirmung berücksichtigt

3.1.5

Aufenthaltsfaktor

T

Zahlenwert, der die zu erwartende Aufenthaltsdauer von Personen in den zu schützenden Bereichen unabhängig von der tatsächlichen Aufenthaltsdauer berücksichtigt

3.1.6

Reduktionsfaktor

R_i

Zahlenwert, der für BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung den Abstand des schützenden Ortes in Relation zum Referenzabstand $a_0 = 1$ m berücksichtigt sowie für alle anderen Strahlungskomponenten zusätzlich deren Dosisanteil an der Dosis der Gesamtstrahlung im Referenzabstand mit einbezieht und der für BREMSSTRAHLUNG und ELEKTRONENSTRAHLUNG mit dem Faktor 1 sowie für NEUTRONENSTRAHLUNG mit dem Faktor 10 zu multiplizieren ist

ANMERKUNG 1 Der Index i kennzeichnet die Strahlungsart und den Strahlungstyp nach 3.2.

ANMERKUNG 2 Mit den Faktoren 1 bzw. 10 wird die BETRIEBSBELASTUNG mit der Einheit „Gray“ für die Strahlenarten BREMSSTRAHLUNG und ELEKTRONENSTRAHLUNG bzw. NEUTRONENSTRAHLUNG in eine ÄQUIVALENTDOSIS mit der Einheit „Sievert“ umgerechnet.

3.1.7

Zehntelwertdicke

z_i

Dicke einer Abschirmung, hinter der für eine bestimmte Strahlungskomponente i der Wert der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}^*(10)$ ein Zehntel des Wertes ohne diese Abschirmung beträgt

ANMERKUNG Das bedeutet, dass der SCHWÄCHUNGSFAKTOR F den Wert 10 annimmt.

3.1.8

Schwächungsfaktor

F

Quotient aus der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}_0^*(10)$ ohne Abschirmung und der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}^*(10)$ mit Abschirmung (jeweils für den gleichen Ort)

$$F = \frac{\dot{H}_0^*(10)}{\dot{H}^*(10)}$$

[DIN 6844-3:2006-12]

ANMERKUNG Die Berechnung der Dicke von Abschirmungen erfolgt für Elektronenbeschleuniger getrennt nach Strahlungskomponenten, so dass Schwächungsfaktoren F_i für eine bestimmte Strahlungskomponente i der Berechnung zugrunde gelegt werden.

3.1.9

Volumenstrom

Volumen eines Stoffes, das je Zeiteinheit eine festgelegte Fläche durchströmt

[DIN EN 12792:2004-01]

3.2 Indizes

In dieser Norm werden für Strahlungsarten und Strahlungstypen die folgenden Indizes benutzt.

Indizes mit Großbuchstaben bezeichnen die Strahlungsart:

- | | |
|---|----|
| — Bremsstrahlung | X |
| — Elektronenstrahlung | E |
| — Neutronenstrahlung | N |
| — von Elektronennutzstrahlung erzeugte Bremsstrahlung | XE |

Indizes mit Kleinbuchstaben bezeichnen den Strahlungstyp:

- | | |
|-------------------------------------|---|
| — Nutzstrahlung, direkte Strahlung | n |
| — Durchlassstrahlung | d |
| — sekundäre und gestreute Strahlung | s |
| — tertiäre Strahlung | t |

4 Dosis- und Dosisleistungsangaben

Dosis- und Dosisleistungsangaben zur Charakterisierung der NUTZSTRAHLUNG erfolgen als WASSER-ENERGIE-DOSIS(-LEISTUNG) im Dosismaximum. ORTSDOSIS(-LEISTUNG) wird als UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSIS(-LEISTUNG) und die KÖRPERDOSIS als EFFEKTIVE DOSIS angegeben.

5 Grenzwerte für die Dosis hinter der Abschirmung

Die folgenden Festlegungen haben Vorrang vor allen übrigen Festlegungen dieser Norm. Grenzwerte für die Dosis hinter der Abschirmung sind abgeleitet von den in der StrlSchV gesetzlich vorgeschriebenen, jeweils auf das Kalenderjahr bezogenen Werten für die KÖRPERDOSEN von Personen, zu deren Schutz die baulichen Strahlenschutzvorkehrungen dienen.

- An Arbeitsorten von beruflich strahlenexponierten Personen außerhalb des KONTROLLBEREICHES ist für die Bemessung des STRAHLENSCHUTZES eine EFFEKTIVE DOSIS von 6 mSv im Jahr zugrunde zu legen.
- An Aufenthaltsorten von Einzelpersonen der Bevölkerung ist für die Bemessung des STRAHLENSCHUTZES eine EFFEKTIVE DOSIS von 1 mSv im Jahr zugrunde zu legen.

6 Anforderungen an die Räume

An die Räume werden folgende Anforderungen gestellt:

- a) Der Betrieb eines ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS macht es erforderlich, dass STRAHLENSCHUTZBEREICHE eingerichtet werden, in denen der Aufenthalt von Personen möglich ist, ohne dass die Werte der KÖRPERDOSIS nach Abschnitt 5 überschritten werden. Für solche STRAHLENSCHUTZBEREICHE bestehen, je nachdem, wie hoch die EFFEKTIVE DOSIS von Personen in diesen Bereichen werden darf, Aufenthalts- und Zutrittsbeschränkungen. Der Betriebsablauf sowohl innerhalb der STRAHLENTHERAPEUTISCHEN ORGANISATION als auch im Rahmen der Gesamtorganisation sollte dadurch möglichst wenig gestört werden. Deshalb sollten nur Aufenthalts- und Arbeitsorte, die unmittelbar für den Betrieb des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS erforderlich sind, in STRAHLENSCHUTZBEREICHEN liegen. Die Grenzen dieser STRAHLENSCHUTZBEREICHE sollten mit Raumgrenzen zusammengelegt werden. Hinsichtlich der Aufteilung der Räume in KONTROLL- und ÜBERWACHUNGSBEREICH sind die einschlägigen Rechtsvorschriften zu beachten.
- b) Für eine ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE sind außer den Räumen, die für den sonstigen klinischen und physikalisch-technischen Arbeitsablauf und für die Energieversorgung des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS benötigt werden, mindestens ein BESTRAHLUNGSRaum und ein davon getrennter BEDIENUNGSRaum erforderlich.
- c) Für die ERRICHTUNG von ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGEN ist vorzusetzen, dass sich im BESTRAHLUNGSRaum nur der PATIENT sowie im übrigen SPERRBEREICH niemand aufhalten darf, solange die Strahlung eingeschaltet ist. Das Verlassen dieser Räume muss jederzeit möglich sein.
- d) Der Zugang zum BESTRAHLUNGSRaum muss mit einer Vorrichtung versehen sein, die durch Öffnen eines Kontakts im Sicherheitsstromkreis die Strahlung abschaltet, wenn jemand den BESTRAHLUNGSRaum während der BESTRAHLUNGSZEIT betritt. Das Gleiche gilt für den übrigen SPERRBEREICH, sofern er während der BESTRAHLUNGSZEIT betretbar ist.
- e) In jedem zugänglichen Raum des SPERRBEREICHs muss mindestens ein Schalter angebracht sein, mit dem durch Öffnen eines Kontaktes im Sicherheitsstromkreis die Strahlung abgeschaltet und die Einschaltbereitschaft des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS blockiert werden kann.
- f) In jedem zugänglichen Raum des SPERRBEREICHs muss deutlich erkennbar sein, ob der ELEKTRONENBESCHLEUNIGER einschaltbereit ist und ob die Strahlung eingeschaltet ist. Ein Warnsignal, das von allen Aufenthaltsorten im SPERRBEREICH wahrgenommen werden kann, muss das Einschalten der Strahlung erkennen lassen.
- g) An allen Zugängen zum SPERRBEREICH muss deutlich erkennbar sein, ob die Strahlung eingeschaltet ist.
- h) Der KONTROLLBEREICH muss an den Zugängen durch ein Warnzeichen für ionisierende Strahlung nach DIN 25400 gekennzeichnet sein. Zum KONTROLLBEREICH gehört auch der SPERRBEREICH.
- i) Der PATIENT muss vom BEDIENUNGSRaum aus beobachtet werden können. Zwischen BEDIENUNGSRaum und PATIENT muss eine Sprechverbindung vorhanden sein.

7 Angaben des HERSTELLERS und des STRAHLENSCHUTZVERANTWORTLICHEN

7.1 Angaben des HERSTELLERS

Der HERSTELLER des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS muss ausführliche technische Unterlagen zur Verfügung stellen, die mindestens nachfolgende Angaben enthalten:

- a) Maßblätter, aus denen zu entnehmen sind:
 - 1) die Maße des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS;
 - 2) die Lage des Divergenzpunktes des NUTZSTRAHLENBÜNDELS, gegebenenfalls getrennt für die BREMS- und ELEKTRONENSTRAHLUNG, bezogen auf eine am Strahlerkopf von außen zugängliche Stelle. Auf den Divergenzpunkt beziehen sich die Abstandsangaben, für die Dosisleistungen nach dem Abstandsquadratgesetz umgerechnet werden können;

- 3) die Lage der Bahn, auf der die Elektronen beschleunigt werden, vom Injektor bis zum Strahlenaustrittsfenster, für Betrieb mit BREMSSTRAHLUNG bis zum TARGET, bezogen auf eine am Strahlerkopf von außen zugängliche Stelle;
- 4) die Maße für alle Einstell- und Bewegungsmöglichkeiten des Strahlerkopfes und sonstiger Teile des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS;
- b) die betriebsmäßig vorgesehenen GRENZENERGIEN der BREMSSTRAHLUNG und die betriebsmäßig vorgesehenen Elektronenenergien, gegebenenfalls die Energiebereiche, in denen diese Größen variiert werden können;
- c) die höchsten WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNGEN jeder Strahlungsart für den größten Strahlenfeldquerschnitt bei den angegebenen STRAHLUNGSENERGIEN im Referenzabstand $a_0 = 1$ m vom Divergenzpunkt des STRAHLENFELDES;

ANMERKUNG Für die Zwecke dieser Norm wird angenommen, dass die Dosisleistung und der Strahlenfeldquerschnitt in 1 m Abstand auf größere Abstände nach dem Abstandsquadratgesetz umgerechnet werden können.

- d) die Maße des größten Strahlenfeldquerschnitts im Referenzabstand $a_0 = 1$ m vom Divergenzpunkt des STRAHLENFELDES für jede Strahlungskomponente (siehe Anmerkung zu 7.1 c));
- e) die räumliche Verteilung der ENERGIEDOSISLEISTUNG der außerhalb des größten Strahlenfeldquerschnitts aus dem Strahler austretenden Strahlung für denjenigen Betriebszustand und diejenigen Betriebsparameter, bei denen die höchsten Dosisleistungen außerhalb des Strahlenfeldes auftreten.

Diese Verteilung kann z. B. in Form von Isodosenblättern angegeben werden oder durch einen analytischen Ausdruck, aus dem die höchste Dosisleistung an jedem Aufenthaltsort zu ermitteln ist. Dabei sind die Parameter so zu wählen, dass die tatsächliche Dosisleistung an keinem Ort größer ist als die nach den Angaben des Herstellers für diesen Aufenthaltsort ermittelte Dosisleistung;

- f) die höchste WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNG des Röntgenstrahlungsanteils im STRAHLENFELD der ELEKTRONENSTRAHLUNG unter den Betriebsbedingungen nach 7.1 b) und 7.1 c);
- g) die höchste WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNG des Neutronenstrahlungsanteils im STRAHLENFELD der BREMS- und der ELEKTRONENSTRAHLUNG unter den Betriebsbedingungen nach 7.1 b), 7.1 c) und 7.1 d), gegebenenfalls weitere Angaben, sofern sie für Strahlenschutzvorkehrungen gegen Neutronen erforderlich sind (siehe auch 10.8 b));
- h) Angaben, die für Strahlenschutzvorkehrungen gegen die in der Luft, im PATIENTEN und in Bauteilen des Strahlerkopfes oder Strahlerkopf-Zubehörs durch Kernphotoprozesse erzeugten RADIOAKTIVEN STOFFE erforderlich sind (siehe 10.10 a));
- i) Angaben über die Parameter des STRAHLENFELDES unter den Betriebsbedingungen nach 7.1 b), 7.1 c) und 7.1 d).

Mit einer für Strahlenschutz zwecke ausreichenden Genauigkeit entspricht die Leistung von 1 W bei BREMSSTRAHLUNG einem Produkt aus Fläche und Wasser-Energiedosisleistung von $2,5 \text{ m}^2 \text{ mGy/s}$ und bei Elektronenstrahlung einem Produkt aus Fläche, Wasser-Energiedosisleistung und Strahlenenergie von $0,3 \text{ MeV m}^2 \text{ Gy/s}$.

- j) Anweisungen für die Aufstellung und den Anschluss des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS und der übrigen zur ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE gehörenden Einrichtungen, aus denen zu entnehmen ist,
 - 1) welche Maßnahmen getroffen werden müssen, damit die gerätetechnischen Strahlenschutzvorkehrungen nach DIN EN 60601-2-1 (VDE 0750-2-1) in ihrer Wirksamkeit nicht beeinträchtigt werden;
 - 2) welche Einrichtungen bei eingeschalteter Strahlung ständig oder gelegentlich zugänglich sein müssen und daher außerhalb des SPERRBEREICHS anzuordnen sind;
 - 3) wie die nach 6, Aufzählung d) bis g) vorzusehenden Schalt- und Anzeigevorrichtungen anzuschließen sind.

7.2 Angaben des STRAHLENSCHUTZVERANTWORTLICHEN

Der STRAHLENSCHUTZVERANTWORTLICHE der ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE muss ausführliche Unterlagen zur Verfügung stellen, in denen die für die ERRICHTUNG wesentlichen Angaben über den vorgesehenen Betrieb enthalten sind. Mindestens sind folgende Angaben erforderlich:

- Zeichnungen der zur STRAHLENTHERAPEUTISCHEN ORGANISATION gehörenden Gebäude, Räume und Außenanlagen und der benachbarten Gebäude, Räume und Verkehrsflächen, aus denen die für Strahlenschutzberechnungen benötigten Maße und Abstände entnommen werden können;
- die Aufteilung der Räume innerhalb der STRAHLENTHERAPEUTISCHEN ORGANISATION und deren Benutzung (siehe Abschnitt 6);
- Arbeitsorte und Aufenthaltsorte von Personen innerhalb der STRAHLENTHERAPEUTISCHEN ORGANISATION, gegebenenfalls Angaben, in welchen Bereichen Beschränkungen der Aufenthaltsdauer eingehalten werden können;
- Angaben über die vorgesehene Abgrenzung von KONTROLLBEREICHEN und SPERRBEREICHEN (siehe Abschnitt 6);
- Art und Nutzung von Bereichen außerhalb der STRAHLENTHERAPEUTISCHEN ORGANISATION;
- Angaben über die beabsichtigten Betriebsweisen (Kombination von Strahlungsart, STRAHLUNGSENERGIE, Strahlrichtung, Stellung des Strahlerkopfes, fluenzmodulierte Strahlentherapie (IMRT)) und ihrer Häufigkeit, gegebenenfalls Angaben, für welche Betriebsweise Betriebsbeschränkungen eingehalten werden können;
- die maximale Anzahl der in der Woche beabsichtigten Einzelbestrahlungen und deren mittlere Dosis, bezogen auf den Referenzabstand $a_0 = 1$ m vom Divergenzpunkt des STRAHLENFELDES.

8 Betriebsdaten

8.1 STRAHLUNGSENERGIE

Es gelten folgende Festlegungen:

- Für die Berechnung von Strahlenschutzabschirmungen gegen BREMSSTRAHLUNG ist bei der Möglichkeit, mehrere Photonenenergien einzustellen, die vom HERSTELLER vorgesehene maximal einstellbare GRENZENERGIE $E_{X,G}$ zu verwenden (siehe Bilder 1 und 2);
- von den vom HERSTELLER vorgesehenen Elektronenenergien ist für die Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen der Höchstwert E_E zu verwenden.

8.2 Dosisleistung

Es gelten folgende Festlegungen:

- Von den vom HERSTELLER angegebenen WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNGEN im NUTZSTRAHLENBÜNDEL sind für die Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen die Höchstwerte $\dot{D}_{Xn}$ für BREMSSTRAHLUNG und $\dot{D}_E$ für ELEKTRONENSTRAHLUNG im Referenzabstand $a_0 = 1$ m vom Divergenzpunkt des NUTZSTRAHLENBÜNDELS zu verwenden, auch wenn diese Werte bei anderen STRAHLUNGSENERGIEN als denen nach 8.1 auftreten;

- b) von den vom HERSTELLER angegebenen WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNGEN der außerhalb des größten Nutzstrahlenbündelquerschnitts austretenden Strahlung („DURCHLASSSTRAHLUNG“) ist für die Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen der Höchstwert $\dot{D}_{\text{Xd}}$ nach 7.1 e) zu verwenden, der bei den betriebsmäßig vorgesehenen Einstell- und Bewegungsmöglichkeiten des Strahlerkopfes im Referenzabstand auftritt.

8.3 BETRIEBSBELASTUNG

ANMERKUNG 1 Zum Begriff der BETRIEBSBELASTUNG W_A siehe 3.1.1.

ANMERKUNG 2 Der Umfang der Ausnutzung einer ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE ist begrenzt, weil sich die Vorbereitungszeit bei Patientenwechsel nicht beliebig verkürzen lässt. Selbst unter der Annahme, dass die BESTRAHLUNGSZEIT verglichen damit sehr kurz ist, kann eine Anzahl von Einzelbestrahlungen angegeben werden, die im günstigsten Fall während der Arbeitszeit in der Woche appliziert werden können.

Es gelten folgende Festlegungen:

- a) Sofern 8.3 c) nichts anderes bestimmt, ist $W_A = 10^3$ Gy zu setzen;
- b) wenn an einer ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE in mehreren Schichten gearbeitet wird, so ist für jede Arbeitsschicht mit dem Wert W_A nach 8.3 a) zu rechnen. Für die Bemessung der Strahlenschutzabschirmungen geht die Summe der BETRIEBSBELASTUNGEN in die Berechnung ein. Nur für Aufenthaltsorte, an denen sichergestellt ist, dass sich dort je Tag niemand länger aufhält als für die Dauer einer Schicht, darf für die Bemessung der Abschirmung der einfache Wert von W_A benutzt werden;
- c) ergeben sich aus den Angaben des STRAHLENSCHUTZVERANTWORTLICHEN nach 7.2 g) höhere BETRIEBSBELASTUNGEN W_A als nach 8.3 a), so muss die Bemessung der Strahlenschutzabschirmungen darauf abgestellt werden. Geringere BETRIEBSBELASTUNGEN dürfen nur berücksichtigt werden, wenn nach Art des Betriebs eine Zunahme von W_A nicht zu erwarten ist. Auf der Basis bisheriger Erfahrungen wird in den Gleichungen (5), (8) und (9) der IMRT-Betrieb durch einen Faktor $\alpha = 1,5$ berücksichtigt;
- d) wird mit einer Elektronenbeschleuniger-Anlage intraoperative Strahlentherapie (IORT) als mobiler Betrieb in einem OP durchgeführt und beschränkt sich diese Anwendung dort nur auf die Patientenbestrahlungen und die dafür erforderlichen arbeitstägl. Qualitätssicherungsmaßnahmen, so darf dann ein niedrigerer Wert für die Betriebsbelastung als 1000 Gy angesetzt werden, wenn für die sonstigen Qualitätssicherungsmaßnahmen sowie für Wartung und Reparatur ein anderer entsprechend abgeschirmter Raum zur Verfügung steht. Um zu vermeiden, dass betretbare Sperrbereiche (Ortsdosisleistung: > 3 mSv/h) entstehen, darf die Betriebsbelastung den Wert von $24 \frac{\text{min}}{\text{Woche}} \times \dot{D}_E$ nicht unterschreiten (siehe auch 8.2 a)).

ANMERKUNG Damit ist sichergestellt, dass die Betriebsbelastung und damit die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes nicht ausschließlich durch die Verringerung der Anzahl der Einzelbestrahlungen in einer Woche minimiert werden kann (siehe auch 3.1.1).

8.4 RICHTUNGSFAKTOR

Es gelten folgende Festlegungen:

- a) Für den RICHTUNGSFAKTOR sind alle Richtungen maßgebend, die bei der beabsichtigten Betriebsweise im Bereich des NUTZSTRAHLENBÜNDELS liegen können, zuzüglich eines Randbereichs von 5° außerhalb des NUTZSTRAHLENBÜNDELS, bezogen auf dessen Divergenzpunkt. Es sind Zahlenfaktoren nach 8.4 b) und 8.4 c) zu verwenden;

b) für den Schutz gegen NUTZSTRAHLUNG:

- 1) $U = 1$, wenn die Benutzung des NUTZSTRAHLENBÜNDELS in der Regel in Richtung auf den zu schützenden Aufenthaltsort beabsichtigt ist. Es gilt ebenfalls $U = 1$ mindestens für den Fußboden und eine Seitenwand, wenn das NUTZSTRAHLENBÜNDEL in diese Richtung gerichtet werden kann;
- 2) $U = 0,1$, wenn das NUTZSTRAHLENBÜNDEL in höchstens 10 % der zugrunde gelegten BETRIEBS-BELASTUNG oder nur im Fall der BEWEGUNGSBESTRAHLUNG auf den zu schützenden Ort gerichtet wird;
- 3) wenn das NUTZSTRAHLENBÜNDEL nicht auf den zu schützenden Aufenthaltsort gerichtet werden kann, sind keine Abschirmmaßnahmen für die NUTZSTRAHLUNG erforderlich;

c) für den Schutz gegen DURCHLASSSTRAHLUNG, sekundäre und tertiäre BREMSSTRAHLUNG sowie NEUTRONENSTRAHLUNG:

$U = 1$, unabhängig von der Richtung des NUTZSTRAHLENBÜNDELS.

8.5 AUFENTHALTSFAKTOR

Es gelten folgende Festlegungen:

- a) Für den AUFENTHALTSFAKTOR sind Zahlenfaktoren nach 8.5 b) bis 8.5 e) zu verwenden;
- b) $T = 1$ für Aufenthaltsorte von beruflich strahlenexponierten Personen in KONTROLLBEREICHEN und für Arbeits- und Daueraufenthaltsorte außerhalb des KONTROLLBEREICHES (z. B. Büros, Laboratorien, Schaltplätze, Wohnungen und Bettenstationen);

ANMERKUNG Der Wert $T = 1$ berücksichtigt, dass beruflich strahlenexponierte Personen während ihrer Arbeitszeit an verschiedenen Aufenthaltsorten der Strahlung ausgesetzt sein können.

- c) $T = 0,3$ für Verkehrsflächen außerhalb der STRAHLENTHERAPEUTISCHEN ORGANISATION, die nicht für den Daueraufenthalt von Personen in Frage kommen (z. B. Straßen, Grünanlagen);
- d) $T = 0,1$ für Aufenthaltsorte außerhalb von KONTROLLBEREICHEN, aber innerhalb der STRAHLENTHERAPEUTISCHEN ORGANISATION, an denen sichergestellt ist, dass sich dort niemand länger als ein Zehntel der BESTRAHLUNGSZEIT des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS aufhält (z. B. Patientenwarteräume, Flure, Treppen, Toiletten);
- e) für Orte, an denen sich niemand aufhalten kann oder an denen sich während des Betriebs des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS außer dem PATIENTEN niemand aufhalten darf (SPERRBEREICH), sind Abschirmmaßnahmen nicht erforderlich.

8.6 Zusammenwirken der Faktoren U und T

Bei der Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen geht in die Rechnung das Produkt $W_A \times U \times T$ ein. Dabei darf $U \times T$ nicht kleiner sein als 0,1.

ANMERKUNG Es muss damit gerechnet werden, dass der kurzzeitige Aufenthalt und die selten benutzte Strahlrichtung zeitlich zusammenfallen. In solchen Fällen wäre eine Erhöhung der ORTSDOSISLEISTUNG um einen Faktor von mehr als 10 ein zu großes Risiko.

9 Höchste zugelassene ORTSDOSIS

Es gelten folgende Festlegungen:

- Für die Bemessung von baulichen Strahlenschutzvorkehrungen wird der jeweilige Grenzwert für die Dosis hinter der Abschirmung nach Abschnitt 5 der höchsten zugelassenen ORTSDOSIS an Daueraufenthaltsorten der entsprechenden Personengruppe gleichgesetzt;
- für die Bemessung von baulichen Strahlenschutzvorkehrungen ist die höchste zugelassene ORTSDOSIS, die sich nach 9 a) als Jahresdosis ergibt, auf die höchste zugelassene ORTSDOSIS in der Woche umzurechnen, da auch die BETRIEBSBELASTUNG W_A nach 8.3 auf die Woche bezogen ist (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 — Höchste zugelassene ORTSDOSIS H_W

Zu schützender Aufenthaltsort	Höchste zugelassene ORTSDOSIS H_W in der Woche	Siehe Abschnitt
Arbeitsorte außerhalb des KONTROLLBEREICHES	0,12 mSv	5 a)
Aufenthaltsorte für Einzelpersonen der Bevölkerung	0,02 mSv	5 b)

Die Werte gelten unter der Voraussetzung, dass am Aufenthaltsort nur Strahlung einer Strahlungsquelle und einer Strahlungsart wirksam ist. Die Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen beim Zusammenwirken mehrerer Strahlungsquellen und Strahlungsarten erfolgt nach 10.9.

10 Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen

10.1 Allgemeines

Die Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen enthält mehrere Sicherheitsreserven:

- Gleichsetzung von ORTS- und KÖRPERDOSEN an Daueraufenthaltsorten;
- Gleichsetzung der ORTSDOSIS am Aufenthaltsort mit dem Maximalwert hinter der Abschirmung;
- Pauschalisierung von AUFENTHALTS- und RICHTUNGSFAKTOREN;
- Berechnung mit maximalen Betriebsparametern (Energie, Dosisleistung, Feldgröße);
- volle BETRIEBSBELASTUNG für die ungünstigste Kombination verschiedener Betriebsweisen;
- Reserven in der Berechnung bei der Berücksichtigung verschiedener Strahlungskomponenten;
- Außerachtlassung der Abschirmwirkung des PATIENTEN.

Aus diesen Reserven ergibt sich eine Bemessung des STRAHLENSCHUTZES derart, dass die Strahlenexposition von Personen in der Regel weit unterhalb der höchsten zugelassenen EFFEKTIVEN DOSIS bleibt.

10.2 Allgemeines Berechnungsschema

Es gelten folgende Festlegungen:

- a) Die Berechnung der Dicke s_i der Abschirmung gegen jede einzelne Strahlungskomponente i , die auf einen zu schützenden Aufenthaltsort einwirkt, erfolgt nach der allgemeinen Gleichung:

$$s_i = z_i \cdot \lg F_i \quad (1)$$

Dabei ist für die Strahlungskomponente i :

s_i die Abschirmdicke, senkrecht zur Oberfläche der Abschirmung bemessen.

Der SCHWÄCHUNGSFAKTOR F_i ergibt sich aus:

$$F_i = W_A \cdot U \cdot T \cdot R_i / H_w \quad (2)$$

ANMERKUNG Bei schräg einfallender Strahlung tritt die in der Abschirmung erzeugte STÖRSTRAHLUNG auf einem kürzeren Weg als in Strahlrichtung aus. Die Abschirmung reicht daher nicht aus, wenn sie in Strahlrichtung statt senkrecht zur Oberfläche bemessen wird. In der Regel wäre die mögliche Einsparung an Abschirmdicke zu gering, um ein kompliziertes Berechnungsschema für schräg einfallende Strahlung zu rechtfertigen. In Einzelfällen kann jedoch eine Berechnung mit schräg einfallender Strahlung durchgeführt werden, wenn sichergestellt ist, dass die in der Abschirmung erzeugte STÖRSTRAHLUNG ausreichend abgeschirmt ist.

z_i die ZEHNTELWERTDICKE;

H_w die höchste zugelassene ORTSDOSIS in der Woche nach 9 b);

W_A die BETRIEBSBELASTUNG nach 8.3;

U der RICHTUNGSFAKTOR nach 8.4;

T der AUFENTHALTSFAKTOR nach 8.5, gegebenenfalls unter Beachtung der Festlegungen nach 8.6;

R_i der REDUKTIONSFAKTOR nach 3.1.6;

- b) die Dicke der Strahlenschutzabschirmung ist zunächst unter der Annahme zu berechnen, dass an dem zu schützenden Ort jede Strahlungskomponente über die volle BETRIEBSBELASTUNG W_A , aber unter Berücksichtigung des RICHTUNGSFAKTORS U nach 8.4 und des AUFENTHALTSFAKTORS T nach 8.5 wirksam ist.

Das Zusammenwirken mehrerer Strahlungsquellen und Strahlungskomponenten ist in 10.9 angegeben.

Im Einzelnen gelten die Festlegungen in 10.3 bis 10.8 (siehe auch Tabelle 4).

10.3 Abschirmung gegen BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung

Es gelten folgende Festlegungen:

- a) Zugängliche Orte außerhalb des SPERRBEREICHES müssen gegen BREMSSTRAHLUNG abgeschirmt sein;
- b) für die Berechnung der Dicke s_{Xn} der Abschirmung gegen BREMSSTRAHLUNG ist in die Gleichung (1) einzusetzen:

z_X die ZEHNTELWERTDICKE für BREMSSTRAHLUNG nach den Bildern 1 und 2;

U der RICHTUNGSFAKTOR für NUTZSTRAHLUNG nach 8.4 b);

R_{Xn} der REDUKTIONSFAKTOR für BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung nach 10.3 c);

- c) der REDUKTIONSAKTOR R_{Xn} wird berechnet aus:

$$R_{Xn} = \frac{a_0^2}{a_n^2} \quad (3)$$

Dabei ist

$a_0 = 1 \text{ m};$

a_n der Abstand des zu schützenden Ortes vom Divergenzpunkt des NUTZSTRAHLENBÜNDELS.

10.4 Abschirmung gegen Elektronennutzstrahlung

Es gelten folgende Festlegungen:

- Da die Dicke s_{XEn} der Abschirmung gegen die von der Elektronennutzstrahlung in Nutzstrahlrichtung erzeugte BREMSSTRAHLUNG nach 10.4 b) in jedem Fall größer ist als die Elektronenreichweite, ist eine besondere Abschirmung gegen die primäre ELEKTROENSTRAHLUNG nicht erforderlich;
- zugängliche Orte außerhalb des SPERRBEREICHS müssen gegen die von der Elektronennutzstrahlung erzeugte BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung abgeschirmt sein;
- für die Berechnung der Dicke s_{XEn} der Abschirmung gegen die von der Elektronennutzstrahlung in Nutzstrahlrichtung erzeugte BREMSSTRAHLUNG ist in die Gleichung (1) einzusetzen:

z_X die ZEHNTELWERTDICKE für BREMSSTRAHLUNG nach den Bildern 1 und 2;

U der RICHTUNGSFAKTOR für NUTZSTRAHLUNG nach 8.4 b);

R_{XEn} der REDUKTIONSAKTOR für die von der Elektronennutzstrahlung in Nutzstrahlrichtung erzeugte BREMSSTRAHLUNG nach 10.4 d);

- d) der REDUKTIONSAKTOR R_{XEn} wird berechnet aus:

$$R_{XEn} = \left(\frac{\dot{D}_{XEn}}{\dot{D}_E} + k_{XE} \right) \cdot \frac{a_0^2}{a_n^2} \quad (4)$$

Dabei ist

$a_0 = 1 \text{ m};$

a_n der Abstand des zu schützenden Ortes vom Divergenzpunkt des NUTZSTRAHLENBÜNDELS;

$\dot{D}_E$ die maximale WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNG der Elektronennutzstrahlung nach 8.2 a);

$\dot{D}_{XEn}$ die vom HERSTELLER nach 7.1 f) anzugebende maximale WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNG des Röntgenstrahlungsanteils im NUTZSTRAHLENBÜNDEL der ELEKTROENSTRAHLUNG im Referenzabstand;

k_{XE} der Faktor zur Bemessung von Abschirmungen gegen außerhalb des STRAHLERS erzeugte BREMSSTRAHLUNG nach Bild 3.

Der REDUKTIONSFAKTOR R_{XEn} berücksichtigt außer der von der Elektronennutzstrahlung mit der Ausbeute k_{XE} erzeugten BREMSSTRAHLUNG auch den im NUTZSTRAHLENBÜNDEL schon enthaltenen Röntgenstrahlungsanteil.

Die Dosisleistungen beider Anteile sind der Einfachheit halber mit dem gleichen Verhältnis a_0^2/a_n^2 der Abstandsquadrate multipliziert, obwohl für die BREMSSTRAHLUNG eine stärkere Abnahme mit dem Abstand anzunehmen ist, weil die Quelle dieser Strahlung näher an dem zu schützenden Ort liegt als der Divergenzpunkt des NUTZSTRAHLENBÜNDELS.

10.5 Abschirmung gegen DURCHLASSTRAHLUNG

Es gelten folgende Festlegungen:

- Zugängliche Orte außerhalb des SPERRBEREICHS müssen gegen DURCHLASSTRAHLUNG abgeschirmt sein;
- für die Berechnung der Dicke s_{Xd} der Abschirmung gegen DURCHLASSTRAHLUNG ist in die Gleichung (1) einzusetzen:

z_X die ZEHNTELWERTDICKE für BREMSSTRAHLUNG nach den Bildern 1 und 2;

$U = 1$ für den RICHTUNGSFAKTOR nach 8.4 c);

R_{Xd} der REDUKTIONSFAKTOR für DURCHLASSTRAHLUNG nach 10.5 c);

- Der REDUKTIONSFAKTOR R_{Xd} wird berechnet aus:

$$R_{Xd} = \frac{\dot{D}_{Xd}}{\dot{D}_{Xn}} \cdot \frac{a_0^2}{a_n^2} \cdot \alpha \quad (5)$$

Dabei ist

$a_0 = 1$ m;

a_n der Abstand des zu schützenden Ortes vom Divergenzpunkt des NUTZSTRAHLENBÜNDELS;

$\dot{D}_{Xd}$ die höchste WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNG der DURCHLASSTRAHLUNG im Referenzabstand;

$\dot{D}_{Xn}$ die höchste WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNG der BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung im Referenzabstand; bei Betrieb mit ELEKTRONENSTRAHLUNG zu ersetzen durch $\dot{D}_E$;

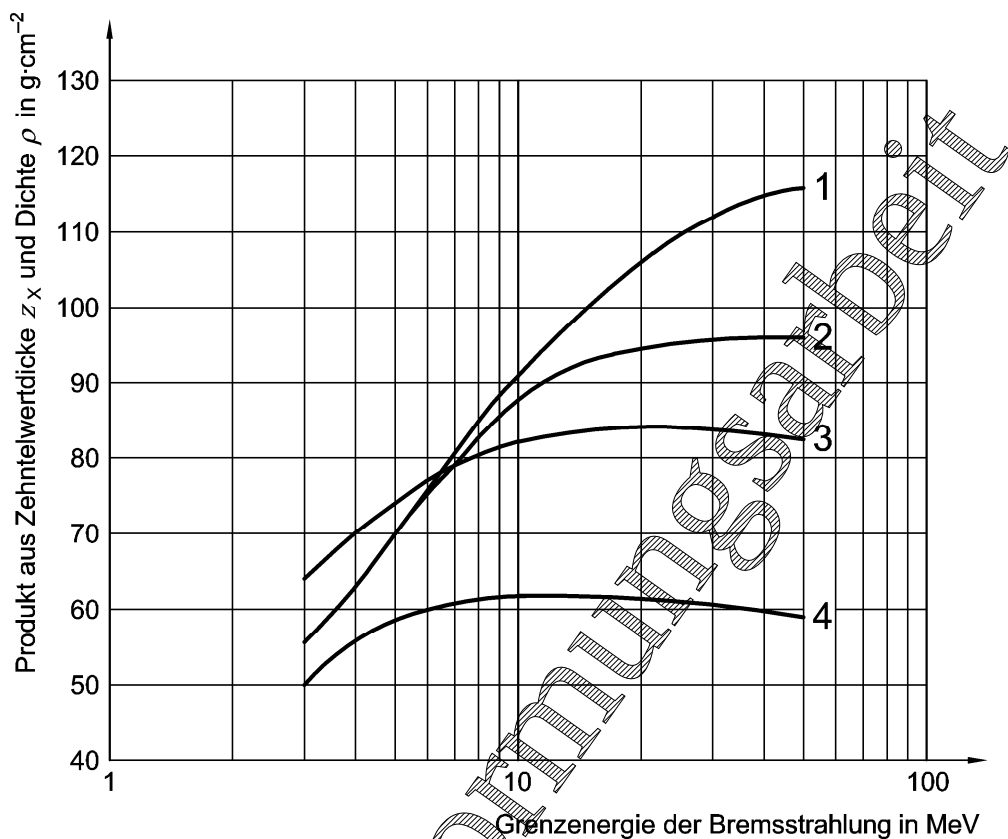
α der Faktor, der den IMRT-Betrieb nach 8.3 c) berücksichtigt.

In den Bildern 1 und 2 sind Produkte der Zehntelwertdicken z_X und Dichte ρ dargestellt für BREMSSTRAHLUNG, DURCHLASSTRAHLUNG, Röntgenstrahlungsanteil im NUTZSTRAHLENBÜNDEL der ELEKTRONENSTRAHLUNG und von Elektronen außerhalb des Strahlers erzeugte BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung für die Materialien Beton, Schwerbeton (dazu zählen Baryt-, Hämatit- und Magnetitbeton), Eisen, Kupfer, Blei, Naturgipsschotter, Kalkschotter, Walzenzunder und Elektroofenschlacke.

Elektroofenschlacke besteht im Wesentlichen aus Eisen und Beton. Die dargestellte Kurve gilt für einen Eisenanteil von 30 % des Gesamtgewichtes.

ANMERKUNG Unterschiedliche ZEHNTELWERTDICKEN bei Elektroofenschlacke sind lediglich auf Veränderungen des Eisenanteils und damit der Dichte zurückzuführen.

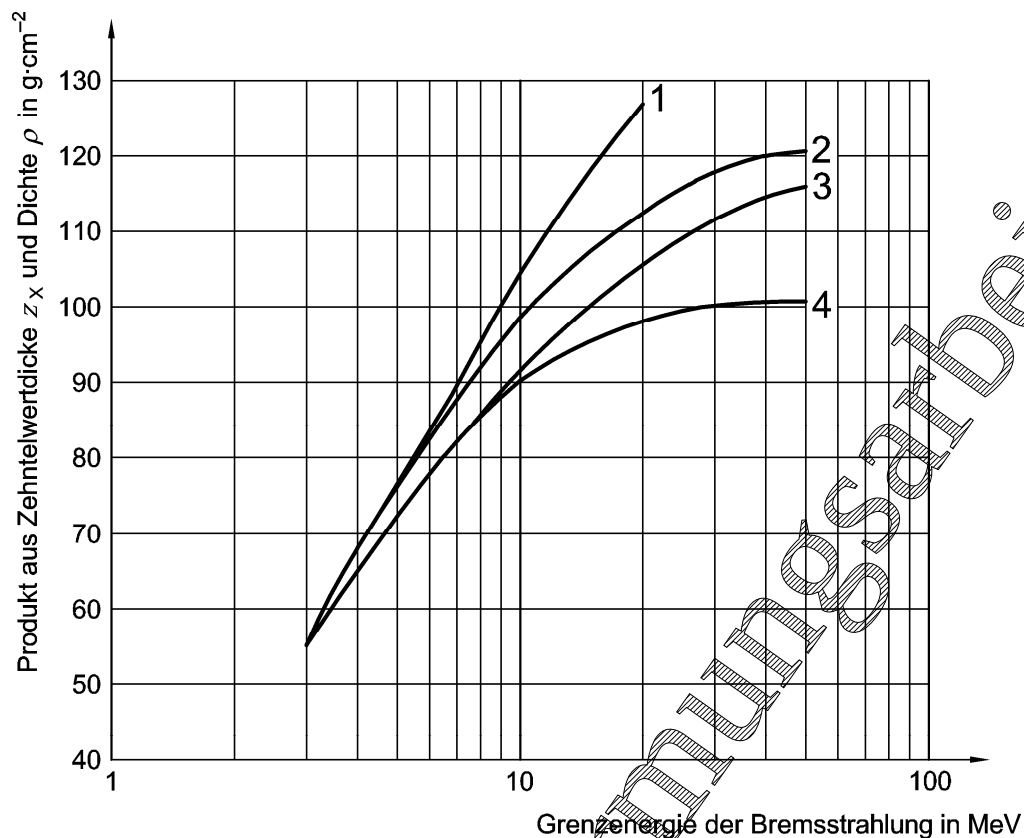
Die Kurven gelten für breite Strahlenbündel und Schichtdicken von mehreren Zehntelwertdicken.



Legende

- 1 Beton, Erde, Ziegel, Kalkschotter
- 2 Schwerbeton, Walzenzunder
- 3 Eisen/Kupfer
- 4 Blei

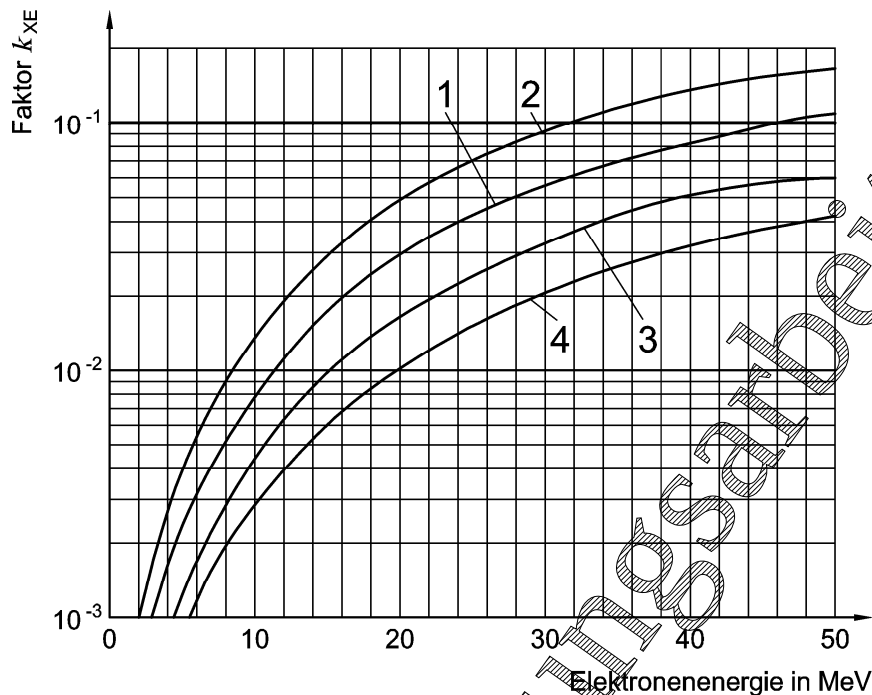
Bild 1 — Produkt der ZEHNTELWERTDICKE z_x und Dichte ρ für BREMSSTRAHLUNG, DURCHLASSTRAHLUNG, RÖNTGENSTRAHLUNGSANTEIL IM NUTZSTRAHLENBÜNDEL DER ELEKTRONENSTRAHLUNG und von Elektronen außerhalb des STRAHLERS erzeugte BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung für die in der Legende aufgeführten Materialien



Legende

- 1 Wasser und wasserstoffhaltige Materialien
- 2 Naturgipsschotter
- 3 Beton, Erde, Ziegel, Kalkschotter
- 4 Elektroofenschlacke

Bild 2 — Produkt der ZEHNTTELWERTDICKE z_x und Dichte ρ für BREMSSTRAHLUNG, DURCHLASSTRAHLUNG, RÖNTGENSTRAHLUNGSANTEIL IM NUTZSTRAHLENBÜNDEL der ELEKTROENSTRAHLUNG und von Elektronen außerhalb des STRAHLERS erzeugte BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung für die in der Legende aufgeführten Materialien



Legende

- 1 Eisen/Kupfer
- 2 Blei
- 3 Aluminium, Beton, Erde, Schwerbeton, Ziegel
- 4 Wasser

Bild 3 — Faktor k_{XE} zur Bemessung von Abschirmungen gegen außerhalb des STRAHLERS erzeugte BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung

10.6 Abschirmung gegen sekundäre BREMSSTRAHLUNG

Es gelten folgende Festlegungen:

- a) Zugängliche Orte außerhalb des SPERRBEREICHES müssen gegen die BREMSSTRAHLUNG abgeschirmt sein, die von den Auftreffstellen des NUTZSTRAHLENBÜNDELS der BREMS- oder ELEKTRONENSTRAHLUNG auf den PATIENTEN oder auf Wände, Fußboden oder Decke des BESTRAHLUNGSRUAUMES ausgeht (sekundäre BREMSSTRAHLUNG);
- b) für die Berechnung der Dicke s_{XS} der Abschirmung gegen sekundäre BREMSSTRAHLUNG ist in die Gleichung (1) einzusetzen:

z_{XS} die ZEHNTELWERTDICKE für sekundäre BREMSSTRAHLUNG nach Tabelle 2;

$U = 1$ für den RICHTUNGSFAKTOR nach 8.4 c);

R_{XS} der REDUKTIONSFAKTOR für sekundäre BREMSSTRAHLUNG nach 10.6 c);

Tabelle 2 — Produkt aus ZEHNTTELWERTDICKE z_{Xs} bzw. z_{Xt} und Dichte ρ für sekundäre bzw. tertiäre BREMSSTRAHLUNG

Abschirmmaterial	Beton, Naturgipsschotter, Kalkschotter, Walzenzunder, EOS, Erde, Ziegel	Schwerbeton ^a	Eisen	Bleiglas	Blei
$z_{Xs} \cdot \rho$ bzw. $z_{Xt} \cdot \rho$ in g/cm ²	37	29	38	23	17
^a Zu Schwerbeton zählen Baryt-, Hämatit- und Magnetitbeton.					

c) der REDUKTIONSFAKTOR R_{Xs} wird berechnet aus:

$$R_{Xs} = 10^{-2} \cdot k \cdot \frac{A_{Xn}}{a_{Xs}^2} \quad (6)$$

Dabei ist

A_{Xn} der größte Nutzstrahlenbündelquerschnitt nach 7.1 d);

a_{Xs} der Abstand des zu schützenden Ortes von der Auftreffstelle des NUTZSTRAHLENBÜNDELS;

$k = 1$ bei Betrieb mit BREMSSTRAHLUNG;

$k = k_{XE}$ nach Bild 3 für das Material, auf das die NUTZSTRAHLUNG auftrifft, bei Betrieb mit ELEKTRONENSTRAHLUNG.

In den REDUKTIONSFAKTOR R_{Xs} geht als Dosisleistung der abzuschirmenden Strahlung an dem zu schützenden Ort das Produkt aus der Dosisleistung der NUTZSTRAHLUNG an deren Auftreffstelle $\dot{D}_{Xn} \cdot a_0^2/a_n^2$ ein, dem Anteil der in den Raumwinkel 1 rückgestreuten Strahlung, der in dieser Regel in ausreichender Übereinstimmung mit der Streutheorie und mit Messergebnissen unabhängig von der Strahlenenergie und vom Streuwinkel gleich 10^{-2} gesetzt wurde, und dem Raumwinkel A_{Xs}/a_{Xs}^2 , unter dem (bei Vernachlässigung der Winkelabhängigkeit) die streuende Fläche A_{Xs} von dem zu schützenden Ort aus erscheint.

Mit $A_{Xs} = A_{Xn} \cdot a_n^2/a_0^2$ wird dieses Produkt bei der Streuung der BREMSSTRAHLUNG gleich $10^{-2} \dot{D}_{Xn} A_{Xn} a_{Xs}^{-2}$, unabhängig vom Abstand a_n der Auftreffstelle vom Divergenzpunkt des NUTZSTRAHLENBÜNDELS. Im Rahmen des Genauigkeitsanspruchs dieser Norm kann der Abstand vom Divergenzpunkt des Nutzstrahlenbündels zum zu schützenden Ort bzw. zur Auftreffstelle identisch gleich gesetzt werden. Da der REDUKTIONSFAKTOR gleich dem Verhältnis zwischen der ENERGIEDOSISLEISTUNG der abzuschirmenden Strahlung an dem zu schützenden Aufenthaltsort und der ENERGIEDOSISLEISTUNG der NUTZSTRAHLUNG im Referenzabstand a_0 ist, wird das Produkt „ $10^{-2} \dot{D}_{Xn} A_{Xn} a_{Xs}^{-2}$ (Dosisleistung am zu schützenden Aufenthaltsort)“ durch die Dosisleistung der NUTZSTRAHLUNG $\dot{D}_{Xn}$ im Referenzabstand 1 m dividiert. So ergibt sich der oben angegebene REDUKTIONSFAKTOR R_{Xs} für den Betrieb mit BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung. Bei Betrieb mit ELEKTRONENSTRAHLUNG ist der REDUKTIONSFAKTOR noch mit dem Faktor k_{XE} für die Erzeugung von BREMSSTRAHLUNG in dem Material, auf das die NUTZSTRAHLUNG auftrifft, zu multiplizieren. Diese Vereinfachung erscheint zulässig, weil die so erzeugte BREMSSTRAHLUNG im Allgemeinen im Vergleich zur DURCHLASSSTRAHLUNG nach 10.5 wenig Einfluss auf die Bemessung der Abschirmung hat.

10.7 Abschirmung gegen tertiäre BREMSSTRAHLUNG

Es gelten folgende Festlegungen:

- a) Für zugängliche Orte außerhalb des SPERRBEREICHES muss geprüft werden, ob eine Abschirmung gegen die Strahlung erforderlich ist, die von den Auftreffstellen der STÖRSTRAHLUNG (DURCHLASSTRAHLUNG, Röntgenstreustrahlung und an den Auftreffstellen des NUTZSTRAHLENBÜNDELS erzeugte BREMSSTRAHLUNG) auf Wände, Fußboden oder Decke des BESTRAHLUNGSRAMES ausgeht (tertiäre BREMSSTRAHLUNG).

Da der BESTRAHLUNGSRAM nach allen Seiten gegen primäre und sekundäre BREMSSTRAHLUNG abgeschirmt sein muss, kommen für die Abschirmung gegen die tertiäre BREMSSTRAHLUNG praktisch nur Orte am Zugang zu einer labyrinthförmigen Schleuse in den BESTRAHLUNGSRAM in Frage,

- b) falls keine Ergebnisse von Strahlenschutzmessungen an Anlagen vorliegen, bei denen die Erzeugungsbedingungen für die tertiäre BREMSSTRAHLUNG vergleichbar sind, ist für die Berechnung der Dicke s_{xt} der Abschirmung gegen tertiäre BREMSSTRAHLUNG in die Gleichung (1) einzusetzen:

z_{xt} die ZEHNTELWERTDICKE für tertiäre BREMSSTRAHLUNG nach Tabelle 2;

$U = 1$ für den RICHTUNGSFAKTOR nach 8.4 c);

R_{xt} der REDUKTIONSFAKTOR für tertiäre BREMSSTRAHLUNG nach 10.7 c);

- c) der REDUKTIONSFAKTOR R_{xt} wird berechnet aus:

$$R_{xt} = \left(10^{-2} \frac{\dot{D}_{Xd}}{\dot{D}_{Xn}} \cdot \frac{a_0^2}{a_n^2} + 10^{-6} \right) \cdot \frac{A_{xt}}{a_{xt}^2} \cdot \alpha \quad (7)$$

Dabei ist

$\dot{D}_{Xd}$ die höchste WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNG der DURCHLASSTRAHLUNG nach 8.2 b) im Referenzabstand;

$\dot{D}_{Xn}$ die maximale WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNG der NUTZSTRAHLUNG nach 8.2 a) im Referenzabstand, bei Betrieb mit ELEKTROENSTRAHLUNG zu ersetzen durch $\dot{D}_E$;

A_{xt} der Querschnitt der Auftreffstelle der STÖRSTRAHLUNG auf die Wandbereiche, der in Richtung auf den zu schützenden Ort nicht durch andere Abschirmungen verdeckt wird;

a_{xt} der Abstand des zu schützenden Ortes von der Mitte der Fläche A_{xt} .

Der REDUKTIONSFAKTOR R_{xt} ergibt sich in ähnlicher Weise wie R_{xs} in 10.6 c), nur ist in diesem Fall die ENERGIEDOSISLEISTUNG der NUTZSTRAHLUNG $\dot{D}_{Xn} \cdot a_0^2/a_n^2$ zu ersetzen durch die ENERGIEDOSISLEISTUNG der STÖRSTRAHLUNG an deren Auftreffstelle. Diese setzt sich zusammen aus der ENERGIEDOSISLEISTUNG der DURCHLASSTRAHLUNG $\dot{D}_{Xd}$ an dieser Stelle und der ENERGIEDOSISLEISTUNG der sekundären BREMSSTRAHLUNG, die ihren Ursprung an der Auftreffstelle der NUTZSTRAHLUNG hat und die vereinfachend gleich $10^{-4} \dot{D}_{Xn}$ gesetzt wird (je ein Faktor 10^{-1} stammt aus dem Verhältnis der Abstandsquadrate und dem Raumwinkel und ein weiterer Faktor 10^{-2} aus dem Streuteil). Der Anteil der außerhalb des STRAHLERS erzeugten BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung an der ENERGIEDOSISLEISTUNG der auftreffenden STÖRSTRAHLUNG wird vernachlässigt. Die Streufläche $A_{Xn} \cdot a_n^2/a_0^2$ ist zu ersetzen durch A_{xt} und der Abstand von der Streufläche a_{xs} durch a_{xt} .

Wenn die räumlichen Verhältnisse es zulassen, kann der Zugang zum BESTRAHLUNGSRaum so bemessen werden, dass A_{Xt}/a_{Xt}^2 hinreichend klein und damit s_{Xt} negativ wird. Dann erübrigt sich eine Abschirmung gegen tertiäre BREMSSTRAHLUNG am Zugang zum BESTRAHLUNGSRaum.

Die angegebene Regel erlaubt nur eine grobe Abschätzung der erforderlichen Abschirmdicke s_t , da die komplizierte Abhängigkeit der Energie und Dosisleistung der tertiären BREMSSTRAHLUNG von den geometrischen Bedingungen in einer pauschal anwendbaren Regel nur unvollkommen berücksichtigt werden kann.

10.8 Abschirmung gegen NEUTRONENSTRAHLUNG

Es gelten folgende Festlegungen:

a) Die Bemessung von Abschirmungen gegen NEUTRONENSTRAHLUNG nach dieser Norm erfolgt unter folgenden vereinfachenden Annahmen:

- 1) Die Neutronendosisleistung ist proportional zur Dosisleistung der BREMSSTRAHLUNG im Referenzabstand;
- 2) der Proportionalitätsfaktor für GRENZENERGIEN der BREMSSTRAHLUNG und Elektronenenergien unter 8 MeV ist gleich null. Oberhalb 8 MeV ist dieser Faktor unabhängig von der Energie, der Feldgröße und der Richtung;
- 3) da der Anteil gestreuter Neutronen bei großen Abständen zunimmt, ändert sich die Neutronendosisleistung umgekehrt proportional zum Abstand statt zum Quadrat des Abstands.

Diese Annahmen führen in manchen Fällen zu einer Überdimensionierung der Abschirmung. Abschirmungen, die nach dieser Norm gegen BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung, DURCHLASSTRAHLUNG und sekundäre BREMSSTRAHLUNG bemessen werden, reichen im Allgemeinen auch als Abschirmung gegen NEUTRONENSTRAHLUNG, wenn sie genügend Wasserstoff enthalten, wie z. B. Beton;

b) zugängliche Orte außerhalb des SPERRBEREICHES müssen gegen die aus dem STRAHLER austretende und gegen die von der NUTZSTRAHLUNG außerhalb des STRAHLERS erzeugte direkte und gestreute NEUTRONENSTRAHLUNG abgeschirmt sein, wenn der ELEKTROBESCHLEUNIGER mit GRENZENERGIEN der BREMSSTRAHLUNG oder Elektronenenergien oberhalb 8 MeV betrieben werden kann.

Bauliche Strahlenschutzvorkehrungen gegen NEUTRONENSTRAHLUNG sind, soweit der HERSTELLER nach 7.1 g) nichts anderes bestimmt, nicht erforderlich, wenn weder die GRENZENERGIE der BREMSSTRAHLUNG noch die Elektronenenergie 8 MeV überschreitet;

c) als wirksame Neutronenquellen sind zu berücksichtigen:

- 1) der STRAHLER: Für die Bemessung von Abschirmungen gegen NEUTRONENSTRAHLUNG sind die unterschiedlichen Entstehungsorte im STRAHLER insgesamt durch den Divergenzpunkt des NUTZSTRAHLENBÜNDELS zu ersetzen;
- 2) die Auftreffstellen des NUTZSTRAHLENBÜNDELS auf Wände, Fußboden oder Decke des BESTRAHLUNGSRaumes, ausgenommen auf die Abschirmung, deren Dicke Gegenstand der Bemessung ist.

Als wirksam gilt die dem zu schützenden Ort nächstgelegene Neutronenquelle nach 2), wenn ihr Abstand kleiner ist als ein Drittel des Abstands zur Neutronenquelle nach 1) oder wenn die Neutronenquelle nach 1) durch andere Abschirmungen verdeckt wird. In allen übrigen Fällen gilt nur die Neutronenquelle nach 1) als wirksam;

- d) für die Berechnung der Dicke s_{Nn} der Abschirmung gegen direkte NEUTRONENSTRAHLUNG ist in die Gleichung (1) einzusetzen:

z_{Nn} die ZEHNTELWERTDICKE für direkte NEUTRONENSTRAHLUNG nach Tabelle 3;

$U = 1$ für den RICHTUNGSFAKTOR nach 8.4 c);

R_{Nn} der REDUKTIONSAKTOR für direkte NEUTRONENSTRAHLUNG nach 10.8 e).

- e) Der REDUKTIONSAKTOR R_{Nn} wird berechnet aus:

$$R_{Nn} = \frac{\dot{D}_N}{\dot{D}_{Xn}} \cdot \frac{a_0}{a_{Nn}} \cdot \alpha \cdot 10 \quad (8)$$

Dabei ist

$a_0 = 1$ m;

a_{Nn} der Abstand des zu schützenden Ortes von der wirksamen Neutronenquelle;

$\dot{D}_N/\dot{D}_{Xn}$ das Verhältnis der ENERGIEDOSISLEISTUNG der NEUTRONENSTRAHLUNG zur ENERGIEDOSISLEISTUNG der NUTZSTRAHLUNG nach 7.1 c) und 7.4 g) (bei Betrieb mit ELEKTRONENSTRAHLUNG ist $\dot{D}_{Xn}$ zu ersetzen durch $\dot{D}_E$);

α Faktor, der den IMRT-Betrieb nach 8.3 c) berücksichtigt;

- f) für die Berechnung der Dicke s_{Ns} der Abschirmung gegen gestreute NEUTRONENSTRAHLUNG ist in die Gleichung (1) einzusetzen:

z_{Ns} die ZEHNTELWERTDICKE für gestreute NEUTRONENSTRAHLUNG nach Tabelle 3;

$U = 1$ für den RICHTUNGSFAKTOR nach 8.4 c);

R_{Ns} der REDUKTIONSAKTOR für gestreute NEUTRONENSTRAHLUNG nach 10.8 g);

- g) der REDUKTIONSAKTOR R_{Ns} wird berechnet aus:

$$R_{Ns} = 0,1 \cdot \frac{\dot{D}_N}{\dot{D}_{Xn}} \cdot \frac{a_0}{a_{Ns}} \cdot \frac{b}{l} \cdot \alpha \cdot 10 \quad (9)$$

Dabei ist

$a_0 = 1$ m;

a_{Ns} die Summe der Wegstrecken, die ein Neutronenstrahlenbündel mindestens durchlaufen muss, um von der wirksamen Neutronenquelle an den zu schützenden Ort zu gelangen, ohne Abschirmungen gegen direkte NEUTRONENSTRAHLUNG zu durchsetzen;

$\dot{D}_N/\dot{D}_{Xn}$ das Verhältnis der ENERGIEDOSISLEISTUNG der NEUTRONENSTRAHLUNG zur ENERGIEDOSISLEISTUNG der NUTZSTRAHLUNG wie in 10.8 e);

b/l der Faktor nach 10.8 h);

α Faktor, der den IMRT-Betrieb nach 8.3 c) berücksichtigt.

ANMERKUNG In den Gleichungen (8) und (9) ist für Neutronen der STRAHLUNGS-WICHTUNGSFAKTOR mit $w_R = 10$ berücksichtigt worden.

Tabelle 3 — ZEHNTELWERTDICKEN z_{Nn} und z_{Ns} für NEUTRONENSTRAHLUNG

Abschirmmaterial		Wasser, Paraffin	Beton, Schwerbeton ^a , Naturgipsschotter, Kalkschotter, Walzenzunder, EOS, Erde, Ziegel	Eisen, Blei
z_{Nn} für direkte NEUTRONENSTRAHLUNG	1. ZEHNTELWERTDICKE	15 cm	25 cm	42 cm ^b
	2. und folgende ZEHNTELWERTDICKE	10 cm	16 cm	
z_{Ns} für gestreute NEUTRONENSTRAHLUNG		8 cm	13 cm	37 cm ^b

^a Zu Schwerbeton zählen Baryt-, Hämatit- und Magnetitbeton.

^b Abschirmungen gegen NEUTRONENSTRAHLUNG aus Stoffen mit Ordnungszahlen über 10 erfordern auf der von der Neutronenquelle abgewandten Seite zur Thermalisierung der dort möglicherweise noch vorhandenen mittelschnellen Neutronen und deren anschließender Absorption zusätzlich 0,3 ZEHNTELWERTDICKEN wasserstoff- und borhaltiger Stoffe.

- h) Wenn sich die Abschirmungen gegen direkte NEUTRONENSTRAHLUNG so weit überlappen, dass zwischen ihnen eine gegen direkte NEUTRONENSTRAHLUNG abgeschirmte Schleuse entsteht, so darf bei der Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen gegen gestreute NEUTRONENSTRAHLUNG für den Faktor b/l das Verhältnis Breite/Länge der Schleuse eingesetzt werden. Andernfalls ist $b/l = 1$ zu setzen.

Wenn die räumlichen Verhältnisse es zulassen, dass sich bei Bemessung des Zugangs zum BESTRAHLUNGSRaum eine Abschirmung gegen tertiäre BREMSSTRAHLUNG an diesem Zugang erübrigt (siehe 10.7 c)), sollte versucht werden, durch bauliche Maßnahmen (z. B. Gestaltung der Schleuse) eine diesbezügliche Abschirmung gegen gestreute NEUTRONENSTRAHLUNG ebenfalls entfallen zu lassen;

- i) Abschirmungen gegen NEUTRONENSTRAHLUNG dürfen abweichend von 10.8 b) bis 10.8 h) unter Verwendung der Ergebnisse von Strahlenschutzmessungen an ELEKTROENBESCHLEUNIGER-ANLAGEN bemessen werden, wenn die Raumverhältnisse und die Erzeugungsbedingungen für die Neutronen vergleichbar sind;
- j) Abschirmungen gegen NEUTRONENSTRAHLUNG müssen abweichend von 10.8 b) bis 10.8 i) bemessen werden, wenn der HERSTELLER nach 7.1 g) Angaben gemacht hat, die zusätzliche Strahlenschutzvorkehrungen gegen Neutronen erfordern.

Tabelle 4 — Parameter für die Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen nach 10.2 bis 10.8

Strahlungs- komponente	Ab- schirm- dicke s	ZEHNTEL- WERTDICKE z	REDUKTIONSFAKTOR R	Bei Betrieb mit	Siehe
NUTZSTRAHLUNG	s_{Xn} s_{XEn}	z_X (Bilder 1 und 2)	$R_{Xn} = \frac{a_0^2}{a_n^2}$	BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung	10.3
			$R_{XEn} = \left(\frac{\dot{D}_{XEn}}{\dot{D}_E} + k_{XE} \right) \cdot \frac{a_0^2}{a_n^2}$	ELEKTRONENSTRAHLUNG	10.4
DURCHLASS- STRAHLUNG	s_{Xd}	z_X (Bilder 1 und 2)	$R_{Xd} = \frac{\dot{D}_{Xd}}{\dot{D}_{Xn}} \cdot \frac{a_0^2}{a_n^2} \cdot \alpha$	BREMSSTRAHLUNG	10.5
			$R_{Xd} = \frac{\dot{D}_{Xd}}{\dot{D}_E} \cdot \frac{a_0^2}{a_n^2} \cdot \alpha$	ELEKTRONENSTRAHLUNG	
Sekundäre BREMSSTRAHLUNG	s_{Xs}	z_{Xs} (Tabelle 2)	$R_{Xs} = 10^{-2} \cdot k_{Xn} \cdot \frac{A_{Xn}}{a_{Xs}^2}$	BREMSSTRAHLUNG	10.6
			$R_{Xs} = 10^{-2} \cdot k_{XE} \cdot \frac{A_{Xn}}{a_{Xs}^2}$	ELEKTRONENSTRAHLUNG	
Tertiäre BREMSSTRAHLUNG	s_{Xt}	z_{Xt} (Tabelle 2)	$R_{Xt} = \left(10^{-2} \cdot \frac{\dot{D}_{Xd}}{\dot{D}_{Xn}} \cdot \frac{a_0^2}{a_n^2} + 10^{-6} \right) \cdot \frac{A_{Xt}}{a_{Xt}^2} \cdot \alpha$	BREMSSTRAHLUNG	10.7
			$R_{Xt} = \left(10^{-2} \cdot \frac{\dot{D}_{Xd}}{\dot{D}_E} \cdot \frac{a_0^2}{a_n^2} + 10^{-6} \right) \cdot \frac{A_{Xt}}{a_{Xt}^2} \cdot \alpha$	ELEKTRONENSTRAHLUNG	

Nur für die

Tabelle 4 (fortgesetzt)

Strahlungs-komponente	Ab-schirm-dicke s	ZEHNTELWERT-DICKE z	REDUKTIONSFAKTOR R	Bei Betrieb mit	Siehe
Direkte NEUTRONEN-STRAHLUNG	s_{Nn}	z_{Nn} (Tabelle 3)	$R_{Nn} = \frac{\dot{D}_N}{\dot{D}_{Xn}} \cdot \frac{a_0}{a_{Nn}} \cdot \alpha \cdot 10$ $R_{Nn} = \frac{\dot{D}_N}{\dot{D}_E} \cdot \frac{a_0}{a_{Nn}} \cdot \alpha \cdot 10$	BREMSSTRAHLUNG ELEKTRONENSTRAHLUNG	10.8 d) bis 10.8 e)
Gestreute NEUTRONEN-STRAHLUNG	s_{Ns}	z_{Ns} (Tabelle 3)	$R_{Ns} = 0,1 \cdot \frac{\dot{D}_N}{\dot{D}_{Xn}} \cdot \frac{a_0}{a_{Ns}} \cdot \frac{b}{l} \cdot \alpha \cdot 10$ $R_{Ns} = 0,1 \cdot \frac{\dot{D}_N}{\dot{D}_E} \cdot \frac{a_0}{a_{Ns}} \cdot \frac{b}{l} \cdot \alpha \cdot 10$	BREMSSTRAHLUNG ELEKTRONENSTRAHLUNG	10.8 f) bis 10.8 h)

Allgemeine Berechnungsgleichung siehe Gleichung (1).

Bedeutung der Symbole in den Gleichungen für den REDUKTIONSFAKTOR R :

$a_0 = 1 \text{ m}$;

a Abstand des zu schützenden Ortes;
vom Divergenzpunkt des NUTZSTRAHLENBÜNDELS (a_n);
zwischen Divergenzpunkt der NUTZSTRAHLUNG und dem Auftreffpunkt der DURCHLASSTRAHLUNG;
von der Sekundärstrahlungsquelle (a_{xs});
von der Tertiärstrahlungsquelle (a_{xt});
von der wirksamen Neutronenquelle (a_{Nn});
Laufweg der gestreuten NEUTRONENSTRAHLUNG (a_{Ns});

k_{XE} Zahlenfaktor zur Bemessung des Schutzes gegen außerhalb des STRAHLERS erzeugte BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung nach Bild 3;

A_{Xn} Querschnitt des NUTZSTRAHLENBÜNDELS nach 7.1 d);

A_{xt} wirksamer Querschnitt der Tertiärstrahlungsquelle;

$\dot{D}$ vom HERSTELLER anzugebende WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNG;
der BREMSSTRAHLUNG in Nutzstrahlrichtung ($\dot{D}_{Xn}$);
der Elektronennutzstrahlung ($\dot{D}_E$);
des Röntgenstrahlungsanteils im NUTZSTRAHLENBÜNDEL der ELEKTRONENSTRAHLUNG ($\dot{D}_{XEn}$);
der DURCHLASSTRAHLUNG ($\dot{D}_{Xd}$);
des Neutronenstrahlungsanteils im NUTZSTRAHLENBÜNDEL ($\dot{D}_N$);

b/l Verhältnis Breite/Länge der Schleuse (Länge: Länge der Wand, die durch die Labyrinthwand vor direkter NEUTRONENSTRAHLUNG abgeschirmt wird; Breite: Länge des zur Abschirmung des Aufenthaltsortes erforderlichen Bauteils).

10.9 Zusammenwirken mehrerer Strahlungsquellen, -arten und -komponenten

Es gelten folgende Festlegungen:

- a) Wenn an einem zu schützenden Aufenthaltsort von Personen bereits eine ORTSDOSIS entstehen kann, die durch fremde Strahlungsquellen oder von Strahlungen des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS erzeugt wird, die durch die zu bemessende Abschirmung nicht beeinflusst werden, so ist in die Gleichung (1) als höchste zugelassene ORTSDOSIS H_w ein Wert einzusetzen, der um diesen Anteil der ORTSDOSIS vermindert ist;

- b) wenn an einem zu schützenden Aufenthaltsort von Personen mehrere Strahlungskomponenten wirksam sind, für die jeweils die Abschirmdicke nach 10.3 bis 10.8 berechnet wurde, und diese in einer einzigen Abschirmung am gleichen Ort zusammengefasst werden können, so gilt folgende Regel:

- 1) Für jede Strahlungskomponente ist diejenige Schichtdicke einzubeziehen, entweder die für Betrieb mit BREMSSTRAHLUNG oder mit ELEKTRONENSTRAHLUNG, welche dicker ist (also entweder s_{Xn} oder s_{XEn}).

Die Ergebnisse sind anschließend nach der Schichtdicke zu ordnen und die benachbarten Werte, beginnend mit den kleinsten Dicken, zu vergleichen.

- 2) Ist eine Schichtdicke um mehr als eine ZEHNTELWERTDICKE der zugehörigen Strahlungskomponente größer als die nächstkleinere, so reicht sie auch für die Abschirmung gegen alle Strahlungskomponenten mit kleineren Abschirmdicken aus.
- 3) Ist die Differenz zwischen benachbarten Werten der Schichtdicke kleiner als eine ZEHNTELWERTDICKE, so ist die dickere der beiden Abschirmungen um denjenigen Teil einer ZEHNTELWERTDICKE zu verstärken, der sich aus Tabelle 5 ergibt. Dabei ist die Differenz zwischen benachbarten Werten der Schichtdicke mit der ZEHNTELWERTDICKE zu vergleichen, die für die Bemessung der dünneren Abschirmung benutzt wurde. Falls eine Verstärkung der dickeren Schicht notwendig ist, muss dagegen die ZEHNTELWERTDICKE zugrunde gelegt werden, die für die Bemessung der dickeren Abschirmung benutzt wurde.

Ein exakteres Verfahren zur Berechnung der Schichtdicke s dieser Abschirmung aus den Schichtdicken s_i mit den zugehörigen ZEHNTELWERTDICKEN z_i für die einzelnen Strahlungskomponenten i liefert die Gleichung (10):

$$\sum 10^{(s_i - s)/z_i} \leq 1 \quad (10)$$

Da diese Gleichung nicht nach s aufgelöst werden kann, erfordert ihre Auswertung besondere mathematische Hilfsmittel. Die Ergebnisse stimmen im Rahmen der für den STRAHLENSCHUTZ zu fordernden Genauigkeit von etwa 0,1 z mit den Ergebnissen der Rechnung nach 10.9 b) überein.

Tabelle 5 — Verstärkungen von Abschirmungen beim Zusammenwirken mehrerer Strahlungskomponenten

Schichtdicken-Differenz	Erforderliche Verstärkung der dickeren Abschirmung
Weniger als 0,3 ZEHNTELWERTDICKEN	+ 0,3 ZEHNTELWERTDICKEN
0,3 bis 0,6 ZEHNTELWERTDICKEN	+ 0,2 ZEHNTELWERTDICKEN
0,6 bis 1,0 ZEHNTELWERTDICKEN	+ 0,1 ZEHNTELWERTDICKEN

10.10 Bauliche Strahlenschutzvorkehrungen gegen RADIOAKTIVE STOFFE, die durch Kernphoto Prozesse entstehen

Es gelten folgende Festlegungen:

- a) Zusätzliche bauliche Abschirmungsmaßnahmen gegen die BETA- und GAMMASTRAHLUNG RADIOAKTIVER STOFFE, die infolge des Betriebs mit Röntgenbrems- oder ELEKTRONENSTRAHLUNG durch Kernphoto Prozesse entstehen, sind nicht erforderlich;
- b) bei ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGEN mit einer GRENZENERGIE der BREMSSTRAHLUNG oberhalb von 10 MeV ist eine RAUMLUFTTECHNISCHE ANLAGE (siehe Abschnitt 13) erforderlich;

- c) bei ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGEN mit einer GRENZENERGIE der BREMSSTRAHLUNG oberhalb von 10 MeV ist Sorge zu tragen, dass die EFFEKTIVE DOSIS von Personen infolge RADIOAKTIVER STOFFE, die über den Luftpfad aus dem Betriebsbereich austreten können, den Grenzwert von 0,3 mSv im Jahr (§ 47 Abs. 1 StrlSchV) nicht überschreitet. In diesen Wert sind die Dosiswerte, verursacht durch Abgabe RADIOAKTIVER STOFFE anderer Emittenten, mit einzubeziehen.

11 Strahlenschutzbauzeichnung

11.1 Angaben des Errichters

Der Errichter muss eine Strahlenschutzbauzeichnung anfertigen, die den Zustand der ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE nach Abschluss der ERRICHTUNG dokumentiert und mindestens nachfolgende Angaben enthält:

- a) Baustoff, Dichte und Schichtdicke aller Strahlenschutzwände und -decken und gegebenenfalls Böden;
- b) Bemessungsunterlagen, aus denen der Berechnungsgang und die Art der Berücksichtigung der Einwirkung verschiedener Strahlenarten und deren Anteile an der Ortsdosis für die zu schützenden Aufenthaltsorte hervorgehen;
- c) die Angaben des HERSTELLERS des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS nach 7.1, die bei der ERRICHTUNG verwendet wurden;
- d) die Angaben des STRAHLENSCHUTZVERANTWORTLICHEN der ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE nach 7.2, die bei der ERRICHTUNG verwendet wurden;
- e) die Bedingungen für den Betrieb des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS, die außer den Angaben nach c) für die ERRICHTUNG vorausgesetzt wurden.

11.2 Verbleib der Strahlenschutzbauzeichnung

Der Errichter muss dem STRAHLENSCHUTZVERANTWORTLICHEN der ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE vor Aufnahme des Betriebs eine Ausfertigung der Strahlenschutzbauzeichnung mit der Maßgabe übergeben, diese so aufzubewahren, dass jederzeit eine Einsichtnahme möglich ist.

12 Prüfung der Einhaltung von Strahlenschutzregeln

12.1 Anforderungen an die Räume nach 6 d) bis 6 i)

Prüfung vor Aufnahme des bestimmungsgemäßen Betriebes: Sicht- und Funktionsprüfung bei jeweils einer Nennenergie einer Strahlenart.

Wiederkehrende Sachverständigenprüfung: Prüfung wie vor Inbetriebnahme.

12.2 Prüfung der baulichen Abschirmungen, die vom NUTZSTRAHLENBÜNDEL getroffen werden können

Prüfung vor Aufnahme des bestimmungsgemäßen Betriebes mit den Betriebsdaten nach 8.2 und 8.3: Messung der ORTSDOSISLEISTUNG für PHOTONEN- und NEUTRONENSTRAHLUNG (Letzteres nur bei GRENZENERGIEN über 8 MeV) in Bereichen mit Arbeits- oder Aufenthaltsorten hinter der baulichen Abschirmung des BESTRAHLUNGSRUAUMES.

Wiederkehrende Sachverständigenprüfung: bei Änderung des baulichen STRAHLENSCHUTZES.

Prüfbedingungen:

- maximales NUTZSTRAHLENBÜNDEL, ungeschwächt gerichtet auf die zu überprüfende Abschirmung;
- betriebsmäßig vorgesehene Dosisleistung bei maximaler Photonenenergie;
- bei seitlichen Abschirmungen des BESTRAHLUNGSRAMES Messungen in Abständen zwischen 0,1 m und 0,5 m hinter der Abschirmung in Höhenbereichen zwischen 0,5 m und 2 m über dem Fußboden;
- bei Deckenabschirmungen des BESTRAHLUNGSRAMES Messungen im darüberliegenden Raum in 0,5 m Höhe über dem Fußboden;
- bei Bodenabschirmungen des BESTRAHLUNGSRAMES Messungen im darunterliegenden Raum in 2 m Höhe über dem Fußboden.

12.3 Prüfung der baulichen Abschirmungen, die nicht vom NUTZSTRAHLENBÜNDEL getroffen werden können

Prüfung vor Aufnahme des bestimmungsgemäßen Betriebes mit den Betriebsdaten nach 8.2 und 8.3: Messung der ORTSDOSISLEISTUNG für PHOTONEN- und NEUTRONENSTRAHLUNG (Letzteres nur bei GRENZENERGIEN über 8 MeV) in Bereichen mit Arbeits- oder Aufenthaltsorten hinter der baulichen Abschirmung des BESTRAHLUNGSRAMES.

Wiederkehrende Sachverständigenprüfung: bei Änderung des baulichen STRAHLENSCHUTZES.

Prüfbedingungen:

- maximales NUTZSTRAHLENBÜNDEL, senkrecht auf ein 15 cm dickes wasseräquivalentes Phantom (Maße etwa 30 cm × 30 cm × 15 cm) im üblichen Bestrahlungsabstand gerichtet;
- betriebsmäßig vorgesehene Dosisleistung bei maximaler Photonenenergie;
- bei seitlichen Abschirmungen des BESTRAHLUNGSRAMES Messungen in Abständen zwischen 0,1 m und 0,5 m hinter der Abschirmung in Höhenbereichen zwischen 0,5 m und 2 m über dem Fußboden;
- bei Deckenabschirmungen des BESTRAHLUNGSRAMES Messungen im darüberliegenden Raum in 0,5 m Höhe über dem Fußboden;
- bei Bodenabschirmungen des BESTRAHLUNGSRAMES Messungen im darunterliegenden Raum in 2 m Höhe über dem Fußboden.

Bei der Auswertung der Ortsdosismessungen sind zunächst die Planungsrichtwerte zugrunde zu legen. Ergibt sich dabei eine Überschreitung der zulässigen Ortsdosiswerte, so ist die vorgesehene Betriebsweise (Betriebswerte, Strahlrichtungen, BETRIEBSBELASTUNGEN) zu berücksichtigen.

13 Prüfung der RAUMLUFTTECHNISCHEN ANLAGE

Die Prüfung der RAUMLUFTTECHNISCHEN ANLAGE erfolgt bei Elektronenbeschleunigern mit Grenzenergie der Bremsstrahlung oberhalb von 10 MeV.

Die Prüfung ist vor Aufnahme des bestimmungsgemäßen Betriebes des Elektronenbeschleunigers [a) bis c)] und im Rahmen der wiederkehrenden Sachverständigenprüfung [b) und c)] durchzuführen.

Die Prüfung der RAUMLUFTTECHNISCHEN ANLAGE umfasst:

- a) die Ermittlung des Quotienten aus VOLUMENSTROM der Luft im Raum und dem Raumvolumen („Raumluftwechselzahl“). Dieser darf nicht geringer als 8 h^{-1} sein. Die Messung des Luftvolumenstromes sollte nach DIN EN 12599 erfolgen;
- b) die Funktionskontrolle der Anzeigen für den Betriebszustand „Lüftungsanlage eingeschaltet“ oder der optischen bzw. akustischen Signale für den Betriebszustand „Ausfall der Lüftungsanlage“;
- c) die Funktionskontrolle der gegebenenfalls vorhandenen Einschaltverriegelung für den Betriebszustand „Strahlung eingeschaltet“ bei nicht eingeschalteter oder ausgefallener Lüftungsanlage.

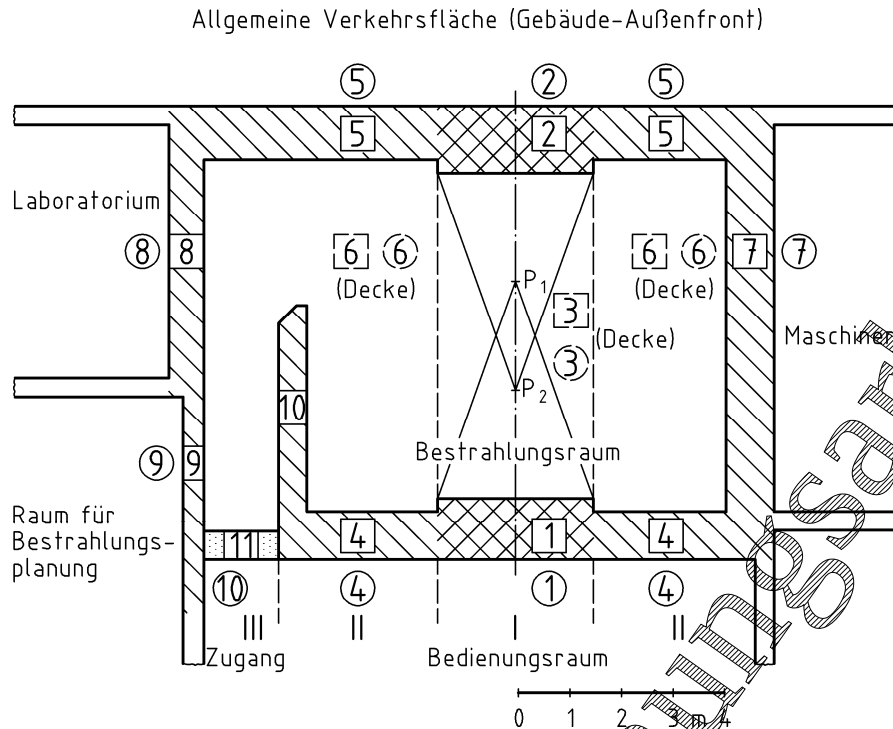
Nur für die Normungsarbeit

Anhang A (informativ)

Berechnungsbeispiel

Dieses Berechnungsbeispiel ist nicht Bestandteil der Norm, sondern dient der Veranschaulichung der Regeln zur Bemessung des baulichen STRAHLENSCHUTZES nach Abschnitt 10 und gibt Anhaltspunkte zur Beurteilung der Beiträge verschiedener Strahlungskomponenten zur ORTSDOSIS an einigen charakteristischen Aufenthaltsorten. Als Beispiel wird eine ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE, hier mit einem Zugang über ein LABYRINTH (eine Schleuse), nach Bild A.1 zugrunde gelegt. Die Maße des BESTRAHLUNGSRRAUMES und die Anordnung und Zweckbestimmung der angrenzenden Räume entsprechen bereits ausgeführten Anlagen. Die Größe des BESTRAHLUNGSRRAUMES wurde aufgrund von Betriebserfahrungen gewählt und sollte möglichst nicht unterschritten werden. Die Aufenthaltsorte 1 bis 10 sind in Bild A.1 durch kreisförmige Umrandung gekennzeichnet. Die für diese Orte nach Angaben des STRAHLENSCHUTZVERANTWORTLICHEN zugrunde zu legenden RICHTUNGS- und AUFENTHALTSFAKTOREN und die höchsten zugelassenen ORTSDOSEN sind in Tabelle A.1 zusammengestellt. Die zur Bemessung der Abschirmungen erforderlichen Herstellerangaben über die Betriebsdaten des ELEKTRONENBESCHLEUNIGERS enthält Tabelle A.2. Daraus ergeben sich für die verschiedenen Strahlungskomponenten an den verschiedenen Aufenthaltsorten die in Gleichung (1) einzusetzenden Parameter nach Tabelle A.3 und die am Ende der Tabelle A.3 aufgeführten Abschirmdicken für die Wände und Decken, die den Aufenthaltsorten 1 bis 10 zugeordnet und in Bild A.1 durch quadratische Umrandung gekennzeichnet sind. Als Schwerbeton wurde in diesem Berechnungsbeispiel Barytbeton gewählt, und zwar mit den Dichten $3,2 \text{ g/cm}^3$ bzw. $3,5 \text{ g/cm}^3$.

Nur für die Norm



Legende

① bis ⑩ zu schützende Aufenthaltsorte

1 bis 10 zugehörige Abschirmungen

P₁, P₂ Divergenzpunkt des NUTZSTRAHLENBÜNDELS in verschiedenen Stellungen des STRAHLERS

I Schutzzone gegen NUTZSTRAHLUNG (Nutzstrahlenbereich zuzüglich einer allseitigen Randzone von 5 Grad)

II Schutzzone gegen sekundäre STÖRSTRAHLUNG (DURCHLASSTRAHLUNG und sekundäre BREMSSTRAHLUNG) und direkte NEUTRONENSTRAHLUNG

III Schutzzone gegen tertiäre BREMSSTRAHLUNG (Raumbereich, der weder von NUTZSTRAHLUNG noch von sekundärer STÖRSTRAHLUNG erreicht wird)

Abschirmung gegen NUTZSTRAHLUNG

Abschirmung gegen sekundäre BREMSSTRAHLUNG und direkte NEUTRONENSTRAHLUNG

Abschirmung gegen tertiäre BREMSSTRAHLUNG und gestreute NEUTRONENSTRAHLUNG in der Tür zum BESTRAHLUNGSRAUM

Wände ohne Abschirmfunktion

ANMERKUNG Für den Aufenthaltsort ⑨ ist gegen sekundäre BREMSSTRAHLUNG und direkte NEUTRONENSTRAHLUNG die Summe der Abschirmungen ⑨ und ⑩, gegen tertiäre BREMSSTRAHLUNG und gestreute NEUTRONENSTRAHLUNG die Abschirmung ⑨ allein wirksam. Für den Aufenthaltsort ⑩ ist gegen sekundäre BREMSSTRAHLUNG und direkte NEUTRONENSTRAHLUNG die Summe der Abschirmungen ⑩ und ⑪, gegen tertiäre BREMSSTRAHLUNG und gestreute NEUTRONENSTRAHLUNG die Abschirmung ⑪ allein wirksam. Es empfiehlt sich, die Labyrinthnase (Wand ⑩) möglichst so abzuschirmen, dass bei der Abschirmung des Zuganges die sekundäre BREMSSTRAHLUNG und direkte NEUTRONENSTRAHLUNG nicht mehr berücksichtigt werden müssen.

Bild A.1 — Grundrisssskizze für das Berechnungsbeispiel zur Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen in ELEKTROENBESCHLEUNIGER-ANLAGEN

Tabelle A.1 — Bestrahlungsbedingungen nach Angaben des STRAHLENSCHUTZVERANTWORTLICHEN für das Berechnungsbeispiel zur Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen nach Bild A.1

Aufenthaltssort		Schutzzone (siehe Bild A.1)	Höchste zugelassene ORTSDOSIS nach Tabelle 1	RICHTUNGSFAKTOR	AUFENTHALTS- FAKTOR
Nr.	Beschreibung		H_w	U	T
			mSv		
1	BEDIENUNGSRAUM, Daueraufenthalt für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B, für andere Personen nur kurzzeitiger Aufenthalt	I	0,12		1
2	Außerbetriebliche Verkehrsfläche		0,02	1	0,3
3	Bettenstation, Daueraufenthalt nicht im Strahlenbetrieb beschäftigter Personen, NUTZSTRAHLUNG nur bei BEWEGUNGSBESTRAHLUNG		0,02	0,1	1
4	BEDIENUNGSRAUM wie Nr. 1, aber außerhalb der NUTZSTRAHLUNG	II	0,12	1	1
5	Außerbetriebliche Verkehrsfläche wie Nr. 2, aber außerhalb der NUTZSTRAHLUNG		0,02	1	0,3
6	Bettenstation wie Nr. 3, aber außerhalb der NUTZSTRAHLUNG		0,02	1	1
7	Maschinenraum, kurzzeitiger Aufenthalt für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B		0,12	1	0,1
8	Laboratorium, Daueraufenthalt für Betriebsangehörige		0,02	1	1
9	Raum für Bestrahlungsplanung, Daueraufenthalt für Betriebsangehörige		0,02	1	1
10	Schleuseneingang, kurzzeitiger Aufenthalt für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B	III	0,12	1	0,1

In dem Berechnungsbeispiel sind die höchsten zugelassenen ORTSDOSEN in der Woche so festgesetzt, dass an den Aufenthaltsorten des Bedienungspersonals kein KONTROLLBEREICH entsteht.

Tabelle A.2 — Betriebsdaten nach Angaben des HERSTELLERS für das Berechnungsbeispiel zur Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen nach Bild A.1

Betriebsparameter	Betriebsart	Symbol	Betriebswert	Siehe
Strahlenenergie	BREMSSTRAHLUNG ELEKTRONENSTRAHLUNG	$E_{X,G}, E_E$	20 MeV	8.1
Höchste WASSER- ENERGIEDOSISLEISTUNG der NUTZSTRAHLUNG im Referenzabstand $a_0 = 1$ m	BREMSSTRAHLUNG ELEKTRONENSTRAHLUNG	$\dot{D}_{Xn}$ $\dot{D}_E$	1 Gy/min 5 Gy/min	8.2 a)
WASSER-ENERGIEDOSISLEISTUNG der DURCHLASSTRAHLUNG im Abstand a_n vom Divergenzpunkt des NUTZSTRAHLENBÜNDELS im Verhältnis zur ENERGIEDOSISLEISTUNG der NUTZSTRAHLUNG im Referenzabstand $a_0 = 1$ m	BREMSSTRAHLUNG ELEKTRONENSTRAHLUNG	$\frac{\dot{D}_{Xd}(a_n)}{\dot{D}_{Xn}(a_0)}$ $\frac{\dot{D}_{Xd}(a_n)}{\dot{D}_E(a_0)}$	$0,005 \times \frac{a_0^2}{a_n^2}$ $0,005 \times \frac{a_0^2}{a_n^2}$	7.1 f), 8.2 b)
Röntgenstrahlungsanteil im NUTZSTRAHLENBÜNDEL der ELEKTRONENSTRAHLUNG	ELEKTRONENSTRAHLUNG	$\frac{\dot{D}_{XEn}}{\dot{D}_E}$	0,08	7.1 f)
Neutronenstrahlungsanteil im NUTZSTRAHLENBÜNDEL	BREMSSTRAHLUNG ELEKTRONENSTRAHLUNG	$\frac{\dot{D}_N}{\dot{D}_{Xn}}$ $\frac{\dot{D}_N}{\dot{D}_E}$	5×10^{-4} 5×10^{-5}	7.1 g)
Maximale Feldgröße im Referenzabstand $a_0 = 1$ m	BREMSSTRAHLUNG, ELEKTRONENSTRAHLUNG	S_n	0,2 m × 0,2 m	7.1 d)
BETRIEBSBELASTUNG	BREMSSTRAHLUNG + ELEKTRONENSTRAHLUNG	W_A	10^3 Gy	8.3 a)

Tabelle A.3 — Berechnungsdaten zur Bemessung von Strahlenschutzabschirmungen für die verschiedenen Strahlungskomponenten und Aufenthaltsorte in dem Berechnungsbeispiel nach Bild A.1

Parameter		Einheit	Aufenthaltssort										Siehe		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Abstand	a_n	m	5	6	4	4	5	4	5	7	7	6	10.3 bis 10.5 10.6 c) 10.7 c) 10.8 e) 10.8 g)		
	a_{Xs}		1	1	2	1	1	2	5	6	6	4			
	a_{Xt}		—	—	—	—	—	—	—	—	—	6			
	a_{Nn}		3	4	3	4	5	4	5	7	7	6			
	a_{Ns}		—	—	—	—	—	—	—	—	—	8		10	
Schleuse	b/l	1	—								0,3 ^c	0,3 ^c	10.8 g)		
Querschnitt	A_{Xn}	m ²	0,04								0,04		10.6 c) 10.7 c)		
	A_{Xt}		—								20				
E-Ausbeute	k_{XE}	1	0,016										Bild 3		
REDUK- TIONS- FAKTOR ^a	R_{Xn}	10 ⁻³	40	28	62	—	—	—	—	—	—	—	10.3 c) 10.4 d)		
	R_{XEn}		3,8	2,7	6,0	—	—	—	—	—	—	—			
REDUK- TIONS- FAKTOR ^a	R_{Xd}	10 ⁻⁵	20	14	31	31	20	21	20	10	10	14	10.5 c) 10.6 c) 10.7 c) 10.8 e) 10.8 g)		
	R_{Xs}		40	40	10	40	40	10	1,6	1,1	1,1	2,5			
	R_{Xt}		—	—	—	—	—	—	—	—	0,45	0,13			
	R_{Nn}		170	125	170	125	100	125	100	70	70	85			
	R_{Ns}		—	—	—	—	—	—	—	—	3,8	1,5			
RICHTUNGS- FAKTOR	U	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	8.4		
AUFENT- HALTS- FAKTOR	T	1	1	0,3	1	1	0,3	1	0,1	1	1	0,1	8.5		
ORTSDOSIS	H_W	mSv	0,12	0,02	0,02	0,12	0,02	0,02	0,12	0,02	0,02	0,12	Tabelle 1		
Anzahl der ZEHNTEL- WERTDICKEN $\lg(W_A$ $U T R_i/H_W)$ mit $W_A = 10^3$ Gy	X_n	1	5,5	5,6	5,5	—	—	—	—	—	—	—	10.3 b) 10.4 c) 10.5 b) 10.6 b) 10.7 b) 10.8 d) 10.8 f)		
	X_n		4,5	4,6	4,5	—	—	—	—	—	—	—			
	X_d		3,2	3,3	4,2	3,4	3,5	4,2	2,2	3,7	3,7	2,1			
	X_s		3,5	3,8	3,7	3,5	3,8	3,7	1,1	2,7	2,7	1,3			
	X_t		—	—	—	—	—	—	—	—	2,35	0,04			
	N_n		4,2	4,3	4,9	4,0	4,2	4,8	2,9	4,5	4,5	2,8			
	N_s		—	—	—	—	—	—	—	—	3,3	1,1			
Abschir- mungs- material			[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10] ^b	[10]	[11] ^b	—
			Baryteton						Beton	Baryteton			Pa- raffin		
Dichte	ρ	g/cm ³	3,5	3,5	3,5	3,2	3,2	3,5	2,3	3,2	3,2	3,2	3,2		

Tabelle A.3 (fortgesetzt)

Parameter	Einheit	Aufenthaltsort												Siehe
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		10		
ZEHNTEL WERT-DICKE	z_X bzw. z_{Xs}	27	27	27	30	30	27	46	30	30	30	30	—	Bild 1 Tabelle 2 Tabelle 3 Tabelle 3
	z_{Xt}	8,3	8,3	8,3	9	9	8,3	16	9	9	9	9	—	
	z_{Nn}	25/16	25/16	25/16	25/16	25/16	25/16	25/16	25/16	25/16	25/16	25/16	15/16	
	z_{Ns}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13	—	8	
Abschirmdicke (einzelne Komponente)	s_{Xn}	149	154	148	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.3 b)
	s_{XEn}	122	124	122	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.4 c)
	s_{Xd}	86	92	114	102	105	114	101	111	42	+69	63	+0	10.5 b)
	s_{Xs}	29	32	31	32	34	34	18	24	0	+69	12	+0	10.6 b)
	s_{Xt}	—	—	—	—	—	—	—	—	21	—	—	≈ 0	10.7 b)
	s_{Nn}	76	78	88	73	76	86	55	81	12	+69	54	+0	10.8 d)
	s_{Ns}	—	—	—	—	—	—	—	—	43	—	—	9	10.8 f)
Zuschlag	Δs	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3 z_{Ns}		0,3 z_{Nn}	—	Tabelle 5
Gesamtdicke	s	149	154	148	102	105	114	101	111	47	72		9	10.9 b)

Formelzeichen siehe Tabelle 4.

a Für ELEKTRONENSTRAHLUNG kleiner, daher vernachlässigbar.

b Siehe Anmerkung zu Bild A.1.

c 0,6 = 1,8 m/3 m bzw. 0,3 = 1,8 m/6 m.

Literaturhinweise

- [1] Swanson, W. P., *Radiological safety aspects of the operation of electron linear accelerators*, Technical reports series No. 188, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1979
- [2] Sullivan, A. H., *A guide to radiation and radioactivity levels near high energy particle accelerators*, Nuclear Technology Publishing, Ashford, Kent, 1992
- [3] Ewen, K., *Strahlenschutz an Beschleunigern*, B. G. Teubner, Stuttgart, 1985
- [4] DIN 6814-2:2000-07, *Begriffe in der radiologischen Technik – Teil 2: Strahlungsphysik*
- [5] DIN 6814-3:2001-01, *Begriffe in der radiologischen Technik – Teil 3: Dosisgrößen und Dosiseinheiten*
- [6] DIN 6814-4:2006-10, *Begriffe in der radiologischen Technik – Teil 4: Radioaktivität*
- [7] E DIN 6814-5:2007-11, *Begriffe in der radiologischen Technik – Teil 5: Strahlenschutz*
- [8] DIN 6814-8:2000-12, *Begriffe in der radiologischen Technik – Teil 8: Strahlentherapie*
- [9] DIN 6844-3:2006-12, *Medizinische Elektronenbeschleuniger-Anlagen – Teil 2: Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes*
- [10] DIN 6846-2:2003-06, *Medizinische Gammabestrahlungsanlagen – Teil 2: Strahlenschutzregeln für die Errichtung*
- [11] DIN 6853-2:2005-10, *Medizinische ferngesteuerte, automatisch betriebene Afterloading-Anlagen – Teil 2: Strahlenschutzregeln für die Errichtung*
- [12] DIN 6870-1:2007-06, *Qualitätsmanagementsystem in der medizinischen Radiologie – Teil 1: Strahlentherapie*
- [13] DIN EN 60580:2001-12, *Medizinische elektrische Geräte – Dosisflächenprodukt-Messgeräte*
- [14] DIN EN 12792:2004-01, *Lüftung von Gebäuden – Symbole, Terminologie und graphische Symbole; Deutsche Fassung EN 12792:2003*

Nur für
 DIN 6847-2:2008-09

Stichwortverzeichnis

Für alle in der vorliegenden Norm definierten oder verwendeten Begriffe enthält das Stichwortverzeichnis Quellenangaben sowie die englische Übersetzung der Begriffsbenennungen. Für die in dieser Norm definierten Begriffe ist die betreffende Referenznummer angegeben.

Bezeichnung	Quelle	Englische Übersetzung
ÄQUIVALENTDOSIS	DIN 6814-3:2001-01	DOSE EQUIVALENT
AUFENTHALTSFAKTOR	3.1.5	OCCUPATION FACTOR
BEDIENUNGSRAUM	E DIN 6814-5:2007-11	CONTROL ROOM
BESTRAHLUNGSRAUM	E DIN 6814-5:2007-11	IRRADIATION ROOM
BESTRAHLUNGSZEIT	DIN 6814-8:2000-12	IRRADIATION TIME
BETA STRAHLUNG	DIN 6814-2:2000-07	BETA RADIATION
BETRIEBSBELASTUNG	DIN 6853-2:2005-10	WORKING LOAD
BEWEGUNGSBESTRAHLUNG	DIN EN 60601-2-1 (VDE 0750-2-1)	MOVING BEAM IRRADIATION
BREMSSTRAHLUNG	DIN 6814-2:2000-07	BREMSSTRAHLUNG
DURCHLASSSTRAHLUNG	DIN 6814-8:2000-12	LEAKAGE RADIATION
EFFEKTIVE DOSIS	DIN 6814-3:2001-01	EFFECTIVE DOSE
ELEKTRONENBESCHLEUNIGER	DIN 6814-2:2000-07	ELECTRON ACCELERATOR
ELEKTRONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE	3.1.3	ELECTRON ACCELERATOR INSTALLATION
ELEKTRONENSTRAHLUNG	DIN 6814-2:2000-07	ELECTRON RADIATION
ENERGIEDOSISLEISTUNG	DIN 6814-3:2001-01	ABSORBED DOSE RATE
ERRICHTUNG	3.1.2	CONSTRUCTION
GAMMA STRAHLUNG	DIN 6814-2:2000-07	GAMMA RADIATION
GRENZENERGIE	DIN 6814-2:2000-07	MAXIMUM ENERGY
HERSTELLER	DIN EN 60601-1 (VDE 0750-1):2007-07	MANUFACTURER
KENNDOSIS	DIN 6846-2:2003-06	NOMINAL ABSORBED DOSE
KONTROLLBEREICH	DIN 6814-5:2007-11	CONTROLLED AREA
KÖRPERDOSIS	DIN 6814-3:2001-01	BODY DOSE
LANGSAME NEUTRONEN	DIN 6814-2:2006-10	SLOW NEUTRONS
NEUTRONENSTRAHLUNG	DIN 6814-4:2006-10	NEUTRON RADIATION
NUTZSTRAHLENBÜNDEL	DIN EN 60580:2001-12	USEFUL BEAM
NUTZSTRAHLUNG	DIN 6814-8:2000-12	USEFUL RADIATION
ORTSDOSIS	DIN 6814-3:2001-01	AREA DOSE
ORTSDOSISLEISTUNG	DIN 6814-3:2001-01	AREA DOSE RATE
PATIENT	DIN EN 60601-1 (VDE 0750-1):2007-07	PATIENT
PHOTONENSTRAHLUNG	DIN 6814-2:2000-07	PHOTON RADIATION
QUALITÄTSFAKTOR	DIN 6814-3:2001-01	QUALITY FACTOR
RADIOAKTIVER STOFF	DIN 6814-4:2006-10	RADIOACTIVE MATERIAL
RAUMLUFTTECHNISCHE ANLAGE	DIN EN 12792:2003-06	AIR CONDITIONING SYSTEM

Bezeichnung	Quelle	Englische Übersetzung
REDUKTIONSFAKTOR	3.1.6	REDUCTION FACTOR
RICHTUNGSFAKTOR	3.1.4	DIRECTION FACTOR
RÖNTGENSTRAHLUNG	DIN 6814-2:2000-07	X-RADIATION
SCHNELLE NEUTRONEN	DIN 6814-2:2000-07	FAST NEUTRONS
SCHWÄCHUNGSFAKTOR	DIN 6844-3:2006-12	ATTENUATION FACTOR
SPERRBEREICH	E DIN 6814-5:2007-11	PROHIBITED AREA
STÖRSTRAHLUNG	DIN 6814-2:2000-07	STRAY RADIATION
STRAHLENFELD	DIN 6814-2:2000-07	RADIATION BEAM
STRALENSCHUTZ	E DIN 6814-5:2007-11	RADIATION PROTECTION
STRALENSCHUTZBEREICH	E DIN 6814-5:2007-11	RADIATION PROTECTION AREA
STRALENSCHUTZLABYRINTH	E DIN 6814-5:2007-11	RADIATION PROTECTION LABYRINTH
STRALENSCHUTZVERANTWORTLICHER	E DIN 6814-5:2007-11	RADIATION PROTECTION RESPONSIBLE
STRALENTHERAPEUTISCHE ORGANISATION	E DIN 6870-1:2007-06	RADIATION THERAPEUTIC ORGANIZATION
STRAHLER	DIN 6814-8:2000-12	RADIATION SOURCE ASSEMBLY
STRAHLUNGSENERGIE	DIN 6814-2:2000-07	RADIATION ENERGY
TARGET	DIN 6814-2:2000-07	TARGET
THERMISCHE NEUTRONEN	DIN 6814-2:2000-07	THERMAL NEUTRONS
ÜBERWACHUNGSBEREICH	E DIN 6814-5:2007-11	SUPERVISED AREA
UMGEBUNGS-ÄQUIVALENTDOSIS	DIN 6814-3:2001-01	AMBIENT DOSE EQUIVALENT
VOLUMENSTROM	DIN EN 12792:2003-06	VOLUME FLOW RATE
WASSER-ENERGIEDOSIS(-LEISTUNG)	DIN 6814-3:2001-01	ABSORBED DOSE (RATE) TO WATER
ZEHNTELWERTDICKE	3.1.7	THICKNESS AT TENTH MAXIMUM