

Zyklotron-Anlagen für die Positronen-Emissions-Tomographie

Teil 1: Anforderungen an den baulichen Strahlenschutz

DIN
6871-1

ICS 11.040.50; 13.280

Cyclotron systems for positron emission tomography —
Part 1: Requirements for constructional radiation protection

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweisungen	2
3 Begriffe	3
4 Grenzwerte und Höchstwerte der EFFEKTIVEN DOSIS	3
5 Angaben des Herstellers und des Betreibers	4
5.1 Angaben des Herstellers	4
5.2 Angaben des Betreibers	4
6 Höchste zulässige ORTSDOSISLEISTUNG	4
7 Umgebende Ortsbereiche	5
8 Berechnung des baulichen Strahlenschutzes	5
8.1 Physikalische Grundlagen	5
8.1.1 Voraussetzungen	5
8.1.2 Von Neutronen herrührende Dosisleistung	5
8.2 Allgemeines Berechnungsschema	6
8.3 Zehntelwertdicken	10
9 Baulicher Strahlenschutz für Systeme mit primärer Abschirmung	10
9.1 Angaben des Herstellers	10
9.2 Angaben des Betreibers	10
9.3 Berechnungsschema des baulichen Strahlenschutzes	11
Anhang A (normativ) Diagramm 1: Dosisleistung je μA Strahlstrom in 1 m Abstand	18
Anhang B (informativ) Aufenthaltsfaktoren	19
Anhang C (informativ) Zusammenstellung der Gleichungen	20
Literaturhinweise	22
Stichwortverzeichnis	22

Fortsetzung Seite 2 bis 22

Normenausschuss Radiologie (NAR) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

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 erarbeitet.

In Übereinstimmung mit dem Verfahren in Publikationen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) wurden Benennungen von Begriffen in KAPITÄLCHEN gedruckt. Dadurch soll es dem Anwender der Norm erleichtert werden, ohne zusätzliche Querverweise Zusammenhänge mit anderen Begriffen zu erkennen und zu nutzen.

Die Reihe DIN 6871 besteht aus:

Teil 1: Zyklotron-Anlagen für die Positronen-Emissions-Tomographie – Teil 1: Anforderungen an den baulichen Strahlenschutz

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die Berechnung des baulichen Strahlenschutzes an ZYKLOTRONS für die Radionuklidproduktion für die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) bis zu einer Protonenenergie von 25 MeV bzw. einer Deuteronenenergie von 12,5 MeV. Für BESCHLEUNIGER mit Energien oberhalb dieser Grenze können noch weitere Maßnahmen erforderlich sein. Die Methode zur Berechnung von zusätzlichem baulichen Strahlenschutz für SELBSTABGESCHIRMTE ZYKLOTRONS wird in Abschnitt 9 dargestellt.

Die Norm gilt nur für Beschleunigeranlagen mit Tür und nicht für Anlagen mit Labyrinthzugang.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

DIN 25413-1:1991-07, *Klassifikation von Abschirmbetonen nach Elementanteilen — Abschirmung von Neutronenstrahlung*.

DIN 25413-2:1991-07, *Klassifikation von Abschirmbetonen nach Elementanteilen — Abschirmung von Gammastrahlung*.

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

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung — StrlSchV), Bgbl. Teil I, Nr. 38, vom 20. Juli 2001.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die in der Normenreihe DIN 6814, insbesondere DIN 6814-3, DIN 6814-5 und DIN 6814-8 angegebenen und die folgenden Begriffe.

3.1

ZYKLOTRON

TEILCHENBESCHLEUNIGER, bei dem geladene KORPUSKELN während der Beschleunigung durch ein zeitlich konstantes magnetisches Führungsfeld auf praktisch aneinander anschließenden Kreisbögen mit wachsender Radien gehalten werden; die KORPUSKELN werden durch ein hochfrequentes elektrisches Feld jeweils beim Übertritt von einem Kreisbogen in den nächsten beschleunigt [DIN 6814-8:2000-12]

ANMERKUNG Bei PET-Zyklotrons werden negative oder positive Ionen des Wasserstoffs oder Deuteriums beschleunigt.

3.2

Selbstabgeschirmtes ZYKLOTRON

ZYKLOTRON mit einer anlagebezogenen primären Abschirmung

3.3

BAUTECHNISCHE STRAHLENSCHUTZVORKEHRUNG

Teile eines Bauwerks oder daran angebrachte Vorrichtungen, durch die STRAHLENSCHUTZBEREICHE und SCHUTZZONEN abgegrenzt oder eingeeengt werden [DIN 6814-5:2001-03]

3.4

TARGET

Teil einer Röntgenröhre oder eines TEILCHENBESCHLEUNIGERS, auf den beschleunigte TEILCHEN zur Erzeugung IONISIERENDER STRAHLUNG oder anderer TEILCHEN gerichtet werden [DIN 6814-2:2000-07]

ANMERKUNG Bei PET-Zyklotrons ist das TARGET Ort der kernphysikalischen Reaktion. Das TARGET besteht hier aus dem Targetkörper und der Targetfüllung. Der Targetkörper ist das den hier gegebenen technischen Anforderungen gerecht werdende Behältnis für die Targetfüllung. Die Targetfüllung, die das Targetvolumen füllt, ist die Ausgangssubstanz für die Kernreaktionen zur Erzeugung der Zielsubstanzen. Die im evakuierten Beschleunigungsraum eines ZYKLOTRONS beschleunigten TEILCHEN werden durch die beschleunigungsraumseitige, mit einer dünnen Folie (Targetfolie) abgegrenzte Öffnung (Targetöffnung) in das Targetvolumen geführt. Das Verbindungselement zwischen Beschleunigungsraum („Beschleunigungs-Tank“) und Targeteinrichtung wird als „Beam-Line“ bezeichnet.

3.5

Strahlungsrichtung

Vorzugsrichtung des am TARGET erzeugten Strahlungsfeldes

3.6

Sandwichabschirmung

Abschirmvorrichtung aus Schichten unterschiedlicher Materialien

4 Grenzwerte und Höchstwerte der EFFEKTIVEN DOSIS

Nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) gelten unter anderem folgende Grenzwerte der EFFEKTIVEN DOSIS je Jahr:

- 20 mSv/a als Grenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen;
- 1 mSv/a als Grenzwert für Einzelpersonen der Bevölkerung.

5 Angaben des Herstellers und des Betreibers

5.1 Angaben des Herstellers

Der Hersteller des ZYKLOTRONS muss dem Errichter ausführliche technische Unterlagen zur Verfügung stellen, die mindestens nachfolgende Angaben enthalten:

- Abmessungen des ZYKLOTRONS;
- Lage der TARGETS;
- beschleunigte Teilchenart und maximaler Strom auf das TARGET;
- Möglichkeiten zur gleichzeitigen Bestrahlung von mehreren TARGETS.

5.2 Angaben des Betreibers

Der künftige Betreiber des ZYKLOTRONS muss dem Errichter oder der beauftragten Institution für die Planung des bautechnischen Strahlenschutzes ausführliche Unterlagen zur Verfügung stellen, in denen die für die Errichtung wesentlichen Angaben über den vorgesehenen Betrieb enthalten sind. Folgende Angaben sind mindestens erforderlich:

- Zeichnungen der zur Anlage gehörenden Gebäude, Räume und Außenanlagen und der benachbarten Gebäude, Räume und Verkehrsflächen, aus denen die für Strahlenschutzberechnungen benötigten Abstände entnommen werden können;
- Aufteilung der Räume und deren Benutzung;
- Arbeitsplätze und Aufenthaltsplätze von Personen innerhalb der Anlage; gegebenenfalls Angaben, in welchen Bereichen Beschränkungen der Aufenthaltsdauer eingehalten werden können;
- Angaben über die vorgesehene Ausdehnung von ÜBERWACHUNGS-, KONTROLL- und SPERRBEREICHEN;
- Art und Nutzung von Bereichen außerhalb des Beschleuniger-Raumes;
- Angaben über die beabsichtigten Betriebsweisen (verwendete TARGETS, Mehrfachbestrahlung usw.) und die dazugehörigen Einschaltzeiten; gegebenenfalls Angaben, für welche Betriebsweisen Betriebsbeschränkungen eingehalten werden können.

6 Höchste zulässige ORTSDOSISLEISTUNG

Die höchste zugelassene ORTSDOSISLEISTUNG hinter der Abschirmung wird als Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}_{\max}^*(10)$ ausgedrückt und errechnet sich aus den Jahresgrenzwerten (siehe Abschnitt 4) wie folgt:

$$\dot{H}_{\max}^*(10) = \frac{H_J}{t_S} \cdot \frac{1}{T} \quad (1)$$

Dabei ist

$\dot{H}_{\max}^*$ (10)	zulässige ORTSDOSISLEISTUNG (nach DIN 6814-3);
H_J	Jahresgrenzwert der EFFEKTIVEN DOSIS;
t_S	in einem Jahr zu erbringende Strahlzeit;
T	Aufenthaltsfaktor ¹⁾ .

7 Umgebende Ortsbereiche

Für die umgebenden Ortsbereiche sind für zusätzliche Abschirmungen besonders Mehrfacheinstrahlungen zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für Laborbereiche, in denen mit den produzierten Radionukliden umgegangen wird. Die aus Abschnitt 8 folgende ORTSDOSISLEISTUNG hinter der Abschirmung muss mit entsprechenden Geometriefaktoren berücksichtigt werden.

8 Berechnung des baulichen Strahlenschutzes

8.1 Physikalische Grundlagen

8.1.1 Voraussetzungen

Für die Ausführungen zur Abschreibungsberechnung für ein ZYKLOTRON sind folgende Voraussetzungen zu beachten:

Bei den typischen Kernreaktionen zur Erzeugung von PET-Nukliden (z. B. (p,n); (d,n)) entstehen Neutronen mit einer Gauß'schen Energieverteilung wie auch begleitende GAMMASTRAHLUNG. In der Regel ist bei ausreichender Abschirmung mit wasserstoffreichen Materialien gegen Neutronenstrahlung auch ein ausreichender Schutz gegen GAMMASTRAHLUNG gewährleistet. Dies gilt aber nicht für SANDWICH-ABSCHIRMUNGEN oder teilabgeschirmte Systeme (siehe Abschnitt 9), bei denen explizit mit der Neutronenstrahlung und daneben mit der GAMMASTRAHLUNG gerechnet werden muss.

8.1.2 Von Neutronen herrührende Dosisleistung

Ausgangspunkt zur Berechnung des Neutronenflusses und der damit verbundenen primären Dosisleistung für einen Teilchenstrom von $1 \mu\text{A}$ in Abhängigkeit von der Endenergie (in MeV) der Protonen (E_p) bzw. Deuteronen (E_d) sind folgende empirisch ermittelte Formeln ($E_p = E_d = E$):

Zahl der Neutronen (φ), die durch einen Teilchenstrom von $I_0 = 1 \mu\text{A}$ in den Raumwinkel 4π emittiert werden (Anwendung dieser Zahlenwertgleichung siehe Beispiel in 8.2).

$$\varphi = 4,8 \cdot 10^{11} E^{0,63} (1 - e^{-3,6(0,001E)^{1,6}}) \quad (2)$$

Die Dosisleistung für einen Teilchenstrom von $I_0 = 1 \mu\text{A}$ in 1 m Referenzabstand [$\text{Sv}/(\text{h} \cdot \mu\text{A})$] führt zu

$$\frac{\dot{H}}{I_0} = 5,5 \cdot E^{0,63} (1 - e^{-5,7 \cdot 10^{-5} \cdot E^{1,6}}) \quad (3)$$

(siehe Anhang A, Diagramm 1).

1) Aufenthaltsfaktoren: siehe Anhang B

Um auf die entsprechende Ausgangsdosisleistung zu kommen, muss mit dem Strahlstrom (Teilchenstrom) I multipliziert werden.

$$\dot{H}_0 = \frac{\dot{H}}{I_0} \cdot I \quad (4)$$

Die Formeln gelten für den Bereich in Verlängerung des Teilchenstrahls. Dies ist der Bereich maximaler Dosisleistung. Im Sinne einer konservativen Berechnung werden sie im Folgenden für alle Richtungen verwendet.

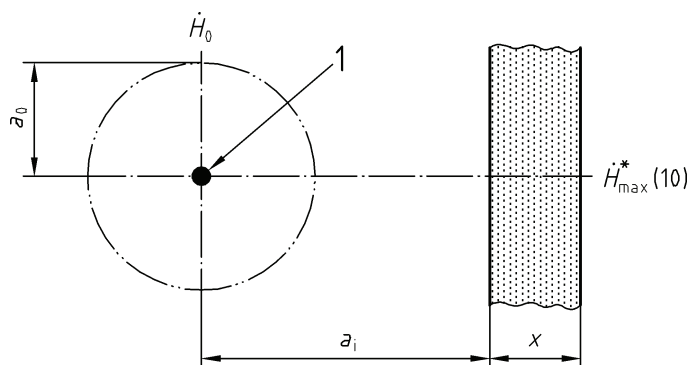
8.2 Allgemeines Berechnungsschema

Die Berechnung der Abschirmdicke erfolgt nach der Formel

$$\dot{H}_{\max}^*(10) = \dot{H}_0 \cdot 10^{-\frac{x}{ZWD}} \cdot \left(\frac{a_0}{a_i + x} \right)^2 \quad (5)$$

Dabei ist

- $\dot{H}_{\max}^*(10)$ höchste zugelassene ORTSDOSISLEISTUNG (siehe Abschnitt 6);
- $\dot{H}_0$ Bezugsdosisleistung der Neutronen, gemessen im Bezugsabstand a_0 ;
- x gesuchte Abschirmdicke;
- a_i Abstand vom TARGET bis zur Innenseite des zu schützenden Platzes;
- a_0 Bezugsabstand für die Festlegung der Bezugsdosisleistung $\dot{H}_0$;
- ZWD Zehntelwertdicke des Abschirmmaterials (siehe Tabelle 1).



Legende

- 1 Quellpunkt (TARGET)

Bild 1 — Skizze zur Darstellung der geometrischen Verhältnisse

Damit ohne Anwendung von iterativen Rechenalgorithmen die Größe x berechenbar ist, wird die Größe $a_a = a_i + x$ eingeführt (siehe Bild 1). Die Größe a_a ist damit der Abstand vom Quellpunkt (TARGET) bis zur Außenseite der zu berechnenden Abschirmung und verändert sich bei festgelegtem Abstand a_i mit der Änderung der in den Berechnungsschritten ermittelten Zwischengröße der Abschirmdicke x_n .

Demgemäß erhält man mit

$$a_{a_n} = a_i + x_n \quad (5a)$$

$$\dot{H}_{\max}^*(10) = \dot{H}_0 \cdot 10^{-\frac{x}{ZWD}} \cdot \left(\frac{a_0}{a_{a_n}} \right)^2 \quad (5b)$$

Die Dicke x für die erforderliche Abschirmung wird somit zu

$$x_n = ZWD \cdot \lg \left(\frac{\dot{H}_0}{\dot{H}_{\max}^*(10)} \cdot \frac{a_0^2}{a_{a_n}^2} \right), \quad (6)$$

worin die Indizes n die fortlaufende Zuordnung zu den Annäherungsrechnungsschritten kennzeichnen.

Führt die Berechnung nach Gleichung (6) zu einem Ergebnis, aus dem ableitbar wird, dass der Innenraum mit der Dimensionierung $a_i = a_a - x$ zu klein wird, muss ein erneuter Rechengang zur Bestimmung der Abschirmdicke x mit einem vergrößerten (angepassten) a_a -Wert durchgeführt werden.

Optimale Ergebnisse sind nur über ein iteratives Rechenverfahren nach Gleichung (5) durchführbar. Eine Plausibilitätskontrolle zu den Ergebniswerten klärt, inwieweit die Berechnungsergebnisse mit den Eingangsdaten zu den Raumverhältnissen in Einklang gebracht werden können. Durch die Verwendung von Abschirmmaterialien mit stärkerer Abschirmwirkung lässt sich der Raumbedarf minimieren.

BEISPIEL Bestimmt wird die Abschirmdicke einer Wand für eine Einrichtung mit folgenden Betriebsparametern:

Protonenenergie: $E_p = E = 16 \text{ MeV}$;

Strahlstrom: $I = 30 \text{ } \mu\text{A}$;

Strahlzeit: $t_s = 2000 \text{ h/a}$;

Aufenthaltsfaktor: $T = 1$;

ORTSDOSISLEISTUNG am zu schützenden Ort: (Beispiel: öffentlicher Bereich mit dem Jahresgrenzwert für Einzelpersonen der Bevölkerung $H_J = 1 \text{ mSv}$):

$$\begin{aligned} \dot{H}_{\max}^*(10) &= \frac{H_J}{t_s} \cdot \frac{1}{T} \\ &= 1 \text{ mSv} \cdot \frac{1}{2000 \text{ h}} \cdot \frac{1}{1} \\ &= 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ mSv/h} \end{aligned}$$

Abstand zwischen TARGET und Innenseite der Abschirmung zu dem zu schützenden Bereich: $a_i = 1,5 \text{ m}$;

Ansatz für den Abstand zwischen TARGET und Außenseite der Abschirmung: $a_{a_1} = 2,0 \text{ m}$;

Baustoff für die Abschirmmaßnahme: Normalbeton der Dichte $2,23 \text{ g/cm}^3$;

ZWD Zehntelwertdicke in m für Normalbeton der Dichte $2,23 \text{ g/cm}^3$: $ZWD = 0,434 \text{ m}$ (Tabelle 1).