

DIN 6875-20

ICS 11.040.50; 13.280

Ersatz für
PAS 1078:2008-01**Spezielle Bestrahlungseinrichtungen –
Teil 20: Protonentherapie –
Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes**

Special radiotherapy equipments –
Part 20: Proton therapy –
Rules for construction of structural radiation protection

Installations d'irradiation spéciales –
Partie 20: Protonthérapie –
Règles pour la conception structurelle de la radioprotection

Gesamtumfang 25 Seiten

DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR)

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Abkürzungen	6
5 Höchstwerte für die Dosis hinter Abschirmungen	7
6 Anforderungen an die Räume	7
7 Angaben des Herstellers und des Strahlenschutzverantwortlichen	8
7.1 Angaben des Herstellers	8
7.2 Angaben des Strahlenschutzverantwortlichen	8
8 Betriebsdaten	9
8.1 Strahlungsenergie	9
8.2 Protonenstromstärke	9
8.3 Bemessungszeitspanne	9
8.4 Richtungsfaktor	10
8.5 Aufenthaltsfaktor	10
9 Höchste zugelassene Ortsdosis	10
10 Bemessung des baulichen Strahlenschutzes	11
10.1 Physikalische Grundlagen	11
10.1.1 Voraussetzungen	11
10.1.2 Quellterme für Neutronen	11
10.2 Allgemeines Berechnungsschema	13
10.3 Transmission von Neutronen durch Wanddurchführungen	14
10.3.1 Allgemeines	14
10.3.2 Bewertung von Wanddurchführungen	15
10.4 Labyrinthberechnungen	16
11 Bauliche Strahlenschutzvorkehrungen gegen radioaktive Stoffe, die durch Neutronen induziert werden	17
Anhang A (informativ) Berechnungsbeispiel	18
Anhang B (informativ) Beispiel für die Bewertung von Wanddurchführungen	21
Anhang C (informativ) Beispiel für eine Labyrinthberechnung	22
Literaturhinweise	23
Stichwortverzeichnis	24

Bilder

Bild 1 — Darstellung einer exemplarischen Durchführungsgeometrie	15
Bild 2 — Beispiel eines Labyrinthzugangs mit 3 Schenkeln ($n = 3$).....	16
Bild A.1 — Beispielgeometrie	19

Tabellen

Tabelle 1 — Zehntelwertdicken verschiedener Abschirmmaterialien bei exemplarischen Dichten.....	14
Tabelle B.1 — Beispielwerte für den nach Gleichung (8) berechneten Transmissionsgrad $T_{G_{rech}}$.....	21

Vorwort

Diese Norm wurde vom DIN - Normenausschuss Radiologie (NAR) 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.

Strahlentherapeutisch nutzbare Protonenenergien werden nach mehreren Vorbeschleunigungsstufen erst durch den Einsatz von Ringbeschleunigern (Zyklotron oder Synchrotron) erreicht. Bei solchen Energien führen die unvermeidbar auftretenden Strahlverluste in der Umgebung der Strahlverlustpunkte zu einer sehr durchdringungsfähigen Sekundärstrahlung (im Wesentlichen hochenergetische Neutronen), die mit einem verhältnismäßig hohen Aufwand an baulichen Maßnahmen (z. B. meterdicke Betonwände) abgeschirmt werden muss.

Die Auslegung dieser Abschirmungen ist, ausgehend von den physikalischen Grundlagen, auch für den Fachmann wegen des hohen zeitlichen und rechnerischen Aufwandes schwierig. Eine Norm, wie sie bereits für ELEKTRONENBESCHLEUNIGER und für PET-Zyklotrons vorliegt, ist dabei für die im STRAHLENSCHUTZ auf diesem Gebiet Tätigen, Projektanten als auch Aufsichtsbehörden, von großem Nutzen.

Die Festlegung von Regeln für eine einheitliche rechnerische Ermittlung der Abschirmdicken für verschiedene bautechnisch verwendbare Materialien nach vorgegebenen Gleichungen, Tabellen und Diagrammen ist Inhalt dieser Norm.

In Übereinstimmung mit dem Verfahren in Publikationen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) sind Benennungen von Begriffen außer in Überschriften von Abschnitten und in den Benennungen der Begriffe in Abschnitt 3 „Begriffe“ in KAPITÄLCHEN gedruckt. Dadurch soll es dem Anwender der Norm erleichtert werden, die Zusammenhänge zwischen den Begriffen zu erkennen und zu nutzen. Ein Stichwortverzeichnis am Ende der Norm enthält alle verwendeten definierten Begriffe einschließlich Quellenangabe und englischer Übersetzung.

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

DIN 6875, *Spezielle Bestrahlungseinrichtungen*, besteht aus:

- *Teil 1: Perkutane stereotaktische Bestrahlung, Kennmerkmale und besondere Prüfmethoden*
- *Teil 2: Perkutane stereotaktische Bestrahlung — Konstanzprüfungen*
- *Teil 3: Fluenzmodulierte Strahlentherapie — Kennmerkmale, Prüfmethoden und Regeln für den klinischen Einsatz*
- *Teil 4: Fluenzmodulierte Strahlentherapie — Konstanzprüfungen*
- *Teil 20: Protonentherapie — Regeln für die Auslegung des baulichen Strahlenschutzes (z. Z. Entwurf)*

Änderungen

Gegenüber PAS 1078:2008-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Berücksichtigung schräger Strahlwege durch eine Abschirmschicht;
- b) redaktionelle Überarbeitung.

Frühere Ausgaben

PAS 1078: 2008-01

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die Errichtung von PROTONENBESCHLEUNIGER-ANLAGEN zur Anwendung von Protonenstrahlung mit Energien bis 300 MeV bei der medizinischen Strahlenbehandlung.

Die Norm legt Regeln für die rechnerische Ermittlung von Abschirmdicken bautechnisch verwendbarer Materialien fest.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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 25400, *Zeichen für ionisierende Strahlung*

Richtlinie zur Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 1. November 2011 (Richtlinie Strahlenschutz, GMBL 2011, S. 867), geändert durch Rundschreiben vom 11. Juli 2014 (GMBL 2014, S. 1020)¹⁾

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung — StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. Teil I S. 1714 ber. I 2002 S. 1459), zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010)¹⁾

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe im Stichwortverzeichnis sowie die folgenden Begriffe.

3.1

Protonenbeschleuniger

Teilchenbeschleuniger, mit dem Protonen auf für die Anwendung in der STRAHLENTHERAPIE benötigte Endenergien beschleunigt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: In der Praxis werden hierfür Ringbeschleuniger (Zyklotron oder Synchrotron) eingesetzt.

3.2

Protonenbeschleuniger-Anlage

Gesamtheit aus Vorbeschleunigern, PROTONENBESCHLEUNIGER, Strahlführungselementen, Installationen, Versorgungseinrichtungen und zugehörigen baulichen Mitteln

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu baulichen Mitteln zählen z. B. Strahlenschutzwände.

3.3

Transmissionsgrad

TG

<Teilchentherapie> Verhältnis aus der Dosisleistung des durch die Streuung geschwächten Neutronenfeldes und der Dosisleistung des ungeschwächten Neutronenfeldes

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

BEISPIEL Der TRANSMISSIONSGRAD TG nimmt den Wert 1 an, wenn keine Schwächung erzielt wird, und wird umso kleiner, je effektiver die Schwächung ausfällt. Zum Beispiel führt $TG = 0,1$ zu einer Schwächung, die einer ZEHNTEL-WERTDICKE entspricht.

Anmerkung 1 zum Begriff: Der TRANSMISSIONSGRAD TG wird zur Beurteilung der Auswirkung einer Verminderung der Abschirmwirkung im Bereich einer Durchführung oder eines STRAHLENSCHUTZLABYRINTHS und der daraus resultierenden lokalen Erhöhung der ORTSDOSISLEISTUNG am strahlabgewandten Ausgang der Durchführung eingeführt.

3.4

Protonenstromstärke

Anzahl der Protonen, die im Vakuum einen bestimmten Querschnitt in einer Zeiteinheit passieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit der PROTONENSTROMSTÄRKE ist der Kehrwert einer Sekunde (1/s).

Anmerkung 2 zum Begriff: $1 \mu\text{A PROTONENSTROMSTÄRKE} \equiv 6,25 \times 10^{12} \text{ Protonen/s}$.

4 Symbole und Abkürzungen

Abkürzung oder Symbol	Begriff oder Messgröße	Einheit
A	Querschnittsfläche der Durchführung	m^2
A_i	Querschnitt des i -ten Labyrinthschenkels	m^2
a_i	Abstand des zu schützenden Platzes von der Quelle	m
C	Konversionsfaktor zur Umrechnung der NEUTRONENFLUENZ in die ÄQUIVALENTDOSIS	pSv cm^2
BZ	Bemessungszeitspanne	h/a
D	Dicke der durch die Durchführung unterbrochenen Abschirmungswand	m
$\dot{H}_0$	ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG für Neutronen in 1 m Entfernung	Sv/h
$\dot{H}_G$	Höchstwerte für die ORTSDOSISLEISTUNG	Sv/h
$\dot{H}_i$	Dosisleistung des ungeschwächten Neutronenfeldes an der strahlzugewandten Eintrittsfläche der Wanddurchführung	mSv/h
$\dot{H}_a$	Dosisleistung des geschwächten Neutronenfeldes an der strahlabgewandten Austrittsfläche der Wanddurchführung	mSv/h
$\dot{H}_A$	Dosisleistung des ungeschwächten Neutronenfeldes an der strahlzugewandten Eintrittsfläche des STRAHLENSCHUTZLABYRINTHS	mSv/h
$\dot{H}_B$	Dosisleistung des geschwächten Neutronenfeldes an der strahlabgewandten Austrittsfläche des STRAHLENSCHUTZLABYRINTHS	mSv/h
$\dot{H}_{0,1}$	ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG in Richtung des Protonenstrahls ($\theta = 0^\circ$) in 1 m Entfernung vom TARGET nach dem Berechnungsbeispiel des Anhang A (siehe Bild A.1)	Sv/h
$\dot{H}_{0,3}$	ÄQUIVALENTDOSISLEISTUNG unter einem Emissionswinkel relativ zur Richtung des Protonenstrahls von $\theta = 90^\circ$ in 1 m Entfernung vom TARGET nach dem Berechnungsbeispiel des Anhang A (siehe Bild A.1)	Sv/h
E	Protonenenergie	MeV
$f(\theta)$	Winkelkorrekturterm	—
I_0	PROTONENSTROMSTÄRKE	(1/s)
L_i	Länge des i -ten Labyrinthschenkels	m
n	Zahl der Labyrinthschenkel	—
Q	Zahl der je Proton mit der Energie E erzeugten Neutronen	—

Abkürzung oder Symbol	Begriff oder Messgröße	Einheit
S	Neutronen-Streukoeffizient	—
s	Abschirmungsdicke	cm
T	AUFENTHALTSFAKTOR	—
TG	TRANSMISSIONSGRAD	—
TG _L	TRANSMISSIONSGRAD des STRAHLENSCHUTZLABYRINTHS	—
TG _W	TRANSMISSIONSGRAD einer geraden Wanddurchführung	—
U	RICHTUNGSFAKTOR	—
ZWD	ZEHNTELWERTDICKE	cm
α	Einfallwinkel zur Flächennormalen der Abschirmwand	° (Grad)
Φ	NEUTRONENFLUENZ in 1 m vom TARGET	1/m ²
θ	Emissionswinkel der Neutronen relativ zur Richtung des Protonenstrahls	° (Grad)

5 Höchstwerte für die Dosis hinter Abschirmungen

Ausgehend von den folgenden Festlegungen gelten alle übrigen Festlegungen dieser Norm. Höchstwerte für die Dosis an zu schützenden Orten hinter der Abschirmung sind abgeleitet von

- dem in der Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin angegebenen Richtwert der KÖRPERDOSIS für BERUFLICH STRAHLENEXPONIERTE PERSONEN an Bedieneinrichtungen von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen;
- den in der StrlSchV gesetzlich vorgeschriebenen, jeweils auf das Kalenderjahr bezogenen Werten für die KÖRPERDOSEN von Personen, zu deren Schutz die baulichen Strahlenschutzvorkehrungen dienen.

Daraus ergeben sich folgende Festlegungen für Aufenthaltsorte von Personen:

- a) In Bedienräumen von Beschleunigern wird für die Bemessung des STRAHLENSCHUTZES der Höchstwert für die EFFEKTIVE DOSIS durch die zuständige Behörde festgelegt.
ANMERKUNG Dabei orientiert sich die Behörde in der Regel an den Empfehlungen der Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin [13].
- b) An anderen Aufenthaltsorten von BERUFLICH STRAHLENEXPONIERTE PERSONEN außerhalb des KONTROLLBEREICHES darf für die Bemessung des STRAHLENSCHUTZES eine EFFEKTIVE DOSIS von 6 mSv im Jahr zugrunde gelegt werden.
- c) 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 einer PROTONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE macht es erforderlich, dass STRAHLENSCHUTZBEREICHE eingerichtet werden, in denen der Aufenthalt von Personen möglich ist, ohne dass die Höchstwerte der EFFEKTIVEN DOSIS 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. Es sollten nur Aufenthalts- und Arbeitsplätze, die unmittelbar für den Betrieb der PROTONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE 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 die Errichtung einer PROTONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE ist vorauszusetzen, dass sich während des Strahlbetriebs im BESTRAHLUNGSRAUM nur der PATIENT und im übrigen SPERRBEREICH niemand aufhalten darf. Das Verlassen dieser Räume muss jederzeit möglich sein.
- c) Der Zugang zum BESTRAHLUNGSRAUM muss mit einer Vorrichtung versehen sein, die durch Öffnen eines Kontaktes im Sicherheitsstromkreis die STRAHLUNG abschaltet, wenn jemand den BESTRAHLUNGSRAUM während der Einschaltzeit betritt. Das Gleiche gilt für den übrigen SPERRBEREICH, sofern er während der Einschaltzeit betretbar ist.
- d) 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 Einsatzbereitschaft der PROTONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE blockiert werden kann.
- e) In jedem zugänglichen Raum des SPERRBEREICHs muss deutlich erkennbar sein, ob die PROTONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE einsatzbereit ist. Ein Warnsignal, das die Einsatzbereitschaft der PROTONENBESCHLEUNIGER-ANLAGE erkennen lässt, muss von allen Aufenthaltsplätzen im SPERRBEREICH wahrnehmbar sein.
- f) An allen Zugängen zum SPERRBEREICH muss deutlich erkennbar sein, ob die STRAHLUNG eingeschaltet ist.
- g) Der KONTROLLBEREICH muss an den Zugängen durch ein Warnzeichen für ionisierende STRAHLUNG nach DIN 25400 gekennzeichnet sein. Zum KONTROLLBEREICH gehört auch der SPERRBEREICH.
- h) Der Bestrahlungsplatz muss vom Bedienungsplatz aus beobachtet werden können. Zwischen beiden Plätzen muss eine Sprechverbindung vorhanden sein. Auch bei abgeschalteter Sprechverbindung muss der PATIENT das Bedienungspersonal auf sich aufmerksam machen können.

7 Angaben des Herstellers und des Strahlenschutzverantwortlichen

7.1 Angaben des Herstellers

Der HERSTELLER der Anlage muss dem Errichter mindestens die folgenden anlagen-technischen Informationen zur Verfügung stellen:

- a) höchste Protonenenergie und Variationsbreite der Protonenenergie;
- b) höchste PROTONENSTROMSTÄRKE und Variationsbreite der PROTONENSTROMSTÄRKE;
- c) höchster zeitlicher Mittelwert der PROTONENSTROMSTÄRKE;
- d) Angaben über Höhe und mögliche Positionen maximal zu erwartender Strahlverluste, die bei der Bereitstellung des Protonenstrahls im Behandlungsraum im Bereich der Ionenquellen, des PROTONENBESCHLEUNIGERS und des Strahltransportsystems auftreten können.

7.2 Angaben des Strahlenschutzverantwortlichen

Der Betreiber der Protonentherapie-Anlage muss dem Errichter ausführliche Unterlagen zur Verfügung stellen, in denen die für die Errichtung wesentlichen Angaben über den vorgesehenen Betrieb enthalten sind.

Mindestens sind folgende Angaben erforderlich: