

	DIN IEC 63175 (VDE 0412-40)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 27.120.01

Einsprüche bis 2019-08-07

Entwurf

**Nukleare Instrumentierung –
Proton-Zyklotrone für hohe Intensität, feste Energie und einen
Energiebereich von 10 MeV bis 20 MeV
(IEC 45/867/CD:2019);
Text Deutsch und Englisch**

Nuclear instrumentation –
Fixed high intensity proton cyclotron within the energy range of 10 MeV to 20 MeV
(IEC 45/867/CD:2019);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-06-07 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 41 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Komponenten des Zyklotrons und Arbeitsbedingungen	7
4.1 Komponenten	7
4.2 Normale Arbeitsbedingungen	8
5 Technische Anforderungen	8
5.1 Erscheinungsbild und Warnzeichen	8
5.2 Betriebsparameter	8
5.3 Leistungsfähigkeit der Hauptsysteme	9
5.4 Elektrische Sicherheit	10
5.5 Strahlensicherheit.....	10
5.6 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).....	11
5.7 Betrieb	11
6 Prüfverfahren.....	11
6.1 Allgemeine Anforderungen	11
6.2 Kontrolle des Erscheinungsbilds und der Warnzeichen.....	12
6.3 Prüfung der Leistungsfähigkeit.....	12
6.4 Prüfung der Leistungsfähigkeit der Hauptkomponenten	14
6.5 Elektrische Sicherheit	16
6.6 Strahlenschutz.....	17
6.7 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).....	17
6.8 Prüfung des Betriebs	17
7 Regeln der Überprüfung	17
7.1 Zusammenfassung	17
7.2 Objekte der Überprüfung	18
7.3 Kriterien	20
8 Beschriftung, Verpackung, Transport, Lagerung und zugehörige Dokumente	20
8.1 Beschriftung.....	20
8.2 Verpackung	20
8.3 Transport	20
8.4 Lagerung	20

8.5	Beigefügte Dokumente.....	21
Anhang A (informativ)	Messung des Qualitätsfaktors durch den Hersteller	22
Anhang B (informativ)	Vermessung des Magnetfelds	23

Bilder

Bild 1 – Schema zur Bestimmung des einhüllenden Strahldurchmessers.....	13
Bild 2 – Schema des Prüfergebnisses bei der Messung des einhüllenden Strahldurchmessers	13
Bild A.1 – Anschluss des Hohlraumresonators an einen Netzwerkanalysator	22
Bild B.1 – Verteilung der Messpunkte in der zentralen Ebene des Zyklotrons	24

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 45/867/CD:2019 „Nuclear instrumentation – Fixed high intensity proton cyclotron within the energy range of 10 MeV to 20 MeV“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 45 „Nuclear instrumentation“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 967 „Mess-, Steuer- und Regelungstechnik im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

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

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Die Deutsche Fassung wurde in den [Abschnitten 2](#) und [3](#) an die aktuellen Standardtexte angepasst.

Einleitung

Proton-Zyklotrone werden benutzt, um negative Wasserstoff-Ionen zu beschleunigen und radioaktive Isotope herzustellen. Sie werden charakterisiert durch ihre kompakte Struktur, kontinuierlichen Strahl, hohe Intensität, geringen Energieverbrauch und geringe Kosten. Diese Zyklotrone haben ein breites Anwenderspektrum bei der Messung kernphysikalischer Konstanten, bei Studien der Strahlenhärte, bei Messungen, die als Beschleuniger bestimmte gut definierte Energiesysteme nutzen und bei der Isotopenherstellung.

Diese Internationale Norm spezifiziert die technischen Anforderungen und Prüfverfahren für Proton-Zyklotrone mit Energien im Bereich 10 MeV bis 20 MeV.

Die [Anhänge A](#) und [B](#) dieser Internationalen Norm haben informativen Charakter.

Nukleare Instrumentierung – Proton-Zyklotrone für hohe Intensität, feste Energie und einen Energiebereich von 10 MeV bis 20 MeV

1 Anwendungsbereich

Diese Norm spezifiziert die Struktur, technischen Anforderungen, Prüfverfahren, Prüfkriterien sowie die Bezeichnungen, Verpackung, Transport, Lagerung und die beizustellende Dokumentation für Proton-Zyklotrone im Energiebereich von 10 MeV bis 20 MeV.

Diese Internationale Norm ist anwendbar auf Proton-Zyklotrone, die negative Wasserstoff-Ionen auf Energien von 10 MeV bis 20 MeV beschleunigen und eine Strahlintensität von größer oder gleich 300 μA erzeugen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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).

ISO 780:2015, *Packaging – Distribution packaging – Graphical symbols for handling and storage of packages*

ISO/IEC Guide 37:2012, *Instructions for use of products by consumers*

IEC 60410:1973, *Sampling plans and procedures for inspection by attributes*

IEC 61000-4-4, *Electromagnetic compatibility(EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test*

IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility(EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

IEC 61010-1:2010, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements*

IAEA General Safety Requirements Part 3: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: international Basic Safety Standards (BSS)

IEC 62598:2011, *Nuclear instrumentation – Constructional requirements and classification of radiometric gauges*

IEC 60536-2-1992, *Classification of electrical and electronic equipment with regard to protection against electric shock – Part 2: Guidelines to requirements for protection against electric shock*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

– IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

– ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Zyklotron

(en: cyclotron)

System, das ein zeitlich konstantes magnetisches Feld nutzt, um geladene Teilchen auf einer Spiralbahn zu bewegen, wobei diese durch hochfrequente elektrische Felder konstanter Frequenz beschleunigt werden

3.2

Strahlenergie

(en: beam energy)

kinetische Energie eines geladenen Teilchens in einem Strahl eines Zyklotrons

3.3

Strahlintensität

(en: beam intensity)

gesamte Ladung geladener Teilchen, die je Zeiteinheit durch die Querschnittsfläche fliegen

3.4

umfassende Strahleffizienz

(en: beam comprehensive efficiency)

Verhältnis der erzeugten Strahlintensität am Ende des Zyklotrons zur Strahlintensität der Ionenquelle

3.5

Phasenverschiebung

(en: phase slip)

Differenz zwischen der Phase der Bewegung der geladenen Teilchen im Zyklotron und der Phase der Hochfrequenz am kreuzenden Spalt. Die mathematische Definition der Phasenverschiebung ist in [Gleichung \(B.2\)](#) angegeben.

3.6

inhärenter Qualitätsfaktor

(en: intrinsic quality factor)

der inhärente Qualitätsfaktor wird definiert für den (komplett) unabhängigen Resonator, wenn dieser mit keiner Last verbunden ist und ohne jegliche Last betrieben wird. Wenn der Resonator sich in einem stabilen resonanten Zustand befindet, ist der inhärente Qualitätsfaktor Q_0 definiert als:

$$Q_0 = 2 \pi \frac{\text{Gesamte im Resonator gespeicherte Energie}}{\text{Energieverlust des Resonators je Periode}}$$

Die aktuellen Mess- und Rechenverfahrenen sind in [Anhang A](#) dargestellt.

4 Komponenten des Zyklotrons und Arbeitsbedingungen

4.1 Komponenten

Im Allgemeinen besteht ein Zyklotron aus folgenden Komponenten:

- Ionenquelle und Einführungssystem;
- Magnetsystem;
- Hochfrequenzsystem;
- Vakuumsystem;
- Strahl-Ausfädelsystem;
- Stromversorgung;
- Kontrollsystem;
- Strahlendosisüberwachung und Sicherheitssystem mit Interlock
- Strahlbeobachtungssystem;

- j) Wasserkühlung und pneumatisches System;
- k) Strahlenschutzsystem.

4.2 Normale Arbeitsbedingungen

4.2.1 Halle des Zyklotrons

Die Umgebungsbedingungen in der Halle des Zyklotrons müssen folgende Grenzwerte einhalten:

- a) Umgebungstemperatur: +10 °C bis +30 °C;
- b) relative Luftfeuchte: $\leq 60 \%$;
- c) Druckdifferenz zwischen innerhalb der Halle und dem Außendruck: Bereitstellung eines Unterdrucks von -20 Pa bis -30 Pa.

4.2.2 Stromversorgung und Kontrollraum

Die Anforderungen an die Stromversorgung des Zyklotrons und den Kontrollraum sind wie folgt:

- a) Stromversorgung: Dreiphasen-Drehstromsystem mit Fünfdraht-Verkabelung oder Dreiphasen-Drehstromsystem mit Vierdraht-Verkabelung: Spannung: 400 V $\pm$ 40 V, Frequenz: 50/60 Hz $\pm$ 1 Hz;
- b) Kontrollraum: Die Umgebungstemperatur ist +18 °C bis +22 °C mit einer relativen Luftfeuchte kleiner als 60 %.

4.2.3 Druckluft

Das Zyklotron benutzt gefilterte komprimierte Luft mit einem Überdruck von 0,5 MPa bis 0,7 MPa.

4.2.4 Stickstoff

Das Zyklotron benutzt industriellen Stickstoff mit einem Überdruck von 0,05 MPa bis 0,1 MPa.

4.2.5 Schutz vor Blitzschlag und elektrischem Schlag

Schutz vor Blitzschlag und elektrischem Schlag muss entsprechend angemessener Regeln installiert werden.

5 Technische Anforderungen

5.1 Erscheinungsbild und Warnzeichen

5.1.1 Erscheinungsbild

Die Oberfläche des Zyklotrons sollte glatt sein und ohne sichtbare Kratzer. Der Aufbau der Ausrüstung sollte vorteilhaft für die Wartung durch den Nutzer, die Bedienung, die Fehlerbeseitigung, das Austesten und das Protokollieren sein.

5.1.2 Warnzeichen

Die Warnzeichen müssen angebrachten Regelungen entsprechen.

5.2 Betriebsparameter

Zyklotrone für hohe Intensitäten beschleunigen negative Wasserstoff-Ionen und Protonen in zwei gegensätzliche Richtungen. Die Qualität des Protonstrahls muss folgende Qualitätskriterien erfüllen:

- a) Strahlenergie: Die Energie, die in der technischen Dokumentation des Produkts angegeben wird, darf eine Unsicherheit von $\pm 5 \%$ aufweisen;

- b) Strahlintensität: größer oder gleich 300 μA ;
- c) Strahldurchmesser: kleiner oder gleich 8 mm;
- d) Effizienz der Strahlerzeugung: größer oder gleich 8 %.

5.3 Leistungsfähigkeit der Hauptsysteme

5.3.1 Ionenquelle

Für externe Ionenquellen muss eine Strahlintensität negativer Wasserstoff-Ionen von größer oder gleich 2 mA erreicht werden. Für interne Ionenquellen muss eine Strahlintensität negativer Wasserstoff-Ionen von größer oder gleich 300 μA erreicht werden.

5.3.2 Hochfrequenzsystem

Unter den Bedingungen einer festen Arbeitsfrequenz muss das Hochfrequenzsystem folgende Stabilität erreichen:

- a) die relative Instabilität der Frequenz muss kleiner oder gleich 1×10^{-6} sein;
- b) die relative Instabilität der Spannung zwischen den D-förmigen Platten muss kleiner oder gleich 1×10^{-3} sein.

5.3.3 Vakuumsystem

Das statische und das dynamische Vakuum muss in der Hauptvakuumkammer einen Wert erreichen, der besser ist als 3×10^{-4} Pa bzw. 8×10^{-4} Pa.

Wenn das Vakuumsystem neu gestartet wird nachdem die Hauptvakuumkammer mit trockenem Stickstoff befüllt wurde, müssen die oben angegebenen Werte innerhalb von 2 h erreicht werden.

5.3.4 Kontrollsystem

Die Basisfunktionen des Kontrollsystems müssen folgendes beinhalten:

- a) Anfahren und Herunterfahren des Zyklotrons mit automatisierten Programmen;
- b) Setzen, Einstellen und Anzeigen der wichtigsten Parameter der Bedienung des Zyklotrons;
- c) Anzeige des Betriebs- und des Alarmzustands des Zyklotrons sowie möglicher Fehlermeldungen.

5.3.5 Strahlendosisüberwachung und Sicherheitssystem mit Interlock

Das Sicherheitsinterlock für die Strahlendosisüberwachung sollte entsprechend den Bedingungen des Aufstellorts aufgebaut werden und weitgehend unabhängig vom Kontrollsystem sein.

Das Konzept des Sicherheitsinterlocks für die Strahlendosisüberwachung muss die Personensicherheit der Belegschaft sicherstellen. Wenn Personen in der Halle des Zyklotrons sind, darf das Zyklotron nicht einschaltbar sein. Niemandem darf es möglich sein, in die Halle des Zyklotrons zu gehen, wenn das Zyklotron in Betrieb ist. Das Sicherheitsinterlock für die Strahlendosis muss folgende Funktionen aufweisen:

- a) Interlock mit der Position der Schutztür: Wenn die Schutztür geöffnet ist, kann das Zyklotron keinen Strahl erzeugen;
- b) Interlock mit der Feldüberwachung der Strahlendosis: Das System muss die Strahlendosis (inklusive der prompten Gammastrahlung und Neutronen) in der Halle des Zyklotrons überwachen. Es muss alarmieren oder die Strahlbereitstellung unterbrechen, wenn die Strahlendosis eine eingestellte Schwelle überschreitet;
- c) Interlock mit Anzeigen und Warngeräten: Das System muss die Strahlendosis der verbliebenen Gammastrahlung in der Halle des Zyklotrons messen. Wenn diese eine eingestellte Schwelle überschreitet, müssen eine Signalanzeige und ein Summer ausgelöst werden. Es muss ein akustischer Alarm und ein optischer Lichtalarm ausgesandt werden;

- d) Interlock mit einem Not-Aus-Knopf: Wenn der Not-Aus-Knopf gedrückt wird, muss das Zyklotron die Strahlbereitstellung sofort unterbrechen;
- e) Interlock mit einer Anzeige der Betriebsbereitschaft: Wenn das Zyklotron in Betrieb ist, sollte eine optische Signalanzeige außerhalb der Zugangstür zum abgeschirmten Bereich eingeschaltet sein und hell und klar „Das Zyklotron ist in Betrieb“ anzeigen;
- f) Interlock mit Freigabeknöpfen: In der Halle des Zyklotrons und im Raum mit dem zu bestrahlenden Ziel sollten Freigabeknöpfe abgebracht sein, und der Betrieb des Zyklotrons darf erst beginnen, wenn diese Freigabeknöpfe zuvor nacheinander gedrückt wurden.

5.3.6 Wasserkühlung

Das System zur Wasserkühlung muss folgende Bedingungen erfüllen:

- a) Wasserqualität : Deionisiertes Wasser mit einer Leitfähigkeit von $1 \mu\text{S/cm}$ bis $5 \mu\text{S/cm}$;
- b) Wassertemperatur: $+25^\circ\text{C}$ bis $+30^\circ\text{C}$. Die langzeitige Temperaturschwankung muss geringer als 1°C sein;
- c) Wasserdruck: $0,4 \text{ MPa}$ bis $0,6 \text{ MPa}$;
- d) Wasserfluss: $5 \text{ m}^3/\text{h}$ bis $8 \text{ m}^3/\text{h}$.

5.3.7 Effizienz der Strahlausfädelung

Die Effizienz bei der Strahlausfädelung sollte besser oder gleich 95 % sein.

5.4 Elektrische Sicherheit

5.4.1 Schutzerdung

Nach IEC 60536-2-1992 oder vergleichbaren Normen wird das Zyklotron als Class-I-Ausrüstung eingestuft. Dieses erfordert Schutz gegen elektrischen Schlag, wozu das Zyklotron mit Schutzerdung ausgerüstet sein sollte. Der elektrische Widerstand zwischen berührbaren Metalloberflächen des Zyklotrons und den Erdungsanschlüssen darf nicht größer als $0,1 \Omega$ sein.

5.4.2 Isolationswiderstand

Der Isolationswiderstand zwischen allen Leitern (Phasen und Neutraleiter eingeschlossen) und Erde jedes unabhängigen elektrischen Teils der Ausrüstung sollte nicht kleiner als $1 \text{ M}\Omega$ sein, wenn die Prüfspannung (AC RMS oder DC Mittelwert) einen Wert von $1\,000 \text{ V}$ erreicht.

5.4.3 Durchschlagfestigkeit

Die elektrische Ausrüstung mit elektrischer Erdung sollte eine Prüfung der Durchschlagfestigkeit mit $2\,000 \text{ V}$ (AC RMS oder DC Mittelwert) aushalten, ohne dass ein Durchschlag oder wiederholtes Funken während des Prüfens auftritt.

5.4.4 Berührungsstrom

Unter normalen Betriebsbedingungen sollte der Ableitstrom zwischen berührbaren Teilen der elektrischen Ausrüstung und der Referenzerde nicht größer als $0,5 \text{ mA}$ sein.

5.5 Strahlensicherheit

Strahlendosisleistung und Oberflächenkontamination müssen die anzuwendenden Strahlenschutzrichtlinien erfüllen.

5.6 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

5.6.1 Störfestigkeit gegen Stoßspannungen

Die Prüfergebnisse sollten die Anforderungen nach IEC 61000-4-5 erfüllen.

5.6.2 Störfestigkeit gegen schnelle transiente elektrische Störgrößen/Burst

Die Prüfergebnisse sollten die Anforderungen nach IEC 61000-4-4 erfüllen.

5.7 Betrieb

5.7.1 Anfahren und Normalbetrieb

Nach einem kompletten Abschalten des Zyklotrons sollte die Zeit zwischen Beginn des Anfahrens und Normalbetrieb kleiner als 3 h sein. Wenn das Zyklotron unter normalen Vakuumbedingungen ist, sollte die Wiedereinschaltzeit bis zum Normalbetrieb kleiner als 30 min sein.

5.7.2 Dauerbetrieb

Die Dauer eines stabilen Dauerbetriebs des Zyklotrons sollte mindestens 8 h sein, wenn die Bedingungen der Strahlenergie von 10 MeV bis 20 MeV und die Strahlintensität von 300 mA ± 10 mA eingehalten werden.

6 Prüfverfahren

6.1 Allgemeine Anforderungen

6.1.1 Umgebungsbedingungen während der Prüfung

Die Prüfungen sollten unter den in Tabelle 1 angegebenen Bedingungen durchgeführt werden.

Tabelle 1 – Umgebungsbedingungen während der Prüfung

Nr.	Umgebungsparameter	Referenzwert	Bereich
1	Umgebungstemperatur	20 °C	10 °C bis 30 °C
2	Relative Luftfeuchte	55%	10 % bis 60%
3	Umgebender Luftdruck	101,3 kPa	86 bis 106 kPa
4	Spannung der Stromversorgung (AC)	400 V	400 V ± 40 V
5	Frequenz der Stromversorgung (AC)	50/60 Hz	50/60 Hz ± 1 Hz
6	Wellenform der Wechselstromversorgung	Sinusförmig	Gesamte Verzerrung der Wellenform 5 %
7	Umgebende Gammastrahlung	Dosisleistung in Luft: 0,1 µGy/h	Dosisleistung in kleiner als 0,25 µGy/h
8	Externe elektromagnetische Beeinflussung	Vernachlässigbar	Kleiner als der kleinste durch die Beeinflussung verursachte Wert
9	Externe magnetische Induktion	Vernachlässigbar	Die Hälfte des durch die Interferenz verursachten geomagnetischen Felds
10	Radioaktive Kontamination	Vernachlässigbar	Vernachlässigbar

6.1.2 Prüfausrüstung

Die für die Prüfung benutzten Messgeräte und Ausrüstung sollten mit qualifizierten, verpflichtend vorgeschriebenen Prüfstandards in effektiven Zeitintervallen überprüft werden. Die Genauigkeit der Messgeräte sollte die Anforderungen an die Genauigkeit der zu messenden Größen erfüllen.

6.2 Kontrolle des Erscheinungsbilds und der Warnzeichen

Das Erscheinungsbild und die Warnzeichen des Zyklotrons müssen visuell kontrolliert werden, um zu überprüfen, ob die Anforderungen von 5.1 erfüllt sind.

6.3 Prüfung der Leistungsfähigkeit

6.3.1 Nominelle Strahlenergie

Ein Magnetfeldmessgerät wird benutzt, um das Magnetfeld in dem Radius zu messen, bei dem der Strahl ausgefädelt wird. Die nominelle Strahlenergie wird mit Gleichung (1) berechnet.

$$E = 48(B r)^2 \quad (1)$$

Dabei ist:

E die nominelle Strahlenergie, in MeV;

B die Stärke des Magnetfelds, in Tesla (T), und zum Messverfahren siehe [Anhang B](#);

r der Ausfädelradius des Strahls, in m.

Das Rechenergebnis sollte den Anforderungen in 5.2 a) entsprechen.

6.3.2 Strahlintensität

Die Strahlintensität muss mit geeignetem Messgerät gemessen werden, z. B. mittels Ionisationskammer, und die Ergebnisse müssen den Anforderungen in 5.2 b) entsprechen.

6.3.3 Einhüllender Strahldurchmesser

Der Strahlquerschnitt wird mit geeignetem Messgerät am Austritt erfasst, z. B. mit einem Gerät, das mit einem Draht den Strahl abfährt, wie in [Bild 1](#) gezeigt. Der maximale Strahl-induzierte Strom $I_{\max}$ kann ermittelt werden. Der Abstand zwischen den beiden Positionen mit einem Strom von $0,1 I_{\max}$, die am Rand des Strahlquerschnitts liegen, definiert den einhüllenden Strahldurchmesser, wie in [Bild 2](#) gezeigt. Die Messergebnisse sollten den Anforderungen in 5.2 c) entsprechen.

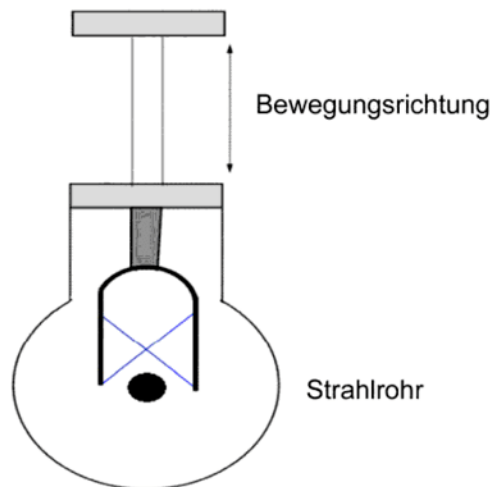


Bild 1 – Schema zur Bestimmung des einhüllenden Strahldurchmessers

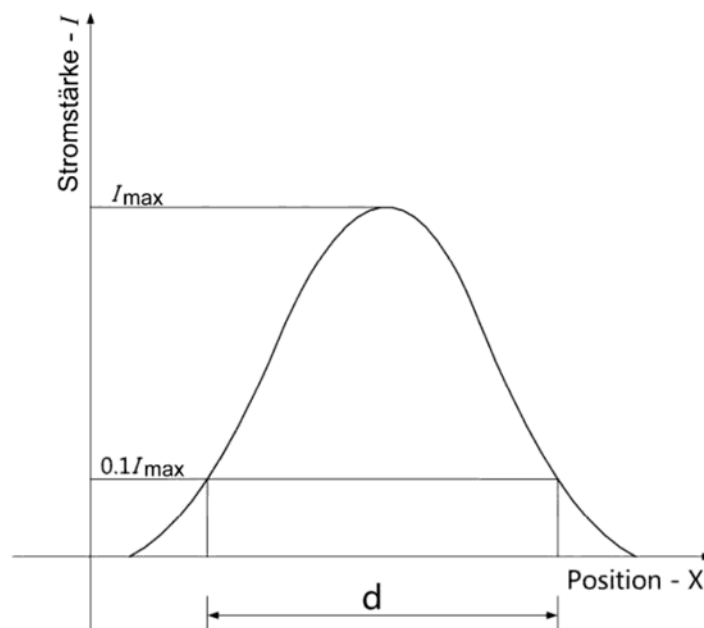


Bild 2 – Schema des Prüfergebnisses bei der Messung des einhüllenden Strahldurchmessers

6.3.4 Umfassende Strahleffizienz

Die umfassende Strahleffizienz η_t ist definiert als das Verhältnis der ausgefädelten Strahlintensität I_3 zur Strahlintensität der Ionenquelle I_1 , welche mit Strommessgerät (μA) und Faraday-Becher gemessen wird. Die Strahleffizienz wird nach Gleichung (2) berechnet.

$$\eta_t = I_3 / I_1 \times 100 \% \quad (2)$$

Dabei ist:

η_t die umfassende Strahleffizienz

I_1 die Strahlintensität an der Ionenquelle, in μA ;

I_3 die Strahlintensität am Austrittsfenster des Zyklotrons, in μA .