

DIN 54113-3

ICS 13.280; 19.100

Ersatz für
DIN 54113-3:1995-11

**Zerstörungsfreie Prüfung –
Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung von
Röntgeneinrichtungen bis 1 MV –
Teil 3: Formeln und Diagramme für Strahlenschutzberechnungen für
Röntgeneinrichtungen bis zu einer Röhrenspannung von 450 kV**

Non-destructive testing –

Radiation protection rules for the technical application of X-ray equipment up to 1 MV –
Part 3: Formulas and diagrams for the calculation of radiation protection for X-ray
equipment up to 450 kV

Essais non destructifs –

Règles de protection contre les rayonnements des installations radiographiques jusqu'à
1 MV –

Partie 3: Formules et diagrammes pour le calcul de la protection contre les rayonnements
pour des installations radiographiques jusqu'à 450 kV

Gesamtumfang 24 Seiten

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN
Normenausschuss Radiologie (NAR) im DIN

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Grundlagen zur Berechnung.....	4
4 Berechnung der erforderlichen Schutzschichten bei ortsfestem Betrieb	9
5 Abschirmung von Nutz- und Störstrahlung durch andere Schutzstoffe.....	12
6 Ortsveränderlicher Betrieb.....	16
Anhang A (informativ) Musterrechnungen.....	19

Vorwort

Diese Norm ist vom Arbeitsausschuss NMP 822 „Durchstrahlungsprüfung und Strahlenschutz“ des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) ausgearbeitet worden.

DIN 54113 *Zerstörungsfreie Prüfung — Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung von Röntgeneinrichtungen bis 1 MV* besteht aus:

- *Teil 1: Allgemeine sicherheitstechnische Anforderungen*
- *Teil 2: Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung für Herstellung, Errichtung und Betrieb*
- *Teil 3: Formeln und Diagramme für Strahlenschutzberechnungen für Röntgeneinrichtungen bis zu einer Röhrenspannung von 450 kV*

Änderungen

Gegenüber DIN 54113-3:1995-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Festlegungen der Norm wurden den Festlegungen der Röntgenverordnung in der Bekanntmachung der Neufassung der Röntgenverordnung vom 30.04.2003 angepasst;
- b) der Anwendungsbereich wurde eingeschränkt; die Norm gilt für Röntgeneinrichtungen mit Röhrenspannungen bis 450 kV;
- c) die Diagramme in den Bildern 1 bis 3 wurden erweitert;
- d) ein Abschnitt zur Berechnung der Kontrollbereichsgrenze wurde hinzugefügt;
- e) die Norm wurde redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN Rönt 6: 1934-04

DIN 6806: 1944-03

DIN 54113: 1956-07

DIN 54113-3: 1980-09, 1995-11

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die Herstellung, Errichtung und den Betrieb von Röntgeneinrichtungen bis 450 kV für technische Anwendungen.

Alle Angaben dieser Norm wurden ausschließlich für Röntgeneinrichtungen mit Wolframanoden ermittelt.

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 54113-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung von Röntgeneinrichtungen bis 1 MV — Teil 1: Allgemeine sicherheitstechnische Anforderungen*

Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung — RöV in der Bekanntmachung der Neufassung der Röntgenverordnung vom 30. April 2003)¹⁾

Richtlinie für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern — Richtlinie für Sachverständigenprüfungen nach der Röntgenverordnung (SV-RL) – vom 27. August 2003 – RdSchr. d. BMU v. 29. August 2003 – RS II 1 – 11601/04
Gemeinsames Ministerialblatt¹⁾

3 Grundlagen zur Berechnung

3.1 Allgemeines

Alle Angaben dieser Norm basieren auf Messungen, die bei konstanter Gleichspannung durchgeführt wurden. Bei Verwendung von Gleichrichterschaltungen, die keine konstante Gleichspannung liefern, ist für alle Berechnungen nach dieser Norm der Scheitel- oder Spitzenwert der Hochspannung zu verwenden. Die unter diesen Voraussetzungen durchgeführten Berechnungen können eventuell geringfügig zu hohe Abschirmdicken oder Sicherheitsabstände ergeben. Diese Erhöhungen sind aber in Relation zu der Größenordnung der erforderlichen Materialdicken bzw. Abstände erfahrungsgemäß vernachlässigbar.

Ziel dieses Abschnittes ist die Darstellung der Grundlagen, um

- bei **stationärem Betrieb** für vorgegebene Betriebsparameter eines Röntgenstrahlers (Nennspannung, Röhrenstromstärke, Öffnungswinkel des Nutzstrahlenbündels, Ortsdosisleistung der Gehäusedurchlassstrahlung) und vorgegebenen Abstand von der Strahlenquelle, die notwendige Dicke des Absorbers zu ermitteln, damit die Grenzwerte der Körperdosen nach RöV in den angrenzenden Aufenthaltsbereichen nicht überschritten werden;
- bei **ortsveränderlichem Einsatz** für vorgegebene Betriebsparameter eines Röntgenstrahlers (Nennspannung, Röhrenstromstärke, Öffnungswinkel des Nutzstrahlenbündels, Ortsdosisleistung der Gehäusedurchlassstrahlung), den notwendigen Abstand von der Strahlenquelle zur Einhaltung der Kontrollbereichsgrenze von maximal 40 µSv/h nach DIN 54113-1 zu ermitteln.

Die Berechnungsergebnisse in den Abschnitten 4 bis 6 beziehen sich auf Röntgeneinrichtungen im Röhrenspannungsbereich von 100 kV bis 450 kV.

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

ANMERKUNG Zur Ermittlung der erforderlichen Schutzschichten oder Abstände für Nennspannungen außerhalb dieses Wertebereiches können die Hersteller bzw. Vertreiber der Röntgenröhren/Röntgenstrahler konsultiert werden.

Die notwendigen Abstände oder Dicken von Schutzschichten werden für Gleichspannung ermittelt, dürfen jedoch auch für Wechselspannungsanlagen angewendet werden.

Für die Berechnung der notwendigen Schutzschichten beim ortsfesten Betrieb sind die maximalen Betriebsparameter (maximale Röhrenstromstärke bei maximaler Röhrenspannung) der Röntgeneinrichtung zu verwenden. Für die Berechnung der notwendigen Abstände zur Einhaltung der Kontrollbereichsgrenze beim ortsveränderlichen Betrieb sind die verwendeten Betriebsparameter (Röhrenstromstärke und Röhrenspannung) zu verwenden. Der zusätzliche Einsatz weiterer Quellen ionisierender Strahlung ist bei der Berechnung von Schutzschichten und erforderlicher Abstände entsprechend zu berücksichtigen.

3.2 Physikalische Zusammenhänge

3.2.1 Begriffsbestimmungen

Für die Berechnung von Strahlenschutzmaßnahmen sind die Nutz-, Streu- und Gehäusedurchlassstrahlung zu berücksichtigen. Sie sind im Sinne dieser Norm in dem Winkelbereich, in dem sie existieren, als gleichförmig anzusehen.

Nutzstrahlung ist die Röntgenstrahlung, die aus dem Strahlenaustrittsfenster des Röntgenstrahlers austritt, nach Modifikation durch Blenden- und Kollimatorsysteme sowie durch andere Komponenten, die die Winkel- oder Energieverteilung beeinflussen (z. B. Filter).

Streustrahlung ist die Röntgenstrahlung, die durch Streuung an Materie (z. B. Prüfkörper, Schutzwände, Decken) entsteht. Streustrahlung hat eine andere spektrale Verteilung und eine niedrigere mittlere Energie als die Nutzstrahlung. Die Dosisleistung der Streustrahlung ist abhängig von der Art des streuenden Materials.

Gehäusedurchlassstrahlung ist die Röntgenstrahlung, welche bei geschlossenem Strahlenaustrittsfenster aus dem Röhrenschutzgehäuse eines Strahlers austritt.

Störstrahlung ist die Summe aus Streustrahlung und Gehäusedurchlassstrahlung.

3.2.2 Messung der Ortsdosisleistung

Die Ortsdosisleistung $\dot{H}$ eines Röntgenstrahlers oder einer Röntgenröhre ist als Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}^*(10)$ zu messen. Mit einer Übergangszeit bis zum 01. August 2011 darf weiterhin zur Ermittlung der Ortsdosisleistung auch die Photonen-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}_x$ verwendet werden. In diesem Fall ist das Messergebnis mit einem Umrechnungsfaktor nach Tabelle 1 zu multiplizieren.

Tabelle 1 — Verhältnis der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}^*(10)$ zur Photonen-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}_x$

Röhrenspannung	Umrechnungsfaktor $\dot{H}^*(10)/\dot{H}_x$
$U \leq 50 \text{ kV}$	1,0
$50 \text{ kV} < U \leq 400 \text{ kV}$	1,3
$U > 400 \text{ kV}$	1,0

3.2.3 Spezifische Dosisleistung

Die spezifische Dosisleistung $\dot{H}_{\text{spez}}$ ist eine zur Einhaltung der Grenzwerte der Körperdosis reduzierte Dosisleistung. Diese ist der Quotient aus der Ortsdosisleistung ohne Schutzschicht und dem Schwächungsgrad der erforderlichen Schutzschicht. $\dot{H}_{\text{spez}}$ ist abhängig vom Abstand zwischen Strahlenquelle und zu schützendem Aufenthaltsbereich, der Röhrenstromstärke, der Einschaltzeit der Röntgenröhre je Jahr und dem Aufenthaltsfaktor. Sie kann für Nutz-, Streu- und Gehäusedurchlassstrahlung wie folgt dargestellt werden:

$$\dot{H}_{\text{spez},x} = \frac{H a^2}{t_E I_x T} \quad (1)$$

Dabei ist

- a der Abstand vom Zentrum der Strahlenquelle bis zum zu schützenden Aufenthaltsplatz, in m;
- H der Grenzwert der effektiven Dosis nach Tabelle 3, in μSv ;
- $\dot{H}_{\text{spez},x}$ die spezifische Dosisleistung, in $(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2)/(\text{mA}\cdot\text{h})$;
- I_x die Nennstromstärke, in mA;
- T der Aufenthaltsfaktor nach 3.3.2;
- t_E die maximale jährliche Einschaltzeit, in h;
- x der Index für die Nutz-, Streu- oder Gehäusedurchlassstrahlung.

In Gleichung (1) sind folgende Röhrenstromstärken einzusetzen:

$$\text{Nutzstrahlung (x = N): } I_N = I \text{ in mA} \quad (2)$$

$$\text{Streustrahlung (x = S): } I_S = \frac{I \alpha \beta}{1\,600} \text{ in mA} \quad (3)$$

$$\text{Gehäusedurchlassstrahlung (x = tr): } I_{\text{tr}} = 1,0 \text{ mA} \quad (4)$$

Dabei ist

- α der Öffnungswinkel des Nutzstrahlenbündels parallel zur Röhrenachse, dimensionslos in Winkelgrad einzusetzen;
- β der Öffnungswinkel des Nutzstrahlenbündels senkrecht zur Röhrenachse, dimensionslos in Winkelgrad einzusetzen.

Zur Reduzierung der Ortsdosisleistung auf vorgegebene Grenzwerte werden entweder entsprechende Abstände verwendet (ortsveränderlicher Betrieb) oder Absorber eingesetzt (z. B. Blei für Kabinen oder Barytbeton für Röntgenräume). Für eine vorgegebene Röhrenspannung lässt sich die notwendige Absorberdicke als Funktion der spezifischen Dosisleistung darstellen. Kurvenscharen, aus denen die benötigte Absorberdicke d von Blei als Funktion der jeweiligen spezifischen Dosisleistung direkt abgelesen werden kann, werden in den Bildern 1 bis 3 für Nutzstrahlung, Streustrahlung und Gehäusedurchlassstrahlung dargestellt. Die konkrete Bestimmung der Absorberdicken wird in Abschnitt 4 beschrieben.

3.2.4 Halbwertschichtdicken

Die Halbwertschichtdicke HWS ist diejenige Dicke eines Absorbers, welche die Ortsdosisleistung auf die Hälfte reduziert. Für das Material Blei sind einige typische Werte für Halbwertschichtdicken von Röntgenstrahlung in Tabelle 2 angegeben. Die Werte gelten für Wolframanoden und einer starken Strahlungsschwächung (Schwächungsfaktor $> 10^5$) der Art, dass die resultierende Ortsdosisleistung im Bereich von etwa 0,5 $\mu\text{Sv/h}$ bis 50 $\mu\text{Sv/h}$ liegt.

Tabelle 2 — Halbwertschichtdicken in mm Blei für stark geschwächte Strahlung

U kV	100	120	160	225	250	300	320	350	420	450
HWS mm Blei	0,3	0,3	0,3	0,7	0,8	1,3	1,5	1,8	2,4	2,8

Für Bereiche, in denen die zu schützenden Aufenthaltsplätze liegen, ist die Abschirmung bzw. der erforderliche Abstand nach dieser Norm so zu bemessen, dass Personen, die sich dort aufhalten, in Übereinstimmung mit der Röntgenverordnung (RöV) keine höhere effektive Dosis H erhalten, als in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3 — Grenzwerte der effektiven Dosis von Personen an den zu schützenden Aufenthaltsplätzen

Typ des zu schützenden Aufenthaltsplatzes	Grenzwert der effektiven Dosis je Kalenderjahr H
Aufenthaltsplätze der Bevölkerung	1 000 μSv
Aufenthaltsplätze innerhalb des Überwachungsbereiches für beruflich strahlenexponierte Personen	6 000 μSv

3.3 Betriebsbedingungen

3.3.1 Aufenthaltsbereiche

Für die Bemessung der Strahlenschutzmaßnahmen ist zunächst eine Einordnung des zu schützenden Aufenthaltsplatzes zu treffen. Daraus ergibt sich nach Tabelle 3 der zulässige maximale Wert für die Jahresdosis.

3.3.2 Aufenthaltsdauer und Einschaltzeit der Röntgeneinrichtung im stationären Betrieb

Bei der Berechnung der Strahlenschutzmaßnahmen ist von der maximal zu erwartenden Einschaltzeit der Röntgeneinrichtung auszugehen. Diese kann maximal 2 000 h im Jahr (Einschichtbetrieb) betragen. Ist die Einschaltzeit höher als 2 000 h je Jahr (Mehrschichtbetrieb), ist für Wohnbereiche die gesamte Einschaltzeit zu berücksichtigen. Als Mindestwert für die zu erwartende Einschaltzeit sind $t_{\min} = 100$ h je Jahr anzusetzen.

Der Aufenthaltsfaktor T berücksichtigt die zu erwartende Aufenthaltsdauer von Personen in den zu schützenden Bereichen. Es sind folgende Zahlenfaktoren zu verwenden:

- $T = 1,0$ für Aufenthaltsplätze von beruflich strahlenexponierten Personen im Überwachungsbereich und für Arbeits- und Daueraufenthaltsplätze außerhalb des Überwachungsbereiches (z. B. Büros, Werkstätten, Laboratorien, Schaltplätze und Wohnungen). Der Wert $T = 1,0$ berücksichtigt, dass die

betroffenen Personen während ihrer Arbeitszeit an verschiedenen Aufenthaltsplätzen ionisierender Strahlung ausgesetzt sein können.

- $T = 0,3$ für Verkehrsflächen außerhalb des Strahlenbetriebes, bei denen sichergestellt ist, dass sich dort keine Personen längerfristig aufhalten.
- $T = 0,1$ für Plätze außerhalb des Kontrollbereiches, aber innerhalb des Betriebsgeländes, an denen sichergestellt ist, dass sich dort keine Personen länger als 10 % der zu Grunde gelegten Einschaltzeit aufhalten (z. B. Flure, Toiletten).

ANMERKUNG In regelmäßigen Abständen muss der Betreiber kontrollieren, ob die Betriebsbedingungen noch denen entsprechen, die der Genehmigung bzw. Anzeige nach RöV zu Grunde lagen. Dies betrifft z. B. die Bedingungen eines Aufenthaltsfaktors T und die Einschaltzeit t_E .

3.4 Kontrollbereich beim ortsveränderlichen Betrieb

3.4.1 Allgemeines

Nach DIN 54113-1 ist der Kontrollbereich so abzugrenzen, dass außerhalb der Abgrenzung keine höhere Ortsdosisleistung als $40 \mu\text{Sv/h}$ auftreten kann. Dabei dürfen $120 \mu\text{Sv/Woche}$ nicht überschritten werden. Dies ist bei einer Einschaltzeit von 3 h je W der Fall. Ist zu erwarten, dass längere Einschaltzeiten auftreten, ist die Ortsdosisleistung entsprechend zu reduzieren.

3.4.2 Materialprüfung an Verkehrswegen

In bestimmten Fällen ist es nicht zweckmäßig oder möglich, den Kontrollbereich so abzugrenzen, dass die Ortsdosisleistung an der Kontrollbereichsgrenze unterhalb des zulässigen Grenzwertes von $40 \mu\text{Sv/h}$ bleibt. Dies kann z. B. für die Prüfung an öffentlichen Verkehrswegen mit fließendem Verkehr zutreffen. Dabei kann es vorkommen, dass Personen in Fahrzeugen sich kurzzeitig durch einen Bereich bewegen, in dem die Ortsdosisleistung größer als der Grenzwert $40 \mu\text{Sv/h}$ liegt. Die dabei aufgenommene Körperdosis H ist im Allgemeinen sehr klein. Sie kann nach Gleichung (5) abgeschätzt werden. Bei der Formel handelt es sich um eine Berechnung für das ungeschwächte Nutzstrahlenbündel.

$$H = \frac{\dot{H}_{\text{spez,max}} I \pi \Theta}{a_0 v 180^\circ} \quad (5)$$

Dabei ist

H die aufgenommene Körperdosis, in μSv ;

$\dot{H}_{\text{spez,max}}$ spezifische Dosisleistung nach Tabelle 6

I die Röhrenstromstärke, in mA;

$\pi = 3,14\dots$

Θ der Öffnungswinkel des passierten Nutzstrahlenbündels, in Grad (siehe Bild A.2);

a_0 der kleinste Abstand von der Strahlenquelle bis zum Fahrzeug, in m;

v die Geschwindigkeit beim Durchqueren des Nutzstrahlenbündels, in m/h.

ANMERKUNG Ist beabsichtigt den Kontrollbereich bei einer Ortsdosisleistung von mehr als $40 \mu\text{Sv/h}$ abzugrenzen, ist vorher die Zustimmung der am Einsatzort zuständigen Aufsichtsbehörde einzuholen.