

Prüfprogramm für Abschirmungen von Heißen Zellen mit punktförmigen Gammastrahlern

DIN
25 429

Programme for hot cell shielding with gamma point sources

Die dieser Norm zugrunde liegenden Arbeiten wurden mit Mitteln des Bundesministers des Innern gefördert.

Für den Strahlenschutz von Personen in Anlagen, in denen mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird, werden neben anderen Schutzmaßnahmen geeignete Abschirmungen (Abschirmwände, abgeschirmte Räume, Heiße Zellen) vorgesehen. Das im folgenden beschriebene Prüfprogramm dient dazu, mit Hilfe punktförmiger Strahlenquellen Inhomogenitäten in den Abschirmwänden von Heißen Zellen festzustellen, durch die bei einem späteren Umgang mit solchen Quellen Personen unzulässige Strahlenexpositionen erhalten können.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	1	5.7 Ermittlung der Schwellendosisleistung und des Rasterabstandes durch Orientierungsmessungen	3
2 Zweck	1	5.8 Durchführung der Prüfmessungen	5
3 Begriffe	1	5.8.1 Prüfmessungen bei homogenen Abschirmungen (Abtastmessungen)	5
4 Allgemeines zum Prüfverfahren	2	5.8.2 Prüfmessungen bei konstruktionsbedingten Inhomogenitäten (Profilmessungen)	5
5 Prüfverfahren	2	5.9 Auswertung der Messungen	5
5.1 Verfahrensablauf	2	6 Anforderungen an die Meßgeräte	6
5.2 Nullpegelmessungen	3	7 Dokumentation	6
5.3 Wahl der Prüfquelle	3	Anhang A Ergänzende Daten und Erläuterungen zum Prüfprogramm	12
5.4 Gültigkeitsbereich der Prüfmessungen	3		
5.5 Strahlenschutzmessungen	3		
5.6 Wahl der Quellen- und Detektorpositionen für Abtastmessungen	3		

1 Anwendungsbereich

Die Norm ist anzuwenden bei der Prüfung aller zum Schutz von Personen dauernd installierten oder für den routinemäßigen Gebrauch speziell vorhandenen Abschirmungen von Heißen Zellen und ähnlichen gegen Gammastrahlung abgeschirmten Räumen, in denen ein Umgang mit nahezu punktförmigen Gammastrahlern vorgesehen ist. Das können im einzelnen Räume, Boxen, Kanäle u. a. sein, die z. B. mit Beton, Blei, Stahl, Glas oder Wasser abgeschirmt sind. Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei Auslegung und Herstellung von Abschirmungen (z. B. Ermittlung der Zusammensetzung, Dichte und Homogenität der eingesetzten Abschirmwerkstoffe sowie der Maße der Abschirmungen) sind nicht Gegenstand dieser Norm.

2 Zweck

Zweck dieser Festlegungen ist ein Prüfprogramm mit Punktquellen für Abschirmungen gegen Gammastrahlung zum Nachweis der Einhaltung der Auslegungsdosisleistungswerte. Dazu ist im Prüfprogramm die Ermittlung von Daten in der Weise vorgesehen, daß ein Vergleich der bei der Prüfung gemessenen Ortsdosisleistungen mit den Auslegungsdosisleistungswerten möglich ist und daraus gegebenenfalls Mängel erkannt werden können, die zu unzulässigen Strahlenexpositionen von Personen führen können.

3 Begriffe

Anmerkung: Für die Norm gelten grundsätzlich die Begriffsbestimmungen der Strahlenschutzgesetzgebung der Bundesrepublik Deutschland. Darüberhinaus gelten in dieser Norm die nachfolgenden Begriffsbestimmungen.

3.1 Abtastbereich

Der Abtastbereich (R_D) ist ein quadratisches Feld parallel zur detektorseitigen Oberfläche der Abschirmwand, in dem bei fester Quellenposition kontinuierlich, d. h. lückenlos, Ortsdosisleistungsmessungen durchgeführt werden.

3.2 Abtastwinkel

Der Abtastwinkel (α) ist der kleinste Winkel, der von der durch die Quelle verlaufenden Oberflächennormalen der Abschirmwand und der Verbindungsgeraden zwischen der Quelle und einem Punkt auf dem Rand des Abtastbereiches, eingeschlossen wird.

3.3 Äquivalente Aktivität

Die äquivalente Aktivität (A_q) ist die Aktivität eines Radionuklids, die unter denselben Bedingungen von Geometrie und Abschirmung die gleiche Ortsdosisleistung im Aufpunkt erzeugt, wie die Aktivität eines anderen Radionuklids oder Radionuklidgemisches.

Fortsetzung Seite 2 bis 17

Normenausschuß Kerntechnik (NKe) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

3.4 Aufpunkt

Ein Aufpunkt ist ein Punkt, für den eine Ortsdosisleistung ermittelt wird.

3.5 Auslegungsaktivität

Die Auslegungsaktivität (A_A) ist die Aktivität des Auslegungsnuklids, für die die Abschirmung bemessen wird.

3.6 Auslegungsdosisleistung

Die Auslegungsdosisleistung ($\dot{H}_A$) ist die Ortsdosisleistung, für die die Abschirmung bemessen wird.

3.7 Auslegungsnuklid

Das Auslegungsnuklid ist das Radionuklid, das für die Bemessung der Abschirmung angesetzt wird.

3.8 Begrenzungsfläche, innere

Die innere Begrenzungsfläche ist eine Fläche, die im Inneren einer Abschirmung durch eine Inhomogenität gebildet wird (z. B. Werkstoffübergang).

3.9 Durchstoßlinie

Die Durchstoßlinie ist die Linie, die eine innere Begrenzungsfläche beim Durchstoßen der Oberfläche der Abschirmwand auf dieser bildet oder bei nicht durchgehender konstruktionsbedingter Inhomogenität im Weiterverlauf bilden würde.

3.10 Normalen-Strahl

Der Normalen-Strahl ist der von der Punktquelle ausgehende Strahl, der eine Abschirmwand in Richtung ihrer Oberflächennormalen durchdringt.

3.11 Ortsdosisleistung

Die Ortsdosisleistung ¹⁾ ist die Äquivalentdosisleistung für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort.

3.12 Profilmessung

Die Profilmessung ist eine Folge von Ortsdosisleistungsmessungen an einer konstruktionsbedingten Inhomogenität, bei der Quelle und/oder Detektor quer über die sichtbare oder vermutete Durchstoßlinie geschoben werden.

3.13 Punktquelle

Eine Punktquelle im Sinne dieser Norm ist ein radioaktiver Strahler, dessen größte Ausdehnung kleiner ist als $\frac{1}{5}$ der Entfernung, in der die Ortsdosisleistung ermittelt werden soll, die durch seine Aktivität erzeugt wird.

3.14 Rasterabstand

Der Rasterabstand (R_Q) ist der Abstand benachbarter Quellenpositionen, die nach einem Punktraster angeordnet sind.

3.15 Reservefaktor

Der Reservefaktor (f_R) ist das Verhältnis aus der Schwellendosisleistung und dem dreifachen Wert des Nullpegels.

3.16 Schwellendosisleistung

Die Schwellendosisleistung ($\dot{H}_S$) ist die aus den Orientierungsmessungen zu ermittelnde Ortsdosisleistung, deren Überschreitung bei Abtastmessungen als Anzeichen für eine Inhomogenität gewertet wird.

3.17 Sicherheitsfaktor

Der Sicherheitsfaktor (f_S) ist das Verhältnis aus der Schwellendosisleistung und der Vergleichsdosisleistung.

3.18 Vergleichsdosisleistung

Die Vergleichsdosisleistung ($\dot{H}_V$) ist die Ortsdosisleistung, die durch Umrechnung der Auslegungsdosisleistung auf

¹⁾ Siehe DIN 6814 Teil 3 (z. Z. Entwurf)

die Prüfquellenaktivität und den Quellen-Detektor-Abstand erhalten wird und unmittelbar mit den Meßwerten der Prüfmessungen vergleichbar ist.

4 Allgemeines zum Prüfverfahren

Die Wirkung von Abschirmungen, die zum Schutz von Personen gegen Gammastrahlung ausgelegt sind, soll durch Ortsdosisleistungsmessungen geprüft werden. Die Prüfmessungen sollen zeigen, ob durch die vorgesehene Abschirmung die Auslegungsdosisleistungswerte eingehalten werden, oder ob z. B. zu geringe Werkstoffdicken oder Inhomogenitäten in den Abschirmungen zu Ortsdosisleistungen führen, die die Planungsrichtwerte überschreiten.

Anmerkung: Inhomogenitäten der Abschirmung können Hohlräume, Schlitz, Unregelmäßigkeiten in der Materialzusammensetzung oder Werkstoffübergänge in der Abschirmwand sein. Sie können entweder herstellungs- oder konstruktionsbedingt auftreten. Herstellungsbedingte Inhomogenitäten sind z. B. Lunker; konstruktionsbedingte Inhomogenitäten sind z. B. Werkstoffübergänge bei Strahlenschutzfenstern und Durchführungen aller Art.

Das Prüfprogramm sieht vor, daß als Strahler ein möglichst umschlossener radioaktiver Stoff innerhalb des abgeschirmten Raumes positioniert wird und Messungen der Ortsdosisleistung außerhalb der Abschirmung an vorgeschriebenen Orten vorgenommen werden. Als Prüfstrahler ist eine Punktquelle zu verwenden.

Anmerkung: Damit Inhomogenitäten in einer Abschirmung lückenlos erfaßt werden, wäre es im Prinzip erforderlich, eine isotrop strahlende Punktquelle an einer Vielzahl dicht nebeneinander liegender Orte hinter der Abschirmwand zu positionieren und für jede Quellenposition mit einem Detektor geringster Ausdehnung die Oberfläche der Abschirmwand so abzutasten, daß alle Strahlrichtungen erfaßt werden.

In der Praxis sind nur stichprobenartige Messungen mit Punktquellen möglich. Sie sind überall dort ausreichend, wo schlitzartige Inhomogenitäten nicht zu erwarten sind. Diese Voraussetzung kann in homogen ausgelegten Bereichen von Abschirmwänden als gegeben angenommen werden.

Bei konstruktiv bedingten Inhomogenitäten können Schwachstellen in der Abschirmung mit einer Punktquelle dadurch sicher ermittelt werden, daß sowohl Quelle als auch Detektor innerhalb des entsprechenden aus der Konstruktionszeichnung der Anlage ersichtlichen Oberflächenbereichs der Abschirmwand kontinuierlich verschoben werden.

Bei den Prüfmessungen sollen solche Schwachstellen in der Abschirmwand sicher erkannt werden, die unter Auslegungsbedingungen zu einer Überschreitung der Auslegungsdosisleistung führen würden.

Bei der Durchführung der Messungen ist darauf zu achten, daß die mit der Ausführung beauftragten Personen eine möglichst geringe Körperdosis erhalten.

5 Prüfverfahren

5.1 Verfahrensablauf

Das Prüfverfahren umfaßt Nullpegel-, Strahlenschutz- und die eigentlichen Prüfmessungen (siehe Flußdiagramm, Abschnitt A.1). Die Prüfmessungen werden nach zwei verschiedenen Verfahren durchgeführt.

Im homogen ausgelegten Bereich der Abschirmung wird die Prüfquelle vor der Oberfläche der Abschirmung schrittweise gemäß einem quadratischen Punktraster mit konstantem Rasterabstand R_Q nach Bild 1 verschoben. Dabei ist in jeder Quellenposition die Außenseite der Abschr-

mung mit einem Dosisleistungsmeßgerät innerhalb des zugeordneten Abtastbereiches kontinuierlich auszumessen. Diese Messungen sind über die gesamte Wandoberfläche auszuführen (Abtastmessung, siehe Bilder 1 und 3). Bei konstruktionsbedingten Inhomogenitäten werden Quelle und/oder Detektor anhand der Konstruktionszeichnung der Abschirmwand gezielt im Bereich der Durchstoßlinien positioniert und verschoben, um etwaige Schwachstellen zu erkennen (Profilmessung, siehe Bilder 2 und 7).

5.2 Nullpegelmessungen

Vor Beginn des Meßprogramms ist an allen zu untersuchenden Abschirmwänden die Ortsdosisleistung der Umgebungstrahlung zu messen (Nullpegelmessung), damit die notwendige Aktivität der Prüfquelle festgelegt werden kann (siehe Abschnitt 5.3). Dabei sind dieselben Detektorabstände von den Wandoberflächen einzuhalten, wie bei den späteren Prüfmessungen (siehe Abschnitt 5.6). Bezüglich der Detektorabmessungen bestehen hierbei keine Einschränkungen.

5.3 Wahl der Prüfquelle

Die Prüfmessungen sind möglichst mit dem Auslegungsnuklid durchzuführen.

Falls das Auslegungsnuklid nicht zur Verfügung steht oder der Auslegung ein Nuklidgemisch zugrunde liegt, ist als Prüfquelle vorwiegend Cesium 137 oder Kobalt 60 einzusetzen. Dabei soll jeweils dasjenige Radionuklid gewählt werden, dessen maßgebliche Gammastrahlen-Energie der des Auslegungsnuklids oder -nuklidgemisches am nächsten liegt. Zum besseren Erkennen der Inhomogenitäten ist ein Prüfnuklid vorzuziehen, dessen maßgebliche Energie die des Auslegungsnuklids unterschreitet.

Anmerkung: Als maßgebliche Energie wird hierbei diejenige Gammastrahlen-Energie bezeichnet, die hinter der Abschirmung bestimmend für die Ortsdosisleistung ist.

Falls für den späteren Umgang auch andere Radionuklide mit geringeren maßgeblichen Gammastrahlen-Energien vorgesehen sind, ist zu prüfen, ob nicht anstelle des Auslegungsnuklids oder des ersatzweise vorgesehenen Prüfnuklids eines dieser Radionuklide als Prüfquelle verwendet werden kann, um den Umfang der Prüfmessungen zu vermindern (siehe Abschnitt 5.4).

Die Aktivität der Prüfquelle ist so zu wählen, daß die erwarteten Meßwerte der Ortsdosisleistung mindestens um den Faktor 3 über dem Nullpegel der Umgebung liegen. Die Begrenzung der Aktivität zu hohen Werten ergibt sich aus den Anforderungen des Strahlenschutzes.

5.4 Gültigkeitsbereich der Prüfmessungen

Zur Ermittlung des Gültigkeitsbereichs der Prüfmessungen mit einem bestimmten Radionuklid ist die der Auslegungsaktivität äquivalente Aktivität des Prüfnuklids mit den äquivalenten Aktivitäten aller sonstigen Radionuklide zu vergleichen, mit denen ein Umgang beabsichtigt ist.

Bezeichnet A_A die Auslegungsaktivität, so ergibt sich die ihr äquivalente Aktivität A_q zu:

$$A_q = \frac{\Gamma_H^A}{\Gamma_H} \cdot \frac{S}{S_A} \cdot A_A \quad (1)$$

Hierin bedeutet Γ_H die Dosisleistungskonstante ¹⁾ und S den Schwächungsfaktor für die Gammastrahlung des betrachteten Radionuklids. Der Index A kennzeichnet die entsprechenden Größen des Auslegungsnuklids. Die Dosisleistungskonstanten und Schwächungsfaktoren können für einige häufiger verwendete Radionuklide aus

Tabelle A.1 und den Bildern A.1 und A.2 im Anhang A entnommen werden.

Werden bei der Ermittlung der äquivalenten Aktivität für ein Radionuklid, mit dem ein späterer Umgang geplant ist, aufgrund unterschiedlicher Schwächungsfaktoren der verschiedenen Wände eines Raumes verschiedene äquivalente Aktivitäten erhalten, so ist jeweils der geringste Wert als maßgebliche äquivalente Aktivität zu verwenden.

Der Gültigkeitsbereich der Prüfmessungen ist dadurch bestimmt, daß die Ergebnisse für das Prüfnuklid auch für diejenigen Radionuklide gelten, bei welchen die der Auslegungsaktivität äquivalente Aktivität kleiner ist als die des verwendeten Prüfnuklids. Für Radionuklide, deren Aktivität A_q die des Prüfnuklids übersteigt, ist das Prüfverfahren zu wiederholen (siehe Abschnitt A.3, Beispiel).

5.5 Strahlenschutzmessungen

Vor Beginn der Prüfmessungen sind Strahlenschutzmessungen durchzuführen. Dabei sind stichprobenartig Ortsdosisleistungen zu messen und insbesondere konstruktionsbedingte Inhomogenitäten durch geeignete Positionierung von Quelle und Meßgerät zu erfassen. Es ist im Einzelfall zu prüfen, ob für die Strahlenschutzmessungen zunächst ein Radionuklid mit geringerer Aktivität als bei den Prüfmessungen eingesetzt wird.

5.6 Wahl der Quellen- und Detektorpositionen für Abtastmessungen

Die Positionen der Prüfquelle sind so zu wählen, daß alle beim späteren Betrieb möglichen Quellenpositionen abgedeckt werden (z. B. auch Conveyor-Kanal, Probenlager). Bei senkrechten Wänden ist die Prüfquelle nur so hoch zu positionieren, wie es die zur Zellausstattung gehörenden Hub- oder Greifwerkzeuge erlauben. Entsprechend braucht auch bei Decken nur die mit diesen Werkzeugen erreichbare Fläche berücksichtigt zu werden. Falls jedoch bei den geplanten Tätigkeiten Strahlenquellen aufgrund ihrer Ausdehnung in den nicht direkt ansteuerbaren Wandbereich gelangen können, sind die entsprechenden Quellenpositionen auch bei den Prüfmessungen anzusetzen. Der Boden ist stets in seiner gesamten Fläche zu erfassen. Der Abstand r_i der Prüfquelle von der inneren Oberfläche der Abschirmung ergibt sich bei der Festlegung des Rasterabstandes in Abschnitt 5.7.

Die Detektorposition soll mit einem Abstand r_a zur äußeren Oberfläche der Abschirmung so gewählt werden, daß r_a dem bei der Auslegung der Abschirmung zugrunde gelegten Wert entspricht.

Anmerkung: Aus Strahlenschutzgründen sind folgende Abstände des Meßdetektors zur Abschirmung zu empfehlen:

- von Bedienungswänden 30 cm
- von senkrechten Wänden, die nicht Bedienungswände sind, 50 cm
- von Decken 100 cm
- von Böden 200 cm über der Begehungsebene des darunterliegenden Raumes.

Unabhängig von Bauteilen auf den Wandoberflächen ist darauf zu achten, daß sowohl die Positionen der Quelle als auch die des Meßgerätes in parallelen Ebenen liegen und somit im Normalen-Strahl ein konstanter Abstand zwischen Quelle und Meßgerät sichergestellt ist.

5.7 Ermittlung der Schwellendosisleistung und des Rasterabstandes durch Orientierungsmessungen

Inhomogenitäten werden bei den Abtastmessungen durch Überschreiten der Schwellendosisleistung $\dot{H}_S$ erkannt. Diese Dosisleistung sowie der Rasterabstand bei der Quel-

¹⁾ Siehe Seite 2

lenverschiebung sind aufgrund von Orientierungsmessungen im homogen ausgelegten Bereich der zu untersuchenden Abschirmung festzulegen. Dabei ist die Prüfquelle derart zu positionieren, daß für den Strahlenschutz des Personals repräsentative Meßwerte erhalten werden. Dies entspricht bei senkrechten Wänden im allgemeinen einer Höhe von 100 cm über der Begehungsebene.

Die Meßpunkte sind über die gesamte Länge der Abschirmung zu verteilen. Der Abstand zwischen zwei Quellenpositionen soll 100 cm nicht überschreiten; die Mindestanzahl der Messungen beträgt 5 je Wand. Der Detektor ist jeweils im Normalen-Strahl anzuordnen. Bezüglich der Detektorgröße bestehen keine Einschränkungen.

Der Abstand r_i der Quelle von der inneren Oberfläche der Abschirmung soll bei Bedienungswänden zunächst 20 cm betragen (siehe Bild 3). Im weiteren Verlauf des Prüfverfahrens ist, soweit möglich, eine Vergrößerung von r_i vorzusehen, um den Umfang der Messungen zu verringern (siehe unten). Bei Abschirmungen, die nicht Bedienungswände sind, kann von vornherein dieser vergrößerte Abstand als Anhaltswert für r_i dienen.

Die Abstände r_a zwischen Detektor und äußerer Wandoberfläche sind nach Abschnitt 5.6 einzuhalten.

Anhand der Orientierungsmessungen soll die Schwellendosisleistung $\dot{H}_S$ so festgelegt werden, daß einerseits Überschreitungen des Wertes nur bei unzulässigen Inhomogenitäten zu erwarten sind, andererseits jedoch nicht unangemessen viele Rasterpunkte für Quellenpositionen erhalten werden. In Gleichung (2) wird die Schwellendosisleistung mit Hilfe des arithmetischen Mittels $\bar{H}_0$ der Orientierungsmessungen und der Standardabweichung σ der einzelnen Meßwerte $\dot{H}_{0,i}$ festgelegt (siehe Abschnitt A.3, Beispiel).

$$\dot{H}_S = \bar{H}_0 + \sigma \quad (2)$$

Um den Vergleich der Meßwerte mit den Auslegungsdaten zu ermöglichen, ist mit Hilfe der Auslegungsaktivität A_A und der Auslegungsdosisleistung $\dot{H}_A$ nach Gleichung (3) die der Aktivität A_M der Prüfquelle entsprechende Vergleichsdosisleistung $\dot{H}_V$ zu ermitteln (siehe Abschnitt A.3, Beispiel).

$$\dot{H}_V = \frac{A_M}{A_A} \cdot \frac{r_A^2}{r_M^2} \cdot \dot{H}_A \quad (3)$$

Darin bezeichnet r_A den Abstand zwischen Quelle und Aufpunkt, für den die Auslegungsdosisleistung angegeben ist, r_M den entsprechenden Abstand bei den Prüfmessungen. Falls das Prüfnuklid nicht dem Auslegungsnuklid entspricht, ist in Gleichung (3) anstelle der Auslegungsaktivität A_A die ihr äquivalente Aktivität A_q des Prüfnuklids einzusetzen (siehe Gleichung (1)).

Mit der Vergleichsdosisleistung $\dot{H}_V$ und der Schwellendosisleistung $\dot{H}_S$ wird nach Gleichung (4) der Sicherheitsfaktor f_S ermittelt. Dies ist ein Maß für das Schwächungsfaktordefizit durch Inhomogenitäten, die unerkannt bleiben dürfen:

$$f_S = \frac{\dot{H}_S}{\dot{H}_V} \quad (4)$$

Anmerkung: Das Prüfverfahren geht davon aus, daß die hinter einer Abschirmung gemessene Ortsdosisleistung aufgrund konservativer Berechnungen in der Regel kleiner ist als der für die Auslegung zugrunde gelegte Wert.

Falls der Sicherheitsfaktor den Wert 0,5 überschreitet, kann $f_S = 0,5$ gesetzt werden, wodurch die Anzahl der Rasterpunkte verringert wird. Dadurch könnte eine mögliche lokale Überhöhung der Ortsdosisleistung bis zum Faktor $2 \cdot \dot{H}_S / \dot{H}_V$ unentdeckt bleiben.

Anmerkung: Eine unzulässige Schwachstelle in der Abschirmung wird unter Umständen nur bei bestimmten Quellen- und Detektorkonstellationen zu einer Überschreitung der Vergleichsdosisleistung $\dot{H}_V$ führen. Befindet sich eine Inhomogenität seitlich vom Normalen-Strahl, wird bei kontinuierlicher Verschiebung des Detektors möglicherweise nur ein vergleichsweise flacher Abfall oder ein Zwischenmaximum der Ortsdosisleistung mit zunehmendem Abstand vom Normalen-Strahl registriert (siehe Bild 4). Die seitliche Abtastung erfolgt so weit, bis bei homogener Wand die Ortsdosisleistung gegenüber der im Normalen-Strahl um den Faktor $1/f_S$ abgefallen ist. Somit können alle Inhomogenitäten zugelassen werden, bei denen die resultierende Ortsdosisleistung den Wert $\dot{H}_S$ nicht überschreitet, da auch bei Durchstrahlung dieser Inhomogenitäten in Richtung der Oberflächennormalen ein Überschreiten von $\dot{H}_V$ nicht zu erwarten ist. Dies gilt nur für einen Wandbereich, in dem schlitzzartige Inhomogenitäten ausgeschlossen werden können.

Für die Ermittlung des Rasterabstandes der Quellenposition muß die Schichtdicke der Abschirmwand in Relaxationslängen μd umgerechnet werden. Dazu ist aus Tabelle 1 für die Prüfnuklide Caesium 137 und Kobalt 60 und den jeweiligen Werkstoff der Massenschwächungskoeffizient μ/ρ zu entnehmen und mit der Wanddicke d und der Werkstoffdichte ρ zu multiplizieren.

$$\mu d = \left(\frac{\mu}{\rho} \right) \cdot \rho \cdot d \quad (5)$$

ρ ist in g/cm³ und d in cm einzusetzen.

Falls die Abschirmung aus Schichten verschiedener Werkstoffe besteht, ist die Summe der Relaxationslängen zu bestimmen.

Mit dem Sicherheitsfaktor f_S und dem Wert μd kann aus Bild 5 für einen vorgegebenen Abstand r_i zwischen Quelle und innerer Wandoberfläche der Rasterabstand R_Q ermittelt werden. Auf der horizontalen Achse ist der Abtastwinkel als $\tan \alpha$ abzulesen. Mit $\tan \alpha$ wird die Ausdehnung R_D des Abtastbereiches (siehe Bild 3), der bei den Prüfmessungen überstrichen werden muß, nach Gleichung (6) erhalten.

$$R_D = 2 \cdot r_M \cdot \tan \alpha \quad (6)$$

r_M bezeichnet den Abstand des Detektors von der Prüfquelle.

Die Anzahl der Rasterpunkte kann dadurch verringert werden, daß der Quellenabstand r_i vergrößert wird. Dabei ist wie folgt zu prüfen, ob bei der gegebenen Aktivitäts- und Meßgerätekombination eine Erhöhung der Prüfquellenaktivität A_M erforderlich ist.

Zunächst wird nach Gleichung (7) der Reservefaktor f_R ermittelt:

$$f_R = \frac{\dot{H}_S}{\dot{H}_{\min}} \quad (7)$$

$\dot{H}_{\min}$ bezeichnet den dreifachen Wert des vom Meßgerät angezeigten Nullpegels. Mit dem Reservefaktor f_R und dem Abstand r_M ergibt sich aus Bild 6 die maximal mögliche Zunahme des Quellenabstands r_i .

Falls r_i gegenüber dem bei ersten Orientierungsmessungen an der Bedienungswand festgelegten Abstand von 20 cm vergrößert werden soll, ist die Vergleichsdosisleistung $\dot{H}_V$ unter sinngemäßer Anwendung von Gleichung (3) zu ermitteln. Die Schwellendosisleistung $\dot{H}_S$ kann entweder aus Gleichung (4) errechnet werden oder ist mit Hilfe weiterer Orientierungsmessungen bei dem neuen Abstand r_i nach Gleichung (2) zu ermitteln (siehe Abschnitt A.3, Beispiel).

Kommen anstelle von Cesium 137 oder Kobalt 60 andere monoenergetische Prüfnuklide zum Einsatz, können die Kurven aus Bild 5 unter Berücksichtigung entsprechender Schwächungskoeffizienten verwendet werden. Bei nicht monoenergetischen Prüfnukliden ist für die Ermittlung von μd die niedrigste maßgebliche Energiekomponente anzusetzen. Sicherheitshalber kann auch $\mu d = 40$ verwendet werden, falls nicht eine bessere Anpassung des Rasterabstandes an die Abschirmungswirkung der untersuchten Wand durch die Ableitung neuer Kurven entsprechend Bild 5 erwünscht ist.

5.8 Durchführung der Prüfmessungen

5.8.1 Prüfmessungen bei homogenen Abschirmungen (Abtastmessungen)

Die Prüfmessungen sind mit dem nach Abschnitt 5.7 ermittelten Rasterabstand über die gesamte Länge und Höhe bzw. Breite der Wandoberfläche durchzuführen, wobei die Quelle so dicht wie möglich an den inneren seitlichen Begrenzungen der untersuchten Wand positioniert werden soll.

Für jede Quellenposition ist die Außenseite der Abschirmwand kontinuierlich im Abtastbereich mit einem Detektor abzutasten. Der Abtastbereich hat quadratische Abmessungen mit der Seitenlänge R_D (siehe Gleichung (6)), wobei der Mittelpunkt in den Normalen-Strahl zu legen ist.

Anmerkung: Um rechtzeitig auffällige Ortsdosisleistungsüberhöhungen infolge besonders durchlässiger Inhomogenitäten zu erkennen, kann es vorteilhaft sein, zunächst Abtastmessungen mit großflächigen Detektoren vorzunehmen.

Der im Abtastbereich gemessene Maximalwert der Ortsdosisleistung ist zusammen mit der Quellen- und Detektorposition festzuhalten (siehe Abschnitt 7, Dokumentation). Überschreitet der Meßwert die Schwellendosisleistung $\dot{H}_S$, kann eine unzulässige Inhomogenität vorliegen. In diesem Fall sind abweichend vom Schema der Abtastmessungen spezielle Prüfmessungen durchzuführen, wobei die Quelle mit verfeinerter Schrittweite im betreffenden Bereich verschoben wird, bis das Maximum der Ortsdosisleistung gefunden ist. Dieser Wert ist zusammen mit den Ortspunkten von Quelle und Detektor ebenfalls festzuhalten (siehe Abschnitt 7, Dokumentation). Falls die Vergleichsdosisleistung $\dot{H}_V$ überschritten wird, empfiehlt es sich, den entsprechenden Ort an der Abschirmung zu kennzeichnen.

Bleiben die Meßwerte im Abtastbereich unterhalb von $\dot{H}_S$, ist die Ortsdosisleistung im Normalen-Strahl festzuhalten (siehe Abschnitt 7, Dokumentation).

Anmerkung: Schlitzartige herstellungsbedingte Inhomogenitäten können mit diesem Verfahren übersehen werden.

Unter Umständen bleiben auch solche Schwachstellen einer Abschirmung unerkannt, bei denen mehrere Inhomogenitäten, die für sich allein zugelassen werden könnten, für bestimmte Quellenpositionen durch Überlappung eine Überschreitung der Vergleichsdosisleistung $\dot{H}_V$ verursachen.

Die Zuverlässigkeit der Abtastmessungen kann in bezug auf schlitzartige oder sich überlappende Inhomogenitäten dadurch verbessert werden, daß die speziellen Prüfmessungen bei verfeinerter Schrittweite der Quellenverschiebung nicht nur bei Überschreiten von $\dot{H}_S$, sondern auch dann durchgeführt werden, wenn das Maximum der Ortsdosisleistung außerhalb des Normalen-Strahls festgestellt wird oder wenn das Verhältnis aus kleinster und größter Ortsdosisleistung im Abtastbereich den Sicherheitsfaktor f_S unterschreitet.

Die Prüfmessungen sind an allen Wänden des abgeschirmten Raumes durchzuführen, wobei unabhängig von kon-

struktionsbedingten Inhomogenitäten für jede Abschirmwand der ermittelte Rasterabstand eingehalten werden sollte.

5.8.2 Prüfmessungen bei konstruktionsbedingten Inhomogenitäten (Profilmessungen)

Bei konstruktionsbedingten Inhomogenitäten, die senkrecht oder schräg zu den Wandoberflächen verlaufen, ist grundsätzlich davon auszugehen, daß durch Risse, Kanten, Spalten oder Werkstoffübergänge eine Verminderung des Schwächungsfaktors gegenüber der benachbarten homogenen Umgebung möglich ist. Vor Durchführung der Prüfmessungen muß zunächst anhand der Konstruktionszeichnungen der Anlage ein Überblick über die Lage und den Verlauf aller konstruktionsbedingten Inhomogenitäten gewonnen werden.

Die Prüfmessungen erfolgen durch geeignetes Positionieren und Verschieben von Quelle und/oder Detektor parallel zu den Wandoberflächen. Die Ortspunkte für Quelle und Detektor sind dabei nach Bild 7 quer über die Durchstoßlinie der zu untersuchenden Begrenzungsfläche auf den Oberflächen der Abschirmwand anzuordnen (Profilmessung). Es empfiehlt sich, für die Abstände zwischen Detektor bzw. Quelle und Abschirmung dieselben Werte zu nehmen wie bei den Abtastmessungen.

Anmerkung: Um rechtzeitig auffällige Ortsdosisleistungsüberhöhungen infolge besonders durchlässiger Inhomogenitäten zu erkennen, kann es vorteilhaft sein, bei den Prüfungen zunächst großflächige Detektoren zu verwenden.

Bei den Prüfmessungen ist durch hinreichend viele Quellenpositionen sicherzustellen, daß die Durchstoßlinie überdeckt ist (siehe Bilder 7 b und 7 c).

Ist eine konstruktionsbedingte Inhomogenität anhand der Profilmessungen nicht als Schwachstelle zu erkennen, sind schrittweise weitere Profilmessungen entlang der gesamten sichtbaren oder vermuteten Durchstoßlinie mit einer Schrittweite von höchstens 10 cm durchzuführen (siehe Bild 2).

Wird die Begrenzungsfläche einer Inhomogenität durch ein relatives Maximum der Ortsdosisleistung angezeigt, ist die Quelle für weitere Messungen in Schritten von höchstens 10 cm entlang der Durchstoßlinie zu verschieben und der Detektor nachzuführen, wobei gegebenenfalls die Lage der Durchstoßlinie durch weitere Profilmessungen gesichert werden muß. Bei jeder Verschiebung der Quelle oder des Detektors ist die Veränderung der Ortsdosisleistung zu verfolgen. Wird bei diesen Messungen die Vergleichsdosisleistung $\dot{H}_V$ überschritten, ist der Maximalwert in diesem Bereich zu suchen.

Bei den Prüfmessungen entlang der Durchstoßlinie ist mindestens alle 10 cm der Meßwert zu dokumentieren. Bei Überschreitung der Vergleichsdosisleistung $\dot{H}_V$ ist der entsprechende Bereich und der Maximalwert festzuhalten, und es empfiehlt sich, den Bereich an der Abschirmung zu kennzeichnen.

Die Schrittweite der Profilmessungen kann in Bereichen, die nicht für den dauernden Aufenthalt von Personen vorgesehen sind, bis auf den Wert des Rasterabstandes vergrößert werden.

5.9 Auswertung der Messungen

Soweit bei allen durchgeführten Prüfmessungen die Meßwerte kleiner als die Vergleichsdosisleistung $\dot{H}_V$ bleiben, ist davon auszugehen, daß die Abschirmwirkung der untersuchten Abschirmung dem Planungsziel genügt.

Wird bei einer Prüfmessung die Vergleichsdosisleistung $\dot{H}_V$ überschritten, sind zusätzlich Erfordernisse in dem Raumbereich vor der Abschirmung erforderlich, in dem sich

beim späteren Betrieb regelmäßig Personen aufhalten. Mit diesen Messungen ist zu prüfen, ob die Ortsdosisleistungsüberhöhung an der Abschirmung zu einer unzulässigen Strahlenexposition von Personen führen kann.

6 Anforderungen an die Meßgeräte

An die Meßgeräte werden folgende Anforderungen gestellt:

- Es sind geeichte Gammastrahlenmeßgeräte zu verwenden, die eine Bestimmung der Äquivalentdosisleistung erlauben.
- Der bei der Ortsdosisleistungsmessung erfaßbare Energiebereich soll sich von 0,02 MeV bis mindestens 1,3 MeV erstrecken.
- Die Ansprechempfindlichkeit muß den Energiebereich der Prüfquelle abdecken und bekannt sein.
- Bei Abschirmungen, vor denen Personen bei ihrer Tätigkeit einen festen Standplatz haben oder sitzen, sollten die Prüfmessungen mit Detektoren durchgeführt werden, deren empfindliches Meßvolumen 5 cm Durchmesser nicht überschreitet. In anderen Fällen sollte der Detektordurchmesser nicht mehr als 10 cm betragen.
- Es ist ein Meßbereich von 0,5 bis $10^4 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ (0,05 bis $10^3 \text{mrem} \cdot \text{h}^{-1}$) zu erfassen. (Zur Messung des Nullpegels ist ein Gerät mit einem Meßbereich ab $0,1 \mu\text{Sv/h}$ ($0,01 \text{mrem/h}$) erforderlich).
- Die Richtungsabhängigkeit der Geräte soll bekannt sein.

Anmerkung: Bei der Wahl der Durchmesser der Detektoren ist dem Bewegungsspielraum der vor der Abschirmwand tätigen Personen Rechnung zu tragen. Damit soll einerseits der Umfang der Messungen nicht unnötig groß werden, andererseits sollen jedoch örtliche Ortsdosisleistungsspitzen nicht durch die infolge der Detektorausdehnung gegebene Mittelung unerkannt bleiben. Solche unerkannten Ortsdosisleistungsspitzen könnten bei geringem Bewegungsspielraum der Personen zu unzulässigen Strahlenexpositionen einzelner Körperteile führen.

7 Dokumentation

Die nach Abschnitt 5.8 durchzuführenden Prüfmessungen sind zusammen mit den für die Messungen maßgeblichen Randbedingungen zu protokollieren. Die Dokumentation muß folgende Angaben enthalten:

a) Deckblatt

- Bezeichnung der Prüfaufgabe
- Hinweis auf die Norm
- Bezeichnung der Anlage
- Name des Standorts der Anlage
- Gebäudeteil
- Datum, ausführende Stelle

Ferner ist für jede untersuchte Abschirmwand folgendes zu protokollieren:

b) Nullpegelmessung

- Bezeichnung der Meßreihe, Datum, Ausführender
- Verwendete Meßgeräte (Gerätetyp, Geräte-Nr)
- Angabe der Detektorposition und des Meßwertes

c) Strahlenschutzmessungen

- Bezeichnung der Meßreihe, Datum, Ausführender
- Verwendete Strahlenquelle (Nuklid, Aktivität, Bauart)
- Verwendete Meßgeräte (Gerätetyp, Geräte-Nr)
- Angabe des Maximalwertes der gemessenen Ortsdosisleistungen und der zugehörigen Quellen- und Detektorposition

d) Berechnungen

- Bezeichnung der Meßreihe, Datum, Ausführender
- Gültigkeitsbereich der Prüfmessungen
- Ermittlung der Schwellendosisleistung $\dot{H}_S$
- Berechnung der Vergleichsdosisleistung $\dot{H}_V$
- Berechnung des Sicherheitsfaktors f_S
- Berechnung der Abschirmwanddicke in Relaxationslängen μd
- Berechnung der Ausdehnung R_D des Abtastbereichs
- Berechnung des Reservefaktors f_R
- Ermittlung des Rasterabstandes R_Q

e) Prüfmessungen

- Bezeichnung der Meßreihe, Datum, Ausführender
- Verwendete Prüfquelle (Nuklid, Aktivität, Bauart)
- Verwendete Meßgeräte (Gerätetyp, Geräte-Nr)
- Abstände r_i , r_a und R_Q bei Abtastmessungen
- Ausdehnung R_D des Abtastbereichs
- Abstände r_i , r_a und Schrittweite bei Profilmessungen
- Tabellen und/oder Zeichnungen mit Meßwerten und Meßpositionen

f) Auswertung der Messungen

- Bezeichnung der Meßreihe, Datum, Ausführender
- Ortsdosisleistungen $\dot{H}_V$ und $\dot{H}_S$
- Zusammenstellung der Meßwerte und Meßpositionen, an denen $\dot{H}_V$ überschritten wird.

Grundsätzlich ist auf jedem Blatt das Datum und die Bezeichnung der Prüfaufgabe zu vermerken.

Tabelle 1. **Massenschwächungskoeffizienten für einige Abschirmwerkstoffe**

Prüfnuklid Werkstoff	μ/ρ in cm^2/g	
	Cs 137 (0,662 MeV)	Co 60 (1,25 MeV)
Wasser	0,0857	0,0632
Normalbeton ¹⁾	0,0774	0,0571
Aluminium	0,0744	0,0549
Barytbeton ¹⁾	0,0756	0,0532
Magnetitbeton ¹⁾	0,0748	0,0549
Stahl	0,0728	0,0533
Blei	0,1061	0,0575

¹⁾ Zusammensetzung nach DIN 25 413 Teil 2