

**DIN ISO 11665-9
(VDE 0493-1-6659)**
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 13.040.01; 17.240

Einsprüche bis 2019-07-24

Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO 11665-9
(VDE 0493-1-6659):2016-11

Entwurf

**Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt –
Luft: Radon-222 –
Teil 9: Verfahren zur Bestimmung der Exhalationsrate aus Baumaterialien
(ISO/FDIS 11665-9:2019);
Text Deutsch und Englisch**

Measurement of radioactivity in the environment –
Air: Radon-222 –
Part 9: Test methods for exhalation rate of building materials
(ISO/FDIS 11665-9:2019);
Text in German and English

Mesurage de la radioactivité dans l'environnement –
Air: Radon 222 –
Partie 9: Méthode de détermination du flux d'exhalation des matériaux de construction
(ISO/FDIS 11665-9:2019);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-05-24 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 86 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR)

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Vorwort.....	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe und Symbole	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Symbole.....	9
4 Messprinzip	11
5 Reagenzien, Geräte und Einrichtungen	11
5.1 Reagenzien	11
5.2 Geräte und Einrichtungen für die Probenvorbereitung.....	11
5.3 Geräte und Einrichtungen für die Messung.....	12
5.4 Prüfstrecke	13
6 Vorbereitung der Prüfprobe eines Baumaterials	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Anzahl und Größe	14
6.2.1 Allgemeines	14
6.2.2 Endprodukt	15
6.2.3 Flüssige Zwischenprodukte.....	15
6.3 Klimatisierung	15
6.3.1 Endprodukte	15
6.3.2 Flüssige Zwischenprodukte.....	15
7 Messung	16
7.1 Allgemeines	16
7.2 Einrichten der Prüfstrecke	16
7.2.1 Wahl des Volumenstromes	16
7.2.2 Bestimmung der Menge des Adsorptionsmittels.....	16
7.2.3 Bestimmung der minimalen Desorptionsdauer	17
7.2.4 Messung mit Flüssigszintillationszähler	17
7.3 Messablauf	18
8 Ergebnisdarstellung.....	19
8.1 Allgemeines	19
8.2 Freie Exhalationsrate.....	20
8.3 Standardunsicherheit.....	20

8.4	Erkennungsgrenze	21
8.5	Nachweisgrenze	21
9	Prüfbericht	22
Anhang A (normativ)	Verfahren zur Bestimmung der freien Radon-Exhalationsrate von mineralischen Baumaterialien – Bestimmung der Gesamtzählereignisse mittels Gammaspektrometrie	23
Anhang B (normativ)	Verfahren zur Bestimmung der freien Radon-Exhalationsrate von mineralischen Baumaterialien – Bestimmung mittels nuklidspezifischer Gammaspektrometrie	31
Anhang C (informativ)	Leistungsmerkmale	41
Literaturhinweise		42

Bilder

Bild 1 – Gliederung der Reihe ISO 11665	7
Bild 2 – Schematische Darstellung der Prüfstecke	13
Bild 3 – Schritte des Messablaufs mit entsprechend vorbereiteten Proben	14
Bild 4 – Die verschiedenen aufeinanderfolgenden Schritte des Messablaufs mit dem jeweiligen Symbol für die Dauer	16
Bild 5 – Beispiel einer Desorptionskurve: Entwicklung der Aktivität (%) in Abhängigkeit von der Zeit (h)	18
Bild A.1 – Schematische Darstellung der Prüfstrecke	25
Bild B.1 – Schematische Darstellung der Prüfstrecke	34

Tabellen

Tabelle C.1 – Mittelwert und Standardabweichung der linearen Regressionskoeffizienten a_0 (Nulldurchgang) und a_1 (Anstieg) nach der 2-Felder-Regressionsanalyse (mit dem Korrelationskoeffizienten R nach Pearson in der 4. Spalte und der Anzahl der Beobachtungen in der letzten Spalte [6])	41
---	----

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument ISO/FDIS 11665-9:2019 „Measurement of radioactivity in the environment – Air: Radon-222 – Part 9: Test methods for exhalation rate of building materials“, (FDIS, en: Final Draft International Standard) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält die deutsche Übersetzung der Schlussfassung für die Internationale Norm.

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

Das internationale Dokument wurde vom SC 2 „Radiological protection“ des TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme und Abstimmung vorgelegt. Es wird jedoch nicht zeitgleich (parallel) bei ISO und CEN zur Umfrage gestellt. Derzeit ist also nicht vorgesehen, dieses Dokument als Europäische Norm zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium GK 851 „Aktivitätsmessgeräte für den Strahlenschutz“ 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.

Änderungen

Gegenüber **DIN ISO 11665-9 (VDE 0493-1-6659):2016-11** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Gliederungssystematik in den Aufzählungen der erforderlichen Reagenzien, Geräte und Einrichtungen wurde überarbeitet;
- b) die Gliederungssystematik der durchzuführenden Schritte der Messabläufe wurde überarbeitet;
- c) die in **DIN ISO 11665-9 (VDE 0493-1-6659):2016-11** per Nationaler Fußnote korrigierten Verweisungen innerhalb der Norm wurden entsprechend korrigiert;
- d) die Einleitung wurde ergänzt, **Bild 1** neu aufgenommen;
- e) die Literaturhinweise wurden ergänzt;
- f) in **3.2** fehlerhafte Angaben von Einheiten wurden korrigiert, wie in **DIN ISO 11665-9 (VDE 0493-1-6659):2016-11** per Nationaler Fußnote erfolgt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom ISO/TC 85, *Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection*, Unterkomitee SC 2, *Radiological protection*, erarbeitet.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 11665 kann auf der ISO-Internetseite abgerufen werden.

Einleitung

Die Radonisotope 222, 220, 219 sind radioaktive Gase, die durch Zerfall der Radiumisotope 226, 224 und 223 entstehen, welche wiederum Folgeprodukte von Uran-238, Thorium-232 und Uran-235 sind. All diese Radionuklide sind in der Erdkruste enthalten. Durch den Zerfall von Radon entstehen feste Elemente, die ebenfalls radioaktiv sind und die schließlich stabiles Blei bilden [1].

Beim Zerfall emittiert Radon Alphateilchen und bildet feste, radioaktive Folgeprodukte (Polonium, Wismut, Blei usw.). Die potenzielle Gefahr des Radons für den Menschen entsteht vor allem durch seine Folgeprodukte und nicht durch das Gas selbst. Je nachdem, ob sie an atmosphärische Aerosole angelagert sind oder nicht, können Radon-Folgeprodukte inhaled und entsprechend ihrer Größe in unterschiedlichen Tiefen des bronchopulmonalen Trakts deponiert werden.

Radon gilt heute als die Hauptursache für die natürliche Strahlenexposition des Menschen. UNSCEAR [2] legt dar, dass weltweit Radon rund 52 % der globalen mittleren Exposition durch natürliche Strahlung verursacht. Die radiologische Wirkung des Isotops 222 (48 %) ist weit signifikanter als die des Isotops 220 (4 %), während das Isotop 219 als vernachlässigbar angesehen wird. Deshalb ist in diesem Teil der ISO 11665 mit dem Begriff Radon nur Radon-222 gemeint.

Die Radon-Aktivitätskonzentration kann zeitlich und örtlich von einer bis zu mehreren Größenordnungen variieren. Die Exposition durch Radon und seine Folgeprodukte variiert erheblich von Ort zu Ort, da sie von der Menge des aus dem Boden emittierten Radons, den Wetterbedingungen und dem Grad der Anreicherung in den Bereichen, in denen sich Personen aufhalten, abhängt.

Da Radon sich vorzugsweise in umschlossenen Räumen wie Häusern anreichert, verursacht Radon in Innenräumen den Hauptbeitrag zur Exposition der Bevölkerung. Das aus dem Erdreich über Öffnungen eindringende Radon wird als die Hauptquelle für Radon in Innenräumen angesehen. Andere Quellen sind in anderen Normen der Reihe ISO 11665 und, für Wasser, in den Normen der Reihe ISO 13164 [3] beschrieben.

Radon dringt durch konstante Diffusion, die von dem immer bestehenden Gefälle der Radonkonzentration im Bodenuntergrund und innerhalb des Gebäudes herrührt, und durch nicht konstante Konvektion aufgrund von Druckunterschieden zwischen der Raumluft und der im Bodenuntergrund enthaltenen Luft in Gebäude ein. Die Radonkonzentration in der Raumluft hängt von der Radonkonzentration im Bodenuntergrund, der Gebäudestruktur, der technischen Ausstattung (Kamin, Belüftungssystem u. a.), Umwelteigenschaften des Gebäudes (Temperatur, Luftdruck usw.) und dem Lifestyle der Bewohner ab.

Um das Risiko für Personen zu begrenzen, wurden von der Weltgesundheitsorganisation ein nationaler Referenzwert von $100 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ empfohlen [4]. Wenn dieser nicht eingehalten werden kann, sollten $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ nicht überschritten werden. Diese Empfehlung wurde den EU-Mitgliedsstaaten vorgelegt, die nationale Referenzwerte für die Radonaktivität in Innenräumen festlegen müssen. Die Referenzwerte für die mittlere jährliche Aktivitätskonzentration in Luft darf nicht höher als $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ sein [5].

Um das Risiko für die Gesamtbevölkerung zu reduzieren, sollten Bauvorschriften eingeführt werden, die vorbeugende Radonmessungen in im Bau befindlichen Gebäuden und Messungen zur Radon-Begrenzung in bestehenden Gebäuden vorschreiben. Radonmessungen sind erforderlich, da Bauvorschriften alleine nicht sicherstellen können, dass die Radonkonzentration unterhalb des Referenzwerts liegt.

In Materialien werden die Radonatome durch den Zerfall von Radium-226, das in den mineralischen Körnern enthalten ist, gebildet. Einige dieser Atome gelangen in das Zwischenporenvolumen des Minerals, welches als Emanation bezeichnet wird. Einige dieser durch Emanation gebildeten Radonatome erreichen durch Diffusion und Konvektion die Oberfläche des Materials. Dies wird als Exhalation bezeichnet.

Die Oberflächen-Exhalationsrate von Radon-222 variiert von nicht nachweisbar bis zu $5 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ [6], [7].

ISO 11665 besteht aus 12 Teilen (siehe Bild 1).

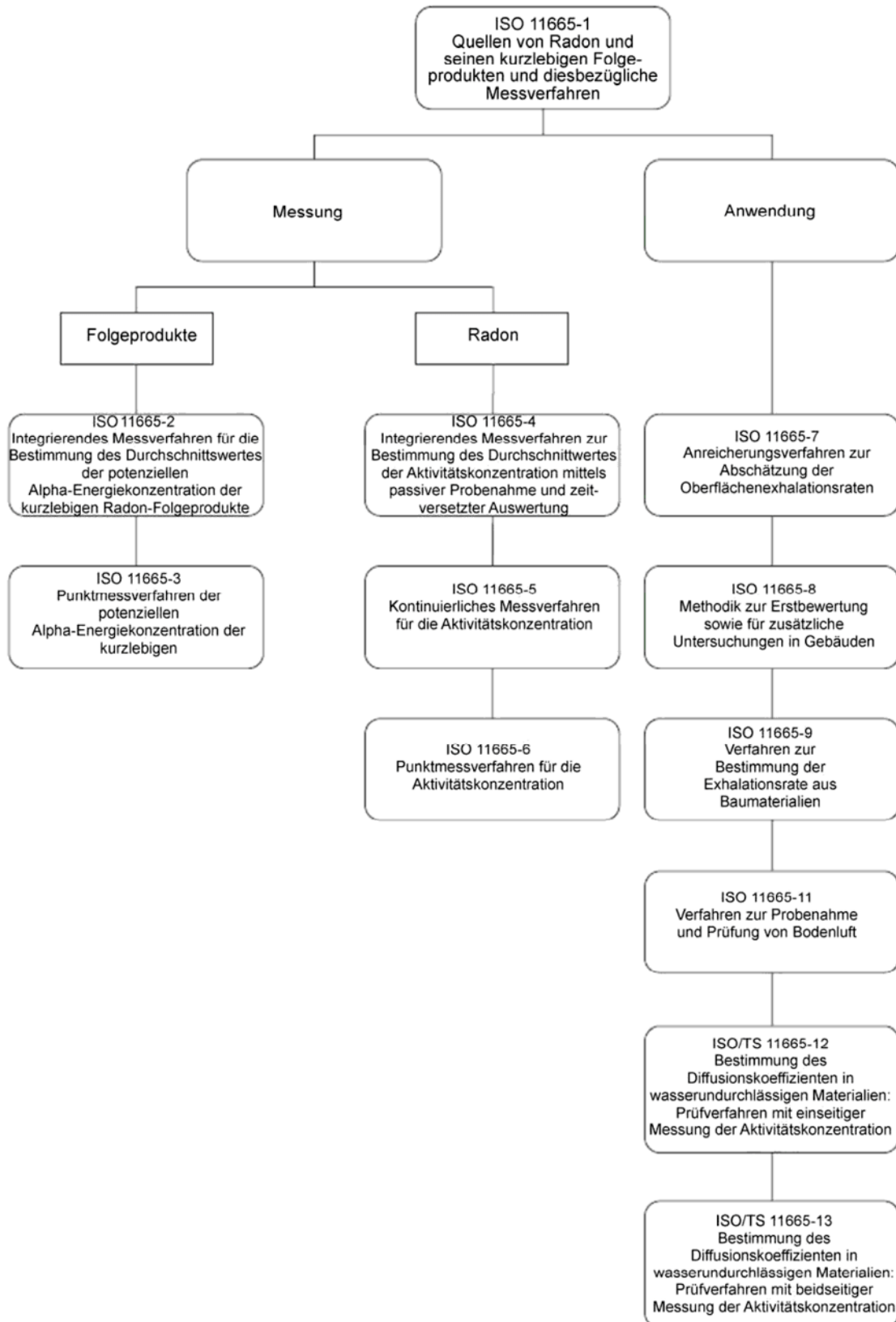


Bild 1 – Gliederung der Reihe ISO 11665

**Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt –
Luft: Radon-222 –**

Teil 9: Verfahren zur Bestimmung der Exhalationsrate aus Baumaterialien

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein Verfahren für die Bestimmung der freien Radon-Exhalationsrate einer Herstellungsladung mineralischer Baumaterialien fest. Dieses Dokument bezieht sich ausschließlich auf die Exhalation von ^{222}Rn , die mittels zweier Prüfverfahren bestimmt wird: Flüssigszintillationsmessung und Gammaskpektrometrie ([Anhang A](#) und [Anhang B](#)).

Die Exhalation von Thoron (^{220}Rn) liefert bei Anwendung der in diesem Dokument beschriebenen Bestimmungsverfahren keinen Beitrag zum Messergebnis.

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).

ISO 11665-1, *Measurement of radioactivity in the environment – Air: Radon-222 – Part 1: Origins of radon and its short-lived decay products and associated measurement methods*

ISO 11929, *Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for ionizing-radiation measurements – Fundamentals and application*

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokument 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>

3.1.1

Herstellungsladung

Charge

(en: batch)

Menge eines Materials, das als Einheit betrachtet wird und für welche einheitliche Eigenschaften angenommen werden, oder ein Frischbeton, der unter einheitlichen Bedingungen produziert wurde und der die gleiche Festigkeit und Umweltklasse oder gleiche Zusammensetzung besitzt

3.1.2

Baumaterial

(en: building material)

Erzeugnis, das aus einem oder mehreren Baumaterialien und möglichen Zuschlagstoffen hergestellt wird und dessen Eigenschaften nach der Herstellung, die gegebenenfalls durch einen Aushärtungsprozess ergänzt wird, mit zuvor festgelegten Anforderungen übereinstimmen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Aushärtungsprozess, in welchem die chemischen Reaktionen stattfinden, kann unter Umgebungsbedingungen (kaltbindende Erzeugnisse), bei erhöhten Temperaturen (gebrannte Erzeugnisse) oder bei erhöhten Temperaturen und Drücken (dampfgehärtete Erzeugnisse) erfolgen.

3.1.3

Laborprobe eines Baumaterials

(en: building material laboratory sample)

Probe oder Teilprobe(n) eines *Baumaterials* (3.1.2), welches das Labor erhält

3.1.4

Prüfprobe eines Baumaterials

(en: building material test sample)

Probe eines *Baumaterials* (3.1.2), welche entweder eine Laborprobe ist oder aus einer Laborprobe zur Bestimmung der Radonexhalation hergestellt wurde

3.1.5

Analysenprobe

(en: adsorbent test sample)

Probe des Adsorptionsmittels, wie z. B. Kieselgel oder Aktivkohle, die für das Auffangen des aus der *Prüfprobe eines Baumaterials* (3.1.4) exhalieren Radons verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Probe wird für die Analyse verwendet.

3.1.6

freies Volumen

(en: free volume)

Volumen des Exhalationsgefäßes, reduziert um das Volumen der physischen Größe der *Prüfprobe eines Baumaterials* (3.1.4)

3.1.7

Radonstandard

(en: radon standard)

^{226}Ra -Lösung mit einer auf ein Primärnormal rückführbaren Aktivität oder eine Radon-Emanationsquelle mit entsprechend definierter Radonemanation

3.1.8

Austauschrate

(en: ventilation rate)

Häufigkeit, mit der das *freie Volumen* (3.1.6) erneuert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Austauschrate kann durch Division des Volumenstromes (m^3/s) durch das *freie Volumen* (3.1.6) (m^3) berechnet werden.

3.2 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole nach ISO 11665-1 und die Folgenden.

Symbol	Messgröße
$A_{\text{Ra,s}}$	^{226}Ra -Aktivität des Radonstandards, in Becquerel
A_{Ra}	^{226}Ra -Aktivität, in Becquerel
F_{c}	Kalibrierfaktor
$\overline{F}_{\text{c}}$	mittlerer Kalibrierfaktor
i	Index zur Kennzeichnung der i -ten Zählung
M_{g}, m_0	Anzahl der Wiederholungen von Zählungen derselben Analysenprobe bzw. des Untergrundes
$n_{\text{g},i}, n_{0,i}$	Anzahl der Zählereignisse bei der i -ten von insgesamt m Zählungen der Gesamtpeakfläche der Analysenprobe bzw. des Untergrundspektrums

Symbol	Messgröße
$\bar{n}_g, \bar{n}_0$	Mittelwert der Anzahl der Zählereignisse bei insgesamt m Zählungen der Analysenprobe bzw. des Nullprobe
$n_{g,Pb,i}, n_{0,Pb,i}$	Anzahl der Zählereignisse im Peak der ^{210}Pb -Energienlinie bei der i -ten von insgesamt m Zählungen des Spektrums der Analysenprobe bzw. des Nullspektrums
$\bar{n}_{g,Pb}, \bar{n}_{0,Pb}$	Mittelwert der Anzahl der Zählereignisse im Peak der ^{210}Pb -Energienlinie bei m Zählungen der Analysenprobe bzw. der Nullprobe
$n_{g,Bi,i}, n_{0,Bi,i}$	Anzahl der Zählereignisse im Peak der ^{214}Bi -Energienlinie bei der i -ten von insgesamt m Zählungen des Spektrums der Analysenprobe bzw. des Nullspektrums
$\bar{n}_{g,Bi}, \bar{n}_{0,Bi}$	Mittelwert der Anzahl der Zählereignisse im Peak der ^{214}Bi -Energienlinie bei m Zählungen der Analysenprobe bzw. der Nullprobe
R_g, R_0	Gesamtzählrate infolge von Radon und/oder Radon-Folgeprodukten in der Analysenprobe bzw. der Nullprobe, in Becquerel je Sekunde ^{N1)}
$\bar{R}_g, \bar{R}_0$	Mittelwert von m Messungen der Gesamtzählrate infolge von Radon und/oder Radon-Folgeprodukten in der Analysenprobe bzw. der Nullprobe, in Becquerel je Sekunde ^{N1)}
$R_{g,Pb}, R_{0,Pb}$	Gesamtzählrate durch ^{210}Pb in der Analysenprobe bzw. der Nullprobe, in Becquerel je Sekunde ^{N1)}
$R_{g,Bi}, R_{0,Bi}$	Gesamtzählrate durch ^{214}Bi in der Analysenprobe bzw. der Nullprobe, in Becquerel je Sekunde ^{N1)}
t_a	Dauer vom Beginn bis zum Ende der Adsorption, in Sekunden
t_g, t_0	Dauer der Messung von Nullprobe und Untergrund, in Sekunden
t_c	Dauer der Zählung der Analysenprobe, in Sekunden
t_w	Dauer vom Ende der Adsorption bis zum Beginn der Zählung, in Sekunden
U_r	erweiterte Unsicherheit, gegeben durch $U = k \cdot u(a)$ mit $k = 2, \dots$
V	freies Volumen, in das Radon exaliert, in Kubikmeter
V_p	Volumen der Prüfprobe des Baumaterials, in Kubikmeter
λ_{Rn}	Zerfallskonstante des Radons, in Becquerel je Sekunde ^{N1)}
λ_v	Austauschrate, in Becquerel je Sekunde ^{N1)}
k	Erweiterungsfaktor
ϕ_f	freie Radon-Exhalationsrate, in Becquerel je Sekunde
$\bar{\phi}_f$	Mittelwert der freien Radon-Exhalationsrate, in Becquerel je Sekunde
$\mu(\bar{\phi}_f)$	Standardunsicherheit der freien Radon-Exhalationsrate, in Becquerel je Sekunde
$\bar{\phi}_{f,Pb}$	freie Radon-Exhalationsrate für ^{210}Pb , in Becquerel je Sekunde
$\bar{\phi}_{f,Bi}$	freie Radon-Exhalationsrate für ^{214}Bi , in Becquerel je Sekunde
$\bar{\phi}_f^*$	Erkennungsgrenze der freien Radon-Exhalationsrate, in Becquerel je Sekunde
$\bar{\phi}_f^\#$	Nachweisgrenze der freien Radon-Exhalationsrate, in Becquerel je Sekunde ^N
$\bar{\phi}_{f,Pb}^*, \bar{\phi}_{f,Bi}^*$	Erkennungsgrenze der freien Radon-Exhalationsrate für ^{210}Pb bzw. ^{214}Bi , in Becquerel je Sekunde
$\bar{\phi}_{f,Pb}^\#, \bar{\phi}_{f,Bi}^\#$	Nachweisgrenze der freien Radon-Exhalationsrate für ^{210}Pb bzw. ^{214}Bi , in Becquerel je Sekunde

Alle Formelzeichen, die die Zählungen von Prüfproben, Nullproben und Referenzproben betreffen, sind jeweils durch die Indizes g, 0 bzw. r gekennzeichnet.

Die arithmetische Mittelung über m Zählungen derselben Art mit der gleichen vorgewählten Messdauer, t (Zeitvorwahl), wird grundsätzlich durch einen Überstrich gekennzeichnet.

So sind z. B. für die Ergebnisse n_i ($i = 1, \dots, m$; $m > 1$) von m Zählungen, die auf diese Art vorgenommen wurden, der Mittelwert $\bar{n}$ der Messwerte und seine Unsicherheit $u^2(\bar{n})$ gegeben durch

$$\bar{n} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m n_i ; \quad u^2(\bar{n}) = \frac{1}{m} \left(\bar{n} + \frac{m-1}{m-3} \bar{n} + \frac{1}{m-3} \sum_{i=1}^m (n_i - \bar{n})^2 \right)$$

4 Messprinzip

Die Prüfprobe eines Baumaterials (3.1.4) wird bei einer Temperatur von $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte von $(50 \pm 5)\%$ klimatisiert. Danach wird die Prüfprobe eines Baumaterials (3.1.4) in einem Exhalationsgefäß platziert, in dem die Radonexhalation erfolgt.

Die freie Exhalationsrate wird durch Spülen des exhalierten Radons aus dem freien Volumen (3.1.6) mit Stickstoff und anschließender Sammlung an einem Adsorptionsmittel, wie z. B. Kieselgel oder Aktivkohle, bestimmt (Methode des Spülens und Auffangens). Der Radongehalt dieses Adsorptionsmittels wird mittels Flüssigszintillationsmessung für Kieselgel, wie im Hauptteil beschrieben, oder mittels Gammaskpektrometrie für Aktivkohle nach Anhang A oder Anhang B bestimmt.

5 Reagenzien, Geräte und Einrichtungen

5.1 Reagenzien

5.1.1 Eiswasser.

5.1.2 Kaliumhydroxid, KOH, fest (Pellets).

5.1.3 Radonstandard (3.1.7).

5.1.4 Szintillationscocktail.

ANMERKUNG Ein Cocktail auf Toluolbasis ist in der Praxis am besten geeignet.

5.1.5 Kieselgel (en: silica gel) mit einer Teilchengröße von 1 mm bis 3 mm und bei 105°C bis auf Trockenmasse reduziert.

Die Trockenmasse ist erreicht, wenn die Masse bei der letzten Wägung nicht um mehr als 0,5 % von der Masse der vorangegangenen Wägung abweicht und die Zeit zwischen beiden Wägungen mindestens 24 h beträgt.

5.1.6 Stickstoff, N_2 , gasförmig.

ANMERKUNG Bei der Nullmessung ist jeder Radonbeitrag durch das Gas und dessen Einfluss auf das Ergebnis zu berücksichtigen.

5.1.7 Stickstoff, N_2 , flüssig.

5.2 Geräte und Einrichtungen für die Probenvorbereitung

5.2.1 Klimakammer, in der die Temperatur auf einen Wert von $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ und die relative Luftfeuchte auf einen Wert von $(50 \pm 5)\%$ einstellbar ist.

5.2.2 Kalibriertes Längenmessgerät mit einer Ableseunsicherheit von höchstens 1 mm.

5.2.3 Kalibrierte Wägeeinrichtung mit einem Messbereich, der im Minimum größer als das 1,5-Fache der Masse der Prüfprobe eines Baumaterials (3.1.4) ist, und einer Ableseunsicherheit von maximal 0,01 %.

5.2.4 Gerät zur Messung der relativen Luftfeuchte mit einem Messbereich von 40 % bis 60 %, einer Messunsicherheit von höchstens 3 % und einer Ableseunsicherheit von höchstens 1 %.

5.2.5 Thermometer mit einem Messbereich von 15 °C bis 25 °C, einer Messunsicherheit von höchstens 1 °C und einer Ableseunsicherheit von höchstens 0,5 °C.

5.2.6 Säge.

5.3 Geräte und Einrichtungen für die Messung

5.3.1 Adsorptionssäule. U-Rohr aus Glas mit ausreichender Länge und Durchmesser, um die Aufnahme von etwa 5 g Kieselgel zu ermöglichen.

5.3.2 Dewargefäß.

5.3.3 Trockensäule, U-Rohr aus Glas mit ausreichender Länge und Durchmesser, um die Aufnahme von 20 g KOH-Pellets zu ermöglichen.

5.3.4 Exhalationsgefäß, das eine oder mehrere Analyseproben (3.1.5) aufnehmen kann, ohne dass diese sich gegenseitig oder die Gefäßwände berühren und das luftdicht verschlossen werden kann. Das Gefäß muss so bemessen sein, dass eine angemessene Durchspülung des freien Volumens (3.1.6) möglich ist. Es wird sichergestellt, dass das Volumen des Exhalationsgefäßes mindestens doppelt so groß ist wie das Volumen der Analyseprobe (3.1.5).

Das für die Herstellung des Exhalationsgefäßes verwendete Material darf kein Radon freisetzen. Das Gefäß muss eine Einlass- und eine Auslassöffnung besitzen, um die Durchspülung des freien Volumens (3.1.6) mit Stickstoff zu ermöglichen, und es muss mit einem Thermometer und einem Gerät zur Messung der relativen Luftfeuchte ausgestattet sein. Das einströmende Gas muss auf verschiedene Einlassöffnungen verteilt werden, um zu gewährleisten, dass der gesamte innere Gefäßraum einheitlich durchspült wird. Es wird sichergestellt, dass keine Strömungsbrücken im inneren Gefäßraum entstehen, die nicht durchspülte Bereiche bilden. Die Volumenstrommessgeräte müssen in die Zu- und Ableitung des Stickstoffs eingebaut sein.

5.3.5 Gaswaschflasche(n), mindestens eine mit einem Volumen von 150 ml bis 200 ml.

5.3.6 kalibriertes Längenmessgerät mit einer Ableseunsicherheit von höchstens 1 mm.

5.3.7 Glasvials als Probengefäß zum Einsatz in den Flüssigszintillationszähler; Volumen 20 ml.

5.3.8 Gerät zur Messung der relativen Luftfeuchte mit einem Messbereich von 40 % bis 60 %, einer Messunsicherheit von absolut höchstens 3 % und einer Ableseunsicherheit von höchstens 1 %.

5.3.9 Rundkolben oder Gaswaschflaschen mit einem ausreichend großem Volumen, um sicherzustellen, dass die ²²⁶Ra-Lösung durchspült werden kann.

5.3.10 Flüssigszintillationszähler, vorzugsweise mit einem Probenwechsler und der Möglichkeit, Messbereiche einzustellen sowie Pulshöhenspektren anzuzeigen.

5.3.11 Thermometer mit einem Messbereich von 15 °C bis 25 °C, einer Messunsicherheit von höchstens 1 °C und einer Ableseunsicherheit von höchstens 0,5 °C.

5.3.12 Chronometer mit einer Ableseunsicherheit von höchstens 1 s.

5.3.13 Rohrverbindungen mit Ventilen, wenn erforderlich.

5.3.14 Plastikrohre.

5.3.15 Volumenstrommessgerät mit einer Genauigkeit, so dass der tatsächliche Volumenstrom während der Prüfung nicht um mehr als 1 % vom eingestellten Wert abweicht, mit einer Messunsicherheit von höchstens 2 % vom Messwert und einer Ableseunsicherheit von 1 % vom Messwert betragen.

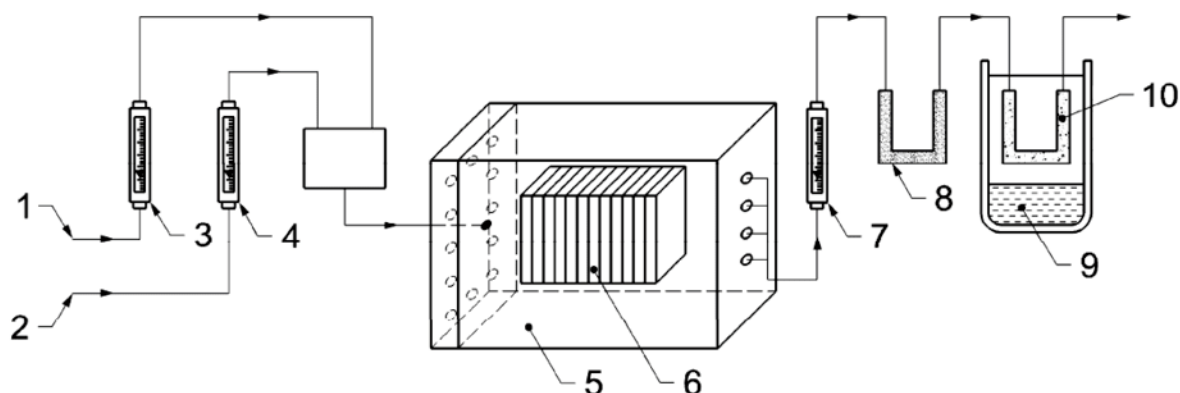
5.4 Prüfstrecke

Die Prüfstrecke mit den Komponenten entsprechend 5.3 ist in Bild 2 angegeben.

Die Komponenten werden mit Plastikrohren (5.3.14) verbunden. Radonführende Rohre, welche in Flussrichtung nach dem Exhalationsgefäß (5.3.4) angebracht sind, müssen so kurz wie möglich sein. Die Versorgung mit Stickstoff wird in zwei Teile geteilt.

Ein Teil wird über eine oder mehrere wassergefüllte Gaswaschflaschen geleitet (5.3.5), um sicherzustellen, dass eine relative Luftfeuchte von mindestens 50 % erreicht werden kann. Das Verhältnis zwischen dem trockenen und dem befeuchteten Volumenstrom kann mittels Ventilen, die in den Zuleitungen montiert sind, verändert werden. Das Gerät zur Messung der relativen Luftfeuchte (5.3.8) wird im Exhalationsgefäß (5.3.4) angebracht. Nach hermetischem Verschluss des Gefäßes und dem Starten des Stickstoffflusses wird nach 1 h geprüft, ob

- die Volumenströme in der Zu- und Ableitung innerhalb der Ablesegenauigkeit gleich sind ($A + B = C$);
- das Gerät zur Messung der relativen Luftfeuchte einen Wert von $(50 \pm 5) \%$ anzeigt. Wenn dies nicht der Fall ist, so muss das Verhältnis der Volumenströme durch Einstellung der Ventile verändert werden.



Legende

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1 Volumenstrom von Stickstoff mit einer relative Feuchte von 0 % | 6 Probe |
| 2 Volumenstrom von Stickstoff mit einer relative Feuchte von 100 % | 7 Volumenstrommessgerät C [5.3.15] |
| 3 Volumenstrommessgerät A [5.3.15] | 8 KOH-Pellets [5.1.2] |
| 4 Volumenstrommessgerät B [5.3.15] | 9 Flüssiger Stickstoff [5.1.6] |
| 5 Exhalationsgefäß [5.3.4] | 10 Kieselgel [5.1.5] |

Bild 2 – Schematische Darstellung der Prüfstrecke

6 Vorbereitung der Prüfprobe eines Baumaterials

6.1 Allgemeines

Die Proben, die für verschiedene Schritte des Messablaufs vorbereitet werden, sind in Bild 3 angegeben.

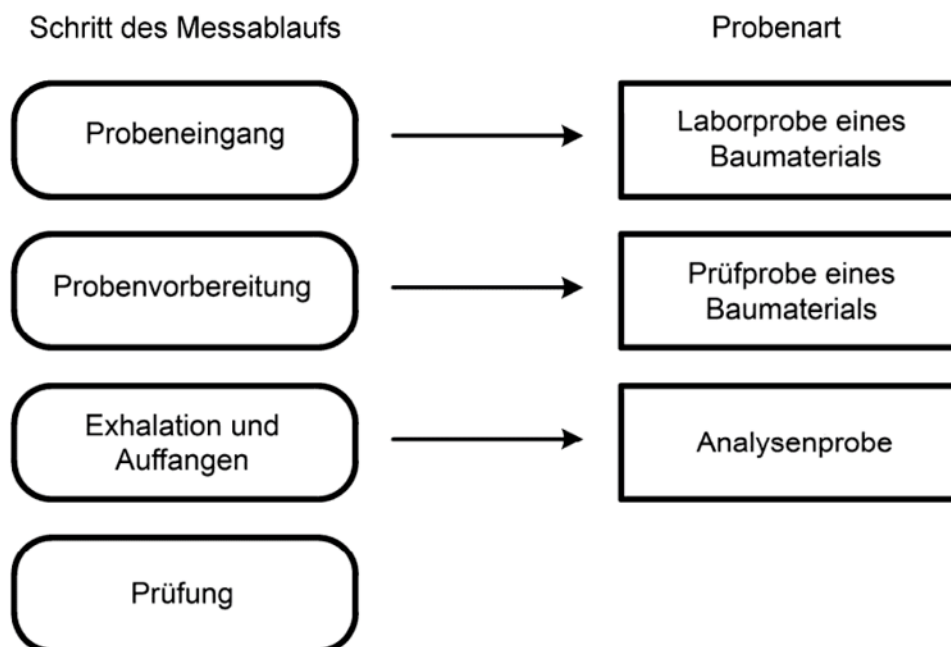


Bild 3 – Schritte des Messablaufs mit entsprechend vorbereiteten Proben

6.2 Anzahl und Größe

6.2.1 Allgemeines

In Abhängigkeit von den Laborproben eines Baumaterials werden zwei Verfahren zur Herstellung von Prüfproben angewendet:

- Baumaterialien (3.1.2) mit festgelegter Produktgeometrie, die als Endprodukte bezeichnet werden;
- flüssige Zwischenprodukte, die einen Aushärtungsprozess erfordern.

Für feste Zwischenprodukte ohne festgelegte Geometrie, z. B. Schüttgüter, kann eine Prüfprobe (3.1.4) mittels oben offenem Hohlkörper hergestellt werden. Das Material, welches für die Herstellung des Hohlkörpers verwendet wird, darf kein Radon exhaliert. Die Größe des Hohlkörpers wird nicht vorgegeben, jedoch muss dieser die Anforderungen an das Volumen von Prüfproben von Baumaterialien (3.1.4), wie in diesem Dokument vorgegeben, erfüllen.

Für Laborproben eines Baumaterials (3.1.3) ist sicherzustellen, dass das Gesamtvolumen der gemeinsam untersuchten Prüfproben des Baumaterials (3.1.4) höchstens die Hälfte des Volumens des Exhalationsgefäßes umfasst.

Bestimme für jede Prüfprobe des Baumaterials (3.1.4) die Masse in Kilogramm (kg) mit einer Genauigkeit von drei Dezimalstellen und die Größe in Meter (m) mit einer Genauigkeit von drei Dezimalstellen. Die Oberfläche einer Prüfprobe ist in Quadratmeter (m²) mit einer Genauigkeit von drei Dezimalstellen zu bestimmen, falls die Oberfläche nicht einfach aus den Größenangaben abgeleitet werden kann.

ANMERKUNG Das Gesamtvolumen der Prüfproben von Baumaterialien (3.1.4) wird in diesem Dokument nicht vorgeschrieben. Mit zunehmendem Volumen hat das Material eine höhere Exhalationsrate, wobei sich die Unsicherheit der Exhalationsrate bei unveränderter Adsorptionsdauer verringert. Im Allgemeinen ist ein Volumen im Bereich von 3 dm³ bis 10 dm³ für Prüfproben von Baumaterialien (3.1.4) ausreichend.

6.2.2 Endprodukt

Bei Endprodukten mit festgelegter Produktgeometrie werden mindestens 3 Prüfproben eines Baumaterials (3.1.4) aus den Laborproben des Baumaterials (3.1.3) entnommen. Die Prüfprobe kann durch Zersägen einer Laborprobe gewonnen werden, wenn die Laborprobe zu groß für das Exhalationsgefäß ist (Blöcke, Paneelen, Einzelstücke).

6.2.3 Flüssige Zwischenprodukte

Bei flüssigen Zwischenprodukten, die einen Aushärtungsprozess erfordern, z. B. Fließbeton, werden mindestens drei repräsentative Proben der pastösen Masse während des Gießens des Bauproduktes genommen.

Für die Prüfprobe eines Baumaterials (3.1.4) wird aus jeder dieser pastösen Massen ein kubischer Prüfling mit einer Kantenlänge von 150 mm × 150 mm × 150 mm bei Toleranzen von nicht mehr als 0,5 % hergestellt und im Falle von Beton während einer Dauer von 28 Tagen aushärten gelassen.

6.3 Klimatisierung

6.3.1 Endprodukte

Lagere die vorbereiteten Prüfproben eines Baumaterials (3.1.4) in der Klimakammer. Stelle die Temperatur auf einen Wert von $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ und die relative Luftfeuchte auf einen Wert von $(50 \pm 5) \%$ ein. Warte, bis der Feuchtigkeitsanteil mit den eingestellten Bedingungen im Gleichgewicht ist. Das ist der Fall, wenn sich die Masse der Prüfprobe des Baumaterials (3.1.4) über einen Zeitraum von sieben Tagen um weniger als 0,07 % gegenüber dem Wert der vorangegangenen Messung verändert. Wenn dies einmal der Fall ist, kann die Prüfung beginnen. Wenn der Feuchtigkeitsanteil innerhalb dieser Zeit nicht im Gleichgewicht ist, ist die Prüfung innerhalb von zwölf Wochen nach Beginn der Klimatisierung durchzuführen.

6.3.2 Flüssige Zwischenprodukte

Lagere die vorbereiteten Prüfproben des Baumaterials (3.1.4), z. B. Beton, nach der Aushärtung von 28 Tagen in der Klimakammer. Stelle die Temperatur auf einen Wert von $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ und die relative Luftfeuchte auf einen Wert von $(50 \pm 5) \%$ ein. Vor Beginn der Exhalationsmessung wird abgewartet, bis der Feuchtigkeitsanteil mit den eingestellten Bedingungen im Gleichgewicht ist. Das ist der Fall, wenn sich die Masse der Prüfprobe (3.1.4) über einen Zeitraum von sieben Tagen um weniger als 0,07 % gegenüber dem Wert der vorangegangenen Messung verändert.

Die Klimatisierung darf nicht länger als 8 Wochen dauern. Wenn der Feuchtegehalt nach 8 Wochen nicht im Gleichgewicht ist, ist die Exhalationsmessung im Zeitraum von 8 bis 12 Wochen nach der Aushärtung von 28 Tagen zu beginnen.

ANMERKUNG Das Alter der Prüfprobe eines Baumaterials (3.1.4) kann die Radonexhalation beeinflussen. Es wurde gezeigt, dass sich die freie Radon-Exhalationsrate von bestimmten Betonarten während einer Dauer von 6 Jahren um ungefähr 50 % verringern kann, wenn diese bei einer relativen Luftfeuchte von etwa 50 % gelagert werden.

7 Messung

7.1 Allgemeines

Zur Veranschaulichung stellt Bild 4 die verschiedenen aufeinanderfolgenden Schritte des Messablaufes mit dem jeweiligen Symbol für die Dauer dar.

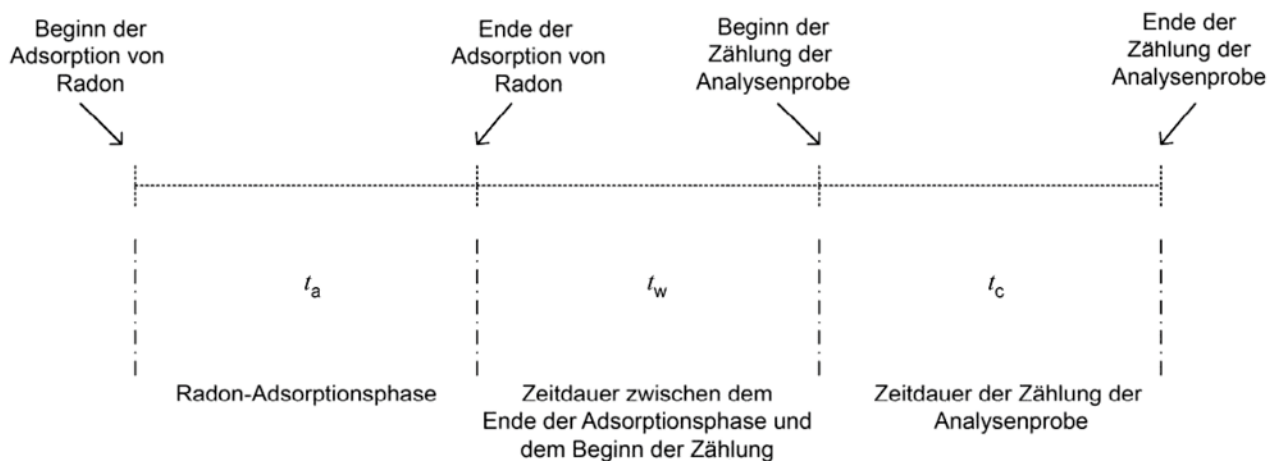


Bild 4 – Die verschiedenen aufeinanderfolgenden Schritte des Messablauf mit dem jeweiligen Symbol für die Dauer

7.2 Einrichten der Prüfstrecke

7.2.1 Wahl des Volumenstromes

Wähle den Stickstoff-Volumenstrom (5.1.7) so, dass die folgende Beziehung unter allen Bedingungen erfüllt ist:

$$\frac{V_p}{V} \cdot \frac{\lambda_{Rn}}{\lambda_{Rn} + \lambda_v} < 0,1 \quad (1)$$

Wenn zu einem späteren Zeitpunkt ein höherer Volumenstrom gewählt wird, sind die Schritte nach 7.2.3 und 7.2.4 erneut durchzuführen. Die Auswahl sollte deshalb sorgfältig geprüft werden.

ANMERKUNG Die Trocknung unter Verwendung der KOH-Säule hängt von der Adsorptionszeit und dem Volumenstrom ab. 20 g KOH (5.1.2) wird bei einer relativen Luftfeuchte von 50 % als ausreichend für einen Volumenstrom von 600 ml/min und eine Adsorptionszeit von 30 min angesehen.

7.2.2 Bestimmung der Menge des Adsorptionsmittels

Die minimal erforderliche Menge von Kieselgel (5.1.5), das als Adsorptionsmittel verwendet wird, ist so zu bestimmen, dass das Radon am Kieselgel der Adsorptionssäule (5.3.1) vollständig adsorbiert wird. Die Masse an Kieselgel für die Analysenprobe (3.1.5) wird nach 7.3 unter Verwendung von zwei in Serie geschalteten Adsorptionssäulen (5.3.1) bestimmt. Nach Abschluss der Adsorption darf die Radon-Aktivitätskonzentration im Kieselgel der zweiten Säule nicht mehr als 1 % der Radon-Aktivitätskonzentration der ersten Säule betragen. Wenn ein höherer Prozentsatz gemessen wird, wird die Menge an Kieselgel (5.1.5) erhöht und die Bestimmung wiederholt.

Wenn einmal die Kieselgel-Analysenprobe (5.1.5) in das mit dem Szintillatorcocktail (5.1.4) gefüllte Glasvial (5.3.7) überführt wurde, wird das adsorbierte Radon langsam in den Szintillatorcocktail (5.1.4) freigesetzt. Die Geschwindigkeit dieses Prozesses hängt unter anderem von der Teilchengröße des Kieselgels (5.1.5) ab.

Es ist nicht notwendig, das Glasvial (5.3.7) zu schütteln.

Die Adsorptionskapazität des Kieselgels (5.1.5) kann sich bei verschiedenen Herstellungschargen (3.1.1) unterscheiden. Bei Verwendung einer neuen Herstellungsscharge (3.1.1) muss die zuvor bestimmte Menge überprüft werden.

Die erforderliche Menge von Kieselgel (5.1.5) hängt vom Volumenstrom und der Adsorptionsdauer ab. Die genaue Menge ist empirisch zu bestimmen. Wenn der Volumenstrom für die Adsorption erhöht wird, muss auch die erforderliche Menge Kieselgel (5.1.5) neu ermittelt werden. Es hat sich herausgestellt, dass für eine Adsorptionsdauer von 30 min und einen Volumenstrom von 600 ml/min eine Masse von 4 g bis 5 g ausreichend ist.

7.2.3 Bestimmung der minimalen Desorptionsdauer

Die minimal Desorptionszeit ist die Dauer, bis zu der die Zählrate einen Wert von mindestens 99 % der maximalen Zählrate erreicht. Zur Ermittlung dieser Dauer wird die (erste) Analysenprobe (3.1.5) unmittelbar nach der Zugabe des Szintillationscocktails (5.1.4) in den Flüssigszintillationszähler eingeführt und in kurzen Intervallen während einer Zeit von etwa 24 h wiederholt gezählt.

ANMERKUNG Bild 5 enthält ein Beispiel einer Desorptionskurve. In diesem Beispiel ist die minimale Desorptionszeit bei Berücksichtigung der Bedingung von 99 % etwa 16 h.

7.2.4 Messung mit Flüssigszintillationszähler

7.2.4.1 Allgemeines

Zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration einer Analysenprobe ist ein Messbereich (Energiefenster) geeignet, der Betaenergien von 110 keV bis 600 keV abdeckt.

Es wird jedoch empfohlen, diese Einstellung für die eingesetzte Messeinrichtung zu optimieren, damit eine höhere Zähleffektivität erreicht werden kann. Für die Optimierung ist eine Analysenprobe (3.1.5) mit hoher Radon-Aktivitätskonzentration, wie beispielsweise in 7.2.4.2 dargestellt, zu verwenden. Die Zähleffektivität variiert von $1,5 \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1} \text{ }^{222}\text{Rn}$ bis $2,8 \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1} \text{ }^{222}\text{Rn}$.

In diesem Dokument werden keine weiteren Informationen bezüglich des Verfahrens zur Optimierung der Einstellungen am Flüssigszintillationszähler gegeben. Siehe dazu das Betriebshandbuch des Herstellers.

ISO 19361 [18] beschreibt die Bedingungen für die Messung der Aktivität von Beta-emittierenden Radionukliden mittels Flüssigszintillationszählung und kann angewendet werden, um die Messparameter entsprechend dem beabsichtigten Gebrauch der Messergebnisse und den damit verbundenen Qualitätszielen zu bestimmen.

7.2.4.2 Bestimmung des Kalibrierfaktors

Eine Lösung mit einer Aktivität von etwa 50 Bq wird aus der ^{226}Ra -Lösung hergestellt. Verwende dazu einen Rundkolben (5.3.9).

Durchspüle mit dem gewählten Volumenstrom (7.2.1) die Flüssigkeit mit mindestens dem 10-Fachen ihres Volumens.

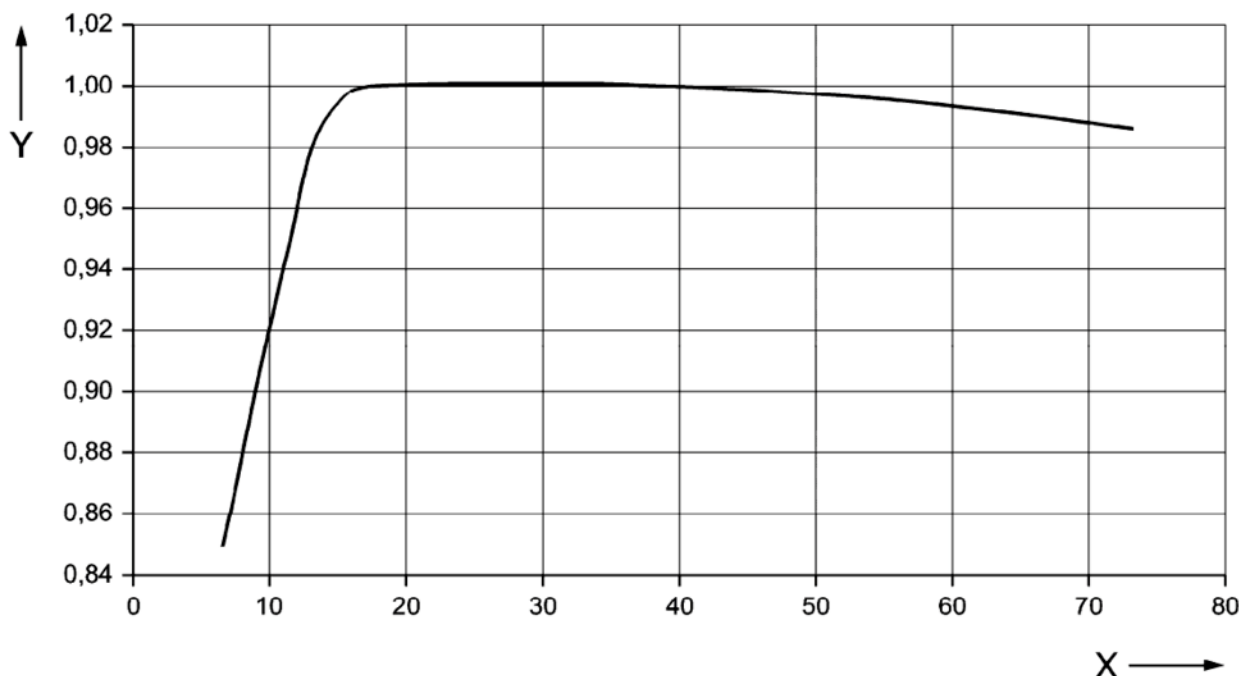
Verbinde den Rundkolben (5.3.9) mit der Trockensäule (5.3.3) und der Adsorptionssäule (5.3.1).

Beginne den Stickstoffdurchfluss und stelle diesen auf den Prüf-Volumenstrom ein (siehe 7.2.2).

Führe die Schritte nach 7.3, h) bis n), durch. Wiederhole dies für weitere vier verschiedene Adsorptionsperioden.

Bereite eine Nullprobe als Analysenprobe nach 7.3 p) vor.

Werte die Analysenprobe (3.1.5) nach 7.3 aus.



Legende

Y Relative Aktivität

X Zeit (h)

Bild 5 – Beispiel einer Desorptionskurve: Entwicklung der Aktivität (%) in Abhängigkeit von der Zeit (h)

7.3 Messablauf

Führe die folgenden Schritte nacheinander durch:

- Setze die Prüfprobe des Baumaterials (3.1.4) in das Exhalationsgefäß (5.3.4) ein.
Die Prüfprobe des Baumaterials (3.1.4) muss zentral in das Exhalationsgefäß (5.3.4) auf Abstandshalter von mindestens 1 cm Höhe eingesetzt werden. Wenn mehrere Prüfproben des Baumaterials (3.1.4) gleichzeitig analysiert werden, muss der Abstand zwischen den Proben mindestens 1 cm betragen. Der Abstand zu den seitlichen Wänden des Exhalationsgefäßes muss ebenfalls mindestens 1 cm betragen.
- Setze das Thermometer (5.2.5) und das Gerät zur Messung der relativen Luftfeuchte (5.3.8) in das Exhalationsgefäß (5.3.4) ein.
- Verschieße das Gefäß (5.3.4) hermetisch.
- Beginne den Stickstoffdurchfluss und stelle diesen auf den Prüf-Volumenstrom ein (7.2.2).
- Überprüfe, ob die ein- und austretenden Volumenströme gleich sind. Wenn dies nicht der Fall ist, ermittle und behebe die Ursache des Lecks.
- Durchspüle das freie Volumen (3.1.4) des Exhalationsgefäßes (5.3.4) mindestens fünfmal mit Stickstoff (5.3.6). Es ist notwendig, das Volumen zu durchspülen, um eine konstante Radonzufuhr zum Adsorptionsmittel zu erreichen. Einerseits wird das Radon, das sich im freien Volumen (3.1.6) befindet, allmählich weniger, andererseits baut sich Radon durch die Freisetzung aus der Prüfprobe des Baumaterials (3.1.4) auf.

- g) Bestimme die Temperatur (5.3.11) und die relative Luftfeuchte (5.3.8). Beende die Bestimmung, wenn die Temperatur außerhalb des Bereiches von 18 °C bis 22 °C oder die relative Luftfeuchte außerhalb des Bereiches von 45 % bis 55 % liegt.
- h) Wiege 20 g KOH (5.1.2) ab und fülle dieses in die Trockensäule (5.3 c)).
- i) Wiege die erforderliche Masse von Kieselgel (5.1.5) ab und fülle dieses in die Adsorptionssäule (5.3.1) ein. Fülle das Dewargefäß (5.3.2) mit flüssigem Stickstoff (5.3.7) und kühle die Adsorptionssäule (5.3.1) für eine Dauer von mindestens 10 min. Stelle sicher, dass die Säule oberhalb des Flüssigkeitsniveaus verbleibt.
- j) Leite den austretenden Stickstoff für eine festgelegte Dauer nacheinander über die Trockensäule (5.3.3) und die (gleichmäßig abgekühlte) Adsorptionssäule (5.3.1). Bestimme die Adsorptionsdauer mit einem Chronometer (5.3.12). Die Dauer der Adsorption darf in jedem Fall nicht länger sein als der maximale Prüfwert (7.2.3).

ANMERKUNG Die Dauer der Adsorption hängt von verschiedenen Faktoren ab, z. B. von der Größe der Prüfprobe des Baumaterials (3.1.4), der erwarteten freien Exhalationsrate und der Empfindlichkeit des Analyseverfahrens. Wenn die Dauer der Adsorption zu kurz ist, kann es sein, dass das Ergebnis unterhalb der Nachweisgrenze liegt.

- k) Entnehme die Adsorptionssäule nach dem Ende der Adsorption.
- l) Kühle die Adsorptionssäule (5.3.1) mit Eiswasser (5.1.1), um sicherzustellen, dass sich kein Duck im Glasvial (5.3.7) mit dem Szintillationscocktail (5.1.4) aufbaut. In der Praxis ist es ausreichend, wenn die Adsorptionssäule (5.3.1) für mindestens 5 min mit Eiswasser (5.1.1) gekühlt wird.
- m) Fülle ein Glasvial (5.3.7) mit Szintillationscocktail (5.1.4). Das erforderliche Volumen des Szintillationscocktails (5.1.4) hängt vom Volumen des verwendeten Vials (5.3.7) und dem Volumen des Kieselgels (5.1.5) ab. Nach der Zugabe von Kieselgel (5.1.5) muss das verbleibende Volumen im Vial etwa 1 ml betragen. Da das Kieselgel (5.1.5) einer Herstellungscharge (3.1.1) immer ein bestimmtes Volumen annimmt, ist das Volumen des Szintillationscocktails (5.1.4) (dieser Kieselgel-Herstellungscharge) immer vorgegeben.
- n) Entnehme die Adsorptionssäule (5.3.1) aus dem Eiswasser (5.1.1), trockne die Außenseite mit einem Tuch, übertrage den Inhalt in ein Vial (5.3.7), verschließe sofort das Vial (5.3.7) und bestimme seine Zählrate nach 7.2.3.
- o) Wiederhole die Schritte a) bis n) für die nächste Prüfprobe des Baumaterials (3.1.4) oder die Schritte von h) bis n4) für die Mehrfachbestimmung der gleichen Prüfprobe (3.1.4).
- p) Wiege die erforderliche Masse von Kieselgel (5.1.5), für die Nullprobe ein (7.2.3) und fülle dieses sofort ohne einen weiteren Schritt in das Vial (5.3.7) mit Szintillationscocktail (5.1.4). Je Zählserie ist mindestens eine Nullprobe vorzusehen. Genau genommen wird eine Nullprobe auch durch die zuvor beschriebenen Schritte b) bis n) ohne das Einbringen einer Prüfprobe des Baumaterials (3.1.4) erhalten. In der Praxis wird kein Unterschied zwischen beiden Arten von Nullproben gefunden. Wenn ein Unterschied besteht, kann dies beispielsweise bedeuten, dass der verwendete Stickstoff nicht radonfrei ist (5.1.6). Sollte das der Fall sein, muss die Nullprobe immer entsprechend den Schritten von b) bis n) hergestellt werden.
- q) Stelle das Glasvial zusammen mit ein oder mehreren Nullproben in den Flüssigszintillationszähler.
- r) Beginne die Zählung nur nach Ablauf der Desorptionszeit, deren Mindestzeit nach 7.2.3 ermittelt wurde.
- s) Zähle die Analysenproben (3.1.5) mindestens 1 h lang.
- t) Bestimme die (mittlere) Zählrate der Analysenprobe(n) (3.1.5).

8 Ergebnisdarstellung

8.1 Allgemeines

Bei diesen Messungen tragen neben den Poisson-statistischen Unsicherheiten der Zählungen weitere, unbekannte Einflüsse zu den Unsicherheiten bei.

Zufällige Einflüsse durch z. B. die Probenbehandlung und Instrumentenabweichungen können von Probe zu Probe verschieden sein. In diesen Fällen sind die Ergebnisse, n_p , der Zählungen für verschiedene Proben

radioaktiven Materials, für verschiedene Nullproben von radioaktiv markiertem Nullmaterial und für verschiedene Referenzproben eines Referenzstandards zu mitteln, um jeweils geeignete Schätzungen x_1 und x_2 der Eingangsgrößen X_1 und X_2 mit den zugeordneten Standardunsicherheiten $u(X_1)$ und $u(X_2)$ zu erhalten. Dem entsprechend müssen X_1 als die mittlere Gesamtzählrate und X_2 als die mittlere Nulleffektszählrate betrachtet werden. Dies führt dazu, dass die Messgröße Y für den wahren Wert $\tilde{y}$ ein Durchschnittswert ist, der ebenfalls als die mittlere Nettozählrate oder die mittlere Probenaktivität zu verwenden ist.

8.2 Freie Exhalationsrate

Die freie Exhalationsrate wird unter Verwendung der folgenden Modellgleichung berechnet:

$$\begin{aligned}\bar{\varphi}_f &= \frac{\bar{R}_g - \bar{R}_0}{F_c \cdot t_a} \cdot \frac{\lambda_{Rn} + \lambda_v}{\lambda_v} \cdot \frac{\lambda_{Rn} \cdot t_a}{1 - e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_a}} \cdot \frac{\lambda_{Rn} \cdot t_g}{e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_w} - e^{-\lambda_{Rn} \cdot (t_w + t_g)}} \\ &= \frac{\bar{n}_g / t_g - \bar{n}_0 / t_0}{F_c \cdot t_a} \cdot \frac{\lambda_{Rn} + \lambda_v}{\lambda_v} \cdot \frac{\lambda_{Rn} \cdot t_a}{1 - e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_a}} \cdot \frac{\lambda_{Rn} \cdot t_g}{e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_w} - e^{-\lambda_{Rn} \cdot (t_w + t_g)}}\end{aligned}\quad (2)$$

Beachte, dass der Index g die Gesamtmessungen der Analysenprobe bezeichnet.

Vereinfacht wird das Modell ausgedrückt durch

$$\begin{aligned}\bar{\varphi}_f &= (\bar{R}_g - \bar{R}_0) \cdot \frac{1}{F_c} \cdot \frac{1}{t_a} \cdot \frac{\lambda_{Rn} + \lambda_v}{\lambda_v} \cdot \frac{\lambda_{Rn} \cdot t_a}{1 - e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_a}} \cdot \frac{\lambda_{Rn} \cdot t_g}{e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_w} - e^{-\lambda_{Rn} \cdot (t_w + t_g)}} = (\bar{R}_g - \bar{R}_0) \cdot w \\ &= (\bar{n}_g / t_g - \bar{n}_0 / t_0) \cdot \frac{1}{F_c} \cdot \frac{\lambda_{Rn} + \lambda_v}{\lambda_v} \cdot \frac{\lambda_{Rn}}{1 - e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_a}} \cdot \frac{\lambda_{Rn} \cdot t_g}{e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_w} - e^{-\lambda_{Rn} \cdot (t_w + t_g)}} = (\bar{n}_g / t_g - \bar{n}_0 / t_0) \cdot w\end{aligned}\quad (3)$$

mit

$$\bar{n}_g = \frac{1}{m_g} \sum_{i=1}^{m_g} n_{g,i}; \quad \bar{n}_0 = \frac{1}{m_0} \sum_{i=1}^{m_0} n_{0,i}$$

und

$$w = \frac{1}{F_c} \cdot \frac{\lambda_{Rn} + \lambda_v}{\lambda_v} \cdot \frac{\lambda_{Rn}}{1 - e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_a}} \cdot \frac{\lambda_{Rn} \cdot t_g}{e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_w} - e^{-\lambda_{Rn} \cdot (t_w + t_g)}}$$

8.3 Standardunsicherheit

Die Standardunsicherheit der freien Radon-Exhalationsrate wird berechnet durch

$$u^2(\bar{\varphi}_f) = \left(u^2(\bar{n}_g) / t_g^2 + u^2(\bar{n}_0) / t_0^2 \right) \cdot w^2 + \bar{\varphi}_f^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w) \quad (4)$$

mit

$$\begin{aligned}u^2(\bar{n}_g) &= \frac{1}{m_g} \left(\bar{n}_g + \frac{m_g - 1}{m_g - 3} \cdot \bar{n}_g \right) + \frac{1}{m_g - 3} \sum_{i=1}^{m_g} (n_{g,i} - \bar{n}_g)^2 \\ u^2(\bar{n}_0) &= \frac{1}{m_0} \left(\bar{n}_0 + \frac{m_0 - 1}{m_0 - 3} \cdot \bar{n}_0 \right) + \frac{1}{m_0 - 3} \sum_{i=1}^{m_0} (n_{0,i} - \bar{n}_0)^2\end{aligned}$$

Bei Vernachlässigung der Unsicherheiten der Zeitmessungen und der Zerfallskonstanten ist die relative Unsicherheit w

$$u_{\text{rel}}(w) = u_{\text{rel}}(F_c)$$

In 7.2.4. wird festgelegt, dass der Kalibrierfaktor mindestens 5-mal zu bestimmen ist:

$$\begin{aligned}\bar{F}_c &= \frac{\bar{R}_g - \bar{R}_0}{A_{Ra}} \cdot \frac{\lambda_{Rn} \cdot t_a}{1 - e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_a}} \cdot \frac{\lambda_{Rn} \cdot t_g}{e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_w} - e^{-\lambda_{Rn} \cdot (t_w + t_g)}} \\ &= \frac{\bar{n}_g / t_g - \bar{n}_0 / t_0}{A_{Ra}} \cdot \frac{\lambda_{Rn} \cdot t_a}{1 - e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_a}} \cdot \frac{\lambda_{Rn} \cdot t_g}{e^{-\lambda_{Rn} \cdot t_w} - e^{-\lambda_{Rn} \cdot (t_w + t_g)}}\end{aligned}\quad (5)$$

Dabei ist

$$A_{Ra} = A_{Ra,s} \cdot \lambda_{Rn} \cdot t_a$$

Die Unsicherheit des Kalibrierfaktors ist gegeben durch

$$u_{\text{rel}}^2(\bar{F}_c) = u_{\text{rel}}^2(\bar{n}_g / t_g - \bar{n}_0 / t_0) + u_{\text{rel}}^2(A_{Ra})$$

mit

$$u_{\text{rel}}^2(\bar{n}_g / t_g - \bar{n}_0 / t_0) = \frac{u^2(\bar{n}_g) / t_g^2 + u^2(\bar{n}_0) / t_0^2}{(\bar{n}_g / t_g - \bar{n}_0 / t_0)^2}$$

und

$$\begin{aligned}u^2(\bar{n}_g) &= \frac{1}{m_g} \left(\bar{n}_g + \frac{m_g - 1}{m_g - 3} \cdot \bar{n}_g \right) + \frac{1}{m_g - 3} \sum_{i=1}^{m_g} (n_{g,i} - \bar{n}_g)^2 \\ u^2(\bar{n}_0) &= \frac{1}{m_0} \left(\bar{n}_0 + \frac{m_0 - 1}{m_0 - 3} \cdot \bar{n}_0 \right) + \frac{1}{m_0 - 3} \sum_{i=1}^{m_0} (n_{0,i} - \bar{n}_0)^2\end{aligned}$$

8.4 Erkennungsgrenze

Liegt keine freie Exhalationsrate vor, dann ist zu erwarten, dass $\bar{n}_g = \bar{n}_0$ ist, und es folgt

$$\tilde{u}^2(0) = 2 \cdot w^2 \cdot u^2(\bar{n}_0) / t_0^2 \quad (6)$$

mit der Erkennungsgrenze

$$\bar{\varphi}_f^* = k_{1-\alpha} \cdot w \cdot \sqrt{2} \cdot u(\bar{n}_0) / t_0 \quad (7)$$

8.5 Nachweisgrenze

Da keine Kenntnis der Standardunsicherheit als Funktion des wahren Wertes der freien Exhalationsrate existiert, ist die Nachweisgrenze durch die Interpolationsmethode der ISO 11929 zu berechnen.

Bei Verwendung des Messergebnisses der freien Exhalationsrate $\bar{\varphi}_{f,1}$ mit der zugeordneten Standardunsicherheit $u(\bar{\varphi}_{f,1})$ ergibt die lineare Interpolation die Näherung für die Nachweisgrenze

$$\bar{\varphi}_f^{\#} = a + \sqrt{a^2 + (k_{1-\beta}^2 - k_{1-\alpha}^2) \cdot \tilde{u}^2(0)} \quad (8)$$

mit

$$a = k_{1-\alpha} \cdot \tilde{u}(0) + \frac{1}{2} \left\{ \left(k_{1-\beta}^2 / \bar{\varphi}_{f,1} \right) \left[u^2(\bar{\varphi}_{f,1}) - \tilde{u}^2(0) \right] \right\} \quad (9)$$

9 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss den Anforderungen der ISO/IEC 17025 entsprechen und die folgenden Angaben enthalten:

- a) Verweisung auf dieses Dokument;
- b) Messverfahren;
- c) Verfahren der Probenahme;
- d) Anzahl der Prüfproben und Probenkennzeichnung;
- e) Eigenschaften der Prüfproben des Baumaterials (Masse, Abmessung und begrenzende Oberfläche), Dauer der Lagerung in der Klimakammer (in Tagen);
- f) Veränderung der Masse der Prüfproben des Baumaterials (Ab- oder Zunahme) während der Lagerung (in g);
- g) Einheiten, in welchen die Messergebnisse angegeben werden;
- h) Prüfergebnis, $c \pm u_r(\overline{\varphi_f})$ oder $\overline{\varphi_f} \pm U_r$ mit dem Erweiterungsfaktor k ;
- i) etwaige Abweichungen von dieser Methode und Einzelheiten über alle Umstände, die das Messergebnis beeinträchtigen könnten.

Die folgenden ergänzenden Angaben können erfolgen:

- j) Zweck der Messung;
- k) Wahrscheinlichkeiten α , β und $(1-\gamma)$;
- l) die Erkennungsgrenze und die Nachweisgrenze, welche entsprechend den Anforderungen des Kunden in unterschiedlicher Art darzustellen sind:
 - Wenn die freie Exhalationsrate mit der Erkennungsgrenze (siehe ISO 11929) verglichen wird und das Ergebnis kleiner ist als diese, muss das Messergebnis durch $\leq \overline{\phi}_f^*$ dargestellt werden;
 - wenn die freie Exhalationsrate mit der Nachweisgrenze verglichen wird und das Ergebnis kleiner ist als diese, kann das Messergebnis durch $\leq \overline{\phi}_f^\#$ dargestellt werden. Wenn die Nachweisgrenze den Richtwert übersteigt, ist anzugeben, dass das Verfahren für den Messzweck nicht geeignet ist.

Anhang A (normativ)

Verfahren zur Bestimmung der freien Radon-Exhalationsrate von mineralischen Baumaterialien – Bestimmung der Gesamtzählereignisse mittels Gammaskpektrometrie

A.1 Allgemeines

Die folgenden Abschnitte des Hauptteils dieses Dokuments gelten für Anhang A: [Abschnitte 1, 2, 3, 5, 9](#) und 10.

Für die Anwendung des Anhangs A gelten zusätzlich zu [Abschnitt 3](#) die folgenden Formelzeichen:

Formelzeichen	Messgröße
---------------	-----------

P_{Rn}	Quellstärke der Radon-Emanationsquelle, in Becquerel je Sekunde
$t_{\text{w},0}$	Dauer vom Ende der Adsorption bis zum Beginn der Zählung der Nullprobe, in Sekunden
$t_{\text{a},0}$	Dauer vom Start bis zum Ende der Adsorption der Nullprobe, in Sekunden

A.2 Messprinzip

Die Prüfprobe eines Baumaterials ([3.1.4](#)) wird bei einer Temperatur von $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte von $(50 \pm 5)\%$ klimatisiert. Danach wird die Prüfprobe des Baumaterials ([3.1.4](#)) im Exhalationsgefäß platziert, so dass die Radonexhalation in das freie Volumen ([3.1.6](#)) des Exhalationsgefäßes erfolgt.

Die freie Radon-Exhalationsrate wird durch Herausspülen der Radon-Aktivitätskonzentration aus dem freien Volumen ([3.1.6](#)) mit Stickstoff bestimmt; dies erfolgt während einer definierten Dauer. Das Radon wird mittels eines Adsorptionsmittels gesammelt (Methode des Spülens und Auffangens).

Die Austauschrate ([3.1.8](#)) wird so gewählt, dass sie ausreichend größer als die Radonzerfallsrate ist. Damit ist sicherzustellen, dass sich die Radon-Exhalationsrate der freien Radon-Exhalationsrate annähert. Die Feuchtigkeit des Gases, der Volumenstrom und die Temperatur werden während der Spülung auf konstanten Werten gehalten. Nach mindestens fünfmaligem Spülen des freien Volumens ([3.1.6](#)) ist die Radon-Aktivitätskonzentration im freien Volumen und im austretenden Stickstoff-Volumenstrom konstant. Zur Sammlung des Radons wird danach der Stickstoff-Volumenstrom über ein Adsorptionsmittel geführt.

Nach einer festgelegten Sammelzeit wird die Aktivität der adsorbierten Radon-Folgeprodukte durch eine integrale Messung mit einem Halbleiter-Gammaskpektrometer ([A.3.2.5](#)) bestimmt. Anhand dieser Aktivität wird die freie Radon-Exhalationsrate berechnet.

Das Prüfverfahren besteht nacheinander aus:

- Sammlung und Probenvorbereitung von Prüfproben eines Baumaterials entsprechend [Abschnitt 6](#),
- Durchführung der Prüfung entsprechend [A.3](#), und
- Ermittlung der Ergebnisse entsprechend [A.4](#).

A.3 Reagenzien, Geräte und Einrichtungen

A.3.1 Reagenzien

A.3.1.1 Aktivkohle, regeneriert bei 110 °C für mindestens 12 h.

A.3.1.2 Entmineralisiertes Wasser mit einem Volumen von 0,5 l bis 1,0 l.

Das Volumen hängt vom Volumen der zur Befeuchtung des Stickstoffvolumenstromes verwendeten Gaswaschflaschen ab.

A.3.1.3 Radon-Emanationsquelle mit zertifizierter Quellstärke ($\text{Bq}\cdot\text{s}^{-1}$).

A.3.1.4 Kieselgel (en: silica gel) (5.1.5).

A.3.1.5 Stickstoff, N_2 , gasförmig.

A.3.1.6 Stickstoff, N_2 , flüssig mit einem Volumen von 5 l bis 10 l.

Das Volumen ist abhängig vom Volumen des verwendeten Dewargefäßes (A.3.1.2).

A.3.2 Geräte und Einrichtungen

A.3.2.1 Adsorptionssäulen (2). U-Rohr aus Glas mit ausreichender Länge und Durchmesser. Das Rohr sollte die Aufnahme von etwa 17 g Aktivkohle ermöglichen.

A.3.2.2 Dewargefäß (2) mit einem Volumen von wenigen Litern.

A.3.2.3 Trockensäule mit einem Volumen von 3 l bis 6 l.

A.3.2.4 Exhalationsgefäß (5.3.4).

A.3.2.5 Gammaspektrometer.

A.3.2.6 Gaswaschflaschen (2) mit einem Volumen von 500 ml bis 1 000 ml.

A.3.2.7 kalibriertes Längenmessgerät (5.2.2).

A.3.2.8 Probenbehälter aus Polystyren, dicht verschließbar; die Geometrie geeignet für Messungen mit einem Gammaspektrometer; das Volumen muss ausreichend groß sein, um die gesamte Aktivkohle der Adsorptionssäule aufzunehmen.

A.3.2.9 Gerät zur Messung der relativen Luftfeuchte (3) mit einem Messbereich von 0 % bis 99 %, einer Messunsicherheit von höchstens 0,5 % und einer Ableseunsicherheit von höchstens 0,5 %.

A.3.2.10 Thermometer (5.2.5).

A.3.2.11 Chronometer (5.3.12).

A.3.2.12 Rohrverbindungen, wenn erforderlich mit Ventilen (5.3.13).

A.3.2.13 Volumenstrommessgerät mit einem Messbereich von $0 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ bis $1\,000 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, einer Messunsicherheit von maximal 1 % und einer Ableseunsicherheit von maximal 1 % (5.3.15).

A.3.2.14 Volumenstromregler (2) mit einem Messbereich von $0 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ bis $500 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, einer Messunsicherheit von maximal 1 % und einer Ableseunsicherheit von maximal 1 %.

A.3.2.15 Haftband.

A.3.3 Prüfstrecke

Baue eine Messanordnung entsprechend Bild A.1 mit den in A.3.2 beschriebenen Komponenten auf.

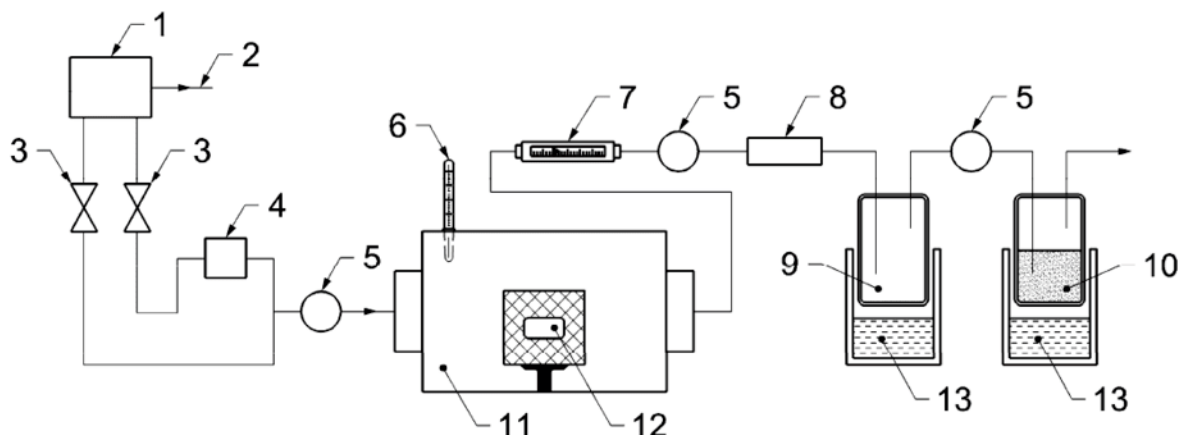
Die Komponenten werden mit Schläuchen und Anschlüssen (A.3.2.12) verbunden. Fülle die Gaswaschflasche (A.3.2.6) zur Befeuchtung des Stickstoffvolumenstromes mit Wasser (A.3.2.2) und beginne die Durchströmung mit Stickstoff. Stelle die Volumenstromregler (A.3.2.14) so ein, dass das Messgerät für die relative Luftfeuchte (A.3.2.9) den Wert von $(50 \pm 5) \%$ für den in das Exhalationsgefäß (5.3.4) einströmenden Stickstoff anzeigt.

Überprüfe, ob die Summe der geregelten Volumenströme (innerhalb ihrer Ablesegenauigkeit) mit der Anzeige des aus dem Exhalationsgefäß austretenden Volumenstroms (A.3.2.13) übereinstimmt.

Überprüfe, ob die angezeigte relative Luftfeuchte (A.3.2.9) im austretenden Stickstoff-Volumenstrom mit dem angezeigten Wert im eintretenden Stickstoff-Volumenstrom innerhalb von 2 % übereinstimmt und dass beide Werte im Bereich von $(50 \pm 5) \%$ liegen.

Überprüfe, ob die angezeigte relative Luftfeuchte (A.3.2.9) im austretenden Stickstoff-Volumenstrom nach der Kühlfalle kleiner als 1 % ist.

Wenn eine der oben genannten Überprüfungen negativ ist, sollte die Ursache ermittelt und behoben werden.



Legende

- | | |
|---|--|
| 1 Stickstoff (A.3.1.5) | 8 Trockensäule (Kieselgel) (A.3.2.3) mit 5.1.5) |
| 2 Trockener Stickstoff-Volumenstrom | 9 Kühlfalle (Gaswaschflasche, in entgegengesetzter Richtung angeschlossen) (A.3.2.6) |
| 3 Volumenstromregler (A.3.2.14) | 10 Adsorptionssäule (A.3.2.1), gefüllt mit Aktivkohle (A.3.1.1) |
| 4 Befeuchter (Gaswaschflasche, gefüllt mit Wasser) (A.3.2.6) mit A.3.1.2) | 11 Exhalationsgefäß (5.3.4) |
| 5 Messgerät für die relative Luftfeuchte (A.3.2.9) | 12 Prüfprobe eines Baumaterials |
| 6 Thermometer (5.2.5) | 13 Flüssiger Stickstoff (A.3.1.6) |
| 7 Volumenstrommessgerät (A.3.2.13) | |

Bild A.1 – Schematische Darstellung der Prüfstrecke

A.4 Prüfung

A.4.1 Einrichten der Prüfstrecke

- Wähle den Volumenstrom aus (7.2.1).
- Bestimme die Menge an Aktivkohle (A.3.1.1).

Die minimal erforderliche Menge an Aktivkohle sollte so bestimmt werden, dass das gesamte Radon in der Adsorptionssäule (A.3.2.1) adsorbiert wird. Dies wird in Übereinstimmung mit 7.2.2 unter Verwendung von zwei in Serie geschalteten Adsorptionssäulen (A.3.2.1) und mit einer Radon-Exhalationsquelle (A.3.1.3), deren Quellstärke ($\text{Bq}\cdot\text{s}^{-1}$) größer als die der später zu messenden Prüfproben des Baumaterials ist, bestimmt. Die Adsorptionsdauer bei der Bestimmung sollte gleich lang oder länger sein als die Dauer der später zu messenden Prüfproben des Baumaterials. Nach der Adsorption sollte sich kein Radon in der zweiten Säule befinden (A.3.2.1) (der Quotient aus der auf die Referenzzeit der Analysenproben zurückgerechneten Nettozählraten der zweiten Säule (A.3.2.1) und denen der ersten Säule (A.3.2.1) sollte kleiner als 0,01 sein). Wenn dies nicht der Fall ist, sollte die Menge an Aktivkohle (A.3.1.1) erhöht und das oben beschriebene Verfahren wiederholt werden.

Die erforderliche Menge an Aktivkohle (A.3.1.1) hängt vom Volumenstrom ab. Die genaue Menge sollte empirisch bestimmt werden. Wenn der Volumenstrom erhöht wird, sollte die erforderliche Menge an Aktivkohle (A.3.1.1) erneut bestimmt werden.

ANMERKUNG Es hat sich gezeigt, dass bei einem Volumenstrom von $400\text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ und einer Quellstärke von $0,04\text{ Bq}\cdot\text{s}^{-1}$ eine Masse von 17 g Aktivkohle für Adsorptionsdauern bis 100 h ausreichend ist.

Die Adsorptionskapazität der Aktivkohle (A.3.1.1) kann von Charge zu Charge variieren. Wenn eine neue Charge verwendet wird, sollten die zuvor ermittelten Mengen überprüft werden.

A.4.2 Messung mit Gammaspektrometer

a) Einrichten des Gammaspektrometers (A.3.2.5)

Setze eine untere und eine obere Messbereichsgrenze (Energiefenster). Die untere Grenze sollte höher als 50 keV sein und die obere Grenze kann im Allgemeinen gleich der maximalen mit dem Spektrometer noch bestimmbaren Energie sein.

Die untere Grenze des Gammaspektrometers (A.3.2.5) wird höher als 50 keV gewählt, um die 46,5-keV-Linie des ^{210}Pb auszuschließen.

b) Bestimmung der Zähleffektivität

Die nachfolgenden Schritte sollten durchgeführt werden, um Analysenproben für die Bestimmung der Zähleffizienz zu bilden:

- 1) Setze die Emanationsquelle (A.3.1.3) in das Exhalationsgefäß ein;
- 2) gehe nach A.4.3 b) bis m) vor.

Nach diesen Handlungen wird die Analysenprobe entsprechend dem Verfahren, das in A.4.3 o) bis q) beschrieben ist, analysiert. Es sollten mindestens fünf Analysenproben gebildet und ihre Zähleffizienz analysiert werden. Die Adsorptionsdauern dieser Analysenproben sollten sich unterscheiden, jedoch repräsentativ sein für die Adsorptionsdauer, die bei der Messung der Prüfproben verwendet wird.

c) Bestimmung des Untergrundes

Die erforderliche Masse der Aktivkohle (A.3.1 a)) wird gewogen und für die Herstellung einer Analysenprobe zur Bestimmung des Untergrundes direkt in den Probenbehälter (A.3.2 h)) gefüllt. Dieser Probenbehälter (A.3.2 h)) wird verschlossen und auf das Gammaspektrometer (A.3.2 e)) gesetzt. Danach wird die Zählrate innerhalb des nach a) festgelegten Messbereiches (Energiefenster) bestimmt.

d) Bestimmung der Nullprobe

Die nachfolgenden Schritte sollten zur Herstellung einer Nullprobe durchgeführt werden:

- 1) Überprüfe, ob das Exhalationsgefäß (5.3.4) leer ist;
- 2) gehe nach A.4.3 b) bis m) vor.

Nach diesen Handlungen wird die Analysenprobe entsprechend dem Verfahren, das in A.4.3 o) bis q) beschrieben ist, untersucht.