

	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 Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 9: Verfahren zur Bestimmung der Exhalationsrate aus Baumaterialien (ISO 11665-9:2016) Measurement of radioactivity in the environment – Air: Radon-222 – Part 9: Test methods for exhalation rate of building materials (ISO 11665-9:2016) Mesurage de la radioactivité dans l'environnement – Air: Radon 222 – Partie 9: Méthode de détermination du flux d'exhalation des matériaux de construction (ISO 11665-9:2016) Gesamtumfang 41 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR)		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für diese Norm ist 2016-11-01.

Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Dokumenten	5
Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe und Formelzeichen	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Formelzeichen	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	12
6 Vorbereitung der Prüfprobe eines Baumaterials	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 Anzahl und Größe	14
6.2.1 Allgemeines	14
6.2.2 Endprodukt	14
6.2.3 Flüssige Zwischenprodukte.....	14
6.3 Klimatisierung	14
6.3.1 Endprodukte	14
6.3.2 Flüssige Zwischenprodukte.....	15
7 Messung	15
7.1 Allgemeines	15
7.2 Einrichten der Prüfstrecke	15
7.2.1 Wahl des Volumenstromes	15
7.2.2 Bestimmung der Menge des Adsorptionsmittels.....	16
7.2.3 Bestimmung der minimalen Desorptionsdauer	16
7.2.4 Messung mit Flüssigszintillationszähler	16
7.3 Messablauf	18
8 Ergebnisdarstellung.....	19
8.1 Allgemeines	19
8.2 Freie Exhalationsrate.....	19

8.3	Standardunsicherheit	20
8.4	Erkennungsgrenze	21
8.5	Nachweisgrenze.....	21
9	Prüfbericht	21
Anhang A (normativ)	Verfahren zur Bestimmung der freien Radon-Exhalationsrate von mineralischen Baumaterialien – Bestimmung der Gesamtzählereignisse mittels Gammaspektrometrie.....	22
Anhang B (normativ)	Verfahren zur Bestimmung der freien Radon-Exhalationsrate von mineralischen Baumaterialien – Bestimmung mittels nuklidspezifischer Gammaspektrometrie.....	30
Anhang C (informativ)	Leistungsmerkmale	40
Literaturhinweise		41

Bilder

Bild 1 – Schematische Darstellung der Prüfstrecke	13
Bild 2 – Schritte des Messablaufs mit entsprechend vorbereiteten Proben.....	13
Bild 3 – Die verschiedenen aufeinanderfolgenden Schritte des Messablaufs mit dem jeweiligen Symbol für die Dauer	15
Bild 4 – Beispiel einer Desorptionskurve: Entwicklung der Aktivität (%) in Abhängigkeit von der Zeit (h).....	17
Bild A.1 – Schematische Darstellung der Prüfstrecke.....	24
Bild B.1 – Schematische Darstellung der Prüfstrecke.....	33

Tabellen

Tabelle C.1 – Mittelwert und Standardabweichung der linearen Regressionskoeffizienten a_0 (Nulldurchgang) und a_1 (Anstieg) nach der 2-Felder-Regressionsanalyse	40
--	----

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN ISO 11665-9 (VDE 0493-1-6659):2013-04.

Die Internationale Norm ISO 11665-9:2016, *Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon 222 – Part 9: Test methods for exhalation rate of building materials*, ist unverändert in diese Norm übernommen worden.

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.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium GUK 967.2 „Aktivitätsmessgeräte für den Strahlenschutz“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de), Gemeinschaftsgremium mit dem Normenausschuss Radiologie (NAR) im DIN, zuständig.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Zur Ermittlung der Belastung der Luft mit Radon-222 bestehen in der Normenreihe DIN ISO 11665 die folgenden Deutschen Normen:

- **DIN EN ISO 11665-1 (VDE 0493-1-6651):2015-11**, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 1: Radon und seine kurzlebigen Folgeprodukte: Quellen und Messverfahren (ISO 11665-1:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-1:2015*
- **DIN EN ISO 11665-2 (VDE 0493-1-6652):2015-11**, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 2: Integrierendes Messverfahren für die Bestimmung des Durchschnittswertes der potenziellen Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen Radon-Folgeprodukte (ISO 11665-2:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-2:2015*
- **DIN EN ISO 11665-3 (VDE 0493-1-6653):2015-11**, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 3: Punktmessverfahren der potenziellen Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen Radon-Folgeprodukte (ISO 11665-3:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-3:2015*
- **DIN ISO 11665-4 (VDE 0493-1-6654):2013-05**, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 4: Integrierendes Messverfahren zur Bestimmung des Durchschnittswertes der Aktivitätskonzentration mittels passiver Probenahme und zeitversetzter Auswertung (ISO 11665-4:2012)*
- **DIN EN ISO 11665-5 (VDE 0493-1-6655):2015-11**, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 5: Kontinuierliches Messverfahren für die Aktivitätskonzentration (ISO 11665-5:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-5:2015*
- **DIN EN ISO 11665-6 (VDE 0493-1-6656):2015-11**, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 6: Punktmessverfahren für die Aktivitätskonzentration (ISO 11665-6:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-6:2015*
- **DIN EN ISO 11665-7 (VDE 0493-1-6657):2015-11**, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 7: Anreicherungsverfahren zur Abschätzung der Oberflächenexhalationsrate (ISO 11665-7:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-7:2015*
- **DIN ISO 11665-8 (VDE 0493-1-6658):2013-08**, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 8: Methodik zur Erstbewertung sowie für zusätzliche Untersuchungen in Gebäuden (ISO 11665-8:2012)*
- **DIN ISO 11665-9 (VDE 0493-1-6659):2016-11**, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 9: Verfahren zur Bestimmung der Exhalationsrate aus Baumaterialien (ISO 11665-9:2016)*

Zurzeit in Vorbereitung ist:

- **DIN ISO 11665-11 (VDE 0493-1-6661):2016-xx**, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 11: Verfahren zur Probenahme und Prüfung von Bodenluft (ISO 11665-11:2016)*

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Dokumenten

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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
—	ISO 921:1997 zurückgezogen	DIN 25401-1:1986-09 zurückgezogen	—
—		DIN 25401-2:1986-09 zurückgezogen	—
—		DIN 25401-3:1986-09 zurückgezogen	—
—		DIN 25401-4:1986-09 zurückgezogen	—
—		DIN 25401-5:1986-09 zurückgezogen	—
—		DIN 25401-6:1986-09 zurückgezogen	—
—		DIN 25401-7:1986-09 zurückgezogen	—
—		DIN 25401-8:1986-09 zurückgezogen	—
EN ISO 11665-1:2015	ISO 11665-1:2012	DIN EN ISO 11665-1 (VDE 0493-1-6651):2015-11	VDE 0493-1-6651
—	ISO 11929:2010	DIN ISO 11929:2011-01	—
—	—	DIN ISO 11929 Bbl 1:2014-08	—
EN ISO/IEC 17025:2005	ISO/IEC 17025:2005	DIN EN ISO/IEC 17025:2005-08	—
—	ISO 19361 ^a	DIN ISO 19361 (VDE 0493-361) ^a	VDE 0493-361
^a In Vorbereitung.			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN 25401-1:1986-09 (zurückgezogen), *Begriffe der Kerntechnik – Physikalische und chemische Grundlagen*

DIN 25401-2:1986-09 (zurückgezogen), *Begriffe der Kerntechnik – Reaktorauslegung*

DIN 25401-3:1986-09 (zurückgezogen), *Begriffe der Kerntechnik – Reaktortechnik und Betrieb*

DIN 25401-4:1986-09 (zurückgezogen), *Begriffe der Kerntechnik – Kernmaterialüberwachung*

DIN 25401-5:1986-09 (zurückgezogen), *Begriffe der Kerntechnik – Brennstofftechnologie*

DIN 25401-6:1986-09 (zurückgezogen), *Begriffe der Kerntechnik – Isotopentrennung*

DIN 25401-7:1986-09 (zurückgezogen), *Begriffe der Kerntechnik – Sicherheit kerntechnischer Anlagen*

DIN 25401-8:1986-09 (zurückgezogen), *Begriffe der Kerntechnik – Strahlenschutz*

DIN EN ISO 11665-1 (VDE 0493-1-6651):2015-11, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 1: Radon und seine kurzlebigen Folgeprodukte: Quellen und Messverfahren (ISO 11665-1:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-1:2015*

DIN EN ISO/IEC 17025:2005-08, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17025:2005*

DIN ISO 11929:2011-01, *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen (ISO 11929:2010)*

DIN ISO 11929 Beiblatt 1:2014-08, *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen; Beiblatt 1: Beispiele*

E DIN ISO 19361 (VDE 0493-361):2015-10, *Nachweis der Radioaktivität – Bestimmung der Aktivität von Betastrahlern – Verfahren mit Flüssigszintillationszählung (ISO/CD 19361:2015)*

**Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt –
Luft: Radon-222 –
Teil 9: Verfahren zur Bestimmung der Exhalationsrate aus Baumaterialien**

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 inhaliert und entsprechend ihrer Größe in unterschiedlichen Tiefen des bronchopulmonalen Trakts deponiert werden.

Radon gilt heute als die Hauptursache für die natürliche Strahlenexposition des Menschen. Der UNSCEAR-Bericht (2006) [8] 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. Sie hängt erstens von der Menge des aus dem Boden und den Baumaterialien emittierten Radons und zweitens vom Grad der Anreicherung sowie den Wetterbedingungen an den Expositionsorten ab.

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. Eine zweite Quelle ist die Exhalation von Radon aus Baumaterialien.

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 $5 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ [4], [5].

ANMERKUNG Die Ursache für Radon-222 und seine kurzlebigen Folgeprodukte in der Atmosphäre und weitere Messverfahren werden im Allgemeinen in ISO 11665-1 beschrieben.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt ein Verfahren für die Bestimmung der freien Radon-Exhalationsrate einer Herstellungsladung mineralischer Baumaterialien fest. Diese Norm 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 Teil der Norm 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 Formelzeichen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 11665-1 und die folgenden Begriffe.

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 Formelzeichen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Formelzeichen nach ISO 11665-1 und die folgenden Formelzeichen. Siehe auch die Formelzeichen, die im [Anhang B](#) angegeben sind.

Formelzeichen Messgröße

$A_{\text{Ra,s}}$	^{226}Ra -Aktivität des Radonstandards, in Becquerel
A_{Ra}	^{226}Ra -Aktivität, in Becquerel
F_c	Kalibrierfaktor
$\overline{F}_c$	mittlerer Kalibrierfaktor
i	Index zur Kennzeichnung der i -ten Zählung
M_g, m_0	Anzahl der Wiederholungen von Zählungen derselben Analysenprobe bzw. des Untergrundes
$n_{g,i}, n_{0,i}$	Anzahl der Zählereignisse bei der i -ten von insgesamt m Zählungen der Gesamtpeakfläche der Analysenprobe bzw. des Untergrundspektrums
$\overline{n}_g, \overline{n}_0$	Mittelwert der Anzahl der Zählereignisse bei insgesamt m Zählungen der Analysenprobe bzw. des Nullprobe
$n_{g,\text{Pb}i}, n_{0,\text{Pb},i}$	Anzahl der Zählereignisse im Peak der ^{210}Pb -Energienlinie bei der i -ten von insgesamt m Zählungen des Spektrums der Analysenprobe bzw. des Nullspektrums
$\overline{n}_{g,\text{Pb}}, \overline{n}_{0,\text{Pb}}$	Mittelwert der Anzahl der Zählereignisse im Peak der ^{210}Pb -Energienlinie bei m Zählungen der Analysenprobe bzw. der Nullprobe

Formelzeichen Messgröße

$n_{g,Bi,i}, n_{0,Bi,i}$	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 exhaliert, 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 ^{N1)}
$\bar{\phi}_f$	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 ^{N2)}
$\bar{\phi}_f^\#$	Nachweisgrenze der freien Radon-Exhalationsrate, in Becquerel je Sekunde ^{N2)}
$\bar{\phi}_{f,Pb}^*, \bar{\phi}_{f,Bi}^*$	Erkennungsgrenze der freien Radon-Exhalationsrate für ^{210}Pb bzw. ^{214}Bi , in Becquerel je Sekunde ^{N2)}
$\bar{\phi}_{f,Pb}^\#, \bar{\phi}_{f,Bi}^\#$	Nachweisgrenze der freien Radon-Exhalationsrate für ^{210}Pb bzw. ^{214}Bi , in Becquerel je Sekunde ^{N2)}

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.

^{N1)} Nationale Fußnote: Im ISO-Original steht hier fälschlich nur „in je Sekunde“.

^{N2)} Nationale Fußnote: Im ISO-Original steht hier fälschlich „Becquerel je Kubikmeter“.

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

- a) **Eiswasser.**
- b) **Kaliumhydroxid**, KOH, fest (Pellets).
- c) **Radonstandard** (3.1.7).
- d) **Szintillationscocktail.**

ANMERKUNG 1 Ein Cocktail auf Toluolbasis ist in der Praxis am besten geeignet.

- e) **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.

- f) **Stickstoff**, N_2 , gasförmig.

ANMERKUNG 2 Bei der Nullmessung ist jeder Radonbeitrag durch das Gas und dessen Einfluss auf das Ergebnis zu berücksichtigen.

- g) **Stickstoff**, N_2 , flüssig.

5.2 Geräte und Einrichtungen für die Probenvorbereitung^{N3)}

- a) **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.
- b) **Kalibriertes Längenmessgerät** mit einer Ableseunsicherheit von höchstens 1 mm.
- c) **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 %.
- d) **Gerät zur Messung der relativen Luftfeuchte** mit einem Messbereich von 40 % bis 60 %, einer Messunsicherheit von höchstens 3 % und einer Ableseunsicherheit von höchstens 1 %.
- e) **Thermometer** mit einem Messbereich von 15°C bis 25°C , einer Messunsicherheit von höchstens 1°C und einer Ableseunsicherheit von höchstens $0,5^\circ\text{C}$.
- f) **Säge.**

^{N3)} Nationale Fußnote: Im ISO-Original fälschlich mit h) bis m) untergliedert.

5.3 Geräte und Einrichtungen für die Messung

- a) **Adsorptionssäule.** U-Rohr aus Glas mit ausreichender Länge und Durchmesser, um die Aufnahme von etwa 5 g Kieselgel zu ermöglichen.
- b) **Dewargefäß.**
- c) **Trockensäule,** U-Rohr aus Glas mit ausreichender Länge und Durchmesser, um die Aufnahme von 20 g KOH-Pellets zu ermöglichen.
- d) **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.

- e) **Gaswaschflasche(n),** mindestens eine mit einem Volumen von 150 ml bis 200 ml.
- f) **kalibriertes Längenmessgerät** mit einer Ableseunsicherheit von höchstens 1 mm.
- g) **Glasvials** als Probengefäß zum Einsatz in den Flüssigszintillationszähler; Volumen 20 ml.
- h) **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 %.
- i) **Rundkolben oder Gaswaschflaschen** mit einem ausreichend großem Volumen, um sicherzustellen, dass die ^{226}Ra -Lösung durchspült werden kann.
- j) **Flüssigszintillationszähler,** vorzugsweise mit einem Probenwechsler und der Möglichkeit, Messbereiche einzustellen sowie Pulshöhenspektren anzuzeigen.
- k) **Thermometer** mit einem Messbereich von 15 °C bis 25 °C, einer Messunsicherheit von höchstens 1 °C und einer Ableseunsicherheit von höchstens 0,5 °C.
- l) **Chronometer** mit einer Ableseunsicherheit von höchstens 1 s.
- m) **Rohrverbindungen** mit Ventilen, wenn erforderlich.
- n) **Plastikrohre.**
- o) **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

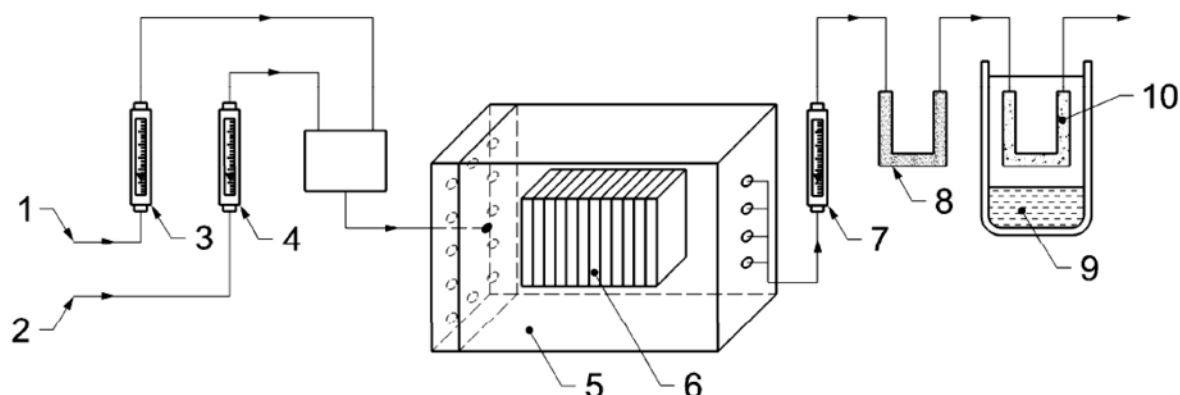
Die Prüfstrecke mit den Komponenten entsprechend 5.3 ist in [Bild 1](#) angegeben.

Die Komponenten werden mit Plastikrohren (5.3 n)) verbunden. Radonführende Rohre, welche in Flussrichtung nach dem Exhalationsgefäß (5.3 d)) 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 e)), 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 h)) wird im Exhalationsgefäß (5.3 d)) angebracht. Nach hermetischen 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 relativen Feuchte von 0 % | 6 | Probe |
| 2 | Volumenstrom von Stickstoff mit einer relativen Feuchte von 100 % | 7 | Volumenstrommessgerät C [5.3 o)] |
| 3 | Volumenstrommessgerät A [5.3 o)] | 8 | KOH-Pellets [5.1 b)] |
| 4 | Volumenstrommessgerät B [5.3 o)] | 9 | Flüssiger Stickstoff [5.1 g)] |
| 5 | Exhalationsgefäß [5.3 d)] | 10 | Kieselgel [5.1 e)] |

Bild 1 – 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 2 angegeben.

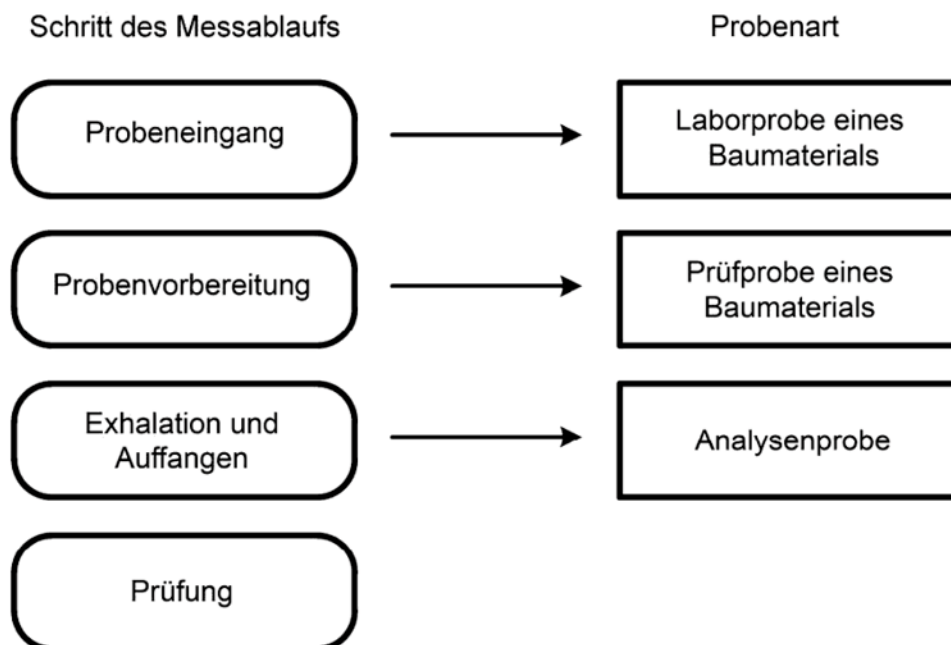


Bild 2 – Schritte des Messablaufs mit entsprechend vorbereiteten Proben