

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222-Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition Vergleichsprüfung 2014

Instruments to Measure Radon-222 Activity Concentration or Exposure to Radon-222 - Intercomparison 2014

Fachbereich
Strahlenschutz und Umwelt

Elisabeth Foerster

Thomas Beck

Helmut Buchröder

Joachim Döring

Volkmar Schmidt



Bundesamt für Strahlenschutz

BfS-SW-16/14

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-2014101611834

Zur Beachtung:

BfS-Berichte und BfS-Schriften können von den Internetseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz unter <http://www.bfs.de> kostenlos als Volltexte heruntergeladen werden.

Salzgitter, Oktober 2014

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222-Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition Vergleichsprüfung 2014

**Instruments to Measure Radon-222 Activity Concentration or
Exposure to Radon-222 - Intercomparison 2014**

**Fachbereich
Strahlenschutz und Umwelt**

Elisabeth Foerster

Thomas Beck

Helmut Buchröder

Joachim Döring

Volkmar Schmidt

SUMMARY

According to the Directive 96/29/EURATOM the monitoring of occupational radiation exposures shall base on individual measurements carried out by an approved dosimetric service. Pursuant to the European Directive an approved dosimetric service is a body responsible for the calibration, reading or interpretation of individual monitoring devices ..., whose capacity to act in this respect is recognized by the competent authorities. This concept will also be applied to radon services issuing passive radon measurement devices.

Passive radon measurement devices¹ using solid state nuclear track detectors or electrets are recommended for individual monitoring of exposures to radon. German regulations lay down that radon measuring devices are appropriate for purposes of occupational radiation monitoring if

- the devices are issued by recognized radon measurement services, and
- the measurement service submits devices of the same type issued for radon monitoring to regular intercomparisons conducted by the Bundesamt für Strahlenschutz (BfS).

A radon measuring service is recognized by the competent authority if it proves its organisational and technical competence, e. g. by accreditation. These regulations have been introduced in the area of occupational radiation exposures. Nevertheless, it is recommended that radon measuring services which carry out radon measurements in other areas (e.g. dwellings) should subject themselves to these measures voluntarily.

The interlaboratory comparisons comprise the organization, exposure, and evaluation of measurements of radon activity concentration or exposure to radon. The comparisons only concern radon-222; radon-220 is not in the scope. Radon services being interested can get further information from the European Information System on Proficiency Testing Schemes (EPTIS) and from the BfS websites.

Organisational course: Radon services which intend to participate submit a sufficient number of devices of the same type to BfS. The number depends on type and the need for transit devices. Transit devices are used for the measurement of effects during storage and delivery. Table 2-1 (paragraph 2.2) gives the numbers of devices needed for the different test procedures.

Radon devices submitted for the intercomparison remain in their original packaging and are stored under monitored conditions in a room with low radon concentration. In order to prepare the tests, the devices are randomly selected and grouped to exposure groups of identical size. In case of determining effects during storage and delivery, an additional group (transit group) is arranged, which will not be exposed to radon. After unpacking and preparing, the radon devices are stored in an air-conditioned room with low radon concentration (storage room) until start of the exposures. Devices of the transit group remain in the storage room for the whole time. Exposure values during the storage are low relative to the lowest reference exposure level and negligible with respect to its measurement uncertainty (see tables A-3 and A-4).

After exposure, radon devices are stored in fresh air for about one hour to ventilate and to diminish the radon inside. Devices with nuclear track detectors or electrets are put back into the air-conditioned storage room afterwards. After all exposures have taken place, the radon devices are delivered back to the services. Devices with activated charcoal are delivered back by parcel service immediately after finishing each single exposure.

Radon services determine the exposures to radon for devices with solid state nuclear track detectors or electrets or the average radon activity concentrations for devices with activated charcoal and transmit the results back to BfS for summarising and reporting. Radon services get a certificate each with their own results.

¹ The term "passive" means in this case, that the sensor consisting of a detector housed in a chamber has no electrical circuits to register radiation effects. The measurement value is only indicated by chemical and/or physical processing of the detector after finishing exposure.

Reference atmospheres for radon: The Radon Calibration Service Laboratory at BfS is accredited by the German Accreditation Body Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) according to the norm EN ISO/IEC 17025 for the measurands radon-222 activity concentration and potential alpha energy concentration of short-lived radon-222 decay products.

The equipment of the Radon Calibration Service Laboratory consists of two walk-in chambers (30 m³ and 11 m³) and five 0.4-m³-containers all made of stainless steel, and of supplementary technical devices (paragraph 3.1, figure 3-1). Each unit, i.e. the chambers and the five containers, is equipped with sensors to measure quantities of radon activity concentration, temperature and humidity. For the purpose of measuring radon activity concentration flow-through scintillation cells, traced back to national standard, are used. With this equipment all parameters influencing the reference atmosphere are monitored permanently. The values from these on-line measurements are displayed on the screen of the control panel and are continuously registered. The radon activity concentration in the containers can be adjusted to values in the range from 500 to 100,000 Bq·m⁻³.

External recalibrations are carried out on the basis of standards, which can be traced back to the national standards of the German federal metrology institute Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), using a radon transfer standard as reference standard, and occasionally also certified gas standards of PTB. A commercial radon measuring instrument specially reserved as a transfer standard is used.

Special care is needed for the exposure of devices with activated charcoal. Because of the high adsorption rate of activated charcoal high volume reference atmospheres are used to prevent large inhomogeneities and to reduce uncertainties in the monitoring of radon activity concentration. Therefore devices with activated charcoal are exposed separately in a 30-m³-chamber. Measures for quality assurance are analogous to those described for the 0.4-m³-containers.

Radon activity concentration and climatic parameters for each reference atmosphere used for the interlaboratory comparison are given in the attachment. Different exposures to radon are achieved by different levels of radon activity concentrations and/or limiting of duration of exposure. The duration of exposures is long enough to minimise uncertainties caused by taking radon devices in and out of the atmosphere.

Results: The figures 4-1 to 4-5 in paragraph 4 show the summarised results for devices with solid state nuclear track detectors and electrets. Box plots indicate the scattering of values measured around the reference value. The mean values, standard deviations and relative errors were calculated for each instrument type according to the equations given in paragraph A-6. Results are given in paragraph A-7.

Each participant received an individual report on the measurement results of their instruments. A specimen of such a report is attached in paragraph A-8.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	7
1.1	RECHTLICHE GRUNDLAGEN UND FESTLEGUNGEN	7
1.2	ZWECK DER VERGLEICHSPRÜFUNGEN	7
2	ORGANISATION	8
2.1	QUALITÄTSSICHERUNG	8
2.2	ANZAHL DER ZU PRÜFENDEN MESSGERÄTE EINES TYPES.....	8
2.3	ABLAUF DER VERGLEICHSPRÜFUNGEN.....	8
3	EXPOSITIONEN	9
3.1	HERSTELLUNG VON RADON-REFERENZATMOSPHERÄN.....	9
3.2	RAUM ZUR LAGERUNG DER MESSGERÄTE.....	10
3.3	EXPOSITION VON MESSGERÄTEN IN RADON-222-REFERENZATMOSPHERÄN	10
4	ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNG.....	11
5	LITERATURVERZEICHNIS / REFERENCES	15
A.	ANHANG / ATTACHMENT	16
A-1.	TEILNEHMER / PARTICIPANTS	17
A-2.	MESSGERÄTETYPEN / INSTRUMENT TYPES.....	19
A-3.	ABLAUFSHEMA / TIME COURSE.....	23
A-4.	ATMOSPHERE IM LAGERRAUM / ATMOSPHERE IN THE STORAGE ROOM	23
A-5.	REFERENZATMOSPHERÄN / REFERENCE ATMOSPHERES.....	24
A-6.	DATENAUSWERTUNG / ANALYSIS OF DATA.....	26
A-7.	MESSWERTE / MEASUREMENT VALUES	27
A-8.	ERGEBNISBERICHT (MUSTER) / REPORT ON MEASUREMENT RESULTS (SPECIMEN).....	34

ABBILDUNGSVERZEICHNIS / LIST OF FIGURES

Abbildung 3-1: Kalibrierlaboratorium für Radonmessgeräte des Bundesamtes für Strahlenschutz mit Kalibrierbehältern (Volumen: 0,4 m ³) / <i>Radon Calibration Service Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection with calibration containers (volume: 0.4 m³)</i>	10
Abbildung 4-1: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 1 / <i>Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 1</i>	12
Abbildung 4-2: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 2 / <i>Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 2</i>	12
Abbildung 4-3: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 3 / <i>Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 3</i>	13
Abbildung 4-4: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 4 / <i>Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 4</i>	13
Abbildung 4-5: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Elektret der Expositionsgruppen 1 bis 4 / <i>Relative error of the instruments using electrets of the exposure groups 1 to 4</i>	14
Abbildung A-1: Ablaufschema / <i>Time course</i>	23
Abbildung A-2: Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen der Referenzatmosphären / <i>Radon activity concentrations of the reference atmospheres versus time of exposure</i>	24
Abbildung A-3: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit während der Exposition Nr. 1 / <i>Temperature and relative humidity during the exposure no. 1</i>	24

TABELLENVERZEICHNIS / LIST OF TABLES

Tabelle 2-1: Anzahl der durch eine Messstelle einzureichenden Messgeräte / <i>Number of Instruments to be submitted by a radon service</i>	8
Tabelle A-1: Messstellen, die an den Vergleichsprüfungen 2014 teilgenommen haben / <i>Radon services, which have participated in the intercomparison 2014</i>	17
Tabelle A-2: Messgeräte mit Kernspurdetektoren oder Elektretdetektoren / <i>Measuring instruments using nuclear track detectors or electrets</i>	19
Tabelle A-3: Parameter der Atmosphäre im Lagerraum / <i>Parameters of the atmosphere in the storage room</i>	23
Tabelle A-4: Werte der Radon-Referenzatmosphären / <i>Parameter of the radon reference atmospheres</i>	25
Tabelle A-5: Messwerte der nichtexponierten Messgeräte (Transport- und Lagerungseffekte) / <i>Measurement values of non-exposed instruments (influences of transit and storage)</i>	27
Tabelle A-6: Ergebnisse der exponierten Messgeräte / <i>Results of exposed instruments</i>	29

1 EINLEITUNG

1.1 Rechtliche Grundlagen und Festlegungen

Die Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates der Europäischen Union vom 13. Mai 1996 [1] legt die Grundnormen des Gesundheitsschutzes der Arbeitskräfte und der Bevölkerung vor den Gefahren ionisierender Strahlung fest. Nach Artikel 25 dieser Richtlinie soll die Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen durch individuelle Messungen erfolgen, „die von einer zugelassenen Dosismessstelle vorgenommen werden“. Diese Regelung gilt auch dann, wenn Personen während der Ausübung ihres Berufes Expositionen durch terrestrische natürliche Strahlenquellen, wie z. B. durch Inhalation von Radon und Radonzerfallsprodukten, ausgesetzt sind (96/29/EURATOM Artikel 41). Eine zugelassene Dosismessstelle nach Artikel 1 der europäischen Richtlinie ist eine „für das Kalibrieren, Ablesen und Auswerten der von individuellen Überwachungsgeräten registrierten Werte ... zuständige Stelle, deren Qualifikation in dieser Hinsicht von den zuständigen Behörden anerkannt ist“. Die Strahlenschutzverordnung [2] setzt die Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates der Europäischen Union in nationales Recht um. In nachfolgenden Regelungen zur Durchführung der Strahlenschutzverordnung werden Festlegungen für die Bestimmung von Messstellen und Festlegungen für die Verwendung von Messgeräten zur Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen getroffen [3]. Für die Überwachung von Personen, die während der Ausübung ihres Berufes Strahlenexpositionen infolge der Inhalation von Radon und Radonzerfallsprodukten ausgesetzt sind, werden in der Regel passive Messgeräte eingesetzt. Bei passiven Messgeräten ist die Messsonde nicht mit der Anzeigeeinheit verbunden, so dass das Messergebnis erst nach dem Messvorgang durch eine separate Auswertung der Messsonde festgestellt werden kann. Passive Messgeräte verwenden zur Registrierung von Strahlenexpositionen durch Radon und Radonzerfallsprodukte im Allgemeinen Kernspurdetektoren, Elektretdetektoren oder Aktivkohle².

1.2 Zweck der Vergleichsprüfungen

Die Vergleichsprüfungen umfassen die Organisation, Durchführung und Bewertung von Messungen der Messgrößen Radon-Aktivitätskonzentration oder Radonexposition³, die unter festgelegten Referenzbedingungen mit den von den Messstellen eingesandten Geräten durchgeführt werden. Die Prüfungen sind Bestandteil der Maßnahmen zur Qualitätssicherung für Messungen von Strahlenexpositionen durch Radon und Radonzerfallsprodukte und sollen einen einheitlichen Qualitätsstandard sicherstellen. Art und Umfang der Vergleichsprüfungen orientieren sich an Verfahren, die in anderen Gebieten der physikalischen Strahlenschutzkontrolle, insbesondere in der Personendosimetrie externer Strahlung, durchgeführt werden [4]. Die Vergleichsprüfungen werden jährlich von der Leitstelle für Fragen der Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt. Messstellen, die in der Bundesrepublik Messgeräte zur Überwachung beruflicher Strahlenexpositionen durch Radon und Radonzerfallsprodukte ausgeben, sind entsprechend der Richtlinie für die Überwachung der Strahlenexposition bei Arbeiten nach Teil 3 Kapitel 2 Strahlenschutzverordnung verpflichtet, an den Vergleichsprüfungen regelmäßig teilzunehmen [3]. Messstellen, die Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration in Häusern, im Freien oder zu anderen Zwecken durchführen, die nicht im Zusammenhang mit der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen stehen, wird empfohlen, ebenfalls an den Vergleichs- und Eignungsprüfungen teilzunehmen. Die Teilnahme soll das Vertrauen des Kunden in die durchgeführten Messungen und die Akzeptanz in die erhaltenen Ergebnisse erhöhen. Für Messstellen, die eine Akkreditierung auf dem Gebiet der Bestimmung der Radonexposition oder der Radon-Aktivitätskonzentration in der Luft unter Verwendung passiver Messgeräte besitzen oder eine solche anstreben, kann die Teilnahme an den Vergleichsprüfungen als Bestandteil der Validierung des Messverfahrens nach DIN EN ISO/IEC 17025 [5] anerkannt werden.

² Messgeräte mit Aktivkohle werden in der Regel nur wenige Tage exponiert und aus diesem Grund nicht für die Langzeitüberwachung an Arbeitsplätzen eingesetzt.

³ Die Messgrößen betreffen ausschließlich das natürlich vorkommende Isotop Radon-222. Messgeräte, die das für den Strahlenschutz weniger bedeutsame, aber ebenfalls in der Natur vorkommende Isotop Radon-220 (Thoron) registrieren, sind nicht Gegenstand der Prüfungen.

2 ORGANISATION

2.1 Qualitätssicherung

Alle durchgeführten Arbeiten unterliegen dem Qualitätsmanagementsystem des Bundesamtes für Strahlenschutz. Die qualitätssichernden Maßnahmen bei der Organisation, Durchführung und Bewertung der Vergleichsprüfungen orientieren sich zusätzlich an den Forderungen der DIN EN ISO/IEC 17043 [6] sowie an Veröffentlichungen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) auf diesem Gebiet.

Die zu prüfenden Messgeräte werden im Kalibrierlaboratorium für Radon- und Radonzerfallsprodukt-Messgeräte exponiert. Das Laboratorium unterhält ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO/IEC 17025 [5] und ist bei der DAkkS unter der Nummer D-K-15063-01-00 für die Kalibrierung von Geräten zur Messung der Aktivitätskonzentration von Radon-222 und der potentiellen Alphaenergie-Konzentration der kurzlebigen Radon-222-Zerfallsprodukte akkreditiert.

2.2 Anzahl der zu prüfenden Messgeräte eines Typs

Durch jede teilnehmende Messstelle ist eine definierte Anzahl passiver Messgeräte eines Typs⁴ einzureichen (siehe Tabelle 2-1). In der ersten Spalte der Tabelle ist die Nummer des jeweiligen Prüfplans angegeben. Die zweite Spalte enthält die Messgerätetypen (Detektortypen) für die der entsprechende Prüfplan in der Regel angewendet wird. Die dritte Spalte enthält die Anzahl der Messgeräte, die unter Referenzbedingungen exponiert werden. Sofern die Messgeräte keine Vorrichtungen besitzen, die verhindern, dass Expositionen während der Lagerung und des Transportes den Anzeigewert beeinflussen, oder die teilnehmende Messstelle aus anderen Gründen wünscht, diese Expositionen zu erfassen, ist zusätzlich die in der vierten Spalte angegebene Messgerätezahl einzureichen⁵. In begründeten Fällen kann das Bundesamt für Strahlenschutz in Absprache mit der Messstelle die Prüfungen der eingesandten Messgerätetypen mit einem anderen Prüfplan durchführen.

Tabelle 2-1: Anzahl der durch eine Messstelle einzureichenden Messgeräte / Number of Instruments to be submitted by a radon service

Prüfplan <i>Test procedure</i>	Messgerätetyp bzw. Detektortyp <i>Type of instrument to which the test procedure is applied</i>	Messgeräte zur Exposition unter Referenzbedingungen <i>Number of instruments to be tested</i>	Messgeräte zur Ermittlung von Expositionen durch Lagerung und Transport <i>Number of non-exposed instruments (correction of transit and storage effects)</i>
1	Festkörperspurdetektoren <i>Nuclear track detectors</i>	28	7
2	Elektretdetektoren <i>Electrets</i>	18	6
3	Aktivkohlesammler <i>Activated charcoal</i>	8	0

2.3 Ablauf der Vergleichsprüfungen

Die Vergleichsprüfungen für passive Radonmessgeräte werden circa zwei bis drei Monate vor Beginn auf der Internetseite des Bundesamtes für Strahlenschutz sowie durch Anschreiben der Teilnehmer vorangegangener Vergleichsprüfungen bekannt gegeben. Weitere allgemeine Informationen werden im Europäischen Informationssystem über Eignungsprüfungen EPTIS bereitgestellt, das als Internetdatenbank verfügbar ist [7]. Interessierte Messstellen melden sich bis zu dem in der Ankündigung genannten Termin unter Angabe des Messgerätetyps beim Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Dosimetrie und Messmethodik (SW 1.3), an. Für

⁴ Messgeräte eines Typs sind durch identisches Design und die Anwendung gleicher physikalischer oder physikalisch-chemischer Prozesse zur Ermittlung der Messgröße gekennzeichnet.

⁵ In der Regel ist ein Set mit insgesamt 35 Messgeräten mit Festkörperspurdetektoren bzw. ein Set mit insgesamt 24 Messgeräten mit Elektretdetektoren einzureichen.

jeden Messgerätetyp muss eine entsprechend Tabelle 2-1 bestimmte Anzahl Messgeräte eingeschickt werden, die nach Vorgabe des BfS eindeutig gekennzeichnet werden.

Die von den teilnehmenden Messstellen eingereichten Messgeräte verbleiben zunächst in den Originalverpackungen und werden in einem Arbeitsraum mit geringer Radonkonzentration aufbewahrt. Zur Kontrolle der Lagerbedingungen werden die Radon-222-Aktivitätskonzentration, die Umgebungsäquivalentdosisleistung, die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit im Lagerraum aufgezeichnet. Vor Beginn der Prüfungen wird eine Eingangskontrolle durchgeführt, bei der die Vollständigkeit, Unversehrtheit und eindeutige Kennzeichnung der Messgeräte geprüft wird. Eine Information an die Messstelle erfolgt, wenn defekte Messgeräte festgestellt werden oder die Messgeräteeinfuhr unvollständig ist. Bei unvollständiger oder nicht eindeutiger Kennzeichnung der Messgeräte wird eine neue Kennzeichnung vergeben.

In Abhängigkeit von dem angewandten Prüfplan werden die Geräte gleichen Typs einer Messstelle per Zufallsprinzip in bis zu vier Gruppen mit jeweils gleich großer Geräteanzahl eingeteilt (Expositionsgruppen). Für Messgeräte, bei denen auch die Effekte während der Lagerung und des Transportes zu bestimmen sind, wird zusätzlich eine Gruppe mit gleicher Anzahl von Messgeräten gebildet (Transitgruppe). Sofern schriftliche Anweisungen der Messstellen zur Handhabung der Messgeräte vorliegen, werden diese berücksichtigt. Nach der Vorbereitung der Messgeräte (Entnahme aus der Originalverpackung, Versetzen in Messbereitschaft) erfolgt die kontrollierte Lagerung der Geräte in einem klimatisierten Lagerraum mit geringer Radon-222-

Aktivitätskonzentration. Die Messgeräte der Transitgruppe verbleiben bis zum Versand in diesem Lagerraum.

Für die Prüfungen werden die Messgeräte der Expositionsgruppen aus dem Lagerraum entnommen und verschiedenen Radon-222-Referenzatmosphären während einer festgelegten Zeit ausgesetzt. Nach den Expositionen erfolgt die Aufbewahrung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren und der Messgeräte mit Elektretdetektoren für circa eine Stunde in Frischluft mit geringer Radon-Aktivitätskonzentration, damit das innerhalb der Geräte befindliche Radon-222 entweichen kann. Anschließend werden diese Geräte kontrolliert im Lagerraum gelagert. Nach Abschluss aller Expositionen werden die Messgeräte den teilnehmenden Messstellen zugeordnet, radondicht verpackt und an die Messstellen versendet. Für die Verpackungen werden die originalen Verpackungsmaterialien der jeweiligen Messstellen oder Aluminium-Polyethylen-Verbundfolientüten, die vom Bundesamt für Strahlenschutz bereitgestellt werden, verwendet.

Messgeräte mit Aktivkohle werden unmittelbar nach Entnahme aus der Radon-Referenzatmosphäre fest verschlossen, und den Messstellen umgehend zurückgesendet.

Vor der Auswertung durch die Messstellen erhalten die Teilnehmer weder Informationen über die Referenzwerte der Radon-222-Aktivitätskonzentration beziehungsweise Exposition noch über die Zugehörigkeit der einzelnen Geräte zu den Expositionsgruppen. Lediglich die Identifikationsnummern der Geräte der Transitgruppe werden mitgeteilt.

Die Messstellen werten die Messgeräte aus und stellen für jedes Messgerät den Messwert der Radon-Aktivitätskonzentration oder Radonexposition fest. Diese Werte werden zur Endauswertung an das Bundesamt für Strahlenschutz zurück gesendet.

3 EXPOSITIONEN

3.1 Herstellung von Radon-Referenzatmosphären

Für die Herstellung von Radon-222-Referenzatmosphären stehen im Kalibrierlaboratorium für Radon- und Radonzerfallsprodukt-Messgeräte des Bundesamtes für Strahlenschutz großvolumige Behälter aus Edelstahl mit Volumina von 0,4 m³, 11 m³ und 30 m³ zur Verfügung. Die hergestellten Referenzatmosphären sind durch ihre Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sowie durch die klimatischen Parameter Temperatur, Druck und relative Luftfeuchte gekennzeichnet. In den 11 m³- und 30 m³- Behältern können die Klimaparameter eingestellt und geregelt werden. Der 30 m³-Behälter verfügt zusätzlich über Einrichtungen zur Einstellung der Luftturbulenz und der Aerosolparameter.

Mit Beginn der Expositionen wird die Radon-Aktivitätskonzentration für jeden verwendeten Behälter durch einmalige Injektion von Radon-222 auf einen zuvor festgelegten Wert eingestellt. Durch automatische Nachdosierung von Radon-222 mit Kolbendosierpumpen bleiben die Radon-Aktivitätskonzentrationen innerhalb der Behälter während der Prüfungen homogen und zeitlich ausreichend konstant.

Die Radon-Aktivitätskonzentration wird mittels Durchflussszintillationskammern quasi-kontinuierlich überwacht. Arbeitstäglich werden zusätzlich Proben mittels Szintillationskammern aus jeder Referenzatmosphäre manuell entnommen und gemessen, um die Messergebnisse zu prüfen und deren Redundanz sicherzustellen.

Die Verfahren zur Herstellung und Aufrechterhaltung von Radon-Referenzatmosphären sind ausführlich in der Literatur dargestellt [8].



Abbildung 3-1: Kalibrierlaboratorium für Radonmessgeräte des Bundesamtes für Strahlenschutz mit Kalibrierbehältern (Volumen: 0,4 m³)/ *Radon Calibration Service Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection with calibration containers (volume: 0.4 m³)*

Die Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration sowie alle anderen für die Qualität der durchgeführten Prüfungen relevanten Messungen sind auf nationale Normale zurückgeführt. Alle während der Prüfungen aufgenommenen Messdaten werden in Datenbanken aufgezeichnet und können zentral verwaltet werden, so dass die Wiederholbarkeit und die Rückverfolgbarkeit der Prüfungen sichergestellt sind.

3.2 Raum zur Lagerung der Messgeräte

Für die Lagerung der zu prüfenden Messgeräte vor und nach der Exposition wird ein Lagerraum genutzt, dessen Raumluft im 24-Stundenbetrieb ständig durch Außenluft ersetzt wird. Die Überwachung der Radon-Aktivitätskonzentration sowie der klimatischen Parameter erfolgt mittels eines Gebrauchsnormals vom Typ Alphaguard®. Zusätzlich wird ein Messgerät zur Messung der Umgebungsäquivalentdosisleistung vom Typ FHG-L10 mit Sonde FHZ 672 E-10 eingesetzt, um die Strahlenexposition durch externe Gammastrahlung während der Lagerung innerhalb des Lagerraums zu erfassen. Die mittlere Umgebungsäquivalentdosisleistung kann von Messstellen verwendet werden, die zum Beispiel Messgeräte mit Elektretdetektoren eingereicht haben, um den durch äußere Gammastrahlung hervorgerufenen Messeffekt zu korrigieren.

3.3 Exposition von Messgeräten in Radon-222-Referenzatmosphären

Die Expositionsdaten für die Prüfung der Messgeräte sind im Anhang angegeben. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphären sind die Mittelwerte der Radon-Aktivitätskonzentrationen während der Expositionszeiten und die Radonexpositionen sowie deren Messunsicherheiten angegeben. Des Weiteren werden die mittlere relative Luftfeuchtigkeit, die Lufttemperatur und der Luftdruck aufgeführt.

Passive Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren oder mit Elektretdetektoren sind integrierende Messgeräte der Radon-Aktivitätskonzentration über die Expositionszeit. Ihr Anzeigewert ist direkt proportional zur Radonexposition. Somit wird für die Prüfung von Messgeräten mit Festkörperspurdetektoren oder mit Elektretdetektoren die Radonexposition als Prüfgröße festgelegt. Für die Prüfung werden jeweils vier Referenzatmosphären mit unterschiedlichen Niveaus der Radon-Aktivitätskonzentrationen hergestellt. Die Expositionszeiten betragen mindestens fünf Tage. Damit sind die Expositionszeiten ausreichend lang, um kurzzeitige Störungen der Atmosphären vernachlässigen zu können und um den Fehler bei der Bestimmung der Expositionszeiten zu minimieren. Die Radonexpositionen liegen in einem für die Praxis relevanten Bereich zwischen 100 kBq·h·m⁻³ und 3500 kBq·h·m⁻³.

Bei Messgeräten mit Aktivkohle (Aktivkohlesammler) erfolgt eine Anreicherung von Radon an die Aktivkohleoberfläche infolge Adsorption. Der Beladungsgrad ist sowohl von der Expositionszeit als auch von der Temperatur und der Feuchtigkeit der umgebenden Luft abhängig. Bei Verwendung von Messgeräten mit Aktivkohle müssen dieselben Expositionszeiten gewählt werden, die auch bei der Kalibrierung dieser Geräte zugrunde gelegt werden. Da die Expositionszeiten handelsüblicher Messgeräte mit Aktivkohle 48 beziehungsweise 72 Stunden betragen, stehen diese Zeiten auch für die Expositionen bei den Vergleichsprüfungen zur Auswahl. Welche dieser Expositionszeiten angewendet werden sollen, muss zuvor von den Messstellen mitgeteilt werden. Als Prüfgröße für diese Messgeräte wird die mittlere Radon-Aktivitätskonzentration festgelegt. Da es bei der Exposition von Aktivkohle in statischen Atmosphären infolge der Adsorption von Radon zu einer unvermeidbaren Verringerung der Radon-Aktivitätskonzentration in der Atmosphäre kommt, müssen für die Prüfungen großvolumige Behälter eingesetzt werden. Die Prüfungen werden deshalb in der 30 m³ - Kammer durchgeführt. Damit kann die Reduzierung der Radon-Aktivitätskonzentration auf maximal 20 Prozent begrenzt werden und die Prüfbedingungen können ausreichend stabil gehalten werden.

Die erweiterte relative Messunsicherheit ist durch die Rückführung der Radon-Aktivitätskonzentration auf das nationale Normal bestimmt und wird durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH im Rahmen der Akkreditierung als Kalibrierlaboratorium für Radonmessgeräte vorgegeben [9], [10]. Innerhalb eines Bereiches der Radon-Aktivitätskonzentration von 50 – 1000 Bq·m⁻³ beträgt die erweiterte relative Messunsicherheit 12 Prozent, oberhalb von 1000 Bq·m⁻³ 7 Prozent und oberhalb von 10000 Bq·m⁻³ 6 Prozent. Diese Werte der erweiterten relativen Messunsicherheit werden auch für die Radonexposition verwendet, da die Messunsicherheiten der Expositionszeiten vernachlässigbar sind.

4 ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNG

An der Vergleichsprüfung 2014 nahmen 31 Messstellen mit insgesamt 35 Messgerätesystemen mit Festkörperspurdetektoren oder Elektretdetektoren teil⁶. Die Teilnehmer und die Spezifikationen der Messsysteme und Prüfcodes sind in den Anhängen A-1 und A-2 aufgelistet. Für jedes Messgerätesystem und jede der vier Expositionsgruppen wurden jeweils arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung und relative Messabweichung vom Referenzwert berechnet⁷. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Tabelle A-6 für jedes Messgerätesystem dargestellt. Der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung der Messwerte der Messgeräte der Transitgruppe sind in Tabelle A-5 angegeben. Jede Messstelle erhielt einen individuellen Bericht über die Ergebnisse des jeweiligen Messgerätesystems (Muster-Bericht siehe Kapitel A-8). Die Messabweichungen der einzelnen Messgeräte sind in den folgenden Diagrammen (Abbildung 4-1 bis Abbildung 4-5) vergleichend als Boxplot dargestellt. Die Prüfcodes der Messgerätesysteme sind auf der Abszisse angegeben.

An Hand der Analyse der Daten, die während der bisherigen BfS-Vergleichsprüfungen für passive Radonmessgeräte gesammelt wurden, konnte gezeigt werden, dass bei Anwendung eines angemessenen Qualitätsmanagementsystems der richtige Wert der Radonexposition bei einem Referenzwert von circa 200 kBq·h·m⁻³ um weniger als 40 Prozent und bei einem Referenzwert von circa 2500 kBq·h·m⁻³ um weniger als 16 Prozent über- bzw. unterschätzt wird [12]. Bei einzelnen Messgerätesystemen kann die mittlere relative Messabweichung durch Nachkalibrierung der Messeinrichtung oder durch geeignete Berücksichtigung der Ergebnisse der Messgeräte der Transitgruppe reduziert werden.

⁶ Radonmessgeräte mit Aktivkohle (Aktivkohlesammler) wurden bei der Vergleichsprüfung 2014 nicht geprüft.

⁷ Die Formeln zur Berechnung sind in Kapitel A-6 angegeben.

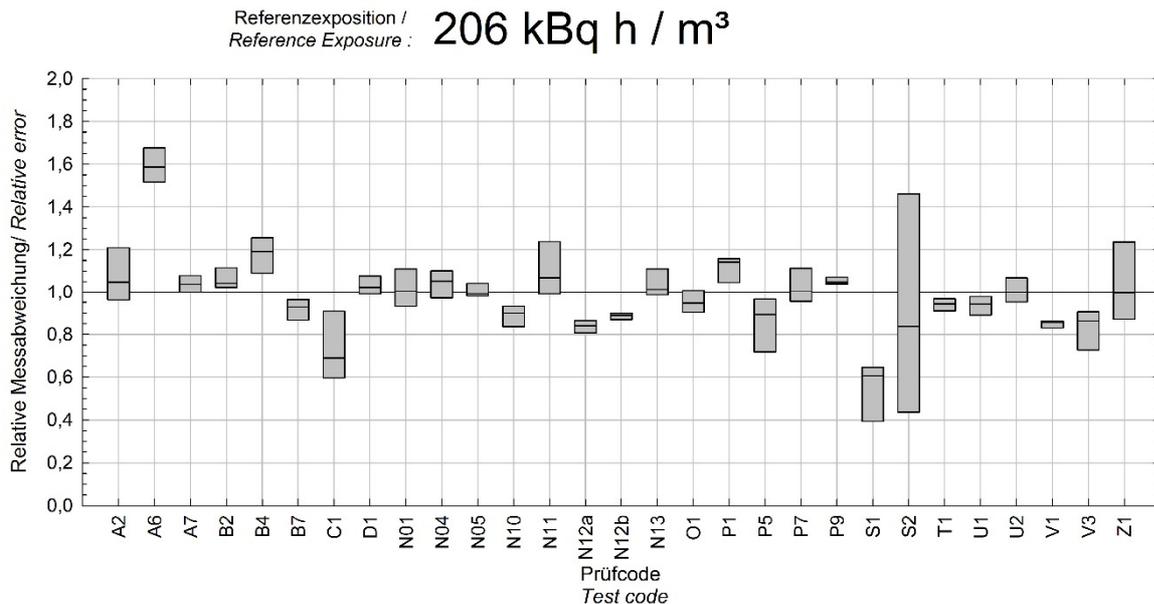


Abbildung 4-1: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 1/ Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 1

Erläuterung zur Abbildung: Darstellung als Boxplots [11], Prüfcode siehe Kapitel A-2; Innerhalb der Boxen liegen 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an.

Remarks on the figure: Given as box plots [11], Test code see paragraph A-2; Within the boxes are 50% of the results. The black line within the box indicates the median value.

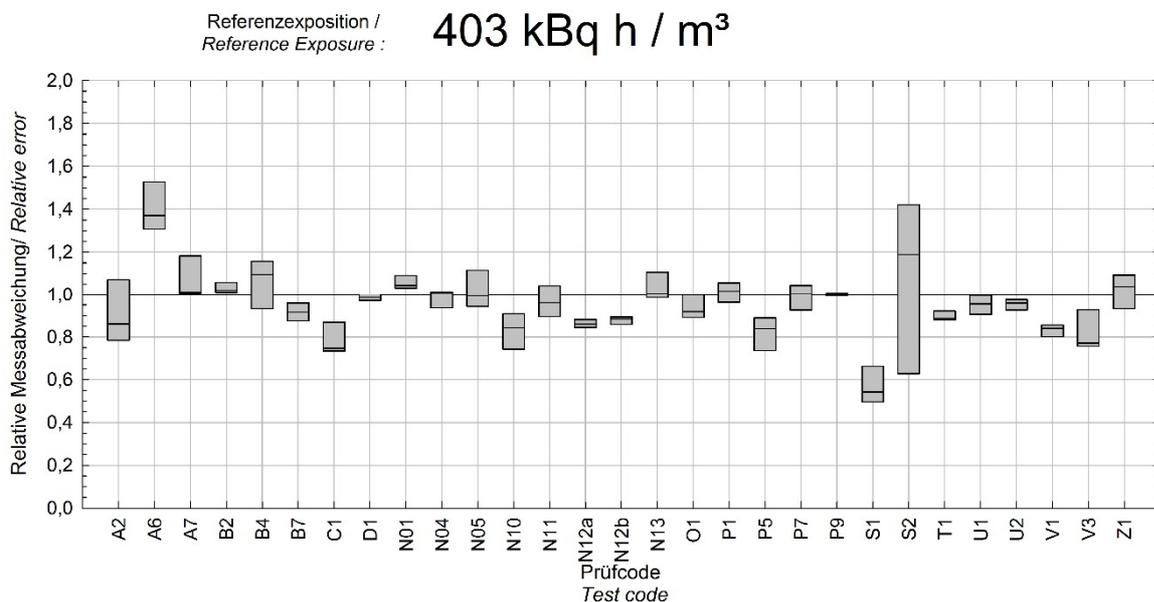


Abbildung 4-2: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 2/ Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 2

Erläuterung zur Abbildung: Darstellung als Boxplots [11], Prüfcode siehe Kapitel A-2; Innerhalb der Boxen liegen 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an.

Remarks on the figure: Given as box plots [11], Test code see paragraph A-2; Within the boxes are 50% of the results. The black line within the box indicates the median value.

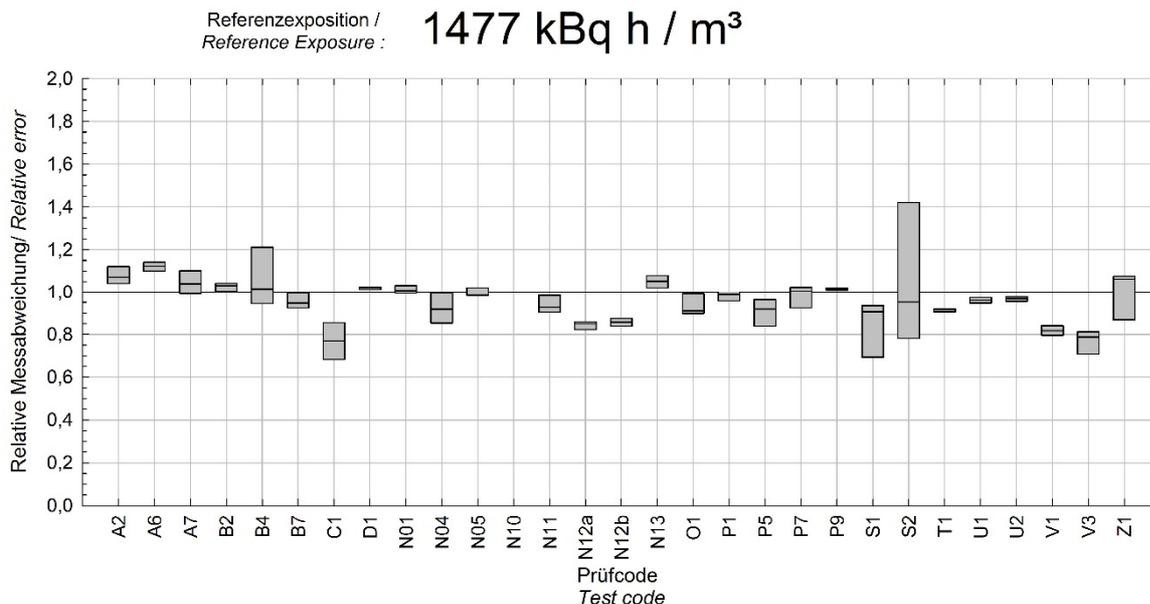


Abbildung 4-3: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 3/ Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 3

Erläuterung zur Abbildung: Darstellung als Boxplots [11], Prüfcode siehe Kapitel A-2; Innerhalb der Boxen liegen 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an.

Remarks on the figure: Given as box plots [11], Test code see paragraph A-2; Within the boxes are 50% of the results. The black line within the box indicates the median value.

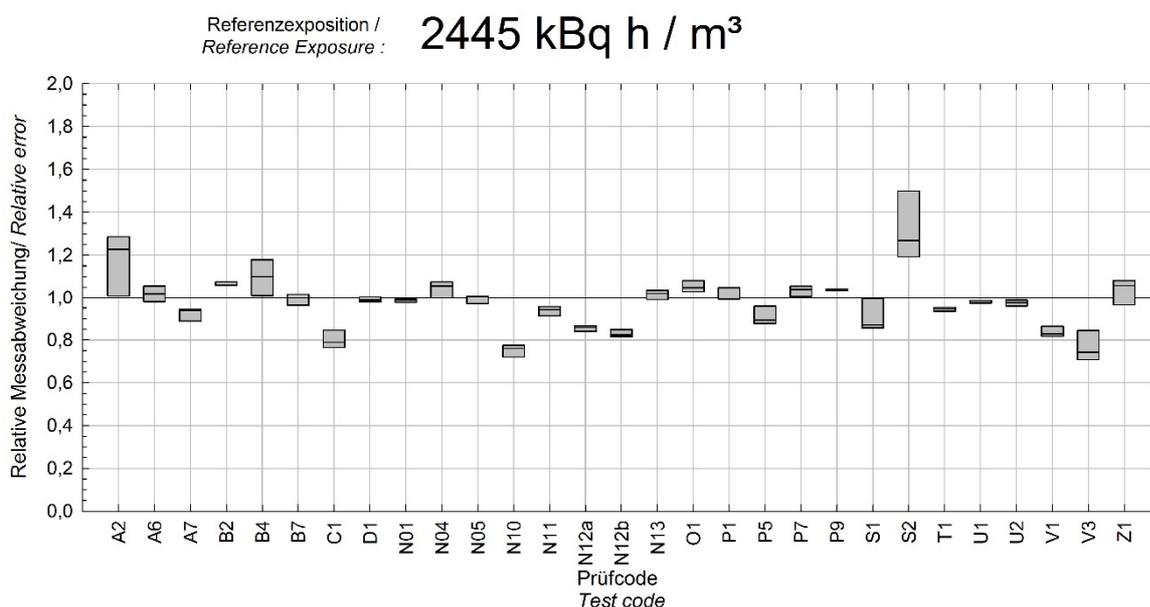


Abbildung 4-4: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 4/ Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 4

Erläuterung zur Abbildung: Darstellung als Boxplots [11], Prüfcode siehe Kapitel A-2; Innerhalb der Boxen liegen 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an.

Remarks on the figure: Given as box plots [11], Test code see paragraph A-2; Within the boxes are 50% of the results. The black line within the box indicates the median value.

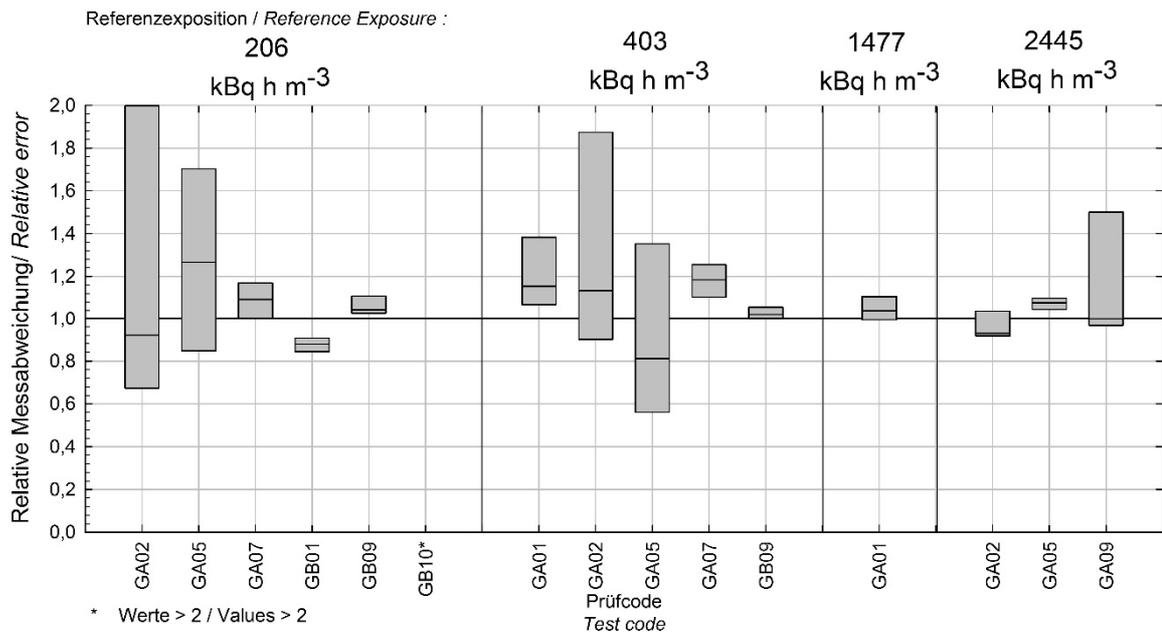


Abbildung 4-5: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Elektret der Expositionsgruppen 1 bis 4/ Relative error of the instruments using electrets of the exposure groups 1 to 4

Erläuterung zur Abbildung: Darstellung als Boxplots [11], Prüfcode siehe Kapitel A-2; Innerhalb der Boxen liegen 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an.

Remarks on the figure: Given as box plots [11], Test code see paragraph A-2; Within the boxes are 50% of the results. The black line within the box indicates the median value.

5 LITERATURVERZEICHNIS / REFERENCES

- [1] Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren ionisierender Strahlung. Abl. der EG, Reihe L, Nr. 159 von 1996
- [2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 BGBl. I S. 1714 ber. I 2002 S. 1459 (BGBl. III 751-1-8) zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 7 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Richtlinie für die Überwachung der Strahlenexposition bei Arbeiten nach Teil 3 Kapitel 2 Strahlenschutzverordnung. GMBI. 2004, Nr. 22, Seite 418
- [4] Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Regeln für die Durchführung von Vergleichsmessungen von Dosimetern gemäß § 2 Abs. 3 Satz 3 der Eichordnung, PTB-Mitteilungen 122 (2012), Heft 4
- [5] DIN EN ISO/IEC 17025:2005-08, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005), *English title: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025:2005)*
- [6] DIN EN ISO/IEC 17043:2010-05, Konformitätsbewertung - Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen (ISO/IEC 17043:2010); *English title: Conformity assessment - General requirements for proficiency testing (ISO/IEC 17043:2010)*
- [7] <http://www.eptis.bam.de> (01.10.2013)
- [8] Hamel, P., Schmidt, V., The calibration laboratories for the measurement of radon and short-lived radon decay products at the Federal Office for Radiation Protection (BfS), *Kerntechnik* 66, 2001, S. 202 – 205
- [9] Qualitätsmanagementhandbuch des Kalibrierlaboratoriums für die Messgrößen Aktivitätskonzentration von Radon in der Luft und potentielle Alphaenergie-Konzentration der kurzlebigen Radon-Zerfallsprodukte, Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Dosimetrie und Messmethodik
- [10] DAkkS-DKD-3, Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen. Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH, Braunschweig 2010 (deutsche Übersetzung der Publikation EAL-R2 „Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration“)
- [11] Hartung, J., Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. R. Oldenburg Verlag GmbH, München 1986
- [12] Beck, T.R., Foerster, F., Buchröder, H., Schmidt, V., Döring, J., The measurement accuracy of passive radon instruments, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 158, No. 1, S. 59-67, 2014, doi: 10.1093/rpd/nct182

A. ANHANG / ATTACHMENT

A-1.	TEILNEHMER / PARTICIPANTS	17
A-2.	MESSGERÄTETYPEN / INSTRUMENT TYPES.....	19
A-3.	ABLAUFSHEMA / TIME COURSE.....	23
A-4.	ATMOSPHERE IM LAGERRAUM / ATMOSPHERE IN THE STORAGE ROOM	23
A-5.	REFERENZATMOSPHEREN / REFERENCE ATMOSPHERES	24
A-6.	DATENAUSWERTUNG / ANALYSIS OF DATA.....	26
A-7.	MESSWERTE / MEASUREMENT VALUES	27
A-8.	ERGEBNISBERICHT (MUSTER) / REPORT ON MEASUREMENT RESULTS (SPECIMEN).....	34

A-1. TEILNEHMER / PARTICIPANTS

Tabelle A-1: Messstellen, die an den Vergleichsprüfungen 2014 teilgenommen haben / Radon services, which have participated in the intercomparison 2014

Messstelle <i>Radon service</i>	Land <i>Country</i>	Adresse <i>Address</i>
ALTRAC Radon-Messtechnik	Deutschland <i>Germany</i>	Dorothea-Viehmann-Straße 28 12524 Berlin
ARPA Calabria Dipartimento Provinciale di Catanzaro	Italien <i>Italy</i>	Via Lungomare Giovino 88063 Catanzaro
ARPA Lombardia CRR Milano	Italien <i>Italy</i>	Via Juvara, 22 20129 Milano
ARPA Piemonte Dipartimento Radiazioni	Italien <i>Italy</i>	Via Jervis, 30 10015 Ivrea (TO)
ARPA Puglia Dipartimento Provinciale di Lecce	Italien <i>Italy</i>	Via Miglietta 2 73100 Lecce
ARPA della Valle di Aosta Sezione Agenti Fisici	Italien <i>Italy</i>	Loc. Grande Charrière 44 11020 Saint-Christophe (AO)
ARPAM Dipartimento Provinciale di Ancona	Italien <i>Italy</i>	Via Colombo, 106 60127 Ancona
ARPAT Environmental Protection Agency Tuscani Region	Italien <i>Italy</i>	Via Ponte Allemosse, 211 50144 Firenze
Bundesamt für Strahlenschutz SW 1.3	Deutschland <i>Germany</i>	Köpenicker Allee 120-130 10318 Berlin
CIRCE - Laboratory of Environmental Radioactivity	Italien <i>Italy</i>	Viale Carlo III, 153 81020 San Nicola la Strada (CE)
Direction de la Santé Division de la Radioprotection	Luxemburg <i>Luxembourg</i>	Villa Louvigny, Allée Marconi 2120 Luxembourg
ENEA IRP-DOS Servizio Valutazione Radon	Italien <i>Italy</i>	Via dei Colli, 16 40136 Bologna
GEOEX s.a.s. Radon Lab. Services	Italien <i>Italy</i>	C.so Matteotti 44 00041 Albano Laziale Roma
GT Analytic SARL	Frankreich <i>France</i>	9bis, rue Grande 13410 Lambesc
Hainaut Vigilance Sanitaire Service des Pollutions Intérieures	Belgien <i>Belgium</i>	Boulevard Saintelette 55 7000 Mons
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Sicherheitsmanagement	Deutschland <i>Germany</i>	Hermann-von-Helmholtz-Platz 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Keskkonnaamet Kiirgusosakond	Estland <i>Estonia</i>	Kopli 76 10146 Tallinn
Laborad srl	Italien <i>Italy</i>	Via Maremmana III, 23 D 00030 San Cesareo (RM)
Landauer Nordic AB	Schweden <i>Sweden</i>	Rapsgatan 25 75138 Uppsala Vertriebspartner für Deutschland: Radon Analytics Alte Heerstraße 1

Messstelle <i>Radon service</i>	Land <i>Country</i>	Adresse <i>Address</i>
		53121 Bonn Deutschland
Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz	Deutschland <i>Germany</i>	Kaiser-Friedrich-Straße 7 55116 Mainz
Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen	Deutschland <i>Germany</i>	Marsbruchstraße 186 44287 Dortmund
MI.AM SRL	Italien <i>Italy</i>	Via de Amicis, 5 29029 Fabiano di Rivergaro (PC)
National Center of Radiobiology and Radiation Protection Radon Monitoring and Prevention Laboratory	Bulgarien <i>Bulgaria</i>	3, Sv. Georgi Sofijski, St. building 7 1606 Sofia
Public Health England CRCE	Großbritannien <i>United Kingdom</i>	Chilton, Didcot OX 11 ORQ Oxfordshire
Radiological Protection Institute of Ireland (RPII)	Irland <i>Ireland</i>	3 Clonskeagh Road Dublin 14
Radosys Kft.	Ungarn <i>Hungary</i>	Vegyész u. 17-25 1116 Budapest
Sarayköy Nuclear Research and Training Center (SANAEM) Radon Monitoring Laboratory	Türkei <i>Turkey</i>	Saray Mahallesi Atom Caddesy No:27 06983 Kazan/ Ankara
Unitat de Física de les Radiacions Departament de Física Universitat Autònoma de Barcelona	Spanien <i>Spain</i>	Edifici Cc Campus de la UAB 08193 Bellaterra (Barcelona)
Universidad de Cantabria Facultad de Medicina LaRUC Grupo Radon	Spanien <i>Spain</i>	c/ Av. Cardenal Herrera Oria, s/n 39011 Santander (Cantabria)
Università Federico II Dipartimento di Fisica	Italien <i>Italy</i>	Edificio 6, Via Cintia 80126 Napoli
U. Series SRL.	Italien <i>Italy</i>	Via Ferrarese, 131 40128 Bologna

A-2. MESSGERÄTETYPEN / INSTRUMENT TYPES

Tabelle A-2: Messgeräte mit Kernspurdetektoren oder Elektretdetektoren / *Measuring instruments using nuclear track detectors or electrets*

Bauform / Design	Messgerätetyp (nicht maßstabsgerecht) <i>Instrument type</i> (no accurate scale)	Detektor / Detector	Detektordicke <i>Detector thickness</i>	Gesamt-Detektorfläche <i>Total detector area</i>	Ausgewertete Detektorfläche <i>Analysed detector area</i>	Umschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere) <i>Closed detector</i> (with diffusion barrier)	Expositionsbereich <i>Range of exposure</i>	Prüfcode / Test code
A		Makrofol	0,3 mm	134 mm ²	127 mm ²	Ja / Yes	20 – 5 000 kBq·h·m ⁻³	A2
			0,3 mm	134 mm ²	127 mm ²	Ja / Yes	200 – 2 000 kBq·h·m ⁻³	A6
			0,5 mm	346 mm ²	53 mm ²	Ja / Yes	50 – 1 500 kBq·h·m ⁻³	A7
B		CR-39	1,5 mm	300 mm ²	140 mm ²	Ja / Yes	20 – 50 000 kBq·h·m ⁻³	B2
			0,5 mm	1053 mm ²	176 mm ²	k.A. / N.s.	20 – 3 500 kBq·h·m ⁻³	B4
			1,5 mm	481 mm ²	100 mm ²	k.A. / N.s.	20 – 25 000 kBq·h·m ⁻³	B7
C		CR-39	1 mm	100 mm ²	10 mm ²	Ja / Yes	32 – 86 400 kBq·h·m ⁻³	C1
D		Makrofol	0,3 mm	1020 mm ²	240 mm ²	Ja / Yes	50 – 10 000 kBq·h·m ⁻³	D1

Bauform / Design	Messgerätetyp (nicht maßstabsgerecht) <i>Instrument type</i> (no accurate scale)	Detektor / Detector	Detektordicke <i>Detector thickness</i>	Gesamt-Detektorfläche <i>Total detector area</i>	Ausgewertete Detektorfläche <i>Analysed detector area</i>	Umschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere)/ <i>Closed detector</i> (with diffusion barrier)	Expositionsbereich <i>Range of exposure</i>	Prüfcode / Test code
GA		Elektret (Teflon)	0.127 mm	n.z./ N.a.		Ja / Yes	250 – 16 000 kBq·h·m ⁻³	GA01
							300 – 3 500 kBq·h·m ⁻³	GA02
							86,4 – 43 000 kBq·h·m ⁻³	GA05
							49 – 1 200 kBq·h·m ⁻³	GA07
							600 – 15 000 kBq·h·m ⁻³	GA09
GB		Elektret (Teflon)	0.127 mm	n.z./ N.a.		Ja / Yes	50 – 2 000 kBq·h·m ⁻³	GB01
							100 – 2 700 kBq·h·m ⁻³	GB09
							10 – 4 000 kBq·h·m ⁻³	GB10
N		CR-39	1 mm	100 mm ²	50,7 mm ²	Ja / Yes	k.A./ N.s.	N01
			k.A./ N.s.	k.A./ N.s.	k.A./ N.s.	k.A./ N.s.	k.A./ N.s.	N04
			1 mm	100 mm ²	46,8 mm ²	Ja / Yes	40 – 12 000 kBq·h·m ⁻³	N05
			k.A./ N.s.	k.A./ N.s.	k.A./ N.s.	k.A./ N.s.	k.A./ N.s.	N10
			1 mm	100 mm ²	52mm ²	Ja / Yes	20 – 6 000 kBq·h·m ⁻³	N11
			1 mm	100 mm ²	46,8 mm ²	Ja / Yes	≥ 20 kBq·h·m ⁻³	N12a N12b
			1 mm	100 mm ²	50,7 mm ²	Ja / Yes	k.A./ N.s.	N13

Bauform / Design	Messgerätetyp (nicht maßstabgerecht) <i>Instrument type</i> (no accurate scale)	Detektor / Detector	Detektordicke <i>Detector thickness</i>	Gesamt-Detektorfläche <i>Total detector area</i>	Ausgewertete Detektorfläche <i>Analysed detector area</i>	Umschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere)/ <i>Closed detector</i> (with diffusion barrier)	Expositionsbereich <i>Range of exposure</i>	Prüfcode / Test code
O		LR-115	0,012 mm	290 mm ²	k.A./ N.s.	Ja / Yes	0 – 7 000 kBq·h·m ⁻³	O1
P		CR-39	1,5 mm	625 mm ²	100 mm ²	Ja / Yes	k.A./ N.s.	P1
			1 mm	200 mm ²	100 mm ²	Ja / Yes	260 – 3 550 kBq·h·m ⁻³	P5
			1,2 mm	625 mm ²	120 mm ²	Ja / Yes	0 – 20 000 kBq·h·m ⁻³	P7
			1 mm	625 mm ²	59 mm ²	Ja / Yes	100 – 2 500 kBq·h·m ⁻³	P9
S		LR-115	0,012 mm	850 mm ²	150 mm ²	Ja / Yes	300 – 3 500 kBq·h·m ⁻³	S1
			0,012 mm	850 mm ²	225 mm ²	Ja / Yes	50 – 5 000 kBq·h·m ⁻³	S2
T		CR-39	(1,40 ± 0,05) mm	900 mm ²	29,3 mm ² / 47,3 mm ²	Ja / Yes	10 – 20 000 kBq·h·m ⁻³	T1

Bauform / Design	Messgerätetyp (nicht maßstabsgerecht) <i>Instrument type</i> (no accurate scale)	Detektor / Detector	Detektordicke <i>Detector thickness</i>	Gesamt-Detektorfläche <i>Total detector area</i>	Ausgewertete Detektorfläche <i>Analysed detector area</i>	Umschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere)/ <i>Closed detector</i> (with diffusion barrier)	Expositionsbereich <i>Range of exposure</i>	Prüfcode / Test code
U		CR-39	1,5 mm	625 mm ²	100 mm ²	Ja / Yes	100 – 50 000 kBq·h·m ⁻³	U1
			1,5 mm	625 mm ²	100 mm ²	Ja / Yes	k.A./ N.s.	U2
			1,5 mm	625 mm ²	196 mm ²	Ja / Yes	50 – 40 000 kBq·h·m ⁻³	U4
V		CR-39	1,5 mm	625 mm ²	100 mm ²	Ja / Yes	70 – 4 000 kBq·h·m ⁻³	V1
		LR-115	0,012 mm	704 mm ²	100 mm ²	Ja / Yes	50 – 3 000 kBq·h·m ⁻³	V3
Z		LR-115	0,012 mm	227 mm ²	100 mm ²	Ja / Yes	50 – 30 000 kBq·h·m ⁻³	Z1

Erläuterung zur Tabelle A-2/ *Remarks on table A-2:*

k.A.: keine Angabe; n.z.: nicht zutreffend

N.s.: not specified; N.a.: not applicable

A-3. ABLAUFSCHEMA / TIME COURSE

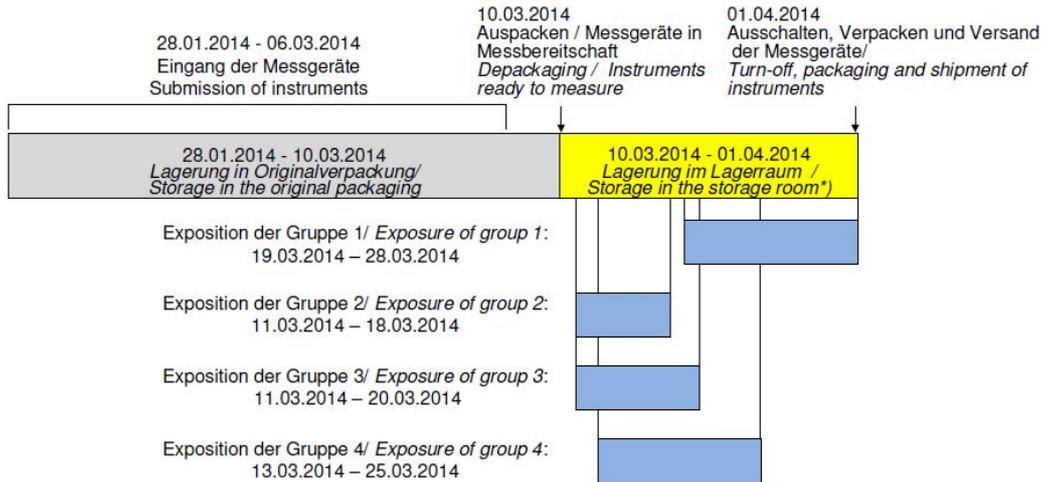


Abbildung A-1: Ablaufschema / Time course

Erläuterung zu Abbildung A-1/ Remarks on figure A-1:

*) Messgeräte ausgepackt und messbereit / Instruments unpacked and ready for measurement

A-4. ATMOSPHERE IM LAGERRAUM / ATMOSPHERE IN THE STORAGE ROOM

Tabelle A-3: Parameter der Atmosphäre im Lagerraum / Parameters of the atmosphere in the storage room

C_{Rn} [Bq·m ⁻³]	$C_{Rn,EG}$ [Bq·m ⁻³]	$r.H.$ [%]	$U_{r.H.}$ [%]	T [°C]	U_T [K]	p [hPa]	U_p [hPa]	$\dot{H}^*(10)$ [nSv·h ⁻¹]	$U_{\dot{H}^*(10)}$ [nSv·h ⁻¹]
2	5	37	8	20	0,6	1011	1	70	10

Der Parameter C_{Rn} ist die mittlere Radon-222-Aktivitätskonzentration, die während der Lagerung der Messgeräte im klimatisierten Lagerraum ermittelt wurde. $C_{Rn,EG}$ ist die Erkennungsgrenze der verwendeten Messeinrichtung. In der Tabelle sind weiterhin die Klimabedingungen während der Lagerzeit angegeben: Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit ($r.H.$) erweiterte Messunsicherheit $U_{r.H.}$ ($k=2$), Mittelwert der Temperatur (T) und erweiterte Messunsicherheit der Temperatur U_T ($k=2$), Mittelwert des Luftdrucks (p) und erweiterte Messunsicherheit des Luftdrucks U_p ($k=2$). Der Parameter $\dot{H}^*(10)$ ist die mittlere Umgebungsäquivalentdosisleistung mit der erweiterten Messunsicherheit $U_{\dot{H}^*(10)}$ ($k=2$).

C_{Rn} is the mean radon activity concentration determined during the storage of instruments in the air-conditioned storage room. $C_{Rn,EG}$ is the detection limit of the measuring system used for monitoring. Furthermore, in the table are given the mean value of relative humidity ($r.H.$), expanded relative measurement uncertainty of relative humidity $U_{r.H.}$ ($k=2$), mean value of temperature (T), expanded measurement uncertainty of temperature U_T ($k=2$), mean value of air pressure (p) and expanded measurement uncertainty of air pressure U_p ($k=2$) during the storage of instruments. The parameter $\dot{H}^*(10)$ is the mean ambient dose rate with the expanded measurement uncertainty $U_{\dot{H}^*(10)}$ ($k=2$).

A-5. REFERENZATMOSPHERÄN / REFERENCE ATMOSPHERES

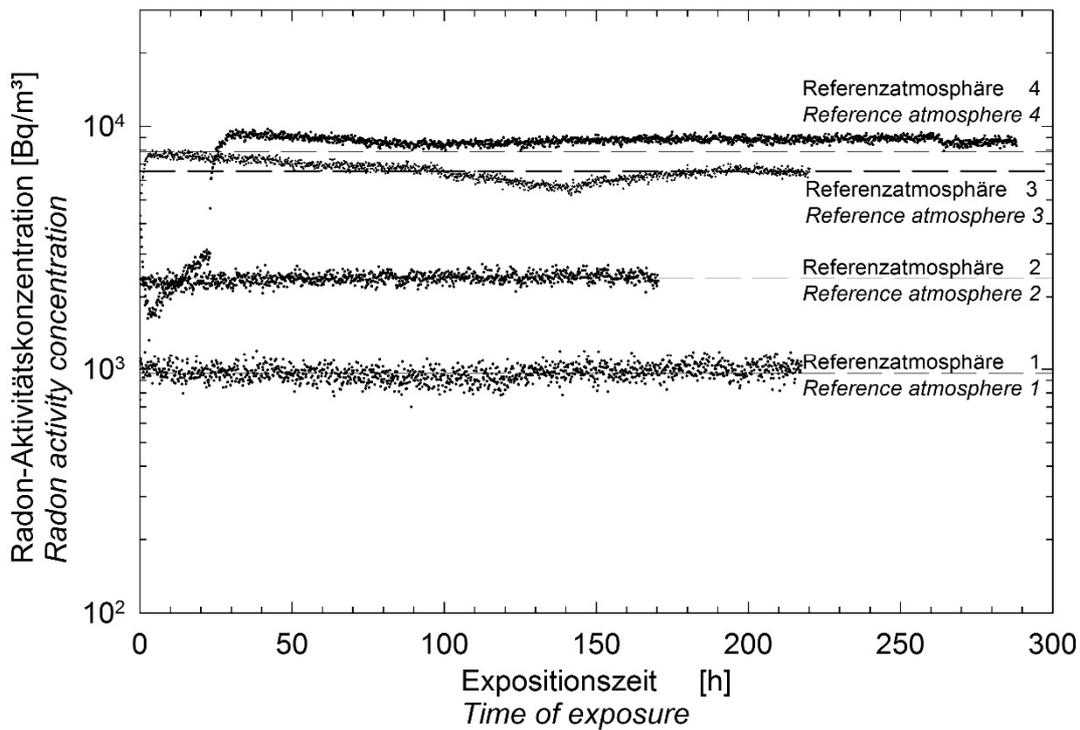


Abbildung A-2: Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen der Referenzatmosphären / Radon activity concentrations of the reference atmospheres versus time of exposure

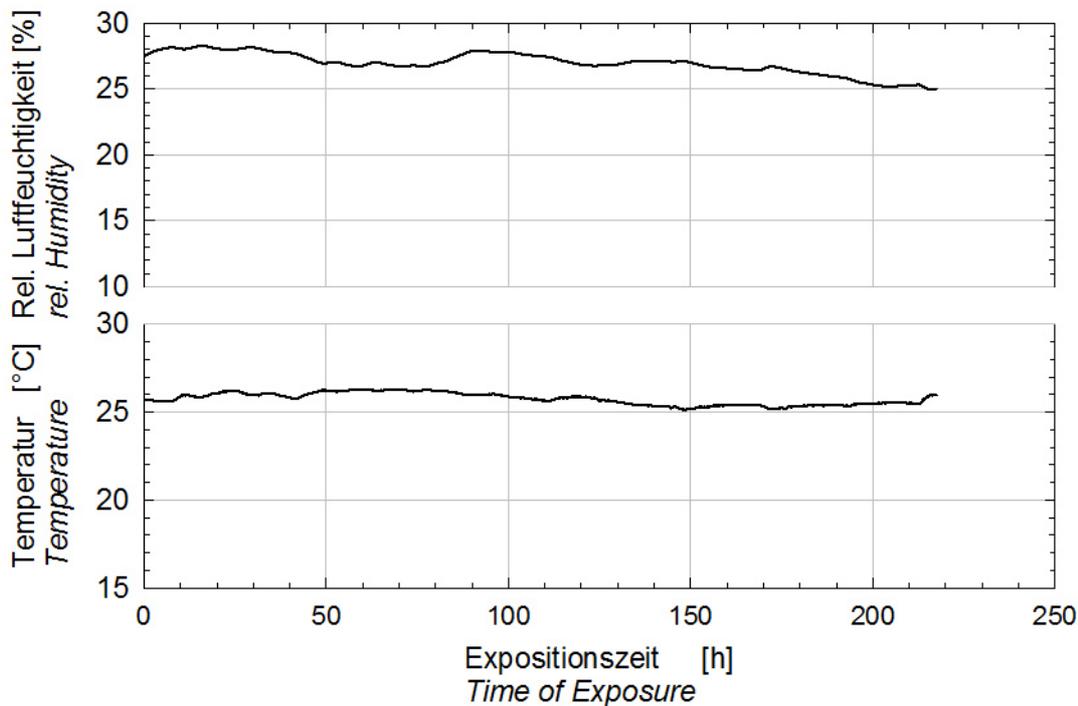


Abbildung A-3: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit während der Exposition Nr. 1 / Temperature and relative humidity during the exposure no. 1

Tabelle A-4: Werte der Radon-Referenzatmosphären / Parameter of the radon reference atmospheres

No.	Datum Date	t [h]	$C_{Rn,Ref}$ [Bq·m ⁻³]	$P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	U [%]	V [m ³]	T [°C]	r.H. [%]	p [hPa]
1	19.03.-28.03.2014	217,5	949	206	12	11	25	27	1002
2	11.03.-18.03.2014	169,4	2380	403	7	11			
3	11.03.-20.03.2014	220,3	6703	1477	7	0,4			
4	13.03.-25.03.2014	288,2	8483	2445	7	0,4			

Erläuterung zu Tabelle A-4:

Die Spalte No. gibt die Nummer der Expositionsgruppe bzw. der Radon-Referenzatmosphäre an und das Datum den Zeitraum, in dem die Messgeräte in den Referenzatmosphären exponiert wurden. Der Parameter $C_{Rn,Ref}$ ist der Mittelwert der Radon-222-Aktivitätskonzentration während der Expositionszeit t und $P_{Rn,Ref}$ die Radon-222-Exposition, die sich aus dem Produkt von $C_{Rn,Ref}$ und t ergibt. U ist die erweiterte relative Messunsicherheit der Radon-222-Aktivitätskonzentration, die aus der Standardmessunsicherheit multipliziert mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ resultiert und den Vertrauensbereich des wahren Wertes der Messgröße mit einer statistischen Sicherheit von 95 % angibt. Die erweiterte relative Messunsicherheit wurde gemäß DAkKS-DKD-3 [10] ermittelt. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphären sind außerdem das Volumen des Kalibrierbehälters V und die Klimabedingungen angegeben: Mittelwert der Temperatur T mit einer erweiterten Messunsicherheit von 0,6 °C ($k=2$), Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit $r.H.$ mit einer erweiterten Messunsicherheit von 8 % ($k = 2$) und Mittelwert des Luftdrucks p mit einer erweiterten Messunsicherheit von 1 hPa ($k = 2$).

Remarks on table A-4:

In the No. column the number of the exposure group or reference atmosphere is indicated and in the Date column the exposure interval is given. $C_{Rn,Ref}$ is the mean activity concentration of radon-222 during the exposure time t , and $P_{Rn,Ref}$ is the exposure to radon-222 as product of $C_{Rn,Ref}$ and t . U is the expanded relative uncertainty of radon-222 activity concentration resulting from standard uncertainty of the measurement multiplied by a factor $k = 2$ (95% confidence interval). The expanded relative uncertainty has been acquired in accordance to DAkKS-DKD-3 [10]. To characterize the radon reference atmospheres the volume V of the calibration containers and the climatic conditions are indicated in the table: the mean value of temperature T with an expanded relative uncertainty of 0.6 °C ($k = 2$), the mean value of relative humidity $r.H.$ with an expanded relative uncertainty of 8 % ($k = 2$) and the mean value of air pressure p with an expanded relative uncertainty of 1 hPa ($k = 2$).

A-6. DATENAUSWERTUNG / ANALYSIS OF DATA

Für jedes Set von Messgeräten eines Teilnehmers und eines Typs (Prüfcode siehe Tabelle A-2) wurden die im Folgenden dargestellten Berechnungen durchgeführt. Für die einzelnen Expositionsgruppen und die Transitgruppe wurden jeweils Mittelwert und relative Standardabweichung der Messwerte berechnet (siehe Formeln (1) und (2)). Für die Expositionsgruppen 1 bis 4 wurde zusätzlich die relative Messabweichung gemäß Gleichung (3) berechnet.

$$AM = \bar{x}_g = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n x_{g,i} \quad (1)$$

$$RSD_g = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{g,i} - \bar{x}_g)^2}{n-1}}}{\bar{x}_g} \times 100 \quad (2)$$

$$RERR_g = \frac{(\bar{x}_g - X_g)}{X_g} \times 100 \quad (3)$$

- g Nummer der Expositionsgruppe ($g = 1 \dots 4$, Transitgruppe: $g = 0$)
Number of the exposure group ($g = 1 \dots 4$, transit group: $g = 0$)
- $x_{g,i}$ Messwert der Radon-222-Exposition des Gerätes i der Expositionsgruppe g
Measurement value exposure to radon-222 of instrument i in exposure group g
- \bar{x}_g Arithmetischer Mittelwert (AM) der Radon-222-Exposition der Expositionsgruppe g
Arithmetic mean value (AM) of the exposure to radon-222 of exposure group g
- RSD_g Relative Standardabweichung der Messwerte der Expositionsgruppe g in Prozent
Relative standard deviation of the measurement values of exposure group g in percent
- X_g Referenzwert der Radon-222-Exposition $P_{Rn,Ref}$ für die Expositionsgruppe g
Reference value of the exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ for exposure group g
- $RERR_g$ Relative Messabweichung der Messwerte der Expositionsgruppe g vom Referenzwert in Prozent
Relative error of the measurement values of exposure group g from the reference value in percent

An Hand der Analyse der Daten, die während der bisherigen BfS-Vergleichsprüfungen für passive Radonmessgeräte gesammelt wurden, konnte gezeigt werden, dass die relative Messabweichung der Einzelmesswerte in Abhängigkeit vom Referenzwert bei geeigneter Qualitätssicherung innerhalb eines zulässigen Bereichs liegen können [12]. Die untere und obere Grenze (LL, UL) dieses zulässigen Bereichs lässt sich durch folgende empirische Formeln beschreiben

$$LL = 0.86 - \frac{50}{X_g} \quad (5)$$

$$UL = 1.14 + \frac{50}{X_g} \quad (6)$$

For each set of instruments of the same type of each participant (test code see table Tabelle A-2) the following calculations have been performed. Mean value and relative standard deviation of the determined exposures to radon-222 were calculated for each exposure group and the transit group as well according to equations (1) and (2). The relative error was calculated for exposure groups 1 to 4 according to equation (3).

It has been shown, that, analyzing all data having been gathered from BfS Intercomparisons of Passive Radon Detectors so far, the relative measurement deviation of a single measurement value can assume values within an accepted range, depending on the reference value, if an appropriate quality management system is operated [12]. The lower and upper level (LL, UL) of the accepted range can be described by the empirical equations (5) and (6).

A-7. MESSWERTE / MEASUREMENT VALUES

Tabelle A-5: Messwerte der nichtexponierten Messgeräte (Transport- und Lagerungseffekte)/
Measurement values of non-exposed instruments (influences of transit and storage)

Prüfcode Test code	Messgeräte- anzahl Number of instrument	Mittelwert Mean value [Bq·h·m ⁻³]	Standardabweichung Standard deviation [Bq·h·m ⁻³]	Transit-Effekt berücksichtigt? Transit effect taken into account?
A2	7	7,3	4,2	Ja/ Yes
A6	7	29,5	6,7	Nein/ No
A7	7	10,7	3,1	Ja/ Yes
B2	7	4,4	4,4	Ja/ Yes
B4	7	0		Ja/ Yes
B7	7	14,0	6,5	Ja/ Yes
C1	7	18,7	7,6	Ja/ Yes
D1	7	2,0	3,4	Ja/ Yes
GA01	0			Ja/ Yes ¹⁾
GA02	6	69,2	33,7	Nein/ No
GA05	6	112,2	40,4	Nein/ No
GA07	6	69,3	8,2	Ja/ Yes
GA09	0			Ja/ Yes ²⁾
GB01	6	61,1	42,4	Ja/ Yes
GB09	6	nicht angebar / Not assignable ³⁾		Ja/ Yes
GB10	6	73,5	5,2	Ja/ Yes
N01	7	0		Ja/ Yes
N04	7	16,6	5,3	nicht angegeben/ Not indicated
N05	7	53,7	10,8	Ja/ Yes
N10	7	8,5	6,8	nicht angegeben/ Not indicated
N11	7	35,8	19,6	Ja/ Yes
N12a	7	22,4	5,8	Nein/ No
N12b	7	32,4	6,7	Nein/ No
N13	7	0,0	0,0	Ja/ Yes
O1	7	21,6	5,6	Nein/ No
P1	7	68,2	13,8	Ja/ Yes
P5	7	42,5	11,8	Ja/ Yes
P7	7	9,0	3,6	Ja/ Yes
P9	7	0		nicht angegeben/ Not indicated
S1	7	7,7	4,3	Nein/ No
S2	7	165,7	74,9	Ja/ Yes
T1	7	5,2	3,2	Nein/ No
U1	7	12,2	4,1	Ja/ Yes
U2	7	27,9	6,1	Ja/ Yes
V1	7	13,9	7,2	Ja/ Yes
V3	5	20,8	5,9	Ja/ Yes
Z1	7	nicht angebar / Not assignable ⁴⁾		Ja/ Yes

Erläuterungen zu Tabelle A-5:

In dieser Tabelle sind die Messwerte der Messgeräte der Transitgruppe angegeben. Die Transitgruppe umfasst die Messgeräte, welche den gleichen Transport- und Lagerungsbedingungen ausgesetzt waren wie die Messgeräte der Expositionsgruppen, jedoch nicht in den Referenzatmosphären exponiert wurden. Jede Messstelle erhielt eine Information darüber, welche Messgeräte der Transitgruppe angehören. Für jede Transitgruppe wurden Mittelwert und Standardabweichung der von den Messstellen ermittelten Radonexpositionen berechnet und gerundet angegeben.

Der Mittelwert der Radon-222-Exposition der Transitgruppe ist ein Maß für die Transport- und Lagerungseffekte, denen alle eingesandten Geräte ausgesetzt waren („Transit-Nulleffekt“). Es lag in der Verantwortung der Teilnehmer, den Transit-Nulleffekt bei der Auswertung in geeigneter Weise zu berücksichtigen.

¹⁾ Der Transit-Nulleffekt der Messgeräte mit Prüfcode GB01 wurde für die Auswertung der exponierten Messgeräte mit Prüfcode GA01 berücksichtigt.

²⁾ Der Transit-Nulleffekt der Messgeräte mit Prüfcode GB09 wurde für die Auswertung der exponierten Messgeräte mit Prüfcode GA09 berücksichtigt.

³⁾ Alle Messwerte sind kleiner als die untere Nachweisgrenze ($100 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$).

⁴⁾ Alle Messwerte sind kleiner als die untere Nachweisgrenze ($10 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$).

Remarks on table A-5:

In this table the measurement values of the transit group instruments are given. The transit group comprises instruments which have been transported and stored under the same conditions as all others, but not exposed in reference atmospheres. Each participating laboratory was informed, which instruments belong to the transit group. For each group mean value and standard deviation were calculated and rounded as indicated.

The mean exposure value of the transit group is a measure of the effects of transportation and storage, which all submitted measurement devices were exposed to (“transit background”, sometimes named “field background”). The participants were responsible to take account of the transit background.

¹⁾ *The transit background of the instruments with test code GB01 was used for the instruments with test code GA01.*

²⁾ *The transit background of the instruments with test code GB09 was used for the instruments with test code GA09.*

³⁾ *All measurement values are lower than the lower detection limit ($100 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$).*

⁴⁾ *All measurement values are lower than the lower detection limit ($10 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$).*

Tabelle A-6: Ergebnisse der exponierten Messgeräte / *Results of exposed instruments*

Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräteeanzahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [Bq·h·m ⁻³]	Standard- abweichung <i>Standard deviation</i> [Bq·h·m ⁻³]	Referenzwert <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [Bq·h·m ⁻³]	relative Mess- abweichung <i>Relative error</i> [%]
1	A2	7	223,6	31,7	206	8,5
	A6	6	332,1	25,8		61,2
	A7	7	211,7	16,0		2,8
	B2	7	217,7	9,9		5,7
	B4	7	236,1	29,4		14,6
	B7	7	191,4	11,4		-7,1
	C1	7	152,4	30,8		-26,0
	D1	7	211,4	11,4		2,6
	GA01	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>			
	GA02	6	269,2	173,1		30,7
	GA05	6	268,2	110,5		30,2
	GA07	6	224,5	17,0		9,0
	GA09	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>			
	GB01	6	180,5	7,3		-12,4
	GB09	6	221,8	21,7		7,7
	GB10	6	981,9	25,3		376,7
	N01	7	210,3	21,0		2,1
	N04	7	217,1	25,2		5,4
	N05	7	206,0	9,1		0,0
	N10	5	182,8	13,0		-11,3
	N11	7	232,9	30,7		13,1
	N12a	7	172,4	6,4		-16,3
	N12b	7	182,6	3,3		-11,4
	N13	7	213,3	13,8		3,5
	O1	7	196,1	12,7		-4,8
	P1	7	231,7	11,9		12,5
	P5	7	177,6	27,5		-13,8
	P7	7	216,1	22,0		4,9
	P9	7	216,7	4,1		5,2
	S1	7	108,6	33,1		-47,3 ¹⁾
	S2	7	185,8	93,8		-9,8
	T1	7	194,4	7,0		-5,6
U1	7	195,6	15,0	-5,0		
U2	7	207,6	11,9	0,8		
V1	7	173,4	8,9	-15,8		
V3	7	169,6	21,2	-17,7		
Z1	7	214,2	40,8	4,0		

Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräteanzahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [Bq·h·m ⁻³]	Standardabweichung <i>Standard deviation</i> [Bq·h·m ⁻³]	Referenzwert <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [Bq·h·m ⁻³]	relative Messabweichung <i>Relative error</i> [%]
2	A2	7	367,5	78,0	403	-8,8
	A6	7	566,6	49,4		40,6
	A7	7	427,6	48,5		6,1
	B2	7	416,6	11,6		3,4
	B4	7	425,3	56,8		5,5
	B7	7	368,7	17,3		-8,5
	C1	7	320,0	34,8		-20,6
	D1	7	395,1	10,7		-1,9
	GA01	6	489,6	89,4		21,5
	GA02	6	539,0	238,9		33,7
	GA05	6	366,0	146,4		-9,2
	GA07	6	476,2	28,4		18,2
	GA09	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>			
	GB01	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>			
	GB09	6	414,0	13,4		2,7
	GB10	6	nicht angebar/ <i>Not assignable</i> ²⁾			
	N01	7	427,9	26,7		6,2
	N04	7	398,9	34,3		-1,0
	N05	7	407,1	39,0		1,0
	N10	7	334,4	31,4		-17,0
	N11	7	387,2	35,8		-3,9
	N12a	7	347,2	10,0		-13,9
	N12b	7	354,0	8,4		-12,2
	N13	7	415,3	29,7		3,0
	O1	7	374,7	24,4		-7,0
	P1	7	411,6	26,3		2,1
	P5	7	316,0	67,9		-21,6
	P7	7	401,1	24,4		-0,5
P9	7	402,7	3,5	-0,1		
S1	7	227,3	39,3	-43,6		
S2	7	457,0	201,7	13,4		
T1	7	361,5	14,2	-10,3		
U1	7	382,0	18,0	-5,2		
U2	7	382,1	11,1	-5,2		
V1	7	338,1	15,5	-16,1		
V3	7	327,6	59,5	-18,7		
Z1	7	415,7	43,5	3,1		
3	A2	7	1596,4	74,6	1477	8,1
	A6	7	1619,0	173,9		9,6
	A7	7	1543,0	93,4		4,5

Expositionsgruppe Exposure group	Prüfcode Test code	Messgeräteanzahl Number of instruments	Mittelwert Mean value [Bq·h·m ⁻³]	Standard- abweichung Standard deviation [Bq·h·m ⁻³]	Referenzwert Reference value $P_{Rn,Ref}$ [Bq·h·m ⁻³]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
3	B2	7	1518,3	40,7	1477	2,8
	B4	7	1611,6	245,3		9,1
	B7	7	1410,2	59,2		-4,5
	C1	7	1129,9	116,2		-23,5
	D1	7	1510,6	21,5		2,3
	GA01	6	1540,0	97,7		4,3
	GA02	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>			
	GA05	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>			
	GA07	6	nicht angebbbar/ <i>Not assignable</i> ³⁾			
	GA09	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>			
	GB01	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>			
	GB09	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>			
	GB10	6	nicht angebbbar/ <i>Not assignable</i> ²⁾			
	N01	7	1492,6	44,0		1,1
	N04	7	1366,3	117,3		-7,5
	N05	7	1472,9	40,3		-0,3
	N10	2	1144,4	62,6		-22,5
	N11	7	1402,9	80,8		-5,0
	N12a	7	1244,3	34,6		-15,8
	N12b	7	1261,7	27,9		-14,6
	N13	7	1552,9	38,9		5,1
	O1	7	1393,9	90,5		-5,6
	P1	7	1451,2	29,2		-1,7
	P5	7	1322,6	124,2		-10,5
	P7	7	1448,2	80,2		-1,9
	P9	7	1502,4	8,9		1,7
	S1	7	1254,6	207,9		-15,1
	S2	7	1638,3	479,6		10,9
	T1	7	1357,1	25,4		-8,1
	U1	7	1418,1	28,0		-4,0
U2	7	1430,0	33,1	-3,2		
V1	7	1208,2	40,0	-18,2		
V3	7	1157,4	125,8	-21,6		
Z1	7	1460,4	179,1	-1,1		
4	A2	7	2853,1	324,5	2445	16,7
	A6	7	2524,9	138,9		3,3
	A7	7	2272,9	78,8		-7,0 ⁴⁾
	B2	7	2614,9	54,8		6,9
	B4	7	2655,8	212,9		8,6
	B7	7	2409,6	79,7		-1,4

Expositionsgruppe Exposure group	Prüfcode Test code	Messgeräteanzahl Number of instruments	Mittelwert Mean value [Bq·h·m ⁻³]	Standard- abweichung Standard deviation [Bq·h·m ⁻³]	Referenzwert Reference value $P_{Rn,Ref}$ [Bq·h·m ⁻³]	relative Mess- abweichung Relative error [%]	
4	C1	7	1943,0	98,9	2445	-20,5	
	D1	7	2422,4	36,5		-0,9	
	GA01	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>				
	GA02	6	2351,7	167,4		-3,8	
	GA05	6	2627,5	68,1		7,5	
	GA07	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>				
	GA09	6	3009,1	1192,5		23,1	
	GB01	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>				
	GB09	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>				23,1
	GB10	0	nicht exponiert/ <i>Not exposed</i>				
	N01	7	2406,1	20,6		-1,6	
	N04	7	2519,9	164,0		3,1	
	N05	7	2434,3	55,6		-0,4	
	N10	5	1833,5	71,2		-25,0	
	N11	7	2279,4	56,0		-6,8	
	N12a	7	2090,4	27,2		-14,5	
	N12b	7	2026,4	37,6		-17,1	
	N13	7	2488,0	53,6		1,8	
	O1	7	2551,7	126,4		4,4	
	P1	7	2481,5	81,9		1,5	
	P5	7	2225,9	96,0		-9,0	
	P7	7	2519,6	72,3		3,1	
	P9	7	2540,1	15,5		3,9	
	S1	7	2223,3	164,4		-9,1	
	S2	7	3177,8	525,4		30,0	
	T1	7	2313,3	52,4		-5,4	
	U1	7	2389,8	22,8		-2,3	
U2	7	2383,3	31,7	-2,5			
V1	7	2051,3	58,8	-16,1			
V3	7	1891,5	158,9	-22,6			
Z1	7	2513,2	187,2	2,8			

Erläuterungen zu Tabelle A-6:

Die Messwerte der Radonmessgeräte wurden den jeweiligen Expositionsgruppen zugeordnet. Es lag in der Verantwortung der teilnehmenden Messstelle, bei der Angabe der Messwerte der exponierten Messgeräte die Messwerte der Transitgruppe, d.h. den Transit-Nulleffekt, in geeigneter Weise zu berücksichtigen. Für jede Expositionsgruppe wurden Mittelwert und Standardabweichung der von den Messstellen ermittelten Radonexpositionen berechnet und angegeben. Die Nettoexposition (Differenz aus dem Mittelwert der Messwerte der jeweiligen Expositionsgruppe und dem Mittelwert der Transitgruppe) wurde nicht durch das BfS ermittelt. Die Referenzexposition ist die Radonexposition, der die Radonmessgeräte in der Referenzatmosphäre ausgesetzt waren. Sie ist auf das nationale Normal zurückgeführt und wird als der richtige Wert der Radonexposition

betrachtet. Die relative Messabweichung ist die Differenz aus dem Mittelwert und der Referenzexposition bezogen auf die Referenzexposition (Angabe in Prozent). Mittelwert, Standardabweichung und relative Messabweichung werden gerundet angegeben.

- 1) Der Referenzwert ist kleiner als die untere Nachweisgrenze der Messgeräte ($300 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$).
- 2) Alle Messwerte sind größer als die obere Nachweisgrenze der Messgeräte ($1500 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$).
- 3) Alle Messwerte sind größer als die obere Nachweisgrenze der Messgeräte ($1200 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$).
- 4) Der Referenzwert ist größer als die obere Nachweisgrenze der Messgeräte ($1500 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$).

Remarks on table A-6:

The measurement values of the radon instruments tested were assigned to the exposure groups. It was the responsibility of each participating measuring service, to take account of the indications of the transit group instruments for the deduction of the net exposure of the exposed instruments. The net exposure (difference between the mean values of the exposure group and the transit group) was not calculated by the organisers. For each group mean value and standard deviation were calculated. The reference exposure is the exposure to radon which instruments have received. The reference exposure is traced back to the national standard and is considered as the conventionally true value used for the exposure group. The relative error is the difference between mean value and reference exposure related to reference exposure (given in percent). Mean value, standard deviation and relative error are rounded as indicated.

- 1) *The reference value is lower than the lower detection limit of the instruments ($300 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$).*
- 2) *All measurement values exceed the upper detection limit of the instruments ($1500 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$).*
- 3) *All measurement values exceed the upper detection limit of the instruments ($1200 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$).*
- 4) *The reference value is greater than the upper detection limit of the instruments ($1500 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$).*

**A-8. ERGEBNISBERICHT (MUSTER) / REPORT ON MEASUREMENT RESULTS
(SPECIMEN)**



Datum / Date:

Seite 1 von 6 / Page 1 of 1

BfS Vergleichsprüfung für passive Radonmessgeräte 2014: Ergebnisse
BfS Intercomparison of Passive Radon Detectors 2014: Results

Messstelle: <i>Laboratory</i>	Name und Adresse <i>Name and address</i>	Laborcode <i>Laboratory code :</i> L Set Nummer / <i>Set number:</i> S	
Gerätetyp: <i>Type of device</i>	Radonmessgerät mit Festkörperspurdetektor <i>Radon measurement device with solid state nuclear track detector</i>	Prüfcode: <i>Test code</i> D1	
Anzahl der Geräte: <i>Number of devices</i>	35	Geräte-Code: <i>Code of devices</i>	LLS01 bis LLS35
Detektortyp: <i>Type of detector</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Festkörperspurdetektor <i>Solid state nuclear track detector</i>	<input type="checkbox"/> Elektret <i>Electret</i>	
Detektormaterial: <i>Detector material</i>	Makrofol	Detektordicke: <i>Detector thickness</i>	0,3 mm
Gesamt-Detektorfläche: <i>Total detector size</i>	1020 mm ²	Ausgewertete Detektorfläche: <i>Analyzed detector size</i>	240 mm ²
Geschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere): <i>Closed detector (with diffusion barrier)</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Ja / Yes	Offener Detektor (ohne Diffusionsbarriere) : <i>Open detector (without diffusion barrier)</i>	<input type="checkbox"/> Ja / Yes
Messbereich der Radonexposition: <i>Measuring range of the exposure to radon</i>	50 – 10 000 kBq·h·m ⁻³		
Eingangsdatum der Messergebnisse: <i>Date of receipt of results</i>	11.04.2014		
Datum: <i>Date</i>	Fachgebietsleiter SW 1.3: <i>Head of Section SW 1.3</i> Dr. J. Döring	Stellv. Leiter des Radonkalibrierlaboratoriums: <i>Deputy head of the Radon Calibration Service laboratory</i> H. Buchröder	Bearbeiterin: <i>Person in charge</i> E. Foerster

Verfahren der Vergleichsprüfung / Procedure:

Die Vergleichsprüfung wurde im Kalibrierlaboratorium des BfS durchgeführt. Das Laboratorium ist bei der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) unter der Nummer D-K-15063-01-00 für die Kalibrierung von Geräten zur Messung der Aktivitätskonzentration von Radon-222 in Luft und der potenziellen Alphaenergie-Konzentration der kurzlebigen Radon-222-Zerfallsprodukte (PAEC) akkreditiert. Alle für die Vergleichsprüfung relevanten Messungen unterliegen einem akkreditierten Qualitätsmanagementsystem und sind auf die jeweiligen nationalen Normale zurückgeführt.

Es wurden vier Radon-222-Referenzatmosphären in verschiedenen Edelstahlbehältern erzeugt und die Radon-222-Aktivitätskonzentration mit Gebrauchsnormal-Messeinrichtungen ermittelt. Als Gebrauchsnormale wurden Szintillationskammern verwendet, deren Kalibrierung über ein Bezugsnormal auf das nationale Normal zurückgeführt ist.

Die von der Messstelle eingesandten Geräte wurden in 5 Gruppen mit jeweils bis zu 7 Geräten aufgeteilt. Messgeräte mit Elektretdetektoren wurden in 4 Gruppen mit jeweils bis zu 6 Geräten aufgeteilt. Eine Messgerätegruppe wurde zur Bestimmung der Transport- und Lagerungseffekte verwendet (Transitgruppe). Die verbleibenden Gruppen wurden jeweils den verschiedenen Referenzatmosphären ausgesetzt. Nach Abschluss aller Expositionen wurden die Geräte ohne Bekanntgabe der Expositionsdaten zur Auswertung an die Messstelle zurückgesandt.

Die Expositionsdaten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Das Datum gibt den Zeitraum an, in dem die Messgeräte in den Referenzatmosphären exponiert wurden. Der Parameter $C_{Rn,Ref}$ ist der Mittelwert der Radon-222-Aktivitätskonzentration während der Expositionszeit t und $P_{Rn,Ref}$ die Radonexposition, die sich aus dem Produkt aus $C_{Rn,Ref}$ und t ergibt (Angabe in der Tabelle als gerundeter Wert). Die erweiterte relative Messunsicherheit der Radon-222-Aktivitätskonzentration (U) ergibt sich aus der Standardmessunsicherheit multipliziert mit dem Erweiterungsfaktor $k=2$ (95% Vertrauensbereich). Sie wurde gemäß DAkkS-DKD-3 [1] und GUM [2] ermittelt. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphäre sind die Mittelwerte der Temperatur (T), der relativen Luftfeuchtigkeit ($r.H.$) und des Luftdrucks (p) angegeben.

The intercomparison was carried out in the BfS Radon Calibration Service Laboratory. The laboratory is accredited by the German accreditation body Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS, registry no. D-K-15063-01-00) for the calibration of devices measuring the activity concentration of radon-222 in air and the potential alpha energy concentration of the short-lived radon decay products. All relevant measurements concerning the intercomparison are subject to an accredited quality management system.

Radon-222 reference atmospheres were generated in several stainless steel containers. Scintillation cells being traceable to the national standard were used as working standards to monitor the radon-222 activity concentration.

Passive radon monitors submitted by the participant were separated into 5 groups with up to 7 devices each. Monitors with electret detectors were separated into 4 groups with 6 devices each. One of the groups was used as a transit group to determine effects of transport and storage. Each of the remaining groups was exposed in one of the reference atmospheres. The instruments were returned to the laboratory without specification of the exposure data after all exposures were accomplished.

Exposure data are summarised in table 1. The exposure interval is given in the date column. $C_{Rn,Ref}$ is the mean activity concentration of radon-222 during exposure time t , and $P_{Rn,Ref}$ is the exposure to radon as product of $C_{Rn,Ref}$ and t (given in rounded figures in the table).

U is the extended relative uncertainty of the radon-222 activity concentration resulting from the standard uncertainty of measurement multiplied with a coverage factor $k = 2$ (95% confidence interval) in accordance with DAkkS-DKD-3 [1] and GUM [2]. Additionally mean values of temperature (T), relative humidity ($r.H.$) and air pressure (p) of reference atmospheres are given.

Tabelle 1: Expositionsdaten / Table 1: Exposure data

Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Datum von – bis <i>Date from - to</i>	t [h]	$C_{Rn,Ref}$ [Bq·m ⁻³]	Volumen/ <i>Volume</i> *) [m ³]	$P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	U [%]	T [°C]	r.H. [%]	P [hPa]
1	19.03. – 28.03.2014	217,5	949	11	206	12	25	27	1002
2	11.03. – 18.03.2014	169,4	2380	11	403	7			
3	11.03. – 20.03.2014	220,3	6703	0,4	1477	7			
4	13.03. – 25.03.2014	288,2	8483	0,4	2445	7			

*) Volumen des Kalibrierbehälters / *Volume of the calibration container*

Lagerbedingungen der Transitgruppe/ *Storage conditions of the transit group:*

Zu Beginn der Vergleichsprüfungen wurden alle Radonmessgeräte ausgepackt und im messbereiten Zustand in einen Raum mit geringer Radon-222 Aktivitätskonzentration gebracht (Lagerraum). Die Messgeräte der Transitgruppe wurden über den gesamten Zeitraum der Vergleichsprüfung (22 Tage) in diesem Raum gelagert. Alle anderen Geräte wurden vor und nach der Exposition in den Referenzatmosphären ebenfalls im Lagerraum aufbewahrt. Am Ende der Vergleichsprüfungen wurden alle exponierten und Transit-Radonmessgeräte zur gleichen Zeit aus dem Lagerraum entnommen und verpackt. Die Parameter der Atmosphäre im Lagerraum sind in Tabelle 2 dargestellt.

At the beginning of the intercomparison all radon measurement instruments were unpacked, made ready for measurement and brought into a room with low radon-222 activity concentration (storage room). The instruments of the transit group were stored over the entire period of intercomparison (22 days) in this storage room. All other instruments were stored in this room before the beginning and after the end of the exposures in reference atmospheres. At the end of the intercomparison all exposed and transit instruments were removed from the storage room and re-packed at the same time. The parameters of the atmosphere in the storage room are given in table 2.

Tabelle 2: Parameter der Atmosphäre des Lagerraums / Table 2: Parameters of the atmosphere in the storage room

C_{Rn} [Bq·m ⁻³]	$C_{Rn,EG}$ [Bq·m ⁻³]	r.H. [%]	$U_{r.H.}$ [%]	T [°C]	U_T [K]	p [hPa]	U_p [hPa]	$\dot{H}^*(10)$ [nSv·h ⁻¹]	$U_{\dot{H}^*(10)}$ [nSv·h ⁻¹]
2	5	37	8	20	0,6	1011	1	70	10

Der Parameter C_{Rn} ist die mittlere Radon-222-Aktivitätskonzentration, die während der Lagerung der Messgeräte im Lagerraum ermittelt wurde. $C_{Rn,EG}$ ist die Erkennungsgrenze der verwendeten Messeinrichtung. In der Tabelle sind weiterhin die Klimabedingungen während der Lagerzeit angegeben: Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit (r.H.) und erweiterte Messunsicherheit $U_{r.H.}$ (k=2), Mittelwert der Temperatur (T) und erweiterte Messunsicherheit der Temperatur U_T (k=2), Mittelwert des Luftdrucks (p) und erweiterte Messunsicherheit des Luftdrucks U_p (k=2). Der Parameter $\dot{H}^*(10)$ ist die mittlere Umgebungäquivalentdosisleistung mit der erweiterten Messunsicherheit $U_{\dot{H}^*(10)}$ (k=2).

C_{Rn} is the mean radon activity concentration determined during the storage of instruments in the storage room. $C_{Rn,EG}$ is the detection limit of the measuring system used for monitoring. Furthermore, in the table are given the mean value of relative humidity (r.H.), expanded relative measurement uncertainty of relative humidity $U_{r.H.}$ (k=2), mean value of temperature (T), expanded measurement uncertainty of temperature U_T (k=2), mean value of air pressure (p) and expanded measurement uncertainty of air pressure U_p (k=2) during the storage of instruments. The parameter $\dot{H}^(10)$ is the mean ambient dose rate with the expanded measurement uncertainty $U_{\dot{H}^*(10)}$ (k=2).*

Messergebnisse / Measurement results:

Die Messstelle hat die Messwerte der Radon-222-Exposition für jedes Gerät ermittelt und dem BfS mitgeteilt. Diese Messwerte sind in Tabelle 3 entsprechend der Zugehörigkeit zur Expositionsgruppe dargestellt. Für die Expositionsgruppen 1 bis 4 sind die Referenzwerte der Radon-222-Exposition $P_{Rn,Ref}$ angegeben. Jeder Referenzwert ist auf das nationale Normal zurückgeführt und wird als der richtige Wert der Radonexposition betrachtet.

Die Messstelle erhielt keine Information darüber, welche Geräte zu welcher Expositionsgruppe gehören. Nur die Detektor-Nummern der Transitgruppe wurden bekannt gegeben. Die Transitgruppe umfasst die Messgeräte, welche den gleichen Transport- und Lagerungsbedingungen ausgesetzt waren, jedoch nicht in den Referenzatmosphären exponiert wurden. Es lag in der Verantwortung der Messstelle, den Transit-Nulleffekt bei der Auswertung in geeigneter Weise zu berücksichtigen.

The laboratory has determined the measurement values of exposure to radon-222 and reported to the BfS for each single instrument. These measurement values are given in table 3 according to the affiliation of the exposure group. For exposure groups 1 to 4 the reference values of exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ are given. Each reference value is traced back to the national standard and is considered to be the conventional true value used for the exposure group.

The laboratory was not informed, which instruments belong to which exposure group. Only the detector numbers of the instruments of the transit group were announced. The transit group comprises instruments which were transported and stored under the same conditions as all other instruments, but were not exposed in reference atmospheres. It was the responsibility of the laboratory to take account of the transit background.

Datenauswertung/ Analysis of data:

Für die Expositionsgruppen g und die Transitgruppe wurden jeweils Mittelwert und relative Standardabweichung der Messwerte berechnet (siehe Formeln (1) und (2)). Die relative Messabweichung wurde für die Expositionsgruppen 1 bis 4 gemäß Gleichung (3) berechnet.

$$AM = \bar{x}_g = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n x_{g,i} \quad (1)$$

$$RSD_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{g,i} - \bar{x}_g)^2}{n-1}} \times 100 \quad (2)$$

$$RERR_g = \frac{(\bar{x}_g - X_g)}{X_g} \times 100 \quad (3)$$

g Nummer der Expositionsgruppe ($g = 1 \dots 4$, Transitgruppe: $g = 0$)
Number of the exposure group ($g = 1 \dots 4$, transit group: $g = 0$)

$x_{g,i}$ Messwert der Radon-222-Exposition des Gerätes i der Expositionsgruppe g
Measurement value exposure to radon-222 of instrument i in exposure group g

\bar{x}_g Arithmetischer Mittelwert (AM) der Radon-222-Exposition der Expositionsgruppe g
Arithmetic mean value (AM) of the exposure to radon-222 of exposure group g

RSD_g Relative Standardabweichung der Messwerte der Expositionsgruppe g in Prozent
Relative standard deviation of the measurement values of exposure group g in percent

X_g Referenzwert der Radon-222-Exposition $P_{Rn,Ref}$ für die Expositionsgruppe g
Reference value of the exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ for exposure group g

$RERR_g$ Relative Messabweichung der Messwerte der Expositionsgruppe g vom Referenzwert in Prozent
Relative error of the measurement values of exposure group g from the reference value in percent

Mittelwert, Standardabweichung und relative Messabweichung wurden in der durch die Nachkommastellen angezeigten Genauigkeit berechnet und in Tabelle 3 angegeben.

Mean value and relative standard deviation of the determined exposures to radon-222 were calculated for each exposure group and the transit group as well according to equations (1) and (2). The relative error was calculated for exposure groups 1 to 4 according to equation (3). Mean value, standard deviation, and relative error were calculated in the accuracy indicated by decimal places and are given in table 3.

Bewertung / Assessment:

Es liegt in der Verantwortung der teilnehmenden Messstelle, die Resultate entsprechend ihres Qualitätsmanagementsystems zu bewerten. An Hand der Analyse der Daten, die während der bisherigen BfS-Vergleichsprüfungen für passive Radonmessgeräte gesammelt wurden, konnte gezeigt werden, dass die relative Messabweichung der Einzelmesswerte in Abhängigkeit vom Referenzwert bei geeigneter Qualitätssicherung innerhalb eines zulässigen Bereichs liegen können [3].

It is the responsibility of the participating laboratory to judge their outcome according to their quality management system. It has been shown, that, analyzing all data having been gathered from BfS' Intercomparisons of Passive Radon Detectors so far, the relative measurement deviation of a single measurement value can assume values within an accepted range, depending from the reference value, if an appropriate quality management system is operated [3].

Literaturangaben / References:

- [1] DAkkS-DKD-3 "Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen", Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH, -German translation of publication EAL-R2 „Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration“, Braunschweig, 2010
- [2] Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (*Guide to expression of uncertainty in measurement*), International Organization for Standardization, Genf, 1995
- [3] Beck et al., The measurement accuracy of passive radon instruments, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 158, No. 1, pp. 59-67, 2014



BfS Vergleichsprüfung für passive Radonmessgeräte 2014: Ergebnisse /
BfS Intercomparison of Passive Radon Detectors 2014: Results

Tabelle 3: Messergebnisse für Laborcode L, Set Nummer S, Prüfcode D1

Table 3: Measurement results for laboratory code L, set number S, test code D1

Expositionsgruppe g/ Exposure group g	Transitgruppe (0)/ Transit group (0)		1		2		3		4	
Referenzwert der Rn-222-Exposition/ Reference exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]			206		403		1477		2445	
Geräte-Nummer i / Instrument number i	Messgeräte-Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication $x_{g,i}$ [kBq·h / m ³]	Messgeräte-Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication $x_{g,i}$ [kBq·h / m ³]	Messgeräte-Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication $x_{g,i}$ [kBq·h / m ³]	Messgeräte-Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication $x_{g,i}$ [kBq·h / m ³]	Messgeräte-Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication $x_{g,i}$ [kBq·h / m ³]
1	LLS 02	4	LLS 03	211	LLS 20	400	LLS 01	1511	LLS 04	2417
2	LLS 09	0	LLS 14	222	LLS 21	406	LLS 05	1515	LLS 08	2415
3	LLS 10	0	LLS 23	194	LLS 22	394	LLS 06	1499	LLS 15	2485
4	LLS 11	0	LLS 28	204	LLS 25	397	LLS 07	1509	LLS 16	2383
5	LLS 12	9	LLS 30	209	LLS 26	374	LLS 13	1550	LLS 17	2392
6	LLS 27	1	LLS 33	211	LLS 32	404	LLS 24	1478	LLS 18	2407
7	LLS 29	0	LLS 34	229	LLS 35	391	LLS31	1512	LLS 19	2458
Mittelwert / Mean value AM [kBq·h·m ⁻³]	2.0		211.4		395.1		1510.6		2422.4	
Relative Standardabweichung / Relative standard deviation RSD [%]	170.8		5.4		2.7		1.4		1.5	
Relative Messabweichung / Relative error RERR [%]			2.6		-1.9		2.3		-0.9	

Der Expositionswert der Radon-Messgeräte der Transitgruppe wurde bei der Auswertung durch den Teilnehmer berücksichtigt. /

Ja / Yes

The exposure value of the radon measurement devices of the transit group has been taken into account by the participant.

Nein / No

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-IAR-1/90

Zähringer, M.; Bieringer, P.; Kromer, B.; Sartorius, H.; Weiss, W.

Entwicklung, Erprobung und Einsatz von Schnellmeßmethoden zur nuklidspezifischen Bestimmung atmosphärischer Kontaminationen.

Freiburg, August 1990

BfS-IAR-2/97

Zähringer, M.; Sempau, J.

Calibration Factors for Dose Rate Probes in Environmental Monitoring Networks Obtained from Monte-Carlo-Simulations

Freiburg, Februar 1997

BfS-IAR-3/98

Weiss, W.; Kelly, G.N.; French, S.

Decision Support for Emergency Response - How Best Can it be Improved?

Proceedings of a BfS/EC Workshop Freiburg, Germany, December 8-10, 1997.

Freiburg, September 1998

BfS-AR-1/01

Bieringer, J. u. P.

Abschlussbericht. In-situ Übung 2000. 16. und 17. Mai 2000.

Länder / BfS in Augsburg und die DWD-Stationen.

Freiburg, März 2001

BfS-ST-1/92

Die Auswirkungen des Unfalls im sowjetischen Kernkraftwerk Tschernobyl auf das Territorium der ehemaligen DDR im Jahre 1989.

Berlin, August 1992

BfS-ST-2/92

Umweltradioaktivität in den ostdeutschen Ländern.

Jahresbericht 1990.

Berlin, September 1992

BfS-ST-3/92

2. Biophysikalische Arbeitstagung. Schlema, 11. bis 13. September 1991.

Berlin, November 1992

BfS-ST-4/93

Teil 1: M. Beyermann, B. Höfs, Teil 2: I. Gans, M. Beyermann, M. Lönnig

Teil 1: Radonmessungen in Gebäuden mit Aktivkohledetektoren und Flüssigszintillations-

Spektrometrie Teil 2: Verfahren zur Schnellbestimmung der Aktivitätskonzentration von Radon-222 in der Luft von Gebäuden - Screeningmessung 1993

Berlin, Juli 1993

BfS-ST-5/93

Sarenio, O.; Will, W.

Qualitätssicherung der Dosisleistungsmessungen im Grundpegelbereich.

Berlin, September 1993

BfS-ST-6/95

Schmidt, V.; Feddersen, Ch.; Ullmann, W.

Untersuchungen zur Aussagefähigkeit von passiven Meßsystemen zur Bestimmung der Strahlenexposition durch Radon und kurzlebige Radonfolgeprodukte.

Berlin, Juni 1995

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-ST-7/95

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1993 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1993 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung."

Berlin, August 1995

BfS-ST-8/96

Kraus, W.

Strahlenexposition und Strahlenschutzdosimetrie

Berlin, April 1996

BfS-ST-9/96

Umweltradioaktivität im Ostthüringer Bergbaugesamt.

Berlin, Juli 1996

BfS-ST-10/96

Hamel, P.; Lehmann, R.; Kube, G.; Couball, B.; Leißring, B.

Modellhafte Sanierung radonbelasteter Wohnungen in Schneeberg.

Berlin, Oktober 1996

BfS-ST-11/97

Beyermann, M.; Naumann, M.; Sarenio, O.; Schkade U.-K.; Will, W.

Erfahrungen zur Qualitätsüberwachung bei der Ermittlung der Umweltradioaktivität im Rahmen der Meßprogramme zum Projekt "Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkaster)".

Berlin, Februar 1997

BfS-ST-12/97

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1994 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen. Ergänzung zum Jahresbericht 1994 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, Februar 1997

BfS-ST-13/97

Will, W.; Borsdorf, K.-H.; Mielcarek, J.; Malinowski, D.; Sarenio, O.

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in den östlichen Bundesländern

Deutschlands. Berlin, August 1997

BfS-ST-14/97

Will, W.; Borsdorf, K.-H.

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in Deutschland.

Lehmann, R.; Kemski, J.; Siehl, A.

Radonkonzentration in Wohngebäuden der Bundesrepublik Deutschland.

Berlin, November 1997

BfS-ST-15/98

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1995 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1995 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, März 1998

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-ST-16/99

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1996 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1996 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, März 1999

BfS-AS-1/00

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1997 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1997 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, Februar 2000

BfS-AS-2/00

Jun, J.-S.¹⁾; Guggenberger, R.; Dalheimer, A.

¹⁾ *Department of Physics, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea*

A Comparative Study on the CL Dosimetric Characteristics of German and Korean Sugar and Sorbite.

Berlin, Oktober 2000

Ab 1. Februar 2003 SW

BfS-SW-01/03

Will, W.; Mielcarek, J.; Schkade, U.-K.

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in ausgewählten Regionen Deutschlands.

Salzgitter, Juni 2003

BfS-SW-02/03

Bittner, S.; Braun, H.; H.-W. Dusemund, H.-W.;

Gregor, J.; Raguse, R.; Voß, W.

Einsatz des Entscheidungshilfesystems RODOS in Deutschland

Salzgitter, Juli 2003

BfS-SW-03/06

Beck, Thomas; Ettenhuber, E.

Überwachung von Strahlenexpositionen bei Arbeiten

Leitfaden für die Umsetzung der Regelung nach Teil 3 Kapitel 1 und 2 StrlSchV

Salzgitter, März 2006

BfS-SW-04/09

urn:nbn:de:0221-2009042344

Beck, Thomas

Spezielle Anforderungen an Geräte zur Bestimmung der Strahlenexposition durch Radon- und

Radonzerfallsprodukte

Salzgitter, April 2009

BfS-SW-05/09

urn:nbn:de:0221-2009120417

Dushe, C.; Gehrcke, K.; Kümmel, M.; Müller, S.

Ergebnisse der Radonmessungen in der bodennahen Luft der Bergbauggebiete

Salzgitter, Dezember 2009

BfS-SW-06/09

urn:nbn:de:0221-20100319945

Beyermann, M.; Bünger, T.; Gehrcke, K.; Obrikat, D.

Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland

Salzgitter, Dezember 2009

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-SW-07/10

urn:nbn:de:0221-20100329966

Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen - Bergbau)
Salzgitter, März 2010

BfS-SW-08/10

urn:nbn:de:0221-201008113016

Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Foerster, E.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2010
Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2010
Salzgitter, November 2010

BfS-SW-09/11

urn:nbn:de:0221-201109056212

Calculation Guide Mining

Calculation Guide for the Determination of Radiation Exposure due to Environmental Radioactivity Resulting from Mining
Department Radiation Protection and Environment
Salzgitter, September 2011

BfS-SW-10/11

urn:nbn:de:0221-201109216413

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2011
Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2011
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, Oktober 2011

BfS-SW-11/12

urn:nbn:de:0221-201204128010

Gering, F.; Gerich, B.; Wirth, E.; Kirchner, G.

Analyse der Vorkehrungen für den anlagenexternen Notfallschutz für deutsche Kernkraftwerke basierend auf den Erfahrungen aus dem Unfall in Fukushima
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, April 2012

BfS-SW-12/12

urn:nbn:de:0221-201204168021

Kümmel, M.

Erläuterungen zur Berechnung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität mit den Berechnungsgrundlagen-Bergbau
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, April 2012

BfS-SW-13/12

urn:nbn:de:0221-201209149412

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2012
Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2012
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, September 2012

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-SW-14/12

urn:nbn:de:0221-201210099810

Gehrcke, K.; Hoffmann, B.; Schkade, U.; Schmidt, V.; Wichterey, K.

Natürliche Radioaktivität in Baumaterialien und die daraus resultierende
Strahlenexposition

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2012

BfS-SW-15/13

urn:nbn:de:0221-2013111411138

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222-Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition
Vergleichsprüfung 2013

Instruments to Measure Radon-222 Activity Concentration or Exposure to Radon-222

Intercomparison 2013

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2013

BfS-SW-16/14

urn:nbn:de:0221-2014101611834

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222- Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition
Vergleichsprüfung 2014

Instruments to Measure Radon-222 Activity Concentration or Exposure to Radon-222

Intercomparison 2014

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, Oktober 2014

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 (0)3018 333-0

Telefax: + 49 (0)3018 333-1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz