

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222-Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition Vergleichsprüfung 2018

Instruments to Measure Radon-222 Activity Concentration or Exposure to Radon-222 - Interlaboratory comparison 2018

Fachbereich
Strahlenschutz und Umwelt

Elisabeth Foerster

Felice Friedrich

Martin Dubslaff

Felix Schneider

Joachim Döring



Bundesamt für Strahlenschutz

BfS-SW-28/19

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

urn:nbn:de:0221-2019011117218

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, Januar 2019

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222-Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition Vergleichsprüfung 2018

**Instruments to Measure Radon-222 Activity Concentration or
Exposure to Radon-222 - Interlaboratory comparison 2018**

**Fachbereich
Strahlenschutz und Umwelt**

Elisabeth Foerster

Felice Friedrich

Martin Dubsloff

Felix Schneider

Joachim Döring

INHALTSVERZEICHNIS / CONTENT

1	EINLEITUNG / <i>INTRODUCTION</i>	6
1.1	RECHTLICHE GRUNDLAGEN UND FESTLEGUNGEN / <i>LEGAL PRINCIPLES AND PROVISIONS</i>	6
1.2	ZWECK DER VERGLEICHSPRÜFUNGEN / <i>PURPOSE OF THE INTERLABORATORY COMPARISONS</i>	7
2	ORGANISATION / <i>ORGANISATION</i>	7
2.1	QUALITÄTSSICHERUNG / <i>QUALITY ASSURANCE</i>	7
2.2	ANZAHL DER ZU PRÜFENDEN MESSGERÄTE PRO GERÄTETYP / <i>NUMBER OF MEASUREMENT INSTRUMENTS TO BE TESTED PER INSTRUMENT TYPE</i>	8
2.3	ABLAUF DER VERGLEICHSPRÜFUNGEN / <i>PROCESS OF THE INTERLABORATORY COMPARISONS</i>	8
3	EXPOSITIONEN / <i>EXPOSURES</i>	10
3.1	HERSTELLUNG VON RADON-REFERENZATMOSPHÄREN / <i>CREATION OF REFERENCE ATMOSPHERES</i>	10
3.2	RAUM ZUR LAGERUNG DER MESSGERÄTE / <i>ROOM FOR STORING THE MEASUREMENT INSTRUMENTS</i>	11
3.3	EXPOSITION VON MESSGERÄTEN IN RADON-222-REFERENZATMOSPHÄREN / <i>EXPOSURE OF MEASUREMENT INSTRUMENTS TO RADON-222 REFERENCE ATMOSPHERES</i>	12
4	ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNG / <i>RESULTS OF THE INTERLABORATORY COMPARISON</i>	12
5	LITERATURVERZEICHNIS / <i>REFERENCES</i>	18
A.	ANHANG / <i>APPENDIX</i>	19
A-1.	TEILNEHMER / <i>PARTICIPANTS</i>	20
A-2.	MESSGERÄTETYPEN / <i>TYPES OF MEASUREMENT INSTRUMENTS</i>	22
A-3.	ABLAUFSHEMA / <i>TIME COURSE</i>	25
A-4.	ATMOSPHÄRE IM LAGERRAUM / <i>ATMOSPHERE IN THE STORAGE ROOM</i>	25
A-5.	REFERENZATMOSPHÄREN / <i>REFERENCE ATMOSPHERES</i>	26
A-6.	DATENAUSWERTUNG / <i>ANALYSIS OF DATA</i>	28
A-7.	MESSWERTE / <i>MEASUREMENT VALUES</i>	29
A-8.	ERGEBNISBERICHT (MUSTER) / <i>REPORT ON MEASUREMENT RESULTS (TEMPLATE)</i>	36

ABBILDUNGSVERZEICHNIS / LIST OF FIGURES

Abbildung 3-1: Kalibrierlaboratorium für Radonmessgeräte des Bundesamtes für Strahlenschutz mit Kalibrierbehältern (Volumen: 0,4 m ³) / <i>Figure 3-1: Radon Calibration Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection with calibration containers (volume: 0.4 m³)</i>	11
Abbildung 4-1: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 1 / <i>Figure 4-1: Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 1</i>	14
Abbildung 4-2: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 2 / <i>Figure 4-2: Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 2</i>	14
Abbildung 4-3: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 3 / <i>Figure 4-3: Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 3</i>	15
Abbildung 4-4: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 4 / <i>Figure 4-4: Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 4</i>	15
Abbildung 4-5: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Elektret der Expositionsgruppen 1 bis 4 / <i>Figure 4-5: Relative error of the instruments using electrets of the exposure groups 1 to 4</i>	16
Abbildung A-1: Ablaufschema / <i>Figure A-1: Time course</i>	25
Abbildung A-2: Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen der Referenzatmosphären/ <i>Figure A-2: Radon activity concentrations of the reference atmospheres versus time of exposure</i>	26
Abbildung A-3: Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftdruck während der Exposition Nr. 3 / <i>Figure A-3: Temperature, relative humidity and air pressure during the exposure no. 3</i>	26

TABELLENVERZEICHNIS / LIST OF TABLES

Tabelle 2-1: Anzahl der durch eine Messstelle einzureichenden Messgeräte und der Expositionsgruppen / <i>Table 2-1: Number of measurement instruments to be submitted by a measuring institution and number of exposure groups</i>	8
Tabelle A-1: Messstellen, die an der Vergleichsprüfung 2018 teilgenommen haben / <i>Table A-1: Measuring institutions, which have participated in the interlaboratory comparison 2018</i>	20
Tabelle A-2: Messgeräte mit Kernspurdetektoren oder Elektretdetektoren / <i>Table A-2: Measuring instruments using nuclear track detectors or electrets</i>	22
Tabelle A-3: Parameter der Atmosphäre im Lagerraum / <i>Table A-3: Parameters of the atmosphere in the storage room</i>	25
Tabelle A-4: Werte der Radon-Referenzatmosphären / <i>Table A-4: Parameters of the radon reference atmospheres</i>	27
Tabelle A-5: Messwerte der nichtexponierten Messgeräte (Transport- und Lagerungseffekte) / <i>Table A-5: Measurement values of non-exposed instruments (influences of transit and storage)</i>	29
Tabelle A-6: Ergebnisse der Expositionsgruppe 1 / <i>Table A-6: Results of exposure group 1</i>	31
Tabelle A-7: Ergebnisse der Expositionsgruppe 2 / <i>Table A-7: Results of exposure group 2</i>	32
Tabelle A-8: Ergebnisse der Expositionsgruppe 3 / <i>Table A-8: Results of exposure group 3</i>	33
Tabelle A-9: Ergebnisse der Expositionsgruppe 4 / <i>Table A-9: Results of exposure group 4</i>	34

1 EINLEITUNG / INTRODUCTION

1.1 Rechtliche Grundlagen und Festlegungen / *Legal principles and provisions*

Die Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates der Europäischen Union vom 5. Dezember 2013 [1] legt die grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung fest. Das neue deutsche Strahlenschutzgesetz [2] tritt schrittweise bis Ende 2018 in Kraft und wird die EU-Richtlinie in nationales Recht umsetzen¹. Wie in den bisherigen Regelungen sollen beruflich strahlenexponierte Personen anhand individueller Messungen radiologisch überwacht werden.

Die bisher gültige Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 [3] wurde u.a. in der Richtlinie „Arbeiten“ [4] konkretisiert. Darin wurden Festlegungen für die Bestimmung von Messstellen und für die Verwendung von Messgeräten zur Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen getroffen, die während der Ausübung ihres Berufes Strahlenexpositionen infolge der Inhalation von Radon und Radonzerfallsprodukten ausgesetzt sind. Für die Überwachung dieser Personen werden in der Regel passive Messgeräte mit Kernspurdetektoren oder Elektretdetektoren eingesetzt.²

Messstellen, die in der Bundesrepublik Deutschland Messgeräte zur Überwachung beruflicher Strahlenexpositionen durch Radon und Radonzerfallsprodukte ausgeben, sind gemäß der Richtlinie „Arbeiten“ verpflichtet, an den Vergleichsprüfungen regelmäßig teilzunehmen.

„Passive Messgeräte sind für den Messzweck geeignet, wenn

- sie von Messstellen ausgegeben werden, die die Anforderungen nach Kapitel 5 erfüllen und
- die Messstelle mit den von ihr ausgegebenen Messgerätetypen an den regelmäßig stattfindenden Vergleichsprüfungen des Bundesamtes für Strahlenschutz teilnimmt...“ ([4], Kapitel 4.2).

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 Vergleichsprüfungen teilzunehmen.

European Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 [1] lays down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. The new German radiation protection law [2] will come into force on a step-by-step basis by the end of 2018 and will implement the EU directive in national law³. As in the current regulations, persons exposed occupationally to radiation are to be monitored radiologically by means of individual measurements.

The previously valid Radiation Protection Ordinance of 20 July 2001 [3] has been substantiated, for example in the “Working” directive [4]. Provisions were made here for the establishment of measuring institutions and for the use of measurement instruments in the monitoring of persons exposed occupationally to radiation, who when carrying out their work are subjected to radiation exposure as a consequence of the inhalation of radon and radon decay products. Passive measurement instruments with nuclear track detectors or electret detectors are usually used for the monitoring of these persons⁴.

Measuring institutions in the Federal Republic of Germany that issue measurement instruments for the monitoring of persons exposed occupationally to radiation from radon and radon decay products are obliged by the “Working” directive to participate regularly in intercomparison exercises.

“Passive measurement instruments are suitable for the measurement purpose if

- they are issued by measuring institutions that fulfil the requirements set out in Chapter 5 and*
- the measuring institutions and the measurement instrument types that they issue take part in the regular intercomparison exercises organized by the Federal Office for Radiation Protection...” ([4], Chapter 4.2).*

It is recommended that measuring institutions that carry out measurements of radon activity concentrations in houses, in the open air or for other purposes not connected to the monitoring of persons exposed occupationally to radiation, also participate in the intercomparison exercises.

¹ Die Umsetzung des Strahlenschutzgesetzes wird mit weiteren Verordnungen geregelt werden.

² Bei passiven Messgeräten oder Messgerätesystemen 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.

³ *The implementation of the radiation protection law will be regulated by further ordinances.*

⁴ *In passive measurement instruments or measurement instrument systems, the measuring probe is not connected to the display unit. So the measurement result can be ascertained only after the measurement process by a separate analysis of the measuring probe.*

1.2 Zweck der Vergleichsprüfungen / Purpose of the interlaboratory comparisons

Die Vergleichsprüfungen 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 [5].

Die Vergleichsprüfungen werden in der Regel jährlich von der Leitstelle für Fragen der Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität (ENORM) des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) für die Messgröße Radonexposition⁵ organisiert. Die Messstellen senden ihre passiven Radonmessgeräte ein, die dann unter festgelegten Referenzbedingungen exponiert werden. 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 [6] anerkannt werden.

The interlaboratory comparisons are a component part of the measures for quality assurance in measurements of radiation exposure from radon and radon decay products and should ensure a consistent quality standard. The type and scope of the intercomparison laboratory are oriented towards procedures that are carried out in other areas of physical radiation protection monitoring, in particular in the personal dosimetry of external radiation [5].

The interlaboratory comparisons for the measurand radon exposure⁶ are usually organised annually by the Coordinating Office for issues relating to the monitoring of environmental radioactivity in case of enhanced natural radioactivity (ENORM) at the Federal Office for Radiation Protection (BfS). The measuring institutions send in their passive radon measurement instruments and these are then exposed under specified reference conditions. Participation aims to increase the trust of the customer in the measurements carried out and also into the acceptance of the established results.

For measuring institutions that have or are aiming to obtain accreditation in the field of determining the radon exposure or radon activity concentrations in the air using passive measurement instruments, participation in the interlaboratory comparisons can be recognised as a component part of the validation of the measurement process to DIN EN ISO/IE 17025 [6].

2 ORGANISATION / ORGANISATION

2.1 Qualitätssicherung / Quality assurance

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 [7] sowie an Veröffentlichungen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) auf diesem Gebiet.

Die zu prüfenden Messgeräte werden im Radon-Kalibrierlaboratorium exponiert. Das Laboratorium unterhält ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO/IEC 17025 [6] 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.

All works carried out are subject to the quality management system of the Federal Office for Radiation Protection. The measures to assure quality in the organisation, implementation and assessment of the interlaboratory comparison are further oriented towards the requirements of DIN EN ISO/IEC 17043 [7] and the publications of the Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) [National Accreditation Body] in this field.

The measurement instruments to be tested are exposed in the radon calibration laboratory. The laboratory maintains a quality management system to DIN EN ISO/IEC 17025 [6] and is accredited by the DAkkS under number D-K-15063-01-00 for the calibration of instruments for the measurands activity concentrations of radon-222 and the potential alpha energy concentration of short-lived radon-222 decay products.

⁵ Diese Messgröße betrifft ausschließlich das natürlich vorkommende Isotop Radon-222. Das ebenfalls in der Natur vorkommende Isotop Radon-220 (Thoron) ist nicht Gegenstand dieser Vergleichsprüfungen.

⁶ This measurand relates exclusively to the naturally occurring isotope radon-222. The also occurring naturally isotope radon-220 (thoron) is not an object for this interlaboratory comparison.

2.2 Anzahl der zu prüfenden Messgeräte pro Gerätetyp / Number of measurement instruments to be tested per instrument type

Durch jede teilnehmende Messstelle ist eine definierte Anzahl passiver Messgeräte eines Typs⁷ einzureichen (siehe Tabelle 2-1, Spalte 2). 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 dritten Spalte angegebene Messgerätezahl einzureichen⁸. In begründeten Fällen kann das Bundesamt für Strahlenschutz in Absprache mit der Messstelle eine davon abweichende Anzahl der einzusendenden Messgeräte festlegen.

A defined number of passive measurement instruments of a type⁹ is to be submitted by each participating measuring institution (see table 2-1, Column 2). If the measurement instruments do not have equipment that prevents any influence of exposure on the display value during storage and transport, or the participating measuring institution wishes for other reasons to record this exposure, an additional number of measurement instruments according to column three is to be submitted¹⁰. In justified cases and in consultation with the measuring institution, the Federal Office for Radiation Protection can determine other numbers of measurement instruments to be sent.

Tabelle 2-1: Anzahl der durch eine Messstelle einzureichenden Messgeräte und der Expositionsgruppen / Table 2-1: Number of measurement instruments to be submitted by a measuring institution and number of exposure groups

Messgerätetyp bzw. Detektortyp <i>Measurement instrument type and/or detector type</i>	Anzahl der Messgeräte zur Exposition unter Referenzbedingungen <i>Number of measurement instruments to be exposed</i>	Anzahl der nicht exponierten Messgeräte zur Ermittlung von Expositionen durch Lagerung und Transport <i>Number of non-exposed measurement instruments for determination of transit and storage effects</i>	Anzahl der Expositionsgruppen <i>Number of exposure groups</i>
Festkörperspurdetektoren <i>Nuclear track detectors</i>	28	7	4
Elektretdetektoren <i>Electrets</i>	18	6	3

2.3 Ablauf der Vergleichsprüfungen / Process of the interlaboratory comparisons

Die Vergleichsprüfungen für passive Radonmessgeräte werden circa zwei bis drei Monate vor deren Beginn bekannt gegeben. Allgemeine Informationen werden im Europäischen Informationssystem über Eignungsprüfungen EPTIS bereitgestellt, das als Internetdatenbank verfügbar ist [8].

⁷ Messgeräte eines Typs sind durch identisches Design und die Anwendung gleicher physikalischer oder physikalisch-chemischer Prozesse zur Ermittlung der Messgröße gekennzeichnet.

⁸ In der Regel ist ein Set mit insgesamt 35 Messgeräten mit Festkörperspurdetektoren bzw. ein Set mit insgesamt 24 Messgeräten mit Elektretdetektoren einzureichen.

⁹ *Measurement instruments of a type are characterised by identical designs and the application of the same physical-chemical processes for ascertainment of the measurement value.*

¹⁰ *Usually, a set of 35 measurement instruments with solid state track etch detectors or a set with a total of 24 measurement instruments consisting of electret detectors is to be submitted.*

Interessierte Messstellen melden sich bis zu dem in der Ankündigung genannten Termin unter Angabe des Messgerätetyps beim Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Radonmetrologie (UR 1), an. Für jeden Messgerätetyp muss eine entsprechend Tabelle 2-1 bestimmte Anzahl Messgeräte eingesendet 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 Messgeräteelieferung unvollständig ist. Bei unvollständiger oder nicht eindeutiger Kennzeichnung der Messgeräte wird eine neue Kennzeichnung vergeben.

In Abhängigkeit vom Messgerätetyp werden die Geräte 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 den Messvergleich werden die Messgeräte der Expositionsgruppen aus dem Lagerraum entnommen und verschiedenen Radon-222-Referenzatmosphären während einer festgelegten Zeitdauer ausgesetzt. Nach den Expositionen erfolgt die Aufbewahrung der Messgeräte für circa eine Stunde in Frischluft mit geringer Radon-Aktivitätskonzentration, damit das innerhalb der Diffusionskammer der Geräte befindliche Radon-222 herausdiffundieren 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.

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 Radonexposition fest. Diese Werte werden zur Endauswertung an das Bundesamt für Strahlenschutz übermittelt.

The interlaboratory comparisons for passive radon measurement instruments are announced around two to three months in advance. General information is provided in the European Information System for proficiency tests EPTIS, which is available as an internet database [8].

Interested measuring institutions can register as participants of the interlaboratory comparison until the deadline stated in the notification expired, by giving details of the measurement instrument type to the Federal Office for Radiation Protection, section Radon Metrology (UR 1). For each measurement instrument type, a certain number of measurement instruments corresponding to table 2-1 must be sent, which are clearly labelled as instructed by the BfS.

The measurement instruments submitted by the participating measuring institutions initially remain in the original packaging and are stored in a workroom with a low radon concentration. To check the storage conditions, recordings are made of the radon-222 activity concentrations, the ambient equivalent dose rate, the temperature and the relative humidity in the storage room. Before the start of the tests, an entry check is carried out, where the completeness, integrity and clear labelling of the measurement instruments are checked. Information is then sent to the measuring institutions if defective measurement instruments are ascertained or measurement instrument delivery is incomplete. If labelling of the measurement instruments is incomplete or ambiguous, new labelling is issued.

Depending on the measurement instrument type, the devices from each measuring institution are distributed randomly into up to four groups (exposure groups), where each group consists of an equal number of devices. For measurement instruments where effects are to be determined during storage and transport, an additional group is formed with the same number of measurement instruments (transit group). If written instructions on the handling of measurement instruments are given by the measuring institution, these are taken into consideration. Following the preparation of the measurement instruments (removal from the original packaging, setting measurement readiness), controlled storage of the devices follows in a temperature-controlled storage room with a low radon-

222 activity concentration. The measurement instruments in the transit group remain in this storage room until they are returned to the measuring institution.

The measurement instruments from the exposure groups are removed from the storage room and are subjected to different radon-222 reference atmospheres for an established period of time. After exposure, the measurement instruments are kept for around one hour in fresh air with a low radon activity concentration so that the radon-222 may diffuse out of the diffusion chambers of the devices. These devices are then stored in the storage room in a controlled manner. Following the conclusion of all exposure, the measurement instruments are allocated to the participating measuring institutions, packaged radon-proof and sent back to the participants. The instruments are packaged in the original packaging materials received from the participant or in aluminium-polyethylene composite film bags, which are provided by the Federal Office for Radiation Protection.

Before analysis of the detectors by the measuring institutions, the participants receive neither information about the reference values of the radon-222 activity concentration or exposure, nor about the affiliation of individual devices to the exposure groups. Only the identification numbers of the devices in the transit group are given.

The measuring institutions assess the measurement instruments and establish for each measurement instrument the measurement value for radon exposure. These values are transferred for final analysis to the Federal Office for Radiation Protection.

3 EXPOSITIONEN / EXPOSURES

3.1 Herstellung von Radon-Referenzatmosphären / Creation of reference atmospheres

Für die Herstellung von Radon-222-Referenzatmosphären stehen im Radon-Kalibrierlaboratorium 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, Luftdruck und relative Luftfeuchte gekennzeichnet. In den 11 m³- und 30 m³-Behältern können die Klimaparameter eingestellt und geregelt werden. Vor Beginn der Expositionen wird die Radon-Aktivitätskonzentration für jeden verwendeten Behälter auf einen zuvor festgelegten Wert eingestellt. Durch automatische Nachdosierung von Radon-222 mit Kolbendosierpumpen oder durch Volumenstromteilung wird der durch den radioaktiven Zerfall bedingte Verlust kompensiert, so dass die Radon-Aktivitätskonzentrationen innerhalb der Behälter während der Exposition zeitlich ausreichend konstant bleiben. Die Atmosphäre wird innerhalb der Behälter durch innen angebrachte Ventilatoren homogenisiert.

Die Radon-222-Aktivitätskonzentration wird mittels Durchflussszintillationskammern 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 auf der Webseite des Bundesamts für Strahlenschutz dargestellt [9]. Die Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration sowie der relevanten Umgebungsparameter sind auf nationale Normale zurückgeführt. Alle während der Expositionen aufgenommenen Messdaten werden aufgezeichnet und sämtliche Messbedingungen dokumentiert, so dass die Wiederholbarkeit und die Rückverfolgbarkeit der Messungen sichergestellt sind.

The radon calibration laboratory at the Federal Office for Radiation Protection has containers made of stainless steel with volumes of 0.4 m³, 11 m³ and 30 m³ available. The reference atmospheres that can be created within these containers are characterised by their radon-222 activity concentrations, as well as by the climatic parameters of temperature, air pressure and relative humidity. In the 11 m³ and 30 m³ containers, the climatic parameters can be set and regulated.

Before the beginning of exposure, the radon activity concentration for each container is set to a predefined value. Through automatic additional dosing of radon-222 with piston dosing pumps or using volume flow distribution, the losses from radioactive decay are compensated so that the radon activity concentrations within the container remain sufficiently constant for the duration of the exposure. The atmosphere within the container is homogenised by internally installed fans.

The radon-222 activity concentration is continually monitored by means of flow-through scintillation chambers. On working days, samples are also taken manually from every reference atmosphere using scintillation chambers. These are measured so as to test the measurement results and to ensure their redundancy.

The procedures for the creation and maintenance of radon reference atmospheres are presented on the website of the Federal Office for Radiation Protection [9]. The measurements of the radon activity concentration and the relevant environmental parameters are traced back to national standards. All measurement data captured during exposure are recorded and measurement conditions are documented so that the repeatability and reproducibility of the measurements are ensured.



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

3.2 Raum zur Lagerung der Messgeräte / Room for storing the measurement instruments

Für die Lagerung der zu prüfenden Messgeräte vor und nach der Exposition wird ein Lagerraum genutzt, dessen Raumluft im 24-Stunden-Betrieb ständig durch Außenluft ersetzt wird. Die Überwachung der Radon-222-Aktivitätskonzentration sowie der klimatischen Parameter erfolgt mittels eines Gebrauchsnormals vom Typ Alphaguard®. Zusätzlich wird ein Messgerät zur Messung der Umgebungsäquivalentdosisleistung vom Typ FHG-40G 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 nachträglich zu korrigieren.

The measurement instruments to be exposed in the interlaboratory comparison are stored both before and after exposure in a storage room, the air of which is replaced continually by fresh air in 24 hour operation. The monitoring of the radon-222 activity concentration and of the climatic parameters is carried out by using a working standard of type Alphaguard®. In addition, a measurement instrument of type FHG-40G is used to measure the ambient equivalent dose rate so as to record the radiation exposure through external gamma radiation during storage within the storage room. The mean ambient equivalent dose rate can be used by measurement sites, for example that have submitted measurement instruments with electret detectors, so as to correct in retrospect a measurement effect caused by external gamma radiation.

3.3 Exposition von Messgeräten in Radon-222-Referenzatmosphären / *Exposure of measurement instruments to radon-222 reference atmospheres*

Die Expositionsdaten für die einzelnen Expositionsgruppen sind im Anhang angegeben. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphären sind die Mittelwerte der Radon-222-Aktivitätskonzentrationen während der Expositionszeiten und die Radon-222-Expositionen 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 über die Expositionszeit integrierende Messgeräte, deren Anzeigewert direkt proportional zur Radon-222-Exposition ist¹¹. In dieser Vergleichsprüfung wird deshalb die Messgröße Radon-222-Exposition als Vergleichsgröße festgelegt.

Für die Expositionen werden Referenzatmosphären mit unterschiedlichen Niveaus der Radon-222-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 Radon-222-Expositionen liegen in einem für die Praxis relevanten Bereich zwischen 100 kBq·h·m⁻³ und 3500 kBq·h·m⁻³.

Die Messunsicherheit des Referenzwertes wird gemäß Qualitätsmanagementsystem [10] auf Basis des Dokuments DAkKS-DKD-3 [11] berechnet. Die passiven Messgeräte werden in der Regel bei Radon-222-Aktivitätskonzentrationen oberhalb von 1000 Bq·m⁻³ exponiert. Die erweiterte relative Messunsicherheit beträgt in diesem Messbereich minimal 5 Prozent (Erweiterungsfaktor $k = 2$). Die Messunsicherheit der Expositionszeit ist vernachlässigbar.

The exposure data for the individual exposure groups are given in the appendix. To characterise the reference atmospheres, the average values of radon-222 activity concentrations during the exposure times and the radon-222 exposures and their measurement uncertainties are given. Furthermore, the average relative humidity, the air temperature and the air pressure are listed.

Passive measurement instruments with solid state track detectors or with electret detectors are measurement instruments, which integrate over time. Their indication value is directly proportional to the radon-222 exposure¹². Therefore, the radon-222 exposure is established as comparable measurand in this interlaboratory comparison.

For the exposures, reference atmospheres with differing levels of radon-222 activity concentrations were created. The exposure times comprised of at least five days, which is sufficiently long to neglect short-term disturbances in the atmospheres and to minimise the errors in determining the exposure times. The radon-222 exposures lay between 100 kBq·h·m⁻³ and 3500 kBq·h·m⁻³ and, thus, in a range relevant for practical applications of such detectors.

The measurement uncertainty was determined in accordance with quality management system [10] and DAkKS-DKD-3 [11]. The passive measurement instruments are usually exposed to radon-222 activity concentrations above 1000 Bq·m⁻³. The expanded relative measurement uncertainty amounts to a minimum of 5 per cent (coverage factor $k = 2$). The measurement uncertainty for the exposure time is negligible.

4 ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNG / RESULTS OF THE INTERLABORATORY COMPARISON

An der Vergleichsprüfung 2018 nahmen 26 Messstellen mit insgesamt 27 Messgerätesets teil. Zur Anonymisierung der Daten erhielten alle Messgerätesets vom BfS Prüfcodes, die eine Zuordnung zum jeweiligen Messgerätetyp aber nicht zum jeweiligen Teilnehmer zulassen. Die Teilnehmer, die Spezifikationen der Messgerätesets inklusive der Messgerätetypen und die zugehörigen Prüfcodes sind in den Anhängen A-1 und A-2 aufgelistet.

Für jedes Messgeräteset und jede der vier Expositionsgruppen wurden jeweils der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung und die relative Messabweichung vom Referenzwert berechnet¹³. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in den Tabelle A-6 bis Tabelle A-8 für jedes Messgeräteset dargestellt. Für die Messgeräte der Transitgruppe sind der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung der Messwerte in Tabelle A-5

¹¹ Die mittlere Radon-222-Aktivitätskonzentration kann durch Division des Expositionswertes mit der Expositionszeit ermittelt werden.

¹² *The average radon-222 activity concentration can be determined dividing the exposure value by the exposure time.*

¹³ Die Formeln zur Berechnung sind in Kapitel A-6 angegeben.

angegeben¹⁴. Jede teilnehmende Messstelle erhielt einen individuellen Bericht über die Ergebnisse ihres jeweiligen Messgerätesets (Muster-Bericht siehe Kapitel A-1). Die Messabweichungen der einzelnen Messgeräte sind in den folgenden Diagrammen (Abbildung 4-1 bis Abbildung 4-5) vergleichend als Boxplot [12] dargestellt. Die Prüfcodes der Messgerätesets sind auf der Abszisse angegeben.

Seitens des Veranstalters der Vergleichsprüfung wird keine Bewertung der Ergebnisse vorgenommen. Es liegt in der Verantwortung der teilnehmenden Messstelle, die Resultate entsprechend ihres Qualitätsmanagementsystems zu bewerten und zu entscheiden, ob die bezüglich des Referenzwertes relative Messabweichung der Einzelmesswerte innerhalb eines zulässigen Bereichs liegt. Anhand der Analyse der Daten, die während der bisherigen BfS-Vergleichsprüfungen für passive Radonmessgeräte gesammelt wurden, konnte gezeigt werden, dass 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 [13]. Bei einzelnen Messgerätesystemen, die an der Vergleichsprüfung 2018 teilgenommen haben, kann die mittlere relative Messabweichung durch Nachkalibrierung der Messeinrichtung oder durch geeignete Berücksichtigung der Ergebnisse der Messgeräte der Transitgruppe noch reduziert werden.

In 2018, 26 measuring institutions with a total of 27 sets of measurement instruments took part in the interlaboratory comparison. To anonymise the data for every set of measurement instruments a test code has been allocated by BfS. The participants, the specifications of the sets of measurement instruments, their type of measurement instrument and their test codes are listed in appendices A-1 and A-2.

For each type of measurement instrument and each of the four exposure groups, the arithmetic mean, the standard deviation and the relative error from the reference value was calculated¹⁵. The results from this assessment are presented in table A-6 to table A-8 for each type of measurement instrument. For the measurement instruments in the transit group, the arithmetic mean and the standard deviation of the measurement value are given in table A-5¹⁶. Each participating measuring institution received an individual report on the findings from each of their sets of measurement instruments (Report template see chapter A-1). The errors of the individual measurement instrument sets are presented in the following diagrams (figure 4-1 to figure 4-5) by comparison as a box plot [12]. The test codes for the sets of measurement instruments are given on the abscissa.

No evaluation of results is undertaken by BfS. It is the responsibility of the participating measuring institution to assess the results according to their quality management system and to decide whether the relative error of the measurement value from the reference value lies within a permitted range. By analysing the data that has been collected during previous BfS interlaboratory comparisons for passive radon measurement instruments, it can be shown that the correct value for radon exposure at a reference value of around 200 kBq·h·m⁻³ is over- or underestimated by less than 40 per cent and at a reference value of around 2500 kBq·h·m⁻³ is over- or underestimated by less than 16 per cent [13]. For individual measurement instrument sets that took part in the 2018 interlaboratory comparison, the average relative error can be reduced by post-calibration of the measurement device or through a suitable consideration of the transit group's measurement values.

¹⁴ 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.

¹⁵ The formulae for calculation are given in chapter A-6.

¹⁶ The mean value of the radon-222 exposure of the instruments of the transit group is a measure for the effects of transportation and storage, which all instruments were exposed to (“Transit background”). The participants were responsible to take the transit background into consideration appropriately.

Referenzexposition /
Reference Exposure : 203 kBq h / m³

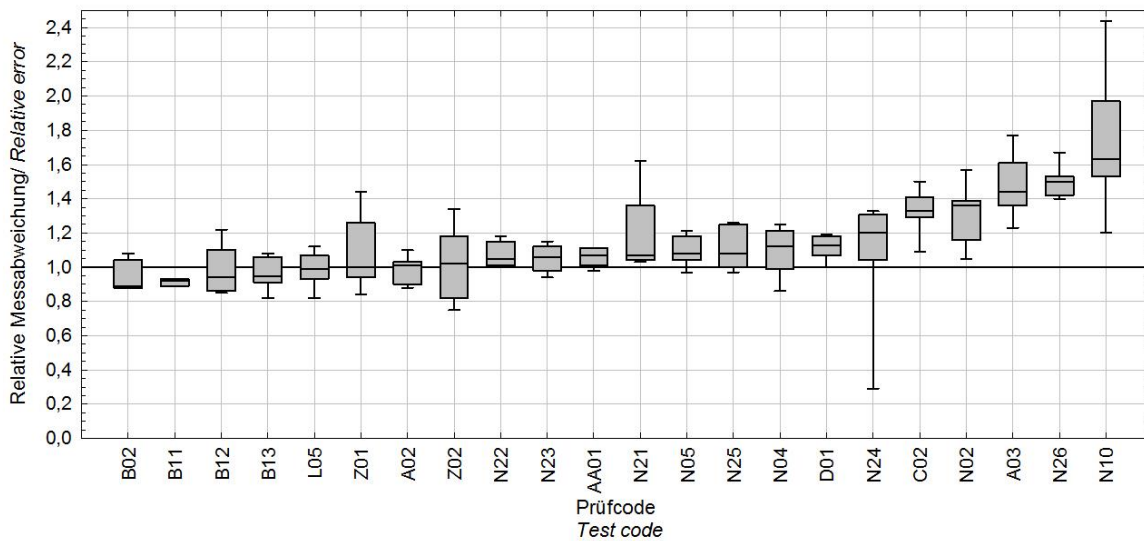


Abbildung 4-1: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 1 / Figure 4-1: Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 1

Erläuterung zur Abbildung: Darstellung als Boxplots [12], Prüfcode siehe Kapitel A-2; Innerhalb der Box liegen mindestens 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an. Linien unterhalb und oberhalb der Box geben das 5%- bzw. 95%-Perzentil an.

Explanation for the figure: Given as box plots [12], Test code see paragraph A-2; Within the box are at least 50% of the results. The black line within the box indicates the median value. Lines ("whisker") below and above the box indicate the 5% and 95% percentile, respectively.

Referenzexposition /
Reference Exposure : 221 kBq h / m³

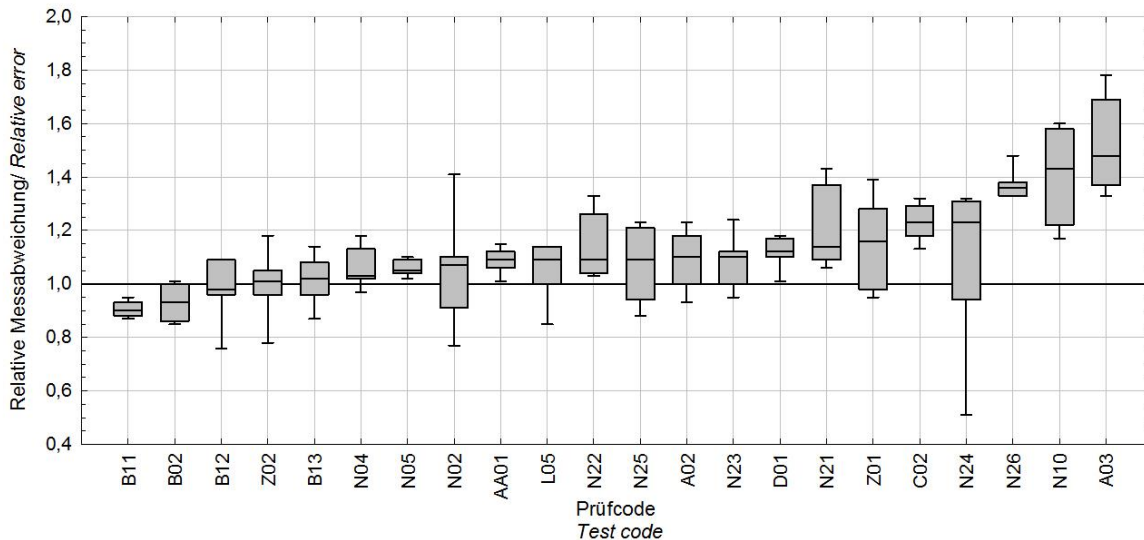


Abbildung 4-2: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 2 / Figure 4-2: Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 2

Erläuterung zur Abbildung: Darstellung als Boxplots [12], Prüfcode siehe Kapitel A-2; Innerhalb der Box liegen mindestens 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an. Linien unterhalb und oberhalb der Box geben das 5%- bzw. 95%-Perzentil an.

Explanation for the figure: Given as box plots [12], Test code see paragraph A-2; Within the box are at least 50% of the results. The black line within the box indicates the median value. Lines ("whisker") below and above the box indicate the 5% and 95% percentile, respectively.

Referenzexposition /
Reference Exposure : 1629 kBq h / m³

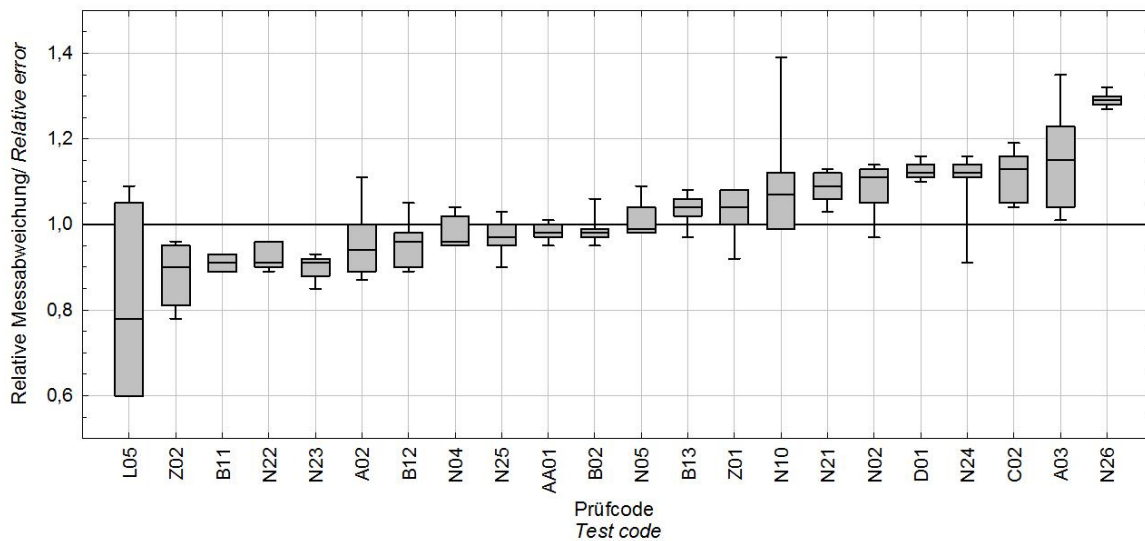


Abbildung 4-3: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 3 / Figure 4-3: Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 3

Erläuterung zur Abbildung: Darstellung als Boxplots [12], Prüfcode siehe Kapitel A-2; Innerhalb der Box liegen mindestens 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an. Linien unterhalb und oberhalb der Box geben das 5%- bzw. 95%-Perzentil an.

Explanation for the figure: Given as box plots [12], Test code see paragraph A-2; Within the box are at least 50% of the results. The black line within the box indicates the median value. Lines ("whisker") below and above the box indicate the 5% and 95% percentile, respectively.

Referenzexposition /
Reference Exposure : 1676 kBq h / m³

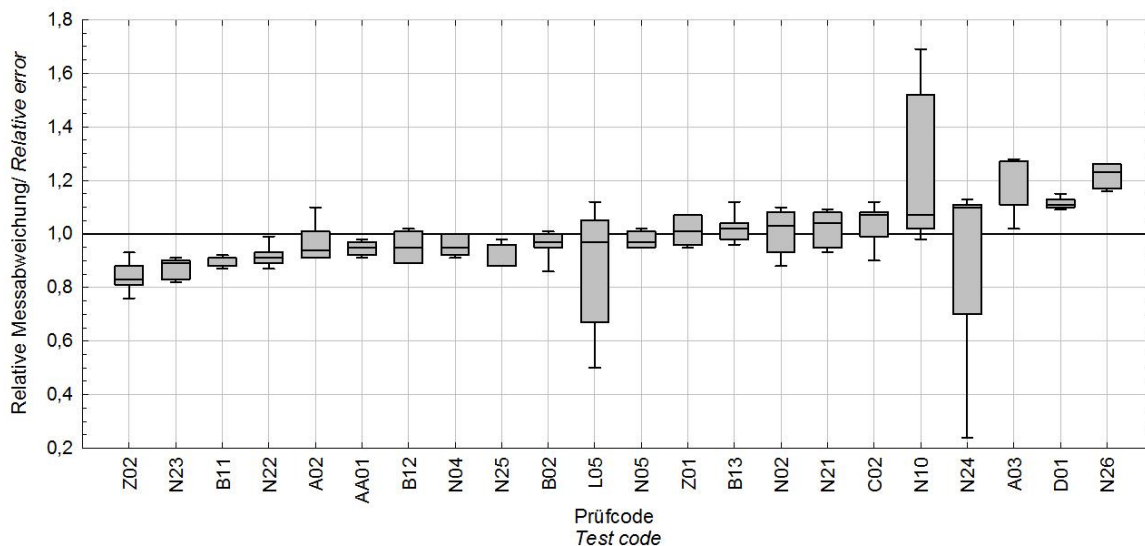


Abbildung 4-4: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren der Expositionsgruppe 4 / Figure 4-4: Relative error of the instruments using nuclear track detectors of exposure group 4

Erläuterung zur Abbildung: Darstellung als Boxplots [12], Prüfcode siehe Kapitel A-2; Innerhalb der Box liegen mindestens 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an. Linien unterhalb und oberhalb der Box geben das 5%- bzw. 95%-Perzentil an.

Explanation for the figure: Given as box plots [12], Test code see paragraph A-2; Within the box are at least 50% of the results. The black line within the box indicates the median value. Lines ("whisker") below and above the box indicate the 5% and 95% percentile, respectively.

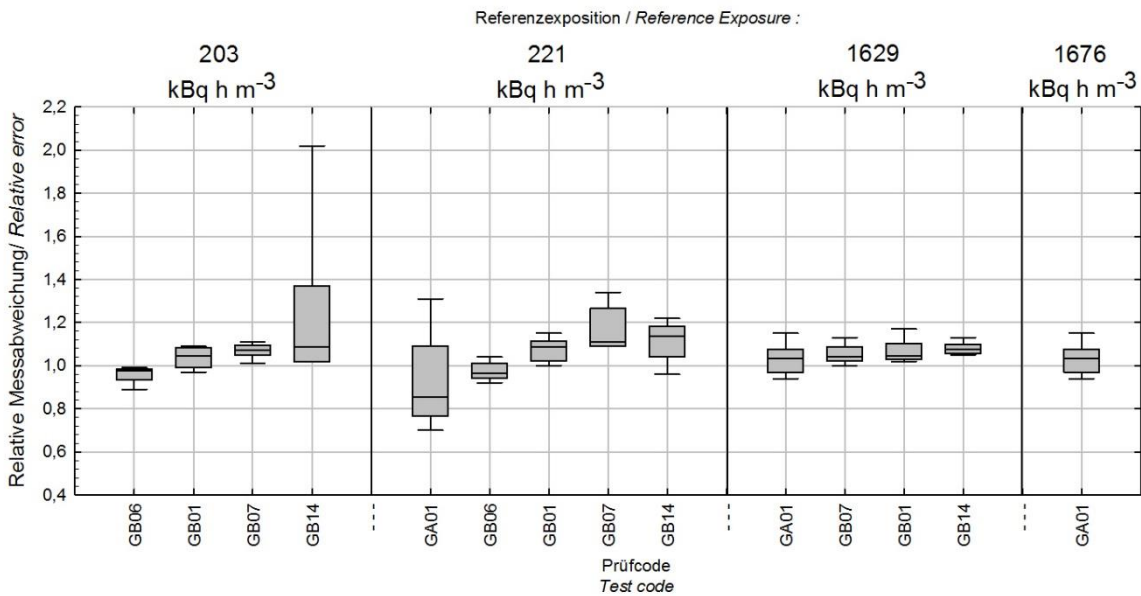


Abbildung 4-5: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Elektret der Expositionsgruppen 1 bis 4 / Figure 4-5: Relative error of the instruments using electrets of the exposure groups 1 to 4

Erläuterung zur Abbildung: Darstellung als Boxplots [12], Prüfcode siehe Kapitel A-2; Innerhalb der Box liegen mindestens 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an. Linien unterhalb und oberhalb der Box geben das 5%- bzw. 95%-Perzentil an.

Explanation for the figure: Given as box plots [12], Test code see paragraph A-2; Within the box are at least 50% of the results. The black line within the box indicates the median value. Lines ("whisker") below and above the box indicate the 5% and 95% percentile, respectively.

DANKSAGUNG / ACKNOWLEDGEMENTS

Wir danken allen teilnehmenden Institutionen für die freundliche Zusammenarbeit und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Fachgebiete UR 1 Radonmetrologie und UR 5 Dosimetrie und Spektrometrie des BfS, die durch ihre Unterstützung beim Aus-, Einpacken und Versand der Pakete, bei der Sortierung der 889 Messgeräte und bei den Messungen im Radon-Kalibrierlabor mitgewirkt haben.

We gratefully thank all participating institutions for the pleasant cooperation and the members of sections UR 1 Radon Metrology and UR 5 Dosimetry and Spectrometry, who have contributed to this interlaboratory comparison by unpacking, packing and shipping the parcels, sorting the 889 measuring instruments and performing measurements in the laboratory.

5 LITERATURVERZEICHNIS / REFERENCES

- [1] Rat der Europäischen Union, Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/EURATOM, 90/641/EURATOM, 96/29/EURATOM, 97/43/EURATOM und 2003/122/EURATOM, Amtsblatt der Europäischen Union, Reihe L, Nr. 13/1 vom 17.01.2014
- [2] Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung vom 27. Juni 2017, BGBl. Jahrgang 2017 Teil I Nr. 42, S. 1966 – 2067, Bonn 3. Juli 2017
- [3] 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 durch Artikel 5 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010) geändert
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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)*
- [7] 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)*
- [8] <http://www.eptis.bam.de> (05.01.2018)
- [9] <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/labore/radon/radon> (05.01.2018)
- [10] 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
- [11] 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“)
- [12] Hartung, J., Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. R. Oldenburg Verlag GmbH, München 1986
- [13] Beck, T.R., Foerster, E., 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
- [14] Kanisch, G., Verfahren zur statistischen Auswertung von Daten mit als "<G" dokumentierten Werten, in: Messanleitungen für die "Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung", BMU, 1998

A. ANHANG / APPENDIX

A-1.	TEILNEHMER / PARTICIPANTS	20
A-2.	MESSGERÄTETYPEN / TYPES OF MEASUREMENT INSTRUMENTS	22
A-3.	ABLAUFSHEMA / TIME COURSE	25
A-4.	ATMOSPHÄRE IM LAGERRAUM / ATMOSPHERE IN THE STORAGE ROOM	25
A-5.	REFERENZATMOSPHÄREN / REFERENCE ATMOSPHERES	26
A-6.	DATENAUSWERTUNG / ANALYSIS OF DATA	28
A-7.	MESSWERTE / MEASUREMENT VALUES	29
A-8.	ERGEBNISBERICHT (MUSTER) / REPORT ON MEASUREMENT RESULTS (TEMPLATE)	36

A-1. TEILNEHMER / PARTICIPANTS




Tabelle A-1: Messstellen, die an der Vergleichsprüfung 2018 teilgenommen haben / Table A-1: Measuring institutions, which have participated in the interlaboratory comparison 2018

Messstelle <i>Measuring institution</i>	Land <i>Country</i>	Adresse <i>Address</i>
Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES)	Österreich <i>Austria</i>	Wieningerstraße 8 4020 Linz
ALGADE LED-DU	Frankreich <i>France</i>	Avenue du Brugeaud, B.P. 46 87250 Bessines-sur-Gartempe
ALTRAC Radon-Messtechnik	Deutschland <i>Germany</i>	Dorothea-Viehmänn-Straße 28 12524 Berlin
Bundesamt für Strahlenschutz UR 1	Deutschland <i>Germany</i>	Köpenicker Allee 120-130 10318 Berlin
Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH Schachanlage Asse	Deutschland <i>Germany</i>	Am Walde 2 38319 Remlingen
Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH Standort Peine	Deutschland <i>Germany</i>	Eschenstraße 55 31224 Peine
"Constantin Cosma" Radon Laboratory Faculty of Environmental Sciences and Engineering Babes-Bolyai University	Rumänien <i>Romania</i>	Str. Fantanele Nr. 30 RO-400294 Cluj-Napoca Cluj
Direction de la Santé Division de la Radioprotection	Luxemburg <i>Luxembourg</i>	Villa Louvigny, Allée Marconi 2120 Luxembourg
Dosimetrics GmbH (Kooperationspartner in Deutschland/ <i>Cooperation partner in Germany</i>)	Deutschland <i>Germany</i>	Otto-Hahn-Ring 6 81739 München
Eurofins Radon Testing Sweden AB (Messlabor/ <i>Measuring laboratory</i>)	Schweden <i>Sweden</i>	Gammelstadsvägen 5 972 41 LULEÅ
Greek Atomic Energy Commission	Griechenland <i>Greece</i>	P.O Box 60092 15341 Agis Paraskevi
GT Analytic SARL	Frankreich <i>France</i>	9bis, rue Grande 13410 Lambesc
Hainaut Vigilance Sanitaire	Belgien <i>Belgium</i>	Boulevard Sainctelette 55 7000 Mons
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Sicherheit und Umwelt	Deutschland <i>Germany</i>	Hermann-von-Helmholtz-Platz 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Keskkonnaamet Kiirusosakond	Estland <i>Estonia</i>	Kopli 76 10416 Tallinn
Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz	Deutschland <i>Germany</i>	Kaiser-Friedrich-Str. 7 55116 Mainz
LLC – Center for Ecotoxicological Research Podgorica	Montenegro <i>Montenegro</i>	Boulevard Sarla de Gola 2 81000 Podgorica
Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen	Deutschland <i>Germany</i>	Marsbruchstraße 186 44287 Dortmund



Messstelle <i>Measuring institution</i>	Land <i>Country</i>	Adresse <i>Address</i>
National Center of Radiobiology and Radiation Protection Radon Monitoring and Prevention Laboratory	Bulgarien <i>Bulgaria</i>	3, Sv. Georgi Sofiiski, St. building 7 1606 Sofia
Public Health England Radon Dosimetry	Großbritannien <i>United Kingdom</i>	Chilton, Didcot OX 11 ORQ Oxfordshire
Radiation Protection Center	Litauen <i>Lithuania</i>	Kalvariju Str.153 08221 Vilnius
Radon Aware Group	Irland <i>Ireland</i>	7 Meadow Court, Clon Road, Ennis, Co. Clare
Radonova Laboratories AB (Messlabor/ <i>Measuring laboratory</i>)	Schweden <i>Sweden</i>	Rapsgatan 25 75450 Uppsala
Radon Analytics (Vertriebspartner für Deutschland/ <i>Foreign distributor in Germany</i>)	Deutschland <i>Germany</i>	Alte Heerstraße 1 53121 Bonn Deutschland
Radosys Kft	Ungarn <i>Hungary</i>	Vegyész u. 17-25 1116 Budapest
Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Landesmessstelle Gera	Deutschland <i>Germany</i>	Hermann-Drechsler-Straße 1, Haus 4 07548 Gera
Universidad de Cantabria LaRUC	Spanien <i>Spain</i>	Cardenal Herrera Oria, s/n 39011 Santander (Cantabria)
ZVD Zavod za varstvo pri delu D. O. O.	Slowenien <i>Slovenia</i>	Chengdujska cesta 25 1260 Ljubljana Polje

A-2. MESSGERÄTETYPEN / TYPES OF MEASUREMENT INSTRUMENTS

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

Messgerättyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke Detector thickness	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Umschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere) Closed detector (with diffusion barrier)	Expositionsbereich Range of exposure	Prüfcode / Test code
A		Makrofol	0,3 mm	201 mm ²	127 mm ²	Ja / Yes	20 - 5 000 kBq·h·m ⁻³	A02
		LR-115	0,3 mm	290 mm ²	118 mm ²	Ja / Yes	70 - 7 000 kBq·h·m ⁻³	A03
AA		CR-39	0,9 mm	300 mm ²	190 mm ²	Ja / Yes	20 - 20 000 kBq·h·m ⁻³	AA01
			0,9 mm	100 mm ²	50 mm ²	Ja / Yes	20 - 20 000 kBq·h·m ⁻³	AA02
B		CR-39	1,5 mm	440 mm ²	140 mm ²	Ja / Yes	20 - 50 000 kBq·h·m ⁻³	B02
			1 mm	1036 mm ²	535 mm ²	Ja / Yes	20 - 50 000 kBq·h·m ⁻³	B11
			1 mm	481 mm ²	40 mm ²	Ja / Yes	k.A./ N.s.	B12
			1,25 mm	419 mm ²	120 mm ²	Ja / Yes	40 - 30 000 kBq·h·m ⁻³	B13

Messgerättyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke Detector thickness	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Umschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere) Closed detector (with diffusion barrier)	Expositionsbereich Range of exposure	Prüfcode / Test code
C		CR-39	1 mm	100 mm ²	51,7 mm ²	Ja / Yes	k.A./ N.s.	C02
D		Makrofol	0,3 mm	1020 mm ²	240 mm ²	Ja / Yes	50 – 10 000 kBq·h·m ⁻³	D01
GA		Elektret (Teflon)	0,127 mm	3421 mm ²	k.A./ N.s.	Ja / Yes	250 – 16 000 kBq·h·m ⁻³	GA01
GB		Elektret (Teflon)	0,127 mm	3421 mm ²	k.A./ N.s.	Ja / Yes	50 – 2 000 kBq·h·m ⁻³	GB01
			0,127 mm	k.A./ N.s.	k.A./ N.s.	Ja / Yes	0 - 240 kBq·h·m ⁻³	GB06
			k.A./ N.s.	k.A./ N.s.	k.A./ N.s.	Ja / Yes	2 – 11 000 kBq·h·m ⁻³	GB07
			0,127 mm	k.A./ N.s.	k.A./ N.s.	Ja / Yes	< 2 930 kBq·h·m ⁻³	GB14
L		CR-39	1 mm	100 mm ²	51,7 mm ²	Ja / Yes	10 – 80 000 kBq·h·m ⁻³	L05

Messgerättyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke Detector thickness	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Umschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere) Closed detector (with diffusion barrier)	Expositionsbereich Range of exposure	Prüfcode / Test code
N		CR-39	1 mm	100 mm ²	50,9 mm ²	Ja / Yes	40 – 20 000 kBq·h·m ⁻³	N02
			k.A./ N.s.	100 mm ²	52 mm ²	Ja / Yes	50 – 15 000 kBq·h·m ⁻³	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.	100 mm ²	Ja / Yes	k.A./ N.s.	N10
			1 mm	100 mm ²	52 mm ²	Ja / Yes	12 000 kBq·h·m ⁻³	N21
			1 mm	100 mm ²	50 mm ²	Ja / Yes	40 – 8 000 kBq·h·m ⁻³	N22
			k.A./ N.s.	100 mm ²	100 mm ²	Ja / Yes	12 000 kBq·h·m ⁻³	N23
			1 mm	100 mm ²	50 mm ²	Ja / Yes	40 – 8 000 kBq·h·m ⁻³	N24
			1 mm	100 mm ²	k.A./ N.s.	Ja / Yes	12 000 kBq·h·m ⁻³	N26
Z		LR-115	0,012 mm	227 mm ²	100 mm ²	Ja / Yes	50 – 30 000 kBq·h·m ⁻³	Z01
			0,012 mm	227 mm ²	113 mm ²	Ja / Yes	50 – 10 000 kBq·h·m ⁻³	Z02

Erläuterung zur Tabelle A-2/ Explanation for table A-2:

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

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

A-3. ABLAUFSCHEMA / TIME COURSE

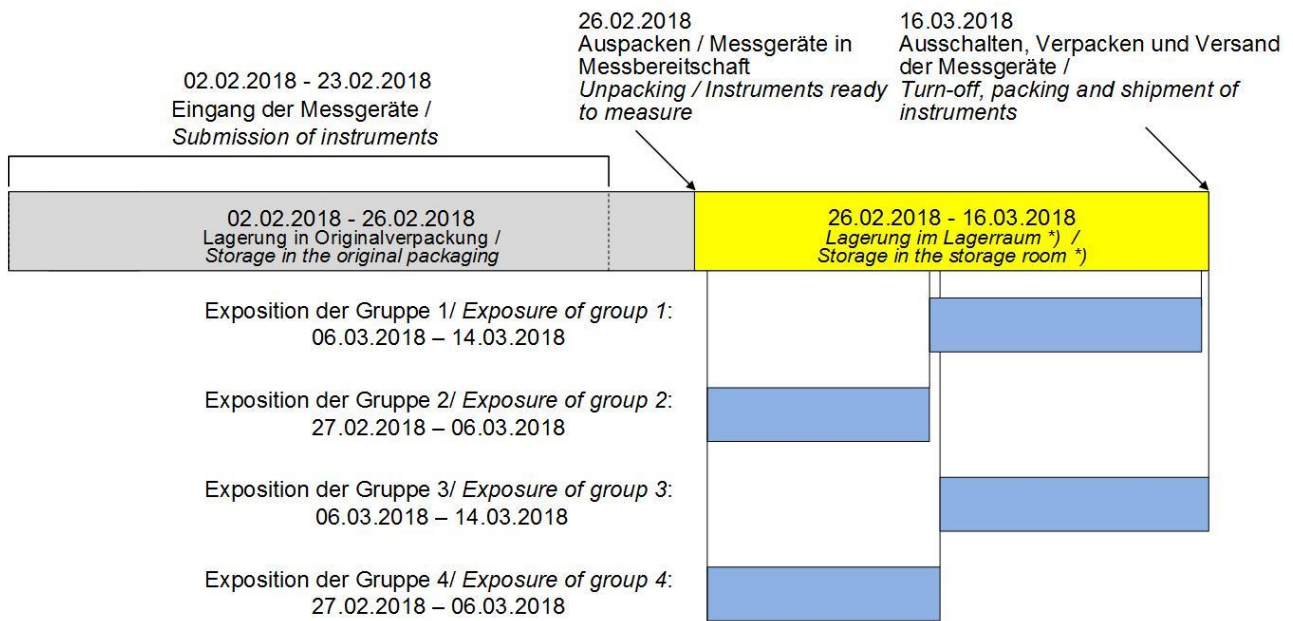


Abbildung A-1: Ablaufschema / Figure A-1: Time course

Erläuterung zu Abbildung A-1/ Explanation for figure A-1:

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

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

Tabelle A-3: Parameter der Atmosphäre im Lagerraum / Table A-3: 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 [°C]	p [hPa]	U_p [hPa]	$\dot{H}^*(10)$ [nSv·h ⁻¹]	$U\dot{H}^*(10)$ [nSv·h ⁻¹]
6	5	22	8	23	1	1001	3	68	15

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 equivalent dose rate with the expanded measurement uncertainty $U\dot{H}^*(10)$ ($k=2$).

A-5. REFERENZATMOSPHERÄN / REFERENCE ATMOSPHERES

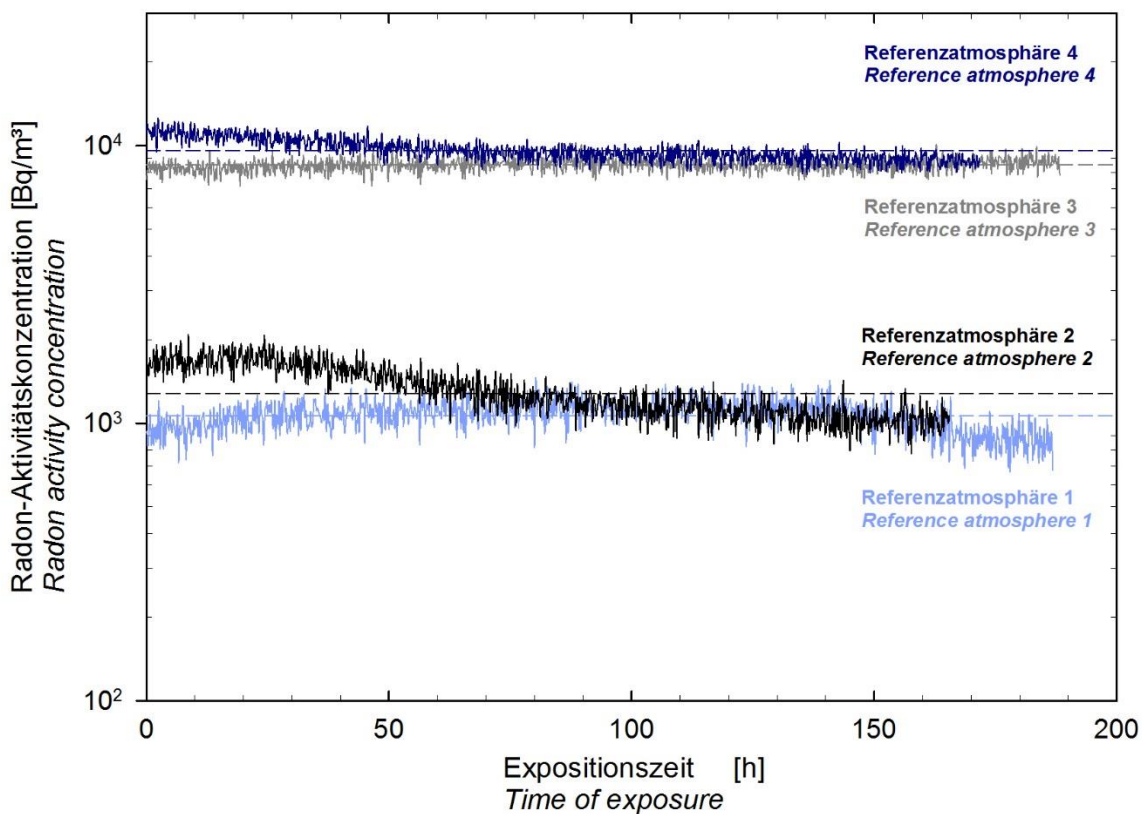


Abbildung A-2: Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen der Referenzatmosphären /
Figure A-2: Radon activity concentrations of the reference atmospheres versus time of exposure

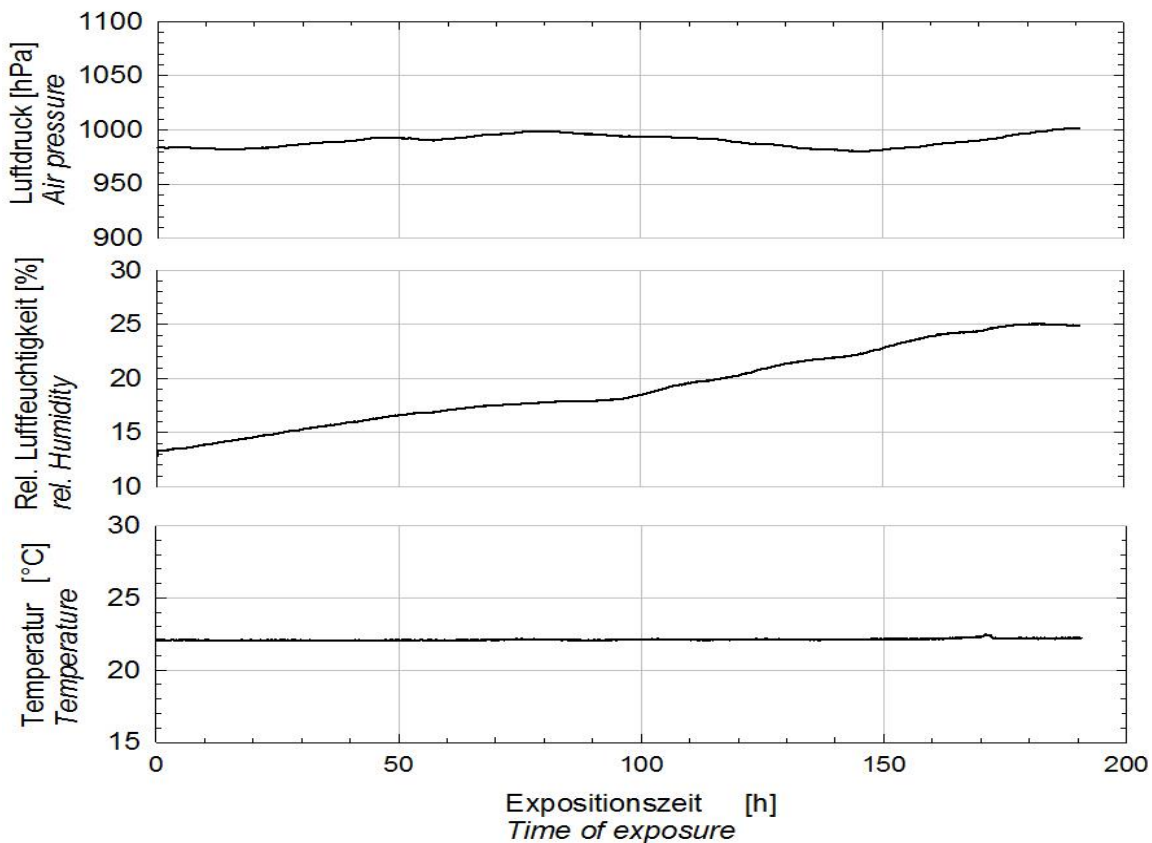


Abbildung A-3: Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftdruck exemplarisch für Exposition 3 /
Figure A-3: Temperature, relative humidity and air pressure during exposure no. 3 as an example

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

Nr. No.	Datum Date	t [h]	$C_{Rn,Ref}$ [kBq·m⁻³]	$P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m⁻³]	U [%]	V [m³]	T [°C]	r.H. [%]	p [hPa]
1	06.03.-14.03.2018	190,0	1,07	203	5	11	23	19	990
2	27.02.-06.03.2018	168,6	1,31	221	5	11	23	9	1001
3	06.03.-14.03.2018	190,7	8,54	1629	5	30	22	19	900
4	27.02.-06.03.2018	173,9	9,64	1676	5	30	22	11	1001

Erläuterung zu Tabelle A-4:

Die Spalte „Nr.“ 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 [11] 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 ($k = 2$).

Explanation for 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 determined in accordance to DAkkS-DKD-3 [11]. 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 uncertainty of 0.6 °C ($k = 2$), the mean value of relative humidity $r.H.$ with an expanded uncertainty of 8 % ($k = 2$) and the mean value of air pressure p with an expanded 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 arithmetischer 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.

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

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

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

- 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

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 [13]. 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 A-2) the following calculations have been performed. Arithmetic 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 [13]. 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) /
Table A-5: Measurement values of non-exposed instruments (influences of transit and storage)**

Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräte- anzahl <i>Number of instrument</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h·m ⁻³]	Standardabweichung <i>Standard deviation</i> [kBq·h·m ⁻³]	Transit-Effekt berücksichtigt? <i>Transit effect taken into account?</i>
A02	7	12,7	10,7	Nein / No
A03	7	57,3	29,3	Nein / No
AA01	7	12,3	1,7	Ja / Yes
AA02	7	22,6	12,0	Ja / Yes
B02	7	5,1	2,0	Ja / Yes
B11	7	15,0	1,3	Ja / Yes
B12	7	33,7	6,6	Ja / Yes
B13	7	9,7	4,2	Ja / Yes
C02	7	28,1	3,8	Nein / No
D01	7	1,1	0,9	Nein / No
GA01	6	146,6	65,5	Ja / Yes
GB01	6	14,7	9,7	Ja / Yes
GB06	6	15,0	1,8	Ja / Yes
GB07	6	0,5	4,2	Nein / No
GB14	6	20,2	19,4	Ja / Yes
L05	7	25,9	11,8	Ja / Yes
N02	7	14,1 ¹⁾	8,8	Ja / Yes
N04	7	10,4	8,7	Nein / No
N05	7	26,9	5,6	Ja / Yes
N10	7	137,0	90,3	Nein / No
N21	7	14,5	8,4	Nein / No
N22	7	24,3	8,9	Nein / No
N23	7	20,6	8,9	Nein / No
N24	7	29,1	8,0	Ja / Yes
N26	7	8,0	6,1	Ja / Yes
Z01	7	Nicht angebar / <i>Not assignable</i> ²⁾		Ja / Yes
Z02	7	22,4	3,4	Nein / No

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⁾ Berechnung nach Kanisch [14].

²⁾ 7 von 7 Messwerten sind kleiner als die untere Nachweisgrenze (30 kBq·h·m⁻³). Die Messgeräte waren auf Wunsch des Teilnehmers während der Lagerung in Position „OFF“, d.h. nicht im Messmodus.

Explanation for 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⁾ *Calculated according to Kanisch [14].*

²⁾ *7 of 7 measurement values are lower than the lower detection limit (30 kBq·h·m⁻³). The measurement instruments were in position "OFF" during storage, i.e. not in measuring mode.*

Tabelle A-6: Ergebnisse der Expositionsgruppe 1 / Table A-6: Results of exposure group 1

Expositionsgruppe Exposure group	Prüfcode Test code	Messgeräteeanzahl Number of instruments	Mittelwert Mean value [kBq·h·m ⁻³]	Standard- abweichung Standard deviation [kBq·h·m ⁻³]	Referenzwert Reference value $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	relative Mess- abweichung Relative error [%]	
1	A02	7	200,6	15,9	203	-1,2	
	A03	7	301,4	37,0		48,5	
	AA01	7	214,9	10,2		5,8	
	AA02	7	225,0	23,5		10,8	
	B02	7	193,4	17,7		-4,7	
	B11	7	185,0	3,2		-8,9	
	B12	7	197,6	27,9		-2,7	
	B13	7	196,7	19,9		-3,1	
	C02	7	270,4	25,8		33,2	
	D01	7	227,3	13,5		12,0	
	GA01	Nicht exponiert / Not exposed					
	GB01	6	211,3	9,8		4,1	
	GB06	6	194,5	7,1		-4,2	
	GB07	6	217,3	7,1		7,1	
	GB14	6	250,2	79,4		23,2	
	L05	7	200,1	20,6		-1,4	
	N02	7	266,1	34,4		31,1	
	N04	7	222,0	26,8		9,4	
	N05	7	221,6	16,6		9,1	
	N10	7	353,6	80,0		74,2	
	N21	7	242,9	44,6		19,6	
	N22	7	218,4	14,6		7,6	
	N23	7	215,3	15,3		6,1	
	N24	7	218,6	74,2		7,7	
	N26	7	304,1	17,7		49,8	
	Z01	7	223,3	43,9		10,0	
	Z02	7	204,3	42,4		0,6	

Tabelle A-7: Ergebnisse der Expositionsgruppe 2 / Table A-7: Results of exposure group 2

Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräteeanzahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h·m ⁻³]	Standardabweichung <i>Standard deviation</i> [kBq·h·m ⁻³]	Referenzwert <i>Reference value</i> <i>P_{Rn,Ref}</i> [kBq·h·m ⁻³]	relative Messabweichung <i>Relative error</i> [%]
2	A02	7	242,1	22,3	221	9,6
	A03	7	339,7	37,0		53,7
	AA01	7	239,6	9,6		8,4
	AA02	7	240,4	29,9		8,8
	B02	7	205,1	14,5		-7,2
	B11	7	199,1	5,9		-9,9
	B12	7	215,3	24,3		-2,6
	B13	7	225,4	19,4		2,0
	C02	7	270,6	14,9		22,4
	D01	7	247,7	13,0		12,1
	GA01	6	203,8	48,1		-7,8
	GB01	6	237,5	12,5		7,5
	GB06	6	214,8	8,7		-2,8
	GB07	6	257,3	22,9		16,4
	GB14	6	246,7	20,1		11,6
	L05	7	232,7	22,9		5,3
	N02	7	230,0	44,1		4,1
	N04	7	235,3	15,9		6,5
	N05	7	234,7	6,8		6,2
	N10	7	311,6	39,9		41,0
	N21	7	268,7	32,7		21,6
	N22	7	251,1	25,9		13,6
	N23	7	238,9	20,8		8,1
	N24	7	239,7	64,6		8,4
	N26	7	302,9	10,8		37,0
	Z01	7	250,1	36,8		13,2
Z02	7	220,4	26,2	-0,3		

Tabelle A-8: Ergebnisse der Expositionsgruppe 3 / Table A-8: Results of exposure group 3

Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräteanzahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h·m ⁻³]	Standard- abweichung <i>Standard deviation</i> [kBq·h·m ⁻³]	Referenzwert <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	relative Mess- abweichung <i>Relative error</i> [%]
3	A02	7	1550,4	133,8	1629	-4,8
	A03	7	1875,5	189,5		15,1
	AA01	7	1600,1	32,0		-1,8
	AA02	7	1578,3	68,8		-3,1
	B02	7	1606,1	55,4		-1,4
	B11	7	1485,3	26,3		-8,8
	B12	7	1564,1	86,6		-4,0
	B13	7	1686,9	55,4		3,6
	C02	7	1819,4	91,2		11,7
	D01	7	1833,0	32,5		12,5
	GA01	6	1679,8	119,8		3,1
	GB01	6	1735,5	94,7		6,5
	GB06	Nicht angebbbar / <i>Not assignable</i> ¹⁾				
	GB07	6	1716,0	75,1		5,3
	GB14	6	1761,3	42,7		8,1
	L05	7	1346,4	365,3		-17,3
	N02	7	1762,4	99,6		8,2
	N04	7	1592,9	57,7		-2,2
	N05	7	1650,4	64,7		1,3
	N10	7	1778,4	224,6		9,2
	N21	7	1767,4	58,9		8,5
	N22	7	1503,6	45,7		-7,7
	N23	7	1461,9	46,7		-10,3
	N24	7	1784,6	133,6		9,6
N26	7	2099,4	25,7	28,9		
Z01	7	1677,7	94,0	3,0		
Z02	7	1437,7	115,5	-11,7		

¹⁾ Der Referenzwert ist größer als die obere Grenze des Messbereichs der Messgeräte (240 kBq·h·m⁻³).

¹⁾ The reference value is greater than the upper detection limit of the instruments (240 kBq·h·m⁻³).

Tabelle A-9: Ergebnisse der Expositionsgruppe 4 / Table A-9: Results of exposure group 4

Expositionsgruppe Exposure group	Prüfcode Test code	Messgeräteeanzahl Number of instruments	Mittelwert Mean value [kBq·h·m ⁻³]	Standard- abweichung Standard deviation [kBq·h·m ⁻³]	Referenzwert Reference value $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	relative Mess- abweichung Relative error [%]	
4	A02	7	1630,0	117,4	1676	-2,7	
	A03	7	1922,6	156,8		14,7	
	AA01	7	1589,7	46,6		-5,1	
	AA02	7	1570,0	70,4		-6,3	
	B02	7	1617,4	83,0		-3,5	
	B11	7	1509,1	27,3		-10,0	
	B12	7	1592,6	94,5		-5,0	
	B13	7	1713,3	88,5		2,2	
	C02	7	1745,6	120,1		4,2	
	D01	7	1869,0	36,7		11,5	
	GA01	6	1732,3	94,7		3,4	
	GB01			Nicht exponiert / <i>Not exposed</i>			
	GB06			Nicht exponiert / <i>Not exposed</i>			
	GB07			Nicht exponiert / <i>Not exposed</i>			
	GB14			Nicht exponiert / <i>Not exposed</i>			
	L05	7	1464,9	373,2		-12,6	
	N02	7	1698,9	137,7		1,4	
	N04	7	1601,4	60,1		-4,4	
	N05	7	1642,6	48,6		-2,0	
	N10	7	2030,8	464,9		21,2	
	N21	7	1703,5	103,3		1,6	
	N22	7	1537,7	64,0		-8,3	
	N23	7	1459,9	60,7		-12,9	
	N24	7	1543,0	563,6		-7,9	
	N26	7	2036,7	66,7		21,5	
	Z01	7	1695,8	84,1		1,2	
Z02	7	1403,9	90,2	-16,2			

Erläuterungen zu Tabelle A-6 bis Tabelle A-8:

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.

Explanation for table A-6 to table A-8:

The measurement values of the radon instruments tested were assigned to the exposure groups. The net exposure (difference between the mean values of the exposure group and the transit group) was not calculated by the organisers. It was the responsibility of each participating laboratory to decide whether and how it takes into account the indications of their transit group instruments for the evaluation of the exposed instruments. For each group, the mean value and the standard deviation were calculated. The reference exposure is the exposure to radon-222 in a reference atmosphere. 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.

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



BfS-Vergleichsprüfung für passive Radonmessgeräte 2018: Ergebnisse

BfS Intercomparison of Passive Radon Detectors 2018: Results

Messstelle: <i>Laboratory</i>		Laborcode: <i>Laboratory code</i> LL
		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> XX
Anzahl der Geräte: <i>Number of devices</i>	35	Geräte-Code: <i>Code of devices</i> LLS01 - 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>	PADC (CR-39®)	Detektordicke: <i>Detector thickness</i> 1.5 mm
Gesamt-Detektorfläche: <i>Total detector size</i>	440 mm²	Ausgewertete Detektorfläche: <i>Analyzed detector size</i> 140 mm²
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>	10 - 25 000 kBq·h·m⁻³	
Eingangsdatum der Messergebnisse: <i>Date of receipt of results</i>	xx.xx.2018	

Datum:
Date

xx.xx.2018

Fachgebietsleiter UR 1:
Head of Section UR 1

Dr. J. Döring

Leiterin des
Kalibrierlaboratoriums:
*Head of the Calibration Service
Laboratory*

E. Foerster

Bearbeiter:
Person in charge

F. Schneider

Verfahren der Vergleichsprüfung / Procedure:

Die Vergleichsprüfung wurde im Radon-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. After exposition the instruments were returned to the laboratory for evaluation without disclosing the exposure data.

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 whereas $P_{Rn,Ref}$ is the radon exposure calculated as the product of $C_{Rn,Ref}$ and t (given in rounded numbers).

U is the extended relative uncertainty of the radon-222 activity concentration resulting from the standard uncertainty of the 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

Exposi- tions- gruppe <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	06.03.-14.03.2018	190,0	1,07	203	5	11	23	19	990
2	27.02.-06.03.2018	168,6	1,31	221	5	11	23	9	1001
3	06.03.-14.03.2018	190,7	8,54	1629	5	30	22	19	900
4	27.02.-06.03.2018	173,9	9,64	1676	5	30	22	11	1001

*) 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 (16 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 (16 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 [°C]	p [hPa]	U_p [hPa]	$\dot{H}^*(10)$ [nSv·h ⁻¹]	$U_{\dot{H}^*(10)}$ [nSv·h ⁻¹]
6	5	22	8	23	1	1001	3	68	15

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 der relativen Luftfeuchtigkeit $U_{r.H.}$ (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 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). The parameter $\dot{H}^(10)$ is the mean ambient equivalent 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 by BfS which instrument belongs to which exposure group. Only the detector numbers of the transit group were announced. The transit group comprises instruments which were not exposed in reference atmospheres but transported and stored under the same conditions like all other instruments. It was the responsibility of the laboratory to decide whether and how it takes into account 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. Mittelwert, relative 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 according to equations (1) and (2).

The relative error was calculated for exposure groups 1 to 4 according to equation (3).

In table 3 mean value, standard deviation and relative error are stated in the accuracy indicated by the decimal places of the given numbers.

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

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

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

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

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

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

RSD_g	Relative Standardabweichung der Messwerte der Expositionsgruppe g in Prozent <i>Relative standard deviation of the measurement values of exposure group g in percent</i>
X_g	Referenzwert der Radon-222-Exposition $P_{Rn,Ref}$ für die Expositionsgruppe g <i>Reference value of the exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ for exposure group g</i>
$RERR_g$	Relative Messabweichung der Messwerte der Expositionsgruppe g vom Referenzwert in Prozent <i>Relative error of the measurement values of exposure group g from the reference value in percent</i>

Bewertung / Assessment:

Es liegt in der Verantwortung der teilnehmenden Messstelle, die Resultate entsprechend ihres Qualitätsmanagementsystems zu bewerten. Anhand 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 gathered from previous BfS' intercomparisons of passive radon detectors, the relative deviation of every single measurement value from the reference value can attain values within an accepted range, if an appropriate quality management system is applied [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 2018: Ergebnisse /
BfS Intercomparison of Passive Radon Detectors 2018: Results

Tabelle 3: Messergebnisse für Laborcode , Set Nummer S , Prüfcode xx

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

Expositionsgruppe g/ <i>Exposure group g</i>	Transitgruppe (0)/ <i>Transit group (0)</i>		1		2		3		4	
Referenzwert der Rn-222-Exposition/ <i>Reference exposure to radon-222</i> $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]			203		221		1629		1676	
Geräte-Nummer i / <i>Instrument number i</i>	Messgeräte- Code / <i>Code of device</i>	Anzeigewert/ <i>Indication</i> $x_{g,i}$ [kBq·h·m ⁻³]	Messgeräte- Code / <i>Code of device</i>	Anzeigewert/ <i>Indication</i> $x_{g,i}$ [kBq·h·m ⁻³]	Messgeräte- Code / <i>Code of device</i>	Anzeigewert/ <i>Indication</i> $x_{g,i}$ [kBq·h·m ⁻³]	Messgeräte- Code / <i>Code of device</i>	Anzeigewert/ <i>Indication</i> $x_{g,i}$ [kBq·h·m ⁻³]	Messgeräte- Code / <i>Code of device</i>	Anzeigewert/ <i>Indication</i> $x_{g,i}$ [kBq·h·m ⁻³]
1	LLS06	2	LLS05	242	LLS02	256	LLS07	1818	LLS01	1841
2	LLS08	0	LLS10	231	LLS03	261	LLS13	1887	LLS04	1924
3	LLS14	1	LLS11	217	LLS09	223	LLS18	1830	LLS12	1842
4	LLS21	1	LLS16	228	LLS15	247	LLS20	1789	LLS19	1900
5	LLS29	0	LLS26	230	LLS17	245	LLS24	1840	LLS22	1826
6	LLS31	2	LLS27	203	LLS23	243	LLS30	1858	LLS33	1893
7	LLS32	2	LLS28	240	LLS25	259	LLS35	1809	LLS34	1857
Mittelwert / <i>Mean value AM</i> [kBq·h·m ⁻³]	1,1		227,3		247,7		1833,0		1869,0	
Relative Standardabweichung / <i>Relative standard deviation RSD</i> [%]	78,7		5,9		5,2		1,8		2,0	
Relative Messabweichung / <i>Relative error RERR</i> [%]			12,0		12,1		12,5		11,5	

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 Bergbauegebiet.

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.^{)}; Guggenberger, R.; Dalheimer, A.*

^{*)} *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 Februar 2003 SW-Berichte

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

BfS-SW-17/15

urn:nbn:de:0221-2015012612255

Kabai E.; Hiersche L.

Radioaktive Kontamination von Speisepilzen

Aktuelle Messwerte (Stand: 2013)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, Januar 2015

BfS-SW-18/15

urn:nbn:de:0221-2015092913543

Kabai E.; Hiersche L.

Radioaktive Kontamination von Speisepilzen

Aktuelle Messwerte (Stand: 2014)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, September 2015

BfS-SW-19/15

urn:nbn:de:0221-2015110313768

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

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

Vergleichsprüfung 2015

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

Interlaboratory comparison 2015

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2015

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

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

BfS-SW-20/15

Brummer, Christian; Strobl, Christopher

urn:nbn:de:0221-2015111813780

ISIGAMMA 2005

Internationaler Messvergleich zur Bestimmung der Radioaktivität im Boden mittels In-Situ-

Gammastrahlenspektrometrie, 9. bis 12. Mai 2005

(vormals: SW 2-16/2006 vom September 2006)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2015

BfS-SW-21/15

Brummer, Christian; Strobl, Christopher

urn:nbn:de:0221-2015111813794

ISIGAMMA 2005

International Comparison Measurements Aimed at Determining the Radioactivity in the Soil

with the Help of In-situ Gamma Spectrometry, 9 to 12 May, 2005

(formerly: SW 2-16/2006 vom September 2006)

Department Radiation Protection and the Environment

Salzgitter, November 2015

BfS-SW-22/16

urn:nbn:de:0221-2016113014171

Kabai E.; Hiersche L.; Poppitz-Spuhler A.; Baginski K.

Radioaktive Kontamination von Speisepilzen

Aktuelle Messwerte (Stand: 2015)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2016

BfS-SW-23/17

urn:nbn:de:0221-2017092114409

Kabai E.; Baginski K.; Poppitz-Spuhler A.

Radioaktive Kontamination von Speisepilzen

Aktuelle Messwerte (Stand: 2016)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, September 2017

BfS-SW-24/18

urn:nbn:de:0221-2017122814454

Bossew P.; Hoffmann B.

Die Prognose des geogenen Radonpotentials in Deutschland und die Ableitung eines

Schwellenwertes zur Ausweisung von Radonvorsorgegebieten

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, Januar 2018

BfS-SW-25/18

urn:nbn:de:0221-2018020614535

Foerster E.; Dubsclaff M.

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

Vergleichsprüfung 2017

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

Interlaboratory comparison 2017

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, Januar 2018

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

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

BfS-SW-26/18

urn:nbn:de:0221-2018082916008

Helbig A.; Hanfland R.; Huber F. ; Krol I.; Loske F.; Schkade U.-K.; C. Strobl; Thomas M.

Internationale Messkampagne der Aero-Gammasspektrometrie 2017 (ARM17)

Bericht und Messresultate

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, August 2018

BfS-SW-27/18

urn:nbn:de:0221-2018111416808

Kabai E.; Baginski K.; Poppitz-Spuhler A.

Radioaktive Kontamination von Speisepilzen

Aktuelle Messwerte (Stand: 2017)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2018

BfS-SW-28/19

urn:nbn:de:0221-2019011117218

Foerster E.; Dubslaff M.; Friedrich F.; Schneider F.; Döring J.

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

Vergleichsprüfung 2018

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

Interlaboratory Comparison 2018

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, Januar 2019

| 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