



Bundesamt  
für Strahlenschutz

## **Bericht**

**BfS Vergleichs- und Eignungsprüfung für Radon-  
Exposimeter 2024**

*BfS Interlaboratory Comparison and Proficiency  
Testing of Radon Exposimeters 2024*

BfS-64/25

Felice Friedrich-Kees  
Francesca Tugnoli  
Elisabeth Foerster  
Felix Schneider  
Martin Dubslaff  
Sebastian Feige

Abteilung Umweltradioaktivität  
*Department Environmental Radioactivity*

Fachgebiet Radonmetrologie  
*Section Radon Metrology*

## **Impressum**

Bundesamt für Strahlenschutz  
Postfach 10 01 49  
38201 Salzgitter

Tel.: +49 30 18333-0

Fax: +49 30 18333-1885

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)

De-Mail: [epost@bfs.de-mail.de](mailto:epost@bfs.de-mail.de)

[www.bfs.de](http://www.bfs.de)

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:  
[urn:nbn:de:0221-2025012049642](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2025012049642)

Januar 2025

## Zusammenfassung / Summary

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat die gesetzliche Aufgabe zur Durchführung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung für Radon-Messungen, die dem Strahlenschutz an Arbeitsplätzen dienen.

Für diese Messungen werden meist Exposimeter, also nicht-elektronische Messgeräte eingesetzt, mit denen die Radon-Aktivitätskonzentration in der Raumluft oder die personenbezogene Exposition bestimmt wird. Zur Qualitätssicherung dieser Messsysteme, bestehend aus Messgerät und Auswertesystem, haben sich Vergleichs- und Eignungsprüfungen bewährt, die das BfS seit 2003 anbietet. Dabei werden Messgeräte einer teilnehmenden Institution unter kontrollierten Bedingungen in einer radonhaltigen Atmosphäre im Radon-Kalibrierlaboratorium des BfS exponiert. Die anschließend von der Institution ermittelten Messergebnisse werden mit dem am BfS bestimmten Referenzwert verglichen. Liegen die Abweichungen innerhalb des vorab festgelegten zulässigen Bereichs, so wird die Leistung als „zufriedenstellend“ bewertet. Diese Leistungsbewertung erfolgt auf Basis von Erkenntnissen aus vergangenen Vergleichsprüfungen für Exposimeter und wissenschaftlich begründbaren Leistungserwartungen.

Durch die Teilnahme an der Vergleichs- und Eignungsprüfung können Anbieter von Radon-Messungen die Qualität ihrer Verfahren überprüfen und nachweisen. Öffentliche und private Auftraggeber sowie Verbraucher können sich anhand des Berichts einen allgemeinen Überblick über die Leistungsfähigkeit der Anbieter von Radon-Messungen mit Exposimetern verschaffen.

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse der 21. BfS Vergleichs- und Eignungsprüfung vor, die im Jahr 2024 durchgeführt wurde. Der Teilnehmerkreis umfasst sowohl behördlich bestimmte Messstellen nach § 169 des Strahlenschutzgesetzes und anerkannte Stellen nach § 155 der Strahlenschutzverordnung als auch weitere, jährlich wechselnde Messlabore aus dem In- und Ausland. Der Bericht listet die teilnehmenden Institutionen auf und fasst die Ergebnisse in der Vergleichs- und Eignungsprüfung in pseudonymisierter Form zusammen. Im Jahr 2024 zeigten 39 der 43 teilnehmenden Gerätesets eine zufriedenstellende Leistung. Darunter befanden sich auch alle 10 Sets von Messgeräten der in diesem Jahr teilnehmenden Messstellen und anerkannten Stellen mit eigenem Auswertelabor. Diese Gerätetypen werden zu Messungen an Arbeitsplätzen in Deutschland eingesetzt.

Individuelle Berichte liegen den teilnehmenden Institutionen für Zwecke der Qualitätssicherung vor. Die Gesamtberichte der zurückliegenden BfS Vergleichs- und Eignungsprüfungen sind im Online-Repository des Bundesamtes für Strahlenschutz zugänglich [1].

*The German government has entrusted the Federal Office for Radiation Protection (BfS) to operate measures for quality assurance of radon measurements concerning the radiation protection at workplaces. To a large extent, these measurements concerning the radon activity concentration in air or the individual exposure are performed with exposimeters, that is to say non-electronic measurement instruments. The quality of their results depends on the measurement instruments itself as well as the analysis system and is typically assured by participation in interlaboratory comparison and proficiency testings as offered by BfS since 2003. Here, a number of measurement instruments are exposed in a controlled way in the BfS Radon calibration laboratory. After the evaluation of the exposimeters by the participants, the results are compared to the BfS reference value. The performance is evaluated as “satisfactory”, if the deviations of the measurement values from the reference value remain within a pre-defined range. The evaluation of performance is based on findings from previous interlaboratory comparisons for exposimeters and the expected performance based on scientific evaluation.*

*Thus, institutions offering radon measuring services can demonstrate the effective operation of their quality management system and procedures. This allows public and private customers to get a general idea on the performance of radon measuring institutions using exposimeters.*

*This report presents the results of the 21<sup>st</sup> BfS interlaboratory comparison and proficiency testing, which was performed in 2024. The group of participants comprises measuring bodies according to section 169 of the Radiation Protection Act and recognised bodies according to section 155 of the Radiation Protection Ordinance as well as alternating measuring institutions from all over the world. The report lists the participating measuring institutions and summarizes the pseudonymised results of the interlaboratory comparison and proficiency testing. In 2024, 39 of 43 instrument sets from participating institutions have shown a satisfactory performance in proficiency testing. This includes all of the 10 sets of measurement instruments of the participating measuring bodies and recognized bodies. These exposimeter types are operated at workplaces in Germany.*

*Individual reports were sent to the participating institutions for quality assurance purposes. Comprehensive Reports on previous BfS interlaboratory comparison and proficiency testings have been published in the online repository DORIS [1].*

# Inhalt / Content

Zusammenfassung / <i>Summary</i> .....	3
<b>1</b> <b>Einleitung / <i>Introduction</i></b> .....	<b>7</b>
1.1     Rechtliche Grundlagen und Festlegungen / <i>Legal principles and provisions</i> .....	7
1.2     Zweck der Vergleichs- und Eignungsprüfung / <i>Purpose of the interlaboratory comparison and proficiency testing</i> .....	8
<b>2</b> <b>Organisation / <i>Organisation</i></b> .....	<b>9</b>
2.1     Qualitätssicherung / <i>Quality assurance</i> .....	9
2.2     Anzahl der Messgeräte pro Gerätetyp / <i>Number of measurement instruments per instrument type</i> .....	9
2.3     Ablauf der Vergleichsprüfung / <i>Process of the interlaboratory comparison</i> .....	10
2.4     Eignungsprüfung / <i>Proficiency testing</i> .....	11
<b>3</b> <b>Expositionen / <i>Exposures</i></b> .....	<b>13</b>
3.1     Herstellung der Radon-Referenzatmosphären / <i>Generation of the reference atmospheres</i> .....	13
3.2     Raum zur Lagerung der Messgeräte / <i>Storage of the measurement instruments</i> .....	14
3.3     Exposition der Messgeräte / <i>Exposure of the measurement instruments</i> .....	14
<b>4</b> <b>Ergebnisse / <i>Results</i></b> .....	<b>16</b>
4.1     Vergleichsprüfung / <i>Interlaboratory Comparison</i> .....	16
4.2     Eignungsprüfung / <i>Proficiency testing</i> .....	19
Literaturverzeichnis / <i>Bibliography</i> .....	23
Anlagenverzeichnis / <i>List of Appendices</i> .....	24
<b>A1</b> <b>Teilnehmende Institutionen / <i>Participants</i></b> .....	<b>25</b>
<b>A2</b> <b>Messgerätetypen / <i>Types of measurement instruments</i></b> .....	<b>28</b>
<b>A3</b> <b>Ablaufschema / <i>Time course</i></b> .....	<b>32</b>
<b>A4</b> <b>Atmosphäre im Lagerraum / <i>Atmosphere in the storage room</i></b> .....	<b>32</b>
<b>A5</b> <b>Referenzatmosphären / <i>Reference atmospheres</i></b> .....	<b>33</b>

<b>A6</b>	<b>Datenauswertung / <i>Analysis of data</i></b> .....	<b>35</b>
<b>A7</b>	<b>Messwerte / <i>Measurement values</i></b> .....	<b>37</b>
<b>A8</b>	<b>Ergebnisbericht (Muster) / <i>Report (example)</i></b> .....	<b>43</b>
	<b>Begriffe und Definitionen / <i>Terms and Definitions</i></b> .....	<b>51</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis / <i>List of Figures</i></b> .....	<b>54</b>
	<b>Tabellenverzeichnis / <i>List of tables</i></b> .....	<b>55</b>

# 1 Einleitung / Introduction

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

Basierend auf der Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates der Europäischen Union [2] bildet das deutsche Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [3], ergänzt durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [4], die Grundlage für den gesetzlichen Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung.

Beruflich strahlenexponierte Personen werden radiologisch überwacht - auch in Bezug auf Radon. Hierzu wurden in § 169 StrlSchG und § 172 StrlSchV Festlegungen zu behördlich bestimmten Messstellen sowie in § 173 StrlSchV zur Eintragung der ermittelten Körperdosis ins Strahlenschutzregister [5] getroffen.

Das Strahlenschutzgesetz macht in § 127 und § 128 weiterhin Vorschriften zu Messungen von Radon an Arbeitsplätzen in bestimmten Innenräumen. Gemessen wird dabei die über das Jahr gemittelte Radon-Aktivitätskonzentration. Hierfür sind Geräte von Anbietern zu verwenden, die nach § 155 Abs. 4 StrlSchV durch das BfS anerkannt wurden [6].

Die Messung der Radon-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen in Innenräumen oder aber die Überwachung von Personen, die während der Ausübung ihres Berufes Strahlenexpositionen infolge der Inhalation von Radon und dessen kurzlebigen Folgeprodukten ausgesetzt sind, erfolgt hauptsächlich mit Exposimetern, also nicht-elektronischen Messgeräten mit Festkörperspur- oder Elektretdetektoren.

Sowohl behördlich bestimmte Messstellen als auch anerkannte Stellen sind gemäß § 172 Abs. 3 bzw. § 155 Abs. 4 StrlSchV verpflichtet, an Maßnahmen zur Qualitätssicherung des Bundesamtes für Strahlenschutz teilzunehmen, um eine zuverlässige Ermittlung der Strahlenexposition durch Radon bzw. der Radon-Aktivitätskonzentration zu ermöglichen. Eine solche Maßnahme ist die Vergleichs- und Eignungsprüfung für Radon-Exposimeter, die Teil der Aufgaben der Leitstelle für Fragen der Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität (ENORM) ist.

*European Council Directive 2013/59/EURATOM [2] lays down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. These are implemented in German law by the Radiation Protection Act (RPA) [3] supplemented by the Radiation Protection Ordinance (RPO) [4]. As a part of the tasks of the Federal coordinating office for questions of monitoring of the radioactivity at enhanced natural radioactivity (ENORM), the Federal Office for Radiation Protection (BfS) organizes interlaboratory comparisons for radon measurement instruments to enable a reliable determination of the radiation exposure from radon.*

*Persons that are occupationally exposed to radiation are subject of individual monitoring. Section 169 of the RPA and section 172 of the RPO specify regulations on the respective measuring bodies whereas the data collection of body doses for the National Dose Register [5] is treated in section 173 of the RPO.*

*In addition, sections 127 and 128 of the RPA contain provisions for measurements at indoor workplaces. The measurement of the average annual radon activity concentration has to be performed with measurement instruments provided by a body recognised by the BfS according to section 155 of the RPO [6].*

*For the measurement of the radon activity concentration at indoor workplaces or the monitoring of persons that are subject to occupational exposure to radiation due to the inhalation of radon or its short-lived decay products typically measurement instruments with solid-state nuclear track detectors or electret detectors are used.*

*Measuring bodies as well as recognised bodies have to take part in measures for quality assurance at the Federal Office for Radiation Protection on regular terms according to section 172 subsection 3 and section 155 subsection 4 RPO, respectively. These measures comprise the interlaboratory comparison and proficiency testing.*

## **1.2 Zweck der Vergleichs- und Eignungsprüfung / Purpose of the interlaboratory comparison and proficiency testing**

Die Vergleichs- und Eignungsprüfung ist Bestandteil der Maßnahmen zur Qualitätssicherung für Messungen von Strahlenexpositionen durch Radon und Radon-Folgeprodukte sowie für die Messung der Radon-Aktivitätskonzentration in Luft. Sie soll einen einheitlichen Qualitätsstandard sicherstellen. Art und Umfang der Vergleichs- und Eignungsprüfung orientiert sich an Verfahren, die in anderen Gebieten der physikalischen Strahlenschutzkontrolle, insbesondere in der Personendosimetrie externer Strahlung, durchgeführt werden [7],[8].

Die Vergleichs- und Eignungsprüfung wird vom BfS in der Regel jährlich für die Messgröße Radon-222-Exposition organisiert, die mit Exposimetern des Typs Festkörperspurdetektor (FKSD) und Elektret-Ionisationskammer bestimmt wird. Die Messgröße Radon-222-Exposition ist das Produkt aus der mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentration und der Expositionsdauer.

Die Ergebnisse sollen von den teilnehmenden Institutionen für die Validierung ihrer Messverfahren genutzt werden. Neben den zur Teilnahme verpflichteten Institutionen können auch Anbieter von Messungen, die nicht im Zusammenhang mit der beruflichen Strahlenexposition stehen, zur Qualitätssicherung an Vergleichs- und Eignungsprüfungen teilzunehmen. Die erfolgreiche Teilnahme erhöht das Vertrauen der Kunden in die durchgeführten Messungen stärken und die Akzeptanz der erhaltenen Ergebnisse. Für Anbieter, die eine Akkreditierung auf dem Gebiet der Bestimmung der Radon-222-Exposition oder der Radon-222-Aktivitätskonzentration in Luft unter Verwendung nicht-elektronischer Messgeräte besitzen oder eine solche anstreben, kann die Teilnahme an der Vergleichs- und Eignungsprüfung als Bestandteil der Validierung des Messverfahrens nach DIN EN ISO/IEC 17025 [9] anerkannt werden. Daneben ist die erfolgreiche Teilnahme an der Eignungsprüfung eine Voraussetzung für die Anerkennung nach § 155 StrlSchV.

*The interlaboratory comparison and proficiency testing is a component of the measures for quality assurance in measurements of radiation exposure from radon and its decay products. It should ensure a consistent quality standard. The type and scope of the interlaboratory comparison and proficiency testing are oriented towards procedures that are established in other areas of physical radiation protection monitoring, in particular in the personal dosimetry of external radiation [7],[8].*

*The interlaboratory comparison and proficiency testing is organised for the measurand radon exposure and usually takes place on an annual basis. Instruments addressed are exposimeters with solid state nuclear track detectors (SSNTD) or electret ionization chambers. The radon exposure is the product of the average radon activity concentration in air and the exposure time.*

*The results should serve for the validation of the measurement procedures of the participating institutions. Besides compulsory participation the interlaboratory comparison is open for other national and international institutions. A successful participation helps to increase the trust of the customer in the measurements and results. For institutions, that have or are willing to obtain accreditation in the field of determining the radon-222 exposure or radon-222 activity concentration in air using non-electronic measurement instruments, participation in the interlaboratory comparison can be accepted as a component of the validation of their measurement process as required by DIN EN ISO/IE 17025 [9]. Besides, a satisfactory performance in the proficiency testing is required for recognition according to section 155 subsection 4 of the RPO.*

## 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 Vergleichs- und Eignungsprüfungen orientieren sich zusätzlich an den Forderungen der DIN EN ISO/IEC 17043 [8].

Die zu prüfenden Messgeräte werden im Radon-Kalibrierlaboratorium des BfS exponiert. Das Laboratorium unterhält ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO/IEC 17025 [9] und 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 potentiellen Alphaenergie-Konzentration der kurzlebigen Radon-222-Folgeprodukte 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 [8].*

*The measurement instruments to be tested are exposed in the radon calibration laboratory of BfS. The laboratory maintains a quality management system according to DIN EN ISO/IEC 17025 [9] and is accredited by the Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) [National Accreditation Body] under number D-K-15063-01-00 for the calibration of instruments for the measurands activity concentrations of radon-222 in air and the potential alpha energy concentration of short-lived radon-222 decay products.*

### 2.2 Anzahl der Messgeräte pro Gerätetyp / Number of measurement instruments per instrument type

Durch jede teilnehmende Institution ist ein Set mit einer definierten Anzahl von Exposimetern eines Typs zur Prüfung einzureichen. Von diesen wird der überwiegende Teil in überwachten Radon-Aktivitätskonzentrationen exponiert (siehe Tabelle 2-1, Spalte 2), die verbleibenden Geräte bilden die Transitgruppe (siehe Tabelle 2-1, Spalte 3). In begründeten Fällen kann das Bundesamt für Strahlenschutz in Absprache mit der teilnehmenden Institution eine abweichende Anzahl der einzusendenden Messgeräte festlegen.

*Each participant is required to supply a certain number of exposimeters of one type for testing. One part of the instruments is exposed at a monitored radon activity concentration (see table 2-1, column 2). Another part is used to form the transit group (see table 2-1, column 3). The Federal Office for Radiation Protection can determine other numbers of measurement instruments to be supplied in justified cases and after consultation with the participating institution.*

**Tabelle 2-1 Anzahl der einzureichenden Messgeräte und der Expositionsgruppen / Table 2-1 Number of measurement instruments to be submitted and number of exposure groups**

<b>Messgeräte- bzw. Detektortyp</b> <i>Measurement instrument and/or detector type</i>	<b>Anzahl der Messgeräte zur Exposition</b> <i>Number of measurement instruments to be exposed</i>	<b>Anzahl der Messgeräte der Transitgruppe</b> <i>Number of measurement instruments for the transit group</i>	<b>Anzahl der Expositionsgruppen</b> <i>Number of exposure groups</i>
Festkörperspurdetektoren <i>Solid-state nuclear track detectors</i>	28	7	4
Elektretdetektoren <i>Electrets</i>	18	6	3

### **2.3 Ablauf der Vergleichsprüfung / *Process of the interlaboratory comparison***

Die Vergleichs- und Eignungsprüfung wird etwa zwei Monate vor deren Beginn angekündigt. Allgemeine Informationen werden auf der Internetseite des Bundesamtes für Strahlenschutz [10] sowie im Europäischen Informationssystem über Eignungsprüfungen EPTIS bereitgestellt, das als Internetdatenbank verfügbar ist [11]. Des Weiteren wird internationalen Gremien und Interessenverbänden wie EURADOS oder dem European Metrology Network Radiation Protection (EMN RP) von EURAMET die Durchführung bekannt gegeben.

An der Teilnahme interessierte Institutionen registrieren sich bis zu dem in der Ankündigung genannten Termin mit dem bereitgestellten Anmeldeformular beim Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Radonmetrologie (UR 1). Die Zusammensetzung der teilnehmenden Institutionen wechselt jährlich und ist in der Regel auf eine Anzahl von 30 begrenzt. Gegebenenfalls erfolgt eine Priorisierung, in die unter anderem die Notwendigkeit zur Teilnahme (siehe Kapitel 1.1) einfließt. Für jeden Messgerätetyp muss ein vollständiges Set von Messgeräten eingesendet werden, die jeweils einzeln nach Vorgabe des BfS von den teilnehmenden Institutionen eindeutig gekennzeichnet sind.

Die eingereichten Messgeräte verbleiben zunächst in den Originalverpackungen und werden in einem Lagerraum mit geringer Radon-Konzentration aufbewahrt. Zur Kontrolle der Lagerbedingungen werden die Radon-Aktivitätskonzentration, die Umgebungsäquivalentdosisleistung, die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit 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 teilnehmende Institution erfolgt, wenn defekte Messgeräte festgestellt werden oder die Messgeräteeinführung unvollständig ist. Bei unvollständiger oder nicht eindeutiger Kennzeichnung der Messgeräte wird eine neue Kennzeichnung vergeben.

Die Geräte eines Sets werden per Zufallsprinzip in Gruppen mit jeweils gleich großer Geräteanzahl eingeteilt (Expositionsgruppen und Transitgruppe, siehe Tabelle 2-1). Sofern schriftliche Anweisungen der teilnehmenden Institutionen zur Handhabung der Messgeräte vorliegen, werden diese nach Möglichkeit berücksichtigt. Nach der Vorbereitung der Messgeräte (Entnahme aus der Originalverpackung, Versetzen in Messbereitschaft, Einteilung in Gruppen) erfolgt die kontrollierte Lagerung der Geräte in einem Lagerraum mit geringer Radon-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-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 herausdiffundieren kann. Anschließend werden diese Geräte kontrolliert im Lagerraum gelagert. Nach Abschluss aller Expositionen werden die Messgeräte den teilnehmenden Institutionen zugeordnet und radondicht bzw. nach Kundenwunsch verpackt. Anschließend werden die Geräte an die teilnehmenden Institutionen zurückgesendet.

Vor der Auswertung erhalten die teilnehmenden Institutionen weder Informationen über die Referenzwerte der Radon-Aktivitätskonzentration beziehungsweise -Exposition, noch über die Zugehörigkeit der einzelnen Geräte zu den Expositionsgruppen. Lediglich die Identifikationsnummern der Geräte der Transitgruppe werden zu Korrekturzwecken mitgeteilt.

Die teilnehmenden Institutionen werten die Messgeräte aus und stellen für jedes Messgerät den Messwert der Radon-Exposition fest. Die Berücksichtigung von Transiteffekten liegt im Ermessen der Institution. Die Werte werden an das Bundesamt für Strahlenschutz übermittelt und dienen als Grundlage für die Endauswertung.

*The Federal Office for Radiation Protection announces the interlaboratory comparison and proficiency testing about two months in advance. General information is provided on the homepage [10] as well as in the European Information System for proficiency testing EPTIS, which is available as an internet database [11]. In addition, international institutions such as EURADOS and the European Metrology Network Radiation Protection (EMN RP) of EURAMET are considered with an announcement of the comparison.*

*Interested institutions can register for participation until deadline by submitting the application form to the Federal Office for Radiation Protection, section Radon Metrology (UR 1). The number of participants changes annually and is usually limited to a maximum of 30. If required, prioritization is performed based on the necessity of participation (see chapter 1.1). For each type of measurement instrument, a complete set has to be supplied with each measurement instrument clearly labelled by the participant according to BfS instruction.*

*The submitted measurement instruments initially remain in the original packaging and are stored in a storage room with a low radon concentration. The radon activity concentration, the ambient equivalent dose rate, the temperature and the relative humidity in the storage room are monitored. At first, an entry check is carried out, where the completeness, integrity and clear labelling of the measurement instruments are checked. In case of defective measurement instruments or incomplete delivery, an information is sent to the participating institution. If labelling of the measurement instruments is incomplete or unclear, new labelling is issued.*

*The measurement instruments from each set are randomly divided into evenly sized groups (exposure groups and transit group, see table 2-1). Written instructions on special handling of measurement instruments are taken into consideration as far as possible. After the preparation of the measurement instruments (removal from the original packaging, setting measurement readiness, grouping), they are stored in a storage room with a low radon activity concentration. The measurement instruments of the transit group remain in this storage room until they are returned to the participating institution.*

*The measurement instruments from the exposure groups are removed from the storage room and subjected to different radon reference atmospheres for a defined period of time. After exposure, the measurement instruments are kept for about one hour in fresh air with a low radon activity concentration in order to let the radon diffuse out of the diffusion chamber. Subsequently, the measurement instruments are stored again in the storage room. After the termination of all exposures, the measurement instruments are assorted and repacked using radon-proof bags or as specified by the participant. Subsequently, the measurement instruments are returned to the participant.*

*Prior to the analysis of the detectors by the participants no information is provided about the reference values of the radon activity concentration or exposure as well as the assignment of individual devices to the exposure groups. Only the identification numbers of measurement instruments in the transit group are given for measures of correction.*

*The participants analyse each measurement instrument for its value for radon exposure. In this process it is the decision of the participant to take transit effects into account. The values are communicated to the Federal Office for Radiation Protection for the final analysis.*

## **2.4 Eignungsprüfung / Proficiency testing**

Die Eignungsprüfung wird auf Basis der Daten der Vergleichsprüfung eines Messgerätesets durchgeführt. Dabei wird die Abweichung der bestimmten Radon-Expositionen der einzelnen Messgeräte des Sets vom Referenzwert der Exposition der jeweiligen Gruppe untersucht (siehe Anhang A6). Die Leistung in der Eignungsprüfung wird als „zufriedenstellend“ bewertet, wenn die Werte innerhalb eines vorab definierten zulässigen Bereiches liegen. Abhängig von der Anzahl der Messgeräte ist dabei eine bestimmte maximale Anzahl von Werten, die außerhalb des zulässigen Bereiches liegen, erlaubt [12]. Bei Überschreitung dieser Anzahl von Ausreißern wird die Leistung als „nicht zufriedenstellend“ bewertet.

Jährlich zeigen etwa 6% der insgesamt teilnehmenden Sets eine nicht zufriedenstellende Leistung. Dies unterstreicht die Notwendigkeit der regelmäßigen Teilnahme von nicht-elektronischen Messgeräten an Vergleichsprüfungen, um solche Probleme auch erkennen und nachfolgend beheben zu können.

Die Ursachen für eine nicht zufriedenstellende Leistung sind vielfältig. Systematische Abweichungen zeigen in der Regel Probleme bei der Verfahrensführung auf (bspw. Verwendung neuer Materialchargen mit abweichenden Eigenschaften, Nicht-Berücksichtigung des Transiteffektes). Einzelne Ausreißer weisen eher auf defekte Einzelgeräte, instabile Verfahren oder Materialqualität oder aber Fehler in der Ergebnisübertragung hin. Nicht zuletzt gibt es auch teilnehmende Institutionen, die die Vergleichsprüfung zur Kalibrierung eines geänderten oder neuen Auswerteverfahrens nutzen, bevor das angewendete Auswerteverfahren kommerziell eingesetzt wird.

*Proficiency testing for a set of measurement instruments is performed on basis of the data reported for the interlaboratory comparison. For each exposure group, the deviation of the reported radon exposure values of the individual measurement instruments from the reference exposure value of the respective group is determined (see appendix A6). The performance is evaluated as "satisfactory" if these values are within a predefined admissible range. Depending on the number of measurement instruments, a certain number of values outside of this range is tolerable [12]. By exceeding this limit, the performance is evaluated as "not satisfactory".*

*Each year, about 6 % of the participating sets show an unsatisfactory performance. This underlines the necessity for regular participation of non-electronic radon measuring instruments in interlaboratory comparisons in order to perceive and subsequently remedy quality problems.*

*There are manifold reasons for non-satisfactory performance. Systematic errors are indicative for problems in processing and procedures (e.g. changes in batch material properties, disregard of transit-effect). Individual errors are indicative for malfunctioning single devices, fluctuations in processes or materials or even errors in reporting. Finally, some participants use the results of the interlaboratory comparison in order to establish an improved or new evaluation procedure that has not yet been applied for commercial measurements.*

### 3 Expositionen / Exposures

#### 3.1 Herstellung der Radon-Referenzatmosphären / Generation of the reference atmospheres

Für die Herstellung der Radon-Referenzatmosphären wurden die im Radon-Kalibrierlaboratorium des Bundesamtes für Strahlenschutz zur Verfügung stehenden Kalibrierkammern aus Edelstahl mit Volumina von 11 m<sup>3</sup> und 30 m<sup>3</sup> verwendet. Die hergestellten Referenzatmosphären sind durch ihre Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sowie durch die klimatischen Parameter Temperatur, Luftdruck und relative Luftfeuchte gekennzeichnet. Die Radon-Aktivitätskonzentration wird für jede Kammer auf einen zuvor festgelegten Wert eingestellt und kontinuierlich überwacht. Durch automatische Nachdosierung von Radon wird der durch den radioaktiven Zerfall bedingte Verlust kompensiert, so dass die Radon-Aktivitätskonzentrationen in den Kammern während der Exposition zeitlich ausreichend konstant bleiben. Die Atmosphäre in den Kammern wird durch Ventilatoren homogenisiert.

Die Verfahren zur Herstellung und Aufrechterhaltung von Radon-Referenzatmosphären sind auf der Internetseite des Bundesamts für Strahlenschutz dargestellt [13]. 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 Reproduzierbarkeit der Messungen sichergestellt sind.



Abbildung 3-1: Kalibrierkammer im Radon-Kalibrierlaboratorium des Bundesamtes für Strahlenschutz (Volumen: 30 m<sup>3</sup>) / Figure 3-1: Calibration chamber in the Radon Calibration Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection (volume: 30 m<sup>3</sup>)

*The radon calibration laboratory at the Federal Office for Radiation Protection features two calibration chambers with volumes of 11 m<sup>3</sup>, and 30 m<sup>3</sup>, respectively. Therein, reference atmospheres can be created that are characterised by their radon activity concentrations as well as by the climatic parameters of temperature, air pressure and relative humidity. The radon activity concentration for each chamber is set to a predefined value and continually monitored. By automated additional dosing of radon, the losses from radioactive decay are compensated, keeping the radon activity concentrations within the chambers sufficiently constant for the duration of the exposure. The atmosphere within the chambers is homogenised by internally installed fans.*

*The procedures for the creation and maintenance of radon reference atmospheres are presented on the website of the Federal Office for Radiation Protection [13]. The measurements of the radon activity concentration and the relevant environmental parameters are traced back to national standards. All measurement data recorded during exposure as well as the measurement conditions are documented in order to ensure the repeatability and reproducibility of the measurements.*

### **3.2 Raum zur Lagerung der Messgeräte / Storage of the measurement instruments**

Für die Lagerung der zu prüfenden Messgeräte vor und nach der Exposition wird ein Lagerraum genutzt, dessen Raumluft ständig mit Außenluft gespült wird. Die Überwachung der Radon-Aktivitätskonzentration sowie der klimatischen Parameter erfolgt mittels eines Gebrauchsnormals vom Typ Alphaguard® DF 2000. Zusätzlich wird ein Messgerät zur Messung der Ortsdosisleistung vom Typ GE Reuter-Stokes RSDetection RS-S131-200 eingesetzt, um die Strahlenexposition durch externe Gammastrahlung während der Lagerung innerhalb des Lagerraums zu erfassen. Die ermittelte Ortsdosis kann von Teilnehmenden, die Messgeräte mit Elektretdetektoren eingereicht haben, verwendet werden, 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. The monitoring of the radon activity concentration as well as of the climatic parameters is carried out by using a working standard of type Alphaguard® DF 2000. In addition, a measurement instrument of type GE Reuter-Stokes RSDetection RS-S131-200 is used to measure the ambient equivalent dose rate so as to record the radiation exposure through external gamma radiation within the storage room during storage. The participant can use the mean ambient equivalent dose rate to subsequently correct for measurement effects caused by external gamma radiation.*

### **3.3 Exposition der Messgeräte / Exposure of the measurement instruments**

Die Expositionsdaten für die einzelnen Expositionsgruppen in den Radon-Referenzatmosphären sind im Anhang A5 angegeben. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphären sind die Mittelwerte der Radon-Aktivitätskonzentrationen während der Expositionszeiten und die Radon-Expositionen sowie deren Messunsicherheiten angegeben. Des Weiteren werden die mittlere relative Luftfeuchtigkeit, die Lufttemperatur und der Luftdruck aufgeführt.

Exposimeter mit Festkörperspurdetektoren oder Elektretdetektoren sind über die Expositionszeit integrierende Messgeräte, deren Anzeigewert direkt proportional zur Radon-Exposition ist. In dieser Vergleichsprüfung wird deshalb die Messgröße Radon-Exposition als Vergleichsgröße festgelegt. Die mittlere Radon-Aktivitätskonzentration kann durch Division des Expositionswertes mit der Expositionszeit ermittelt werden.

Für die Expositionen werden Referenzatmosphären mit unterschiedlichen Niveaus der Radon-Aktivitätskonzentration hergestellt. Die Expositionsdauer beträgt jeweils mindestens fünf Tage. Die Radon-Expositionen liegen in einem für die Praxis relevanten Bereich zwischen 150 kBq·h/m<sup>3</sup> und 3000 kBq·h/m<sup>3</sup>.

Die Messunsicherheit des Referenzwertes wird gemäß Qualitätsmanagementsystem [14] auf Basis des Dokuments EA-4/02 M:2022 [15] berechnet. Die Messunsicherheit der Expositionsdauer ist vernachlässigbar.

*The exposure data for the individual exposure groups in the radon reference atmospheres are given in the appendix A5. The reference atmospheres are characterised by the average values of radon activity concentrations during the exposure times as well as the radon exposures including the measurement uncertainties. Furthermore, the average relative humidity, the air temperature and the air pressure are given.*

*Solid-state nuclear track detectors or electrets are dosimeters, that is to say integrating passive measurement instruments. Their indication value is directly proportional to the radon exposure. Therefore, the radon exposure is chosen as comparative measurand in this interlaboratory comparison. The average radon activity concentration can be determined dividing the exposure value by the exposure time.*

*For the exposures, reference atmospheres with different radon activity concentration levels were created. The exposure times comprised at least five days. The radon exposures were between 150 kBq·h/m<sup>3</sup> and 3000 kBq·h/m<sup>3</sup> and, thus, in a range relevant for practical applications of such detectors.*

*The measurement uncertainty was determined in accordance with the quality management system [14] and EA-4/02 M:2022 [15]. The measurement uncertainty for the exposure time is negligible.*

## 4 Ergebnisse / Results

### 4.1 Vergleichsprüfung / Interlaboratory Comparison

An der Vergleichsprüfung 2024 haben 39 Institutionen mit insgesamt 43 Messgerätesets teilgenommen. Eine weitere Institution hat die Teilnahme frühzeitig wieder abgesagt. Die teilnehmenden Institutionen und allgemeine Informationen zu den teilnehmenden Messgerätetypen sind in Anhang A1 und Anhang A2 aufgelistet. Zur Pseudonymisierung der Daten werden im Gesamtbericht ID-Nummern verwendet, die keine Zuordnung von Ergebnissen zu den teilnehmenden Institutionen zulassen.

Bei zwei teilnehmenden Institutionen, die Messgeräte mit Elektretdetektoren verwenden, trafen die Exposimeter erst nach Beginn der ersten Expositionen am BfS ein. Daher wurden diese Messgeräte abweichend in die übliche Transitgruppe und nur zwei Expositionsgruppen à 9 Geräte aufgeteilt. Die Auswertung wurde entsprechend angepasst, die Eignungsprüfungskriterien sind dabei unverändert.

Für jedes Messgeräteset wurden für jede der Expositionsgruppen jeweils der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung und die relative Messabweichung vom Referenzwert berechnet (siehe Anhang A6). Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Anhang A7 für jedes Messgeräteset dargestellt (Tabelle A7-2 bis Tabelle A7-5). Für die Messgeräte der Transitgruppe sind der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung der Messwerte in Tabelle A7-1 angegeben. Die Messabweichungen in den einzelnen Messgerätesets sind in den folgenden Diagrammen (Abbildung 4-1 bis Abbildung 4-4) vergleichend als Boxplot dargestellt. Auf der Abszisse sind die ID-Nummern der Messgerätesets angegeben, sortiert nach aufsteigendem Median.

Jede teilnehmende Institution erhielt einen individuellen Bericht über die Ergebnisse ihres jeweiligen Messgerätesets. Ein Muster-Bericht ist in Anhang A8 dargestellt.

*In 2024, 39 institutions with a total of 43 sets of measurement instruments have participated in the interlaboratory comparison. One other institution has canceled participation at an early stage. A general list of participants and exposimeter specifications is shown in the appendices A1 and A2, respectively. To pseudonymise the data, ID numbers are used in the comprehensive report. These do neither refer to instrument types nor to participants.*

*The exposimeter sets of two of the participants did arrive at BfS only after the beginning of the first exposure. Thus, they were assigned to the standard transit and only two exposure groups with 9 exposimeters, each. The evaluation was slightly adjusted with equal proficiency testing criteria.*

*For each set and each of the exposure groups the arithmetic mean value, the standard deviation and the relative error from the reference value was calculated (see appendix A6). The results are presented in appendix A7, table A7-2 to A7-5. For the measurement instruments of the transit group, the arithmetic mean and the standard deviation of the measurement values are given in table A7-1. The distributions of the individual measurement values within their sets are presented in the following figures as box plots (figure 4-1 to figure 4-5). The ID numbers of the sets are given on the abscissa in the order of ascending median values (figure 4-1 to 4.4).*

*Each participating institution received an individual report on the results of their set. An example report is shown in appendix A8.*

Referenzexposition /  
Reference Exposure : **251 kBq·h / m<sup>3</sup>**

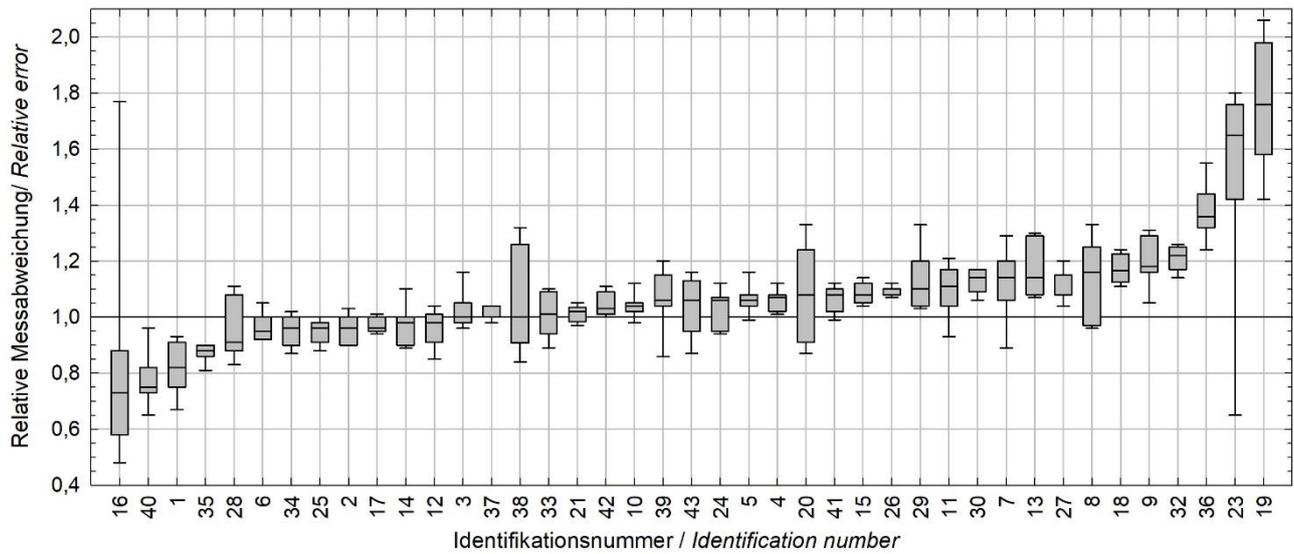


Abbildung 4-1 Relative Messabweichung der Messgeräte in der Expositionsgruppe 1 als Boxplot /  
Figure 4-1: Relative error of the measurement instruments in exposure group 1 as box plot

Referenzexposition /  
Reference Exposure : **995 kBq·h / m<sup>3</sup>**

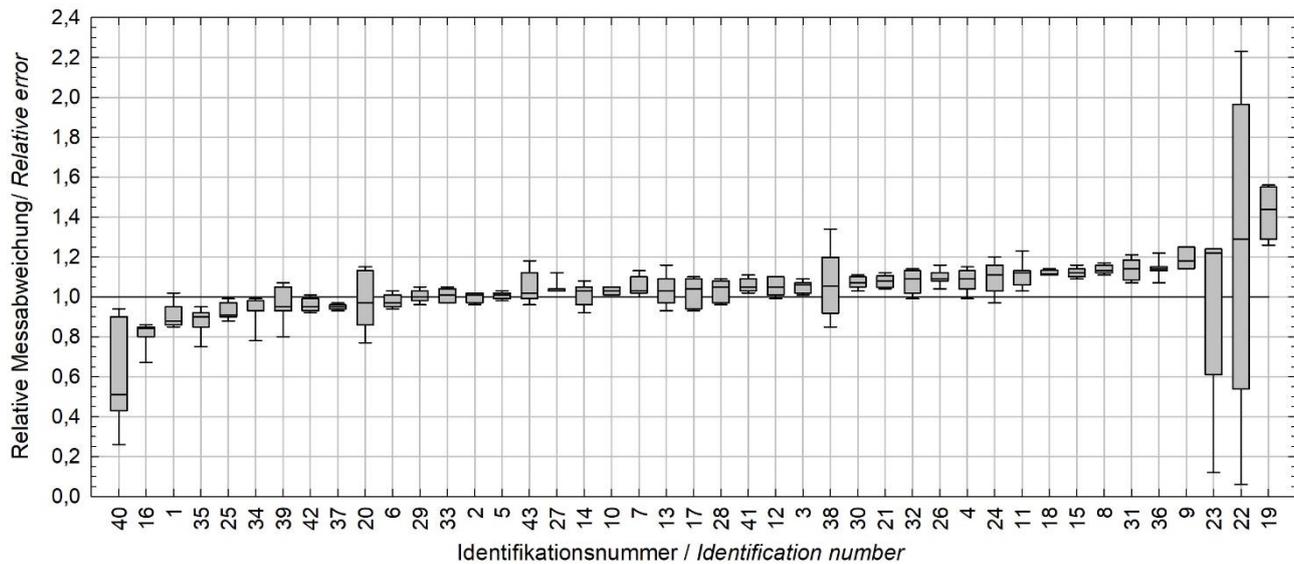


Abbildung 4-2 Relative Messabweichung der Messgeräte in der Expositionsgruppe 2 als Boxplot /  
Figure 4-2: Relative error of the measurement instruments in exposure group 2 as box plot

Referenzexposition /  
Reference Exposure : **1932 kBq·h / m<sup>3</sup>**

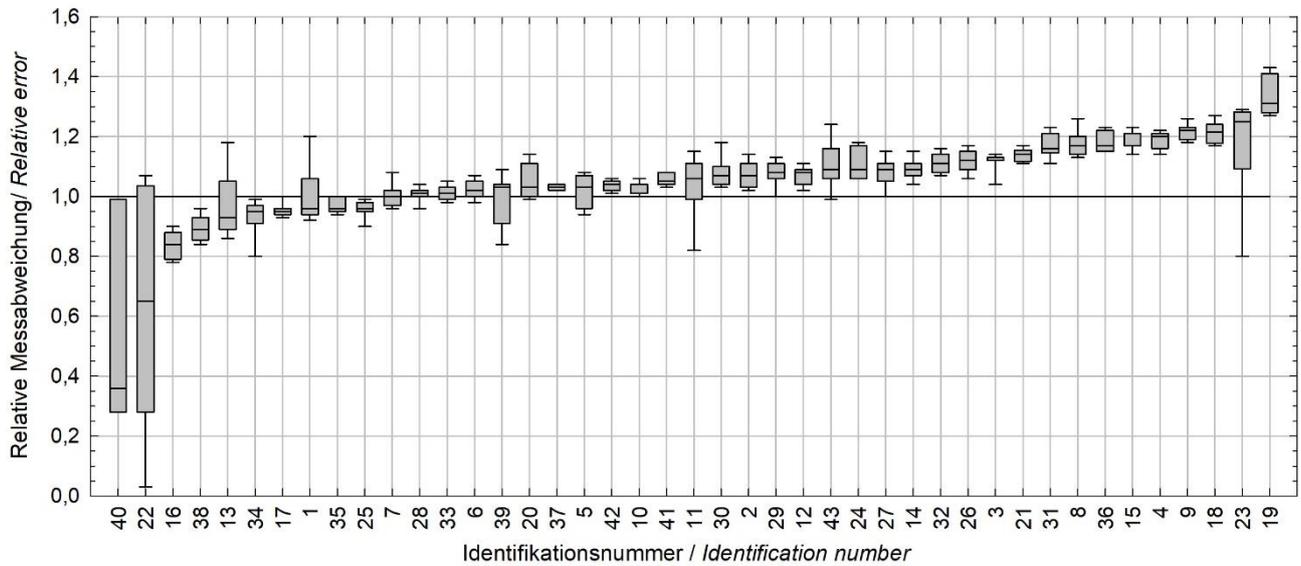


Abbildung 4-3 Relative Messabweichung der Messgeräte in der Expositionsgruppe 3 als Boxplot /  
Figure 4-3: Relative error of the measurement instruments in exposure group 3 as box plot

Referenzexposition /  
Reference Exposure : **2229 kBq·h / m<sup>3</sup>**

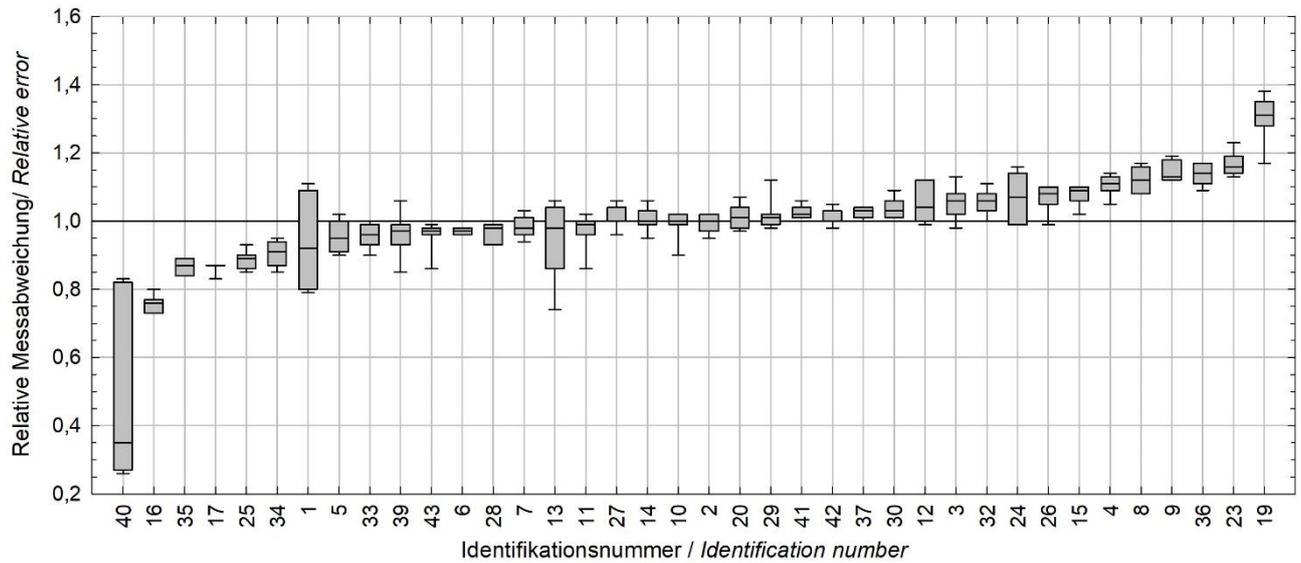


Abbildung 4-4 Relative Messabweichung der Messgeräte in der Expositionsgruppe 4 als Boxplot /  
Figure 4-4: Relative error of the measurement instruments in exposure group 4 as box plot

## 4.2 Eignungsprüfung / Proficiency testing

Die Leistungsbewertung erfolgt auf Basis von Erkenntnissen aus vergangenen Vergleichsprüfungen für Exposimeter und wissenschaftlich begründbaren Leistungserwartungen [12]. Damit kann bewertet werden, ob die Messunsicherheit des geprüften Messgerätetyps der teilnehmenden Institution in einem vorgegebenen zulässigen Bereich liegt. Die Anzahl der teilnehmenden Institutionen, Ergebnisse anderer teilnehmender Institutionen oder die von den Institutionen angegebene Messunsicherheit werden nicht für die Bewertung herangezogen. Somit ist das Bewertungskriterium unabhängig von zufälligen Variationen oder Änderungen in der Grundgesamtheit der teilnehmenden Institutionen.

In Abbildung 4-5 sind die Daten zur Leistungsbewertung der teilnehmenden Messgerätesets in der Auswertung in einem Boxplot gezeigt. Es handelt sich um 1154 Einzelmesswerte der 38 FKSD- und 5 Elektret-Sets aufgeteilt in die vier Expositionsgruppen. Dargestellt ist die Abweichung jedes gemessenen Expositionswertes vom jeweiligen Referenzwert als Verhältniswert. Weiterhin dargestellt ist der erlaubte Bereich der BFS-Eignungsprüfung 2024 innerhalb der sogenannten Trompetenkurve (siehe Anhang A6).

Die Leistungsbewertung eines teilnehmenden Sets hängt von der Gesamtzahl der Messgeräte in dem Set und der Anzahl der Ausreißer unter diesen Messwerten ab (siehe Anhang A6). Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über die erhaltenen Leistungsbewertungen. 39 der 43 teilnehmenden Sets haben die Leistungsbewertung „zufriedenstellend“ gemäß der Nomenklatur der entsprechenden Norm [16] erreicht. Drei der FKSD-Sets weisen mit jeweils mehr als zwei Ausreißern eine „nicht zufriedenstellende“ Leistung auf, ebenso wie eines der Elektret-Sets mit mehr als einem Ausreißer.

Ein Überblick über die Leistungsergebnisse der seit 2019 durchgeführten Eignungsprüfungen ist in Tabelle 4-2 dargestellt. Auf Grund der Auswahl der teilnehmenden Institutionen erlauben die vorliegenden Daten keine generelle Aussage über signifikante Leistungsänderungen der Gesamtheit der Institutionen.

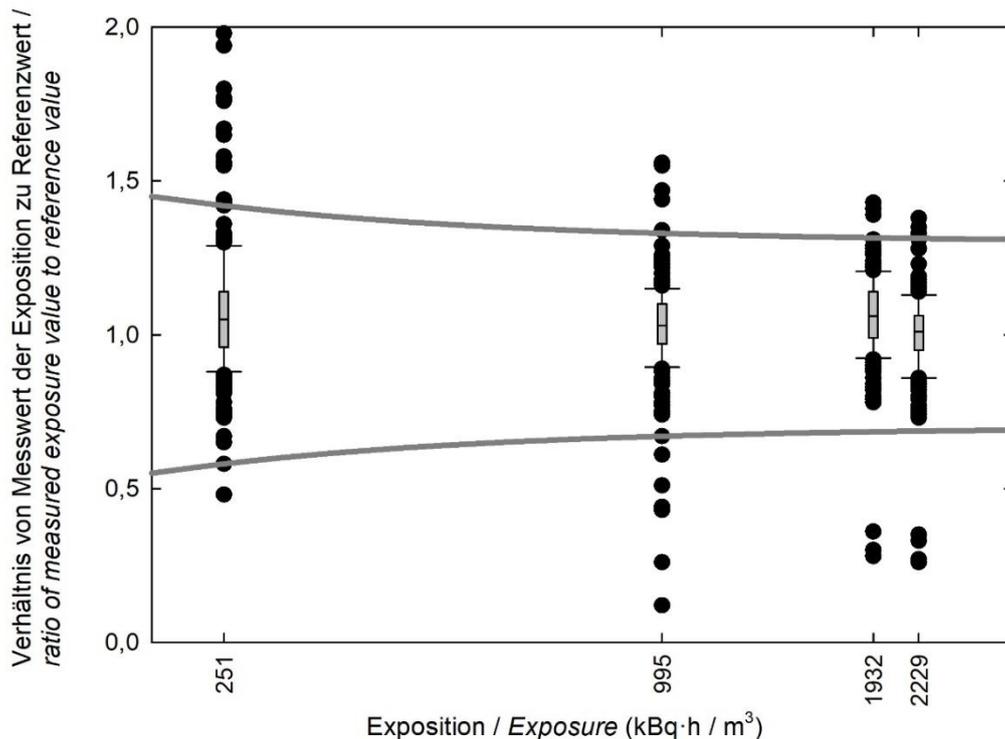


Abbildung 4-5 Abweichung der Messwerte der 43 Messgeräte-Sets in den vier Expositionsgruppen von den jeweiligen Referenzwerten (als Verhältnis) und erlaubter Bereich. / Figure 4-5 Deviation of the measurement values of 43 sets of measurement instruments in 4 exposure groups from the respective reference value (ratio) and region of acceptance.

The evaluation of performance is based on findings from previous interlaboratory comparisons for exosimeters and the expected performance based on scientific evaluation [12]. This allows an evaluation whether the measurement uncertainty of the tested instrument type of the participant lies within a stipulated confidence range or not. The number of participating laboratories, the results of other participants or the measurement uncertainties provided by participants do not contribute to the evaluation of performance. Thus, the evaluation criteria are independent of random variations or changes in the basic population (participants).

Figure 4-5 shows the proficiency testing data for all participating sets in a box plot. The plot summarizes 1154 measurements values of 38 FKSD as well as 5 electret sets split into the four exposition groups. The ordinate shows the ratio of the measurement value from the reference value as a measure of deviation. Additionally, a trumpet curve is depicted that shows the admissible range for the BfS proficiency testing (see appendix A6). Values outside of this range are denoted as outliers by definition.

The evaluation of the performance of an individual set depends on the number of outliers (see appendix A6). The distribution of outliers over the participating sets with solid-state nuclear track detectors and electrets is shown in table 4-1. In total, 39 of 43 participating sets have fulfilled the criteria of the proficiency testing and passed it successfully. Their performance is evaluated as “satisfactory” according to nomenclature of the according norm [16]. Three of the solid-state nuclear track detector sets show an “unsatisfactory” performance with more than two outliers each as well as one set with electret ionization chamber design with more than one outlier.

An overview on the performance results of the proficiency testings carried out since 2019 are shown in table 4-2. However, a general statement on significant changes of performance results cannot be deduced due to participant selection.

**Tabelle 4-1 Verteilung der Ausreißer der 43 Sets mit grau unterlegter Markierung des Bereiches zufriedenstellender Leistung sowie die Verteilung der Leistungsbewertung. / Table 4-1 Distribution of outliers over the 43 sets with highlighted range of satisfactory performance as well as distribution of performance**

	Anzahl der Sets / Number of sets		
Anzahl der Ausreißer Number of outliers	FKSD SSNTD	Elektret Electret	
0	33	4	
1	1	0	
2	1	0	
>2	3	1	
Leistungsbewertung Performance	FKSD SSNTD	Elektret Electret	Gesamt Total
zufriedenstellend satisfactory	35	4	39
nicht zufriedenstellend unsatisfactory	3	1	4

**Tabelle 4-2 Leistungsergebnisse der teilnehmenden Messgeräte-Sets bisheriger Eignungsprüfungen /  
 Table 4-2 Performance of the participating sets of measurement instruments in hitherto proficiency  
 testings**

Jahr Year	Gesamtanzahl der Sets Total number of sets	Leistung zufriedenstellend (Anzahl Sets / Anteil) Satisfactory Performance (number of sets / percentage)		Leistung nicht zufriedenstellend (Anzahl Sets / Anteil) Unsatisfactory Performance (number of sets / percentage)	
2019	31	29	94%	2	6%
2020	31	28	90%	3	10%
2021	41	41	100%	0	0%
2022	35	32	91%	3	9%
2023	42	39	93%	3	7%
2024	43	39	91%	4	9%

## **Danksagung / Acknowledgements**

Wir danken allen teilnehmenden Institutionen für die freundliche Zusammenarbeit, dem Fachgebiet UR 5 Dosimetrie und Spektrometrie des BfS für die Unterstützung der Messungen sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fachgebietes UR 1 Radonmetrologie, die bei Durchführung der 21. Vergleichs- und Eignungsprüfung 2024 mitgewirkt haben.

*Sincere thanks are given to all participants for the pleasant cooperation, to the BfS section UR 5 Dosimetry and Spectrometry for measuring assistance as well as to the members of section UR 1 Radon Metrology, who have contributed to this 21<sup>st</sup> interlaboratory comparison 2024.*

## Literaturverzeichnis / Bibliography

- [1] Digitales Online Repository und Informations-System (DORIS) des BfS, <https://doris.bfs.de>
- [2] 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
- [3] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 20. Mai 2021 (BGBl. I S. 1194) geändert worden ist
- [4] Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 8. Oktober 2021 (BGBl. I S. 4645) geändert worden ist
- [5] Strahlenschutzregister [www.bfs.de/ssr](http://www.bfs.de/ssr)
- [6] Liste der anerkannten Stellen im Internet, [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/service/radon-messung/anererkennung/anererkennung\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/service/radon-messung/anererkennung/anererkennung_node.html)
- [7] 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
- [8] DIN EN ISO/IEC 17043:2010-05, Konformitätsbewertung - Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen (ISO/IEC 17043:2010) / *Conformity assessment - General requirements for proficiency testing (ISO/IEC 17043:2010)*
- [9] DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017) / *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025:2017)*
- [10] [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/service/radon-messung/vergleichspruefung/vergleichspruefung\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/service/radon-messung/vergleichspruefung/vergleichspruefung_node.html)
- [11] <http://www.eptis.org>
- [12] 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
- [13] <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/labore/radon/radon>
- [14] Qualitätsmanagementhandbuch des Radon-Kalibrierlaboratoriums, Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Radonmetrologie
- [15] EA-4/02 M:2022, Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen (Deutsche Übersetzung)
- [16] DIN ISO 13528:2020-09, Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche (ISO 13528:2015, korrigierte Fassung 2016-10-15) / *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison (ISO 13528:2015, Corrected version 2016-10-15)*
- [17] Hartung, J., Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. R. Oldenburg Verlag GmbH, München 1986

## **Anlagenverzeichnis / List of Appendices**

A1	Teilnehmende Institutionen / <i>Participants</i>	25
A2	Messgerätetypen / <i>Types of measurement instruments</i>	28
A3	Ablaufschema / <i>Time course</i>	32
A4	Atmosphäre im Lagerraum / <i>Atmosphere in the storage room</i>	32
A5	Referenzatmosphären / <i>Reference atmospheres</i>	33
A6	Datenauswertung / <i>Analysis of data</i>	35
A7	Messwerte / <i>Measurement values</i>	37
A8	Ergebnisbericht (Muster) / <i>Report (example)</i>	43

## A1 Teilnehmende Institutionen / *Participants*

Tabelle A1-1 Institutionen, die an der Vergleichs- und Eignungsprüfung 2024 teilgenommen haben /  
*Table A1-1 Participants of the interlaboratory comparison and proficiency testing 2024*

Teilnehmende Institution <i>Participant</i>	Land <i>Country</i>	Adresse <i>Address</i>
Agenzia Provinciale per la protezione dell'ambiente Settore laboratorio	Italien <i>Italy</i>	via Lidorno, 1 38123 Trento (TN)
AGES - Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH Radon und Radioökologie	Österreich <i>Austria</i>	Wieningerstraße 8 A-4020 Linz
ALTRAC Prüflabor	Deutschland <i>Germany</i>	Dittersdorfer Straße 5 09661 Striegistal
ARPA VENETO Dipartimento Regionale Laboratori Unità Organizzativa Radioattività e Amianto (CRR CRA)	Italien <i>Italy</i>	Via Dominutti 8 37135 Verona
ARPACAL - DAP CATAZANZARO Laboratorio Fisico Ettore Majorana	Italien <i>Italy</i>	Via Lungomare Giovino di Catanzaro 88100 Catanzaro
Babes-Bolyai University Faculty of Environmental Science and Engineering - "Constantin Cosma" Radon Laboratory	Rumänien <i>Romania</i>	Fântânele Street, No. 30 RO-400294 Cluj-Napoca
BragaMetro, Lda	Portugal <i>Portugal</i>	Rua Nossa Senhora de Lurdes 67, Barcelos 4750-053 Alheira
Bundesamt für Strahlenschutz UR 1 Radonmetrologie	Deutschland <i>Germany</i>	Köpenicker Allee 120-130 10318 Berlin
Calidad Radiologica S.L.	Spanien <i>Spain</i>	Avenida Cerro del Aguila 3 Oficina 1B3 28703 San Sebastian de los Reyes (Madrid)
CIEMAT, E12	Spanien <i>Spain</i>	Avenida Complutense 40 28040 Madrid
Dept. Of Medicine, Epidemiology, Workplace and Environmental Hygiene Italian National Institut for Insurance against Accidents at Work (INAIL)	Italien <i>Italy</i>	Via Fontana Candida 1 00078 Monteporzio Catone (Rome)
Direction de la Santé Laboratoire des Analyses Radiologiques	Luxemburg <i>Luxembourg</i>	6B, rue Nicolas-Ernest Barblé L-1210 Luxembourg
ENEA Radon Service	Italien <i>Italy</i>	Via Martiri di Montesole, 4 40129 Bologna (BO)
Eurofins Radon Testing Sweden AB	Schweden <i>Sweden</i>	Robertsviksgatan 6a 972 41 Luleå
Horia Hulubei National Institute for Research and Development in Physics and Nuclear Engineering (IFIN- HH) Ionizing Radiation Metrology Laboratory (LMRI)	Rumänien <i>Romania</i>	No. 30, Reactorului Street 077125 Magurele, Ilfov
Hirosaki University Professor Shinji Tokonami Institute of Radiation Emergency Medicine	Japan <i>Japan</i>	66-1 Hon-Cho, Hirosaki, Aomori 036-8564

<b>Teilnehmende Institution</b> <i>Participant</i>	<b>Land</b> <i>Country</i>	<b>Adresse</b> <i>Address</i>
Institute of Public Health of North Macedonia Radiation Protection Department	Nord Mazedonien <i>North Macedonia</i>	Street: "50 Divizija-6", P.O. Box 577 1000 Skopje
INTA, Instituto Nacional de Tecnica Aeroespacial "Campus Esteban Terradas"	Spanien <i>Spain</i>	Carretera de Aljalvir Km. 4 28850 Torrejon de Ardoz, Madrid
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Campus Nord Sicherheit und Umwelt (SUM)	Deutschland <i>Germany</i>	SUM - DL, Gebäude 123 Hermann-von-Helmholtz- Platz 1 76344 Eggenstein- Leopoldshafen
Keskkonnaamet kliima- ja kiirgusosakond	Estland <i>Estland</i>	Kopli 76 10416 Tallinn
LABORAD SRL	Italien <i>Italy</i>	Via Maremmana III, 23D 00030 San Cesareo (RM)
Laboratorio di Radioattività Lab.RAD CeSMA Advanced Metrological and Technological Service Centre	Italien <i>Italy</i>	Corso Nicolangelo Protopisani 80146 Napoli (NA)
Laboratory of Environmental Radioactivity - University of A Coruna	Spanien <i>Spain</i>	Avenida 19 de febrero s/n. 15405 Ferrol (A Coruna)
Landesamt für Umwelt	Deutschland <i>Germany</i>	Kaiser-Friedrich-Str. 7 55118 Mainz
Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern	Deutschland <i>Germany</i>	Köpenicker Straße 325, Haus 41 12555 Berlin
LaRUC Universidad de Cantabria	Spanien <i>Spain</i>	c/ Cardenal Herrera Oria, s/n 39011 Santander (Cantabria)
Materialprüfungsamt NRW	Deutschland <i>Germany</i>	Marsbruchstraße 186 44287 Dortmund
National Center for Public Health and Pharmacy	Ungarn <i>Hungary</i>	Albert Flórián út 2-6 H-1097 Budapest
Niton srl	Italien <i>Italy</i>	Via Prima Strada 23H 20020 Lainate (MI)
Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK)	Finnland <i>Finland</i>	Jokiniemenkuja 1 01370 Vantaa
RADKOR Training Teaching Medical Production Energy Electricity Electronic and Information Technology Ltd. Co.	Türkei <i>Turkey</i>	Bahcelievler District 323/1. Street NO: 10-49/Z07 06830 Golbas/ANKARA
Radon Aware Group Ltd	Irland <i>Ireland</i>	7 Meadow Court Clone Road, Ennis Co. Clare
Radonanalys GJAB	Schweden <i>Sweden</i>	Ideon Science Park, Beta 5 SE 22370 Lund
Radonova Laboratories AB	Schweden <i>Sweden</i>	P.O. Box 15120 SE-75138 Uppsala
Radosys KFT.	Ungarn <i>Hungary</i>	Vegyész u. 17-25 1116 BUDAPEST

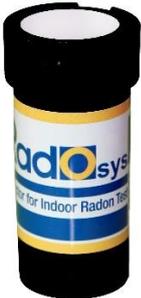
<b>Teilnehmende Institution</b> <b>Participant</b>	<b>Land</b> <b>Country</b>	<b>Adresse</b> <b>Address</b>
TECNORAD S.R.L. A Socio Unico	Italien <i>Italy</i>	Via Schiaparelli 5 37135 Verona (VR)
UKHSA Radon Dosimetry, CRE, Chilton, Didcot	Großbritannien <i>UK</i>	Chilton, Didcot OX11 0RQ
U-Series Srl	Italien <i>Italy</i>	Via Ferrarese, 131 40128 Bologna (BO)
ZVD d.o.o.	Slowenien <i>Slovenia</i>	Pot k izvuru 6 1260 Ljubljana Polje

## A2 Messgerätetypen / Types of measurement instruments

Tabelle A2-1 Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren oder Elektreten / Table A2-1: Measuring instruments using solid-state nuclear track detectors or electrets

Messgerätetyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke detector thickness [mm]	Gesamt-Detektorfläche total detector area [mm <sup>2</sup> ]	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area [mm <sup>2</sup> ]	Expositionsbereich range of exposure [kBq·h/m <sup>3</sup> ]
A		Makrofol®	0,3	201	127	20 – 5 000
			0,115	350	108	75 – 7 000
AA		CR-39	1	100	51	32 – 15 000
			0,9	100	52	20 – 2 000
AD		CR-39	1,5	290	160	25 – 50 000
AG		LR-115	0,012	200	200	50 – 3 000
AH		Makrofol®	0,25	2580,75	757	20 – 17 000

Messgerättyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke detector thickness [mm]	Gesamt-Detektorfläche total detector area [mm <sup>2</sup> ]	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area [mm <sup>2</sup> ]	Expositionsbereich range of exposure [kBq·h/m <sup>3</sup> ]
B		CR-39	1,5	440	210	25 – 50 000
			2	625	100	60 – 6 000
			10	k.A. / n.s.	k.A. / n.s.	25 – 20 000
			1,5	610	100	10 – 8 100
			1	1036	535	20 – 50 000
C		CR-39	1	100	51	32 – 15 000
			1	100	55,7	30 – 75 000
D		Makrofol®	0,3	4 000	600	100 – 15 000
GA		Elektret (Teflon®)	0,127	3421	k.A. / n.s.	50 – 3 000
			k.A. / n.s.	44,2	8,6	50 – 1 600
			k.A. / n.s.	k.A. / n.s.	k.A. / n.s.	50 – 7 000

Messgerättyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke detector thickness [mm]	Gesamt-Detektorfläche total detector area [mm <sup>2</sup> ]	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area [mm <sup>2</sup> ]	Expositionsbereich range of exposure [kBq·h/m <sup>3</sup> ]
GB		Elektret (Teflon®)	k.A. / n.s	k.A. / n.s	k.A. / n.s.	k.A. / n.s
			k.A. / n.s	k.A. / n.s	k.A. / n.s	16 – 3 526
L		CR-39	0,8	100	10	150 – 2 500
N		CR-39	1	100	51	32 – 15 000
			1	100	55,7	50 – 80 000
			0,9	100	52	20 – 20 000
			1	100	52	150 – 12 000
			1	100	50	40 – 8 000
			1	100	50	40 – 8 000
			k.A. / n.s.	100	52	50 – 10 000
			1	100	51,7	40 – 12 000
			1	100	50	120 – 5 000
			3	100	50	40 – 8 000
			1	100	100	150 – 2 000
			1	100	50	150 – 3 000
			k.A. / n.s.	50	50	40 – 8 000
k.A. / n.s.	100	46,8	45 – 6 000			

Messgerättyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke detector thickness [mm]	Gesamt-Detektorfläche total detector area [mm <sup>2</sup> ]	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area [mm <sup>2</sup> ]	Expositionsbereich range of exposure [kBq·h/m <sup>3</sup> ]
P		CR-39	1,5	625	100	<100 – 40 000
			1,5	625	100	50 – 5 000
			1,5	625	100	1 – 10 000
T		CR-39	1,4	900	42	20 – 15 000
U		CR-39	15	625	104	146 – 4673
			20	2 000	225	20 – 40 000
			1,5	225	76,7282	25 – 16 000
			1,5	625	225	100 – 3 000

Erläuterungen zur Tabelle A2-1: Die Angaben zum Detektor, zur Detektordicke, der Gesamt-Detektorfläche, der ausgewerteten Detektorfläche sowie zum Expositionsbereich sind Angaben der teilnehmenden Institution; k.A.: keine Angabe; n.z.: nicht zutreffend /

Explanations for table A2-1: Details on detector, detector thickness, total detector area, analysed detector area and range of exposure were indicated by the participants; / n.s.: not specified; n.a.: not applicable

### A3 Ablaufschema / Time course

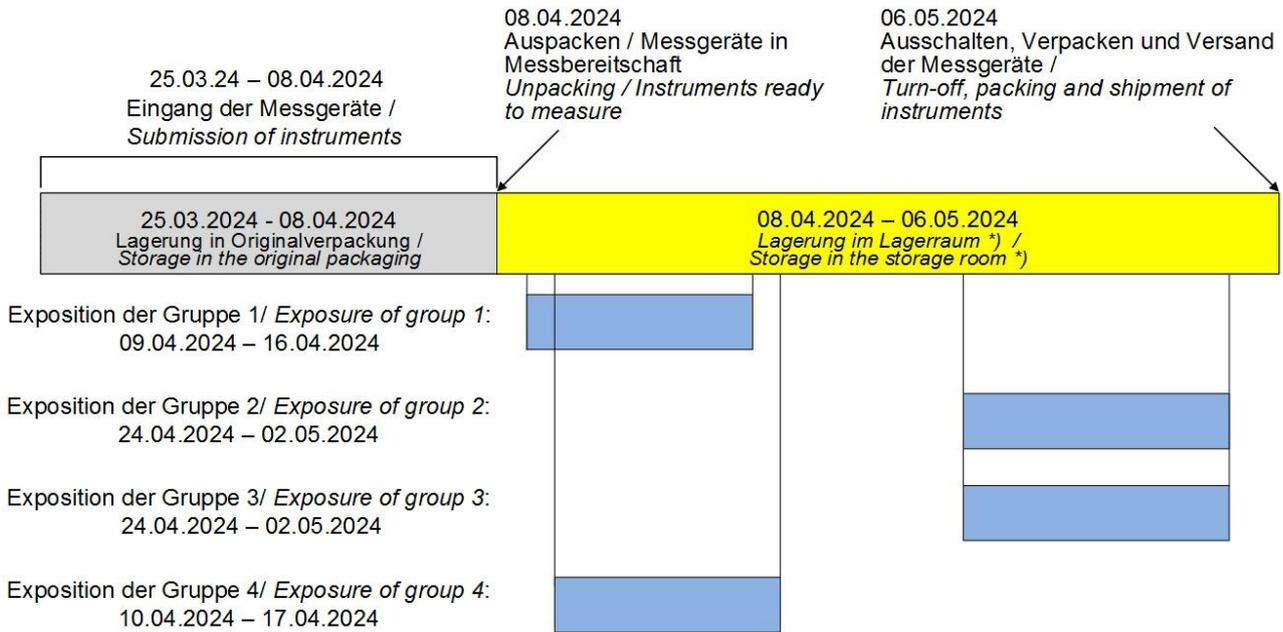


Abbildung A3-1 Ablaufschema / Figure A3-1: Time course

Erläuterung zu Abbildung A3-1/ Explanation for figure A3-1: \*) Messgeräte ausgepackt und messbereit / Measurement instruments unpacked and ready for measurement

### A4 Atmosphäre im Lagerraum / Atmosphere in the storage room

Tabelle A4-1 Parameter der Atmosphäre im Lagerraum / Table A4-1 Parameters of the atmosphere in the storage room

$C_{Rn}$ [Bq/m <sup>3</sup> ]	$U(C_{Rn})$ [Bq/m <sup>3</sup> ]	r.H. [%]	$U_{r.H.}$ [%]	T [°C]	$U_T$ [K]	p [hPa]	$U_p$ [hPa]	$\dot{H}^*(10)$ [nSv/h]	$U_{\dot{H}^*(10)}$ [nSv/h]
4	5	44	8	19	1	1002	3	74	6

Der Parameter  $C_{Rn}$  ist die mittlere Radon-Aktivitätskonzentration, die während der Lagerung der Messgeräte im Lagerraum ermittelt wurde.  $U(C_{Rn})$  ist die erweiterte Messunsicherheit der Messgröße Radon-Aktivitätskonzentration. 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 storage room with the expanded relative measurement uncertainty  $U(C_{Rn})$ . Further parameters given in the table are 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).

## A5 Referenzatmosphären / Reference atmospheres

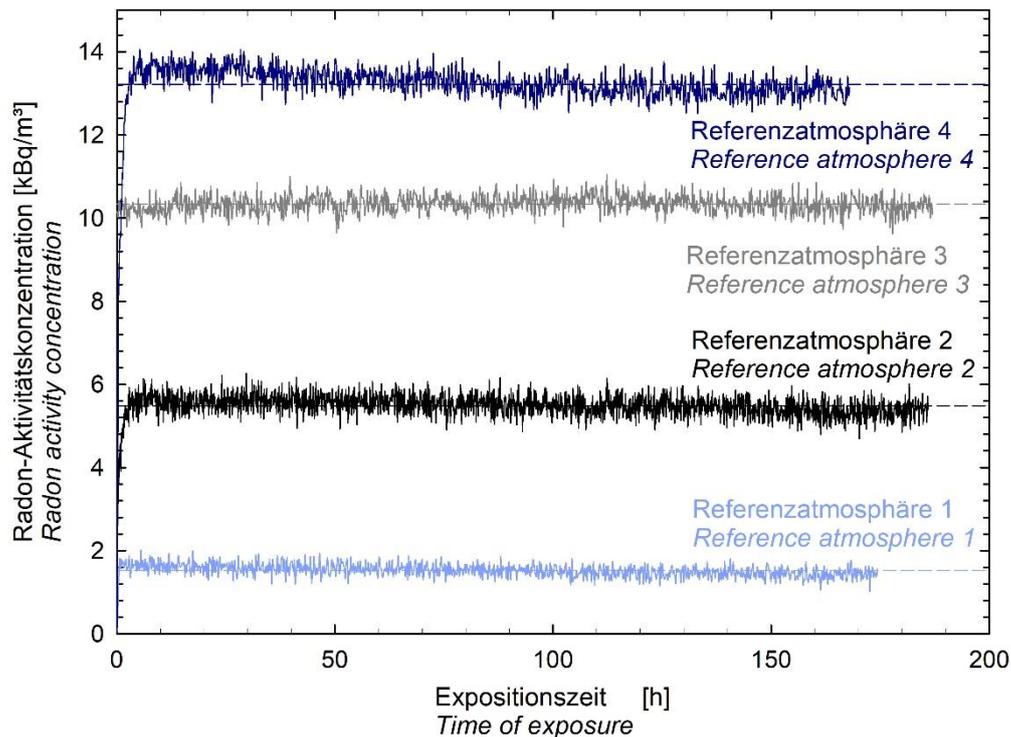


Abbildung A5-1 Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen der Referenzatmosphären / Figure A5-1 Radon activity concentration of the reference atmospheres over the time of exposure

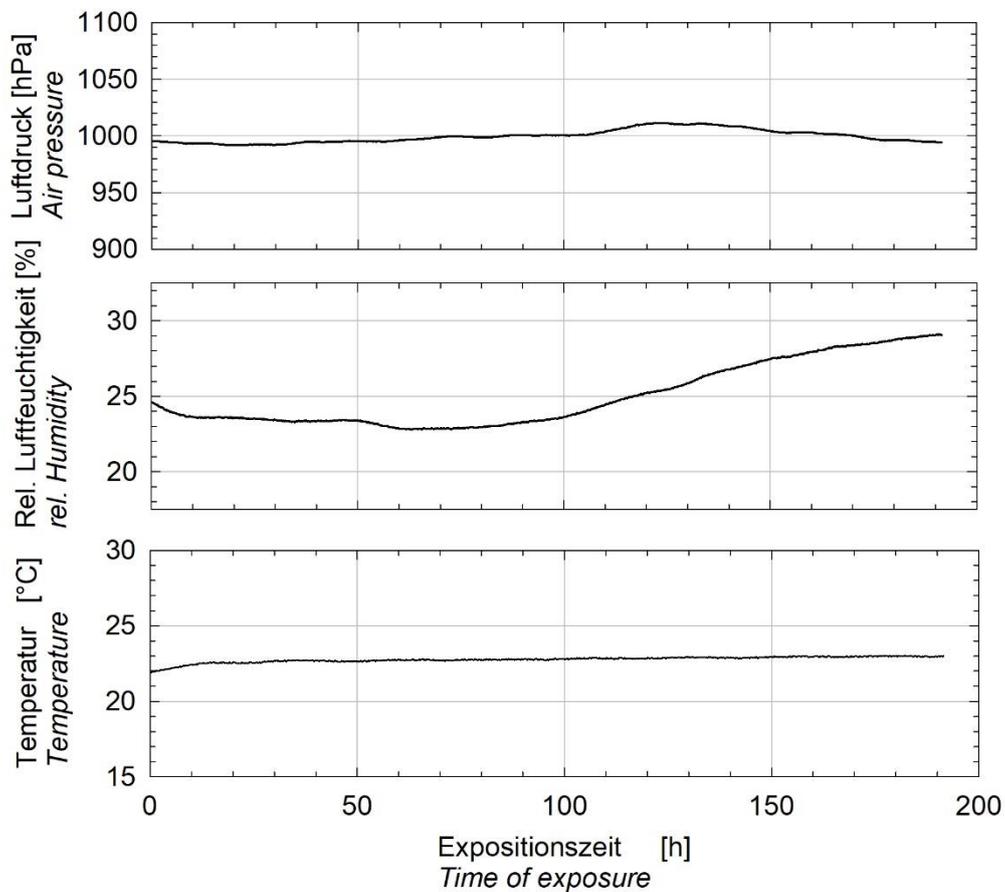


Abbildung A5-2 Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftdruck exemplarisch für Exposition 4 / Figure A5-2 Temperature, relative humidity and air pressure during exposure no. 4 as an example

**Tabelle A5-1 Werte der Radon-Referenzatmosphären / Table A5-1 Parameters of the radon reference atmospheres**

Nr. No.	Expositionszeitraum exposure period	t [h]	$C_{Rn,Ref}$ [kBq/m <sup>3</sup> ]	$U(C_{Rn,Ref})$ [kBq/m <sup>3</sup> ]	$P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	V [m <sup>3</sup> ]	T [°C]	r.H. [%]	p [hPa]
1	09.04.-16.04.2024	174,3	1,44	0,07	251	30	23	45	1013
2	24.04.-02.05.2024	186,0	5,35	0,27	995	30	23	26	1000
3	24.04.-02.05.2024	187,0	10,33	0,47	1932	11	23	25	1000
4	10.04.-17.04.2024	168,0	13,27	0,60	2229	11	23	31	1006

Erläuterung zu Tabelle A5-1:

Die Spalte Nr. gibt die Nummer der Expositionsgruppe an. Aus dem Expositionszeitraum ergibt sich die Expositionszeit t, in dem die Messgeräte in den Referenzatmosphären exponiert wurden. Der Parameter  $C_{Rn,Ref}$  ist der Mittelwert der Radon-Aktivitätskonzentration und  $P_{Rn,Ref}$  die Radon-Exposition, die sich aus dem Produkt von  $C_{Rn,Ref}$  und t ergibt. U ist die erweiterte relative Messunsicherheit der Radon-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 EA-4/02 M:2022 [15] 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 A5-1:*

*In the No. column the number of the exposure group is indicated.  $C_{Rn,Ref}$  is the mean activity concentration of radon during the exposure period yielding exposure time t.  $P_{Rn,Ref}$  is the exposure to radon as product of  $C_{Rn,Ref}$  and t. U is the expanded relative uncertainty of radon 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 EA-4/02 M:2022 [15]. The radon reference atmospheres in the volume V of the calibration containers are characterized by the climatic conditions: 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 ( $k = 2$ ).*

## A6 Datenauswertung / Analysis of data

Für jedes Set von Messgeräten eines Typs (siehe Anhang A2) wurden die im Folgenden dargestellten Berechnungen durchgeführt. Für die einzelnen Expositionsgruppen sowie die Transitgruppe wurden jeweils arithmetischer Mittelwert und relative Standardabweichung der Messwerte berechnet (siehe Formeln (1) und (2)). Für die Expositionsgruppen wurde zusätzlich die relative Messabweichung gemäß Gleichung (3) berechnet.

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

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

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

Für die Leistungsbewertung in der Eignungsprüfung wird das Verhältnis aus Messwert und Referenzwert berechnet. Dieses muss innerhalb eines zulässigen Bereiches liegen, der durch eine untere Grenze UG und eine obere Grenze OG definiert ist (Formel (4)) [6]. Für die Eignungsprüfung sind diese durch Formel (5) und (6) festgelegt.

$$UG \leq \frac{x_{g,i}}{X_g} \leq OG \quad (4)$$

$$UG = 0,7 - \frac{30}{X_g} \text{ und } OG = 1,3 + \frac{30}{X_g} \quad (5,6)$$

Messwerte eines Messgerätetyps liegen allgemein mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 90% in diesem Bereich, wenn eine bestimmte Anzahl von Ausreißern pro Set nicht überschritten wird [12]. Als Ausreißer werden Messwerte bezeichnet, die außerhalb des zulässigen Bereiches liegen sowie fehlende Messwerte. Die Anzahl der erlaubten Ausreißer pro Set beträgt 2 für Festkörperspurdetektoren mit je 28 exponierten Messgeräten sowie 1 für Elektrete mit je 18 exponierten Messgeräten. Die Leistung von Messgerätesets mit höchstens dieser Anzahl an Ausreißern unter den Messergebnissen wird als „zufriedenstellend“ bewertet. Andernfalls wird die Leistung als „nicht zufriedenstellend“ bewertet.

$g$  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-Exposition des Gerätes  $i$  der Expositionsgruppe  $g$   
Measurement value exposure to radon of instrument  $i$  in exposure group  $g$

$\bar{x}_g$  Arithmetischer Mittelwert der Radon-Exposition der Expositionsgruppe  $g$   
Arithmetic mean value of the exposure to radon 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-Exposition  $P_{Rn,Ref}$  für die Expositionsgruppe  $g$   
Reference value of the exposure to radon  $P_{Rn,Ref}$  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

*For each set of instruments of the same type of each participant (see A2) the above calculations have been performed. Arithmetic mean value and relative standard deviation of the determined radon exposures were calculated for each exposure group as well as the transit group according to equations (1) and (2). The relative error was calculated for exposure groups according to equation (3).*

*For proficiency testing the ratio of measurement value and reference value is calculated. This ratio is required to be within an admissible range defined by a lower limit (UG) and an upper limit (OG) (equation (4)) [6]. These limits are defined in equation (5) and (6), respectively.*

*Measurement values of a certain instrument type can be expected to be within this range with a probability of at least 90%, if the number of outliers for the set does not exceed a certain value [12]. An outlier is a measurement value outside of the admissible range as well as missing values. The allowed number of outliers is 2 for a set of solid-state nuclear track detectors with 28 exposed measurement instruments. For electrets, the allowed number is 1 for a set of 18 exposed measurement instruments. The performance of a set is evaluated as “satisfactory” if the number of outliers does not exceed this value. Otherwise, the performance is “not satisfactory”.*

## A7 Messwerte / Measurement values

Tabelle A7-1 Messwerte der Transitgruppe / Table A7-1: Measurement values of the transit group

ID-Nummer <i>ID-Number</i>	Messgeräte- anzahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Standardabweichung <i>Standard deviation</i> [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Transit-Effekt berücksichtigt? <i>Transit effect taken into account?</i>
1	7	16	10	Ja / Yes
2	7	40	7	Ja / Yes
3	7	5	4	Ja / Yes
4	7	9	4	Ja / Yes
5	7	-	-	Ja / Yes
6	7	29	6	Ja / Yes
7	7	40	22	Nein/ No
8	7	21	17	Ja / Yes
9	7	19	11	Ja / Yes
10	7	12	3	Ja / Yes
11	7	67	14	Ja / Yes
12	7	8	3	Ja / Yes
13	7	40	12	Ja / Yes
14	7	55	10	Ja / Yes
15	7	8	5	Ja / Yes
16	7	35	11	Ja / Yes
17	7	20	2	Ja / Yes
18	6	26	9	Ja / Yes
19	7	27	21	Ja / Yes
20	7	52	12	Ja / Yes
21	6	34	42	Ja / Yes
22	6	(1371)	(489)	Nein/ No
23	7	95	23	Nein/ No
24	7	8	6	Ja / Yes
25	7	6	2	Ja / Yes
26	7	13	4	Ja / Yes
27	7	16	5	k.A. / n.s.
28	7	-	-	Nein/ No
29	7	92	216	Nein/ No
30	7	20	7	Nein/ No
31	6	83	17	Ja / Yes
32	7	32	9	Nein/ No
33	7	23	3	Ja / Yes
34	7	13	9	Ja / Yes
35	7	13	4	Ja / Yes
36	7	53	17	Ja / Yes
37	7	14	4	Ja / Yes
38	6	39	4	Ja / Yes
39	7	30	10	Ja / Yes
40	7	156	25	Ja / Yes
41	7	24	4	Ja / Yes
42	7	7	1	Nein/ No
43	7	30	6	Ja / Yes

Erläuterungen zu Tabelle A7-1:

Jede teilnehmende Institution erhielt eine Information darüber, welche Messgeräte der Transitgruppe angehören. Es lag in ihrer Verantwortung, den Transit-Nulleffekt bei der Auswertung der exponierten Messgeräte in geeigneter Weise zu berücksichtigen. Für die Transitgruppe jedes Sets wurden Mittelwert und Standardabweichung der von den teilnehmenden Institutionen ermittelten Radon-Expositionen berechnet und gerundet angegeben. Wenn alle Werte unterhalb der Nachweisgrenze lagen, wurde kein Transit-Mittelwert angegeben. Werte in Klammern beruhen auf nicht plausiblen berichteten Werten.

Erläuterungen zu Tabelle A7-2 bis Tabelle A7-5:

Die Messwerte der Radon-Messgeräte wurden den jeweiligen Expositionsgruppen zugeordnet. Es lag in der Verantwortung der teilnehmenden Institution, bei der Angabe der Messwerte der exponierten Messgeräte den Transit-Nulleffekt in geeigneter Weise zu berücksichtigen. Für jede Expositionsgruppe wurden Mittelwert und Standardabweichung der von der teilnehmenden Institution ermittelten Radon-Expositionen 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 Radon-Exposition, der die Radon-Messgeräte in der Referenzatmosphäre ausgesetzt waren. Sie ist auf das nationale Normal zurückgeführt und wird als der richtige Wert der Radon-Exposition betrachtet. Die relative Messabweichung ist die Differenz aus dem Mittelwert und der Referenzexposition bezogen auf die Referenzexposition (Angabe in Prozent, aufgerundet). Mittelwert und Standardabweichung werden gerundet angegeben.

Elektretdetektoren wurden nur in den Expositionsgruppen 1, 2 und 3 exponiert.

*Details for table A7-1:*

*Each participant was informed which instruments belong to the transit group. The participants were responsible to take account of the transit background. For each transit group of a set mean value and standard deviation were calculated and rounded as indicated. In cases when all values were below the detection limit, no transit mean value was indicated. Values in parantheses are based on implausible reported values.*

*Details for table A7-2 to table A7-5:*

*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 BfS. It was in the responsibility of each participating laboratory to decide whether and how to take account of 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 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, rounded up). Mean value and standard deviation are rounded as indicated.*

*Electrets were exposed in exposure groups 1, 2, and 3 only.*

Tabelle A7-2 Ergebnisse der Expositionsgruppe 1 / Table A7-2: Results of exposure group 1

Expositionsgruppe Exposure group	ID-Nummer ID-Number	Messgeräteanzahl No. of instruments	Mittelwert Mean value [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Standardabweichung Standard deviation [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Referenzwert Reference value $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
1	1	7	205	22	251	-18
	2	7	240	13		-4,6
	3	7	257	16		2,6
	4	7	267	9		6,4
	5	7	267	13		6,5
	6	7	243	12		-3,1
	7	7	282	32		13
	8	7	286	35		14
	9	7	300	22		20
	10	7	262	11		4,3
	11	7	275	24		9,7
	12	7	242	16		-3,6
	13	7	297	25		19
	14	7	244	17		-2,8
	15	7	273	9		8,8
	16	7	210	108		-17
	17	7	245	7		-2,6
	18	6	294	12		18
	19	7	445	59		78
	20	7	271	42		8,0
	21	6	255	8		1,5
	23	7	376	99		50
	24	7	257	18		2,3
	25	7	238	10		-5,0
	26	7	275	5		9,4
	27	7	282	13		13
	28	7	237	27		-5,5
	29	7	282	27		13
	30	7	284	11		13
	32	7	302	11		21
	33	7	254	21		1,2
	34	7	240	14		-4,5
	35	7	219	8		-13
	36	7	346	25		38
	37	7	254	5		1,0
	38	6	265	48		5,4
	39	7	269	27		7,1
	40	7	196	24		-23
	41	7	266	12		6,1
	42	7	262	11		4,4
	43	7	261	25		4,1

Tabelle A7-3 Ergebnisse der Expositionsgruppe 2 / Table A7-3: Results of exposure group 2

Expositionsgruppe Exposure group	ID-Nummer ID-Number	Messgeräteanzahl No. of instruments	Mittelwert Mean value [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Standardabweichung Standard deviation [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Referenzwert Reference value $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
2	1	7	898	62	995	-9,8
	2	7	992	24		-0,3
	3	7	1041	30		4,7
	4	7	1077	53		8,2
	5	7	1003	18		0,8
	6	7	972	34		-2,3
	7	7	1046	48		5,2
	8	7	1132	21		14
	9	7	1182	50		19
	10	7	1023	17		2,8
	11	7	1110	63		12
	12	7	1043	42		4,8
	13	7	1030	75		3,5
	14	7	1003	59		0,8
	15	7	1118	25		13
	16	7	808	68		-19
	17	7	1018	70		2,4
	18	6	1114	12		12
	19	7	1421	117		43
	20	7	980	137		-1,5
	21	6	1074	31		7,9
	22	9	1265	810		28
	23	7	908	437		-8,7
	24	7	1091	81		9,6
	25	7	920	39		-7,6
	26	7	1093	36		9,8
	27	7	1039	35		4,4
	28	7	1021	51		3,0
	29	7	1000	31		0,5
	30	7	1070	29		7,5
	31	9	1129	51		13
	32	7	1070	58		8,0
	33	7	1002	31		0,7
	34	7	926	70		-7,0
	35	7	880	66		-12
	36	7	1138	42		15
	37	7	945	13		-5,0
	38	6	1060	171		6,5
	39	7	964	93		-3,1
	40	7	605	262		-40
	41	7	1052	33		5,7
	42	7	952	33		-4,3
	43	7	1046	80		5,1

Tabelle A7-4 Ergebnisse der Expositionsgruppe 3 / Table A7-4: Results of exposure group 3

Expositionsgruppe Exposure group	ID-Nummer ID-Number	Messgeräteeinheit No. of instruments	Mittelwert Mean value [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Standardabweichung Standard deviation [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Referenzwert Reference value $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
3	1	7	1930	196	1932	-0,1
	2	7	2073	83		7,3
	3	7	2159	64		12
	4	7	2293	60		19
	5	7	1961	103		1,5
	6	7	1974	58		2,2
	7	7	1943	77		0,5
	8	7	2277	85		18
	9	7	2355	50		22
	10	7	1993	39		3,2
	11	7	1993	211		3,2
	12	7	2065	61		6,9
	13	7	1869	218		-3,2
	14	7	2102	66		8,8
	15	7	2284	59		19
	16	7	1617	85		-17
	17	7	1846	44		-4,5
	18	6	2346	70		22
	19	7	2591	132		35
	20	7	2028	119		5,0
	21	6	2201	43		14
	22	9	1255	791		-36
	23	6	2273	366		18
	24	7	2136	100		11
	25	7	1851	58		-4,2
	26	7	2165	75		12
	27	7	2096	90		8,5
	28	7	1941	42		1,0
	29	7	2081	78		7,7
	30	7	2088	100		8,1
	31	9	2258	75		17
	32	7	2148	65		12
	33	7	1951	51		1,0
	34	7	1804	124		-6,6
	35	7	1874	47		-3,0
	36	7	2278	64		18
	37	7	1989	22		3,0
	38	6	1730	86		-11
	39	7	1918	165		-0,7
	40	7	1134	683		-42
	41	7	2035	41		5,3
	42	7	2002	38		3,6
	43	7	2128	155		10

Tabelle A7-5 Ergebnisse der Expositionsgruppe 4 / Table A7-5: Results of exposure group 4

Expositionsgruppe Exposure group	ID-Nummer ID-Number	Messgeräteanzahl No. of instruments	Mittelwert Mean value [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Standardabweichung Standard deviation [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Referenzwert Reference value $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
4	1	7	2115	288	2229	-5,1
	2	7	2220	56		-0,4
	3	7	2347	101		5,3
	4	7	2467	71		11
	5	7	2138	99		-4,1
	6	7	2165	24		-2,9
	7	7	2199	74		-1,3
	8	7	2502	75		12
	9	7	2549	65		15
	10	7	2212	99		-0,7
	11	7	2163	114		-3,0
	12	7	2342	115		5,1
	13	7	2111	256		-5,3
	14	7	2234	77		0,2
	15	7	2394	63		7,4
	16	7	1689	54		-25
	17	7	1925	33		-14
	19	7	2904	145		31
	20	7	2258	81		1,3
	23	7	2602	83		17
	24	7	2377	162		6,6
	25	7	1979	59		-11
	26	7	2381	83		6,8
	27	7	2262	74		1,5
	28	7	2150	61		-3,5
	29	7	2272	100		1,9
	30	7	2314	65		3,8
	32	7	2349	81		5,4
	33	7	2139	79		-4,0
	34	7	2011	77		-9,8
	35	7	1928	49		-14
	36	7	2527	70		14
	37	7	2282	29		2,4
39	7	2137	142	-4,1		
40	7	1163	614	-48		
41	7	2278	46	2,2		
42	7	2272	51	1,9		
43	7	2137	95	-4,1		

## A8 Ergebnisbericht (Muster) / Report (example)



Bundesamt  
für Strahlenschutz

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)  
Fachgebiet UR 1 - Radonmetrologie  
Köpenicker Allee 120-130  
10318 Berlin  
Deutschland

Datum / Date: 16.07.2024

Bericht-ID / Report ID: VPrf2024\_XXX1

Seite 1 von 8 / Page 1 of 8

### BfS-Vergleichs- und Eignungsprüfung für Radon-Exposimeter 2024 Ergebnisse

*BfS Interlaboratory Comparison and Proficiency Testing of Radon Exposimeters 2024  
Results*

Teilnehmende Institution: <i>Participant</i>	Radon-Messlabor Alleestr. 1 10000 Berlin		Laborcode: <i>Laboratory code</i> <b>XXX</b>
			Set Nummer: <i>Set number</i> <b>1</b>
Gerätetyp: <i>Type of device</i>	Exposimeter mit Festkörperspurdetektor <i>Exposimeter with solid state nuclear track detector</i> <b>BfS-FKSD</b>		Bauform: <i>Design</i> <b>Y</b>
Anzahl der Geräte: <i>Number of devices</i>	<b>35</b>	Geräte-Codes: <i>Code of devices</i>	<b>XXX101-XXX135</b>
Detektormaterial: <i>Detector material</i>	<b>Makrofol®</b>	Detektordicke: <i>Detector thickness</i>	<b>0,3 mm</b>
Gesamt-Detektorfläche: <i>Total detector size</i>	<b>4000 mm<sup>2</sup></b>	Ausgewertete Detektorfläche: <i>Analyzed detector size</i>	<b>600 mm<sup>2</sup></b>
Bereich der Radonexposition in der Vergleichsprüfung: <i>Range of the exposure to radon in the interlaboratory comparison:</i>		<b>150 - 3000 kBq·h/m<sup>3</sup></b>	
Eingangsdatum der Messergebnisse: <i>Date of receipt of results</i>		<b>29.05.2024</b>	
Identifikationsnummer im Gesamtbericht: <i>Identification number in comprehensive report</i>		<b>00</b>	
Die Leistung gemäß des auf Seite 5 beschriebenen Eignungsprüfungsverfahrens wird bewertet als <i>The performance is evaluated on basis of the proficiency testing scheme described on page 5 as</i> <input checked="" type="checkbox"/> zufriedenstellend / <i>satisfactory</i> . <input type="checkbox"/> nicht zufriedenstellend / <i>unsatisfactory</i> .			
Datum <i>Date</i>	Koordinatorin <i>Coordinator</i>	Bearbeitende Personen <i>Persons in charge</i>	
<b>16.07.2024</b>	<b>Dr. F. Friedrich-Kees</b>	<b>F. Schneider</b>	<b>F. Tugnoli</b>

### Verfahren der Vergleichsprüfung / Procedure of the Interlaboratory Comparison

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 Messgrößen Aktivitätskonzentration von Radon-222 in Luft und potenzielle 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.

Zur Vergleichsprüfung zugelassen wurden nur Detektoren geschlossenen Typs (mit Diffusionsbarriere). Die von der teilnehmenden Institution eingesandten Geräte wurden in 5 Gruppen mit jeweils 7 Geräten aufgeteilt. Eine Exposimetergruppe 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 teilnehmende Institution zurückgesandt.

Die Expositionsdaten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Das Datum gibt den Zeitraum an, in dem die Exposimeter 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 von  $C_{Rn,Ref}$  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 EA-4/02 M [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.

Zahlenangaben im Bericht erfolgen mit Komma als Dezimaltrennzeichen.

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

*In total four Radon-222 reference atmospheres were generated in different stainless-steel containers.*

*Only radon exposimeters of closed type (with diffusion barrier) were accepted for participation in the interlaboratory comparison. The exposimeters submitted by the participant were separated into 5 groups with 7 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 exposure the instruments were returned to the participant for evaluation without disclosing the exposure data.*

*Exposure data are summarised in table 1. The exposure period 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 EA-4/02 M [1] and GUM [2]. Additionally, mean values of temperature ( $T$ ), relative humidity ( $r.H.$ ) and air pressure ( $p$ ) of reference atmospheres are given.*

*Numbers are given with a comma as decimal separator.*

Tabelle 1 Expositionsdaten / Table 1: Exposure data

Expositions- gruppe Exposure group	Datum (von – bis) Date (from – to) dd.mm.yyyy	t [h]	$C_{Rn,Ref}$ [kBq/m <sup>3</sup> ]	$U(C_{Rn,Ref})$ [kBq/m <sup>3</sup> ]	$P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	T [°C]	r.H. [%]	$\rho$ [hPa]
1	09.04.-16.04.2024	174,3	1,44	0,07	251	23	45	1013
2	24.04.-02.05.2024	186,0	5,35	0,27	995	23	26	1000
3	24.04.-02.05.2024	187,0	10,33	0,47	1932	23	25	1000
4	10.04.-17.04.2024	168,0	13,27	0,60	2229	23	31	1006

### Lagerbedingungen der Transitgruppe / Storage conditions of the transit group

Zu Beginn der Expositionsphase wurden alle Radonexposimeter ausgepackt und im messbereiten Zustand in einen Raum mit geringer Radon-222-Aktivitätskonzentration gebracht (Lageraum). Die Exposimeter der Transitgruppe wurden über den gesamten Zeitraum der Expositionsphase (28 Tage) in diesem Raum gelagert. Alle anderen Geräte wurden vor und nach der Exposition in den Referenzatmosphären ebenfalls im Lageraum aufbewahrt. Am Ende der Expositionsphase wurden alle exponierten und Transit-Geräte zur gleichen Zeit aus dem Lageraum entnommen und verpackt. Die Parameter der Atmosphäre im Lageraum sind in Tabelle 2 dargestellt.

*At the beginning of the exposure term all exposimeters were unpacked, made ready for measurement and brought into a room with low radon-222 activity concentration (storage room). The exposimeters of the transit group were stored over the entire exposure term (28 days) in this storage room. All other exposimeters were stored in this room before the beginning and after the end of the exposures in reference atmospheres. At the end of the exposure term, all exposed and transit exposimeters 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 storage-room atmosphere

$C_{Rn}$ [Bq/m <sup>3</sup> ]	$U(C_{Rn})$ [Bq/m <sup>3</sup> ]	r.H. [%]	$U_{r.H.}$ [%]	T [°C]	$U_T$ [K]	$\rho$ [hPa]	$U_\rho$ [hPa]	$\dot{H}^*(10)$ [nSv/h]	$U_{\dot{H}^*(10)}$ [nSv/h]
4	5	44	8	19	1	1002	3	74	6

Der Parameter  $C_{Rn}$  ist die mittlere Radon-222-Aktivitätskonzentration, die während der Lagerung der Exposimeter im Lageraum ermittelt wurde.  $U(C_{Rn})$  ist die erweiterte Messunsicherheit der Messgröße Radon-222-Aktivitätskonzentration. 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  $\rho$  und erweiterte Messunsicherheit des Luftdrucks  $U_\rho$  ( $k=2$ ). 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-222 activity concentration determined during the storage of exposimeters in the storage room.  $U(C_{Rn})$  is the expanded relative measurement uncertainty of the radon-222 activity concentration. Furthermore, the table lists 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  $\rho$  and expanded measurement uncertainty of air pressure  $U_\rho$  ( $k=2$ ). The parameter  $\dot{H}^*(10)$  is the mean ambient dose rate with the expanded measurement uncertainty  $U_{\dot{H}^*(10)}$  ( $k=2$ ).*

### Messergebnisse / Measurement results

Die teilnehmende Institution hat die Messwerte der Radon-222-Exposition für jedes Gerät ermittelt und dem BfS vor Veröffentlichung der Referenzwerte mitgeteilt. Diese Messwerte sind in Tabelle 4 entsprechend der Zugehörigkeit zu den Expositionsgruppen dargestellt. Für die Expositionsgruppen 1 bis 4 sind die Referenzwerte der Radon-222-Exposition  $P_{Rn,Ref}$  angegeben. Jeder Referenzwert ist auf ein nationales Normal zurückgeführt und wird als der richtige Wert der Radonexposition betrachtet.

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

*The participant has determined the measurement values of exposure to radon-222 for each individual instrument and has reported them to the BfS before announcement of reference values. These measurement values are given in table 4 according to the affiliation to 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 a national standard and is considered to be the conventional true value used for the exposure group.*

*The participant was not informed by BfS which exposimeter belongs to which exposure group. Only the detector numbers of the transit group were announced. The transit group comprises exposimeters which were not exposed in reference atmospheres but transported and stored under the same conditions like all other exposimeters. It was the responsibility of the participant to decide whether and how to take the transit background into account.*

### Datenauswertung / Analysis of data

Für die Expositionsgruppen  $g$  und die Transitgruppe wurden jeweils Mittelwert und relative Standardabweichung der Messwerte gemäß Gleichung (1) und (2) berechnet. 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 4 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 4 mean value, standard deviation and relative error are calculated and 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:  $g = 0$ )

$n$  Anzahl der Messwerte der entsprechenden Expositionsgruppe  
Number of measurement values of the corresponding exposure group

$x_{g,i}$	Messwert der Radon-222-Exposition des Expositometers $i$ der Expositionsgruppe $g$ <i>Measurement value of the exposure to radon-222 of expositometer <math>i</math> in exposure group <math>g</math></i>
$\bar{x}_g$	Arithmetischer Mittelwert der Radon-222-Exposition der Expositionsgruppe $g$ <i>Arithmetic mean value of the exposure to radon-222 of exposure group <math>g</math></i>
$RSD_g$	Relative Standardabweichung der Messwerte der Expositionsgruppe $g$ in Prozent <i>Relative standard deviation of the measurement values of exposure group <math>g</math> 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 <math>P_{Rn,Ref}</math> for exposure group <math>g</math></i>
$RERR_g$	Relative Messabweichung der Messwerte der Expositionsgruppe $g$ vom Referenzwert in Prozent <i>Relative error of the measurement values of exposure group <math>g</math> from the reference value in percent</i>

### Verfahren der Eignungsprüfung / Proficiency Testing Scheme

Die Eignungsprüfung findet auf Grundlage der Daten der Vergleichsprüfung statt. Eine zufriedenstellende Leistung ist gegeben, wenn nicht mehr als die in Tabelle 3 dargestellte Anzahl der ermittelten Radon-222-Expositionswerte (=Messwerte) außerhalb des Bereiches der maximal zulässigen Abweichung liegen [3]. Der Bereich der maximal zulässigen Abweichung ist definiert in Gleichung (4).

Für jede Expositionsgruppe  $g$  wurde der Wert für die untere Grenze  $UG_g$  und die obere Grenze  $OG_g$  ermittelt. Werte von  $x_{g,i}/X_g$ , die außerhalb dieser Grenzen liegen, sind in Tabelle 5 rot markiert. Übersteigt die Summe der Ausreißer für alle Gruppen  $g$  nicht den in Tabelle 3 genannten Wert, wird die Leistung in der Eignungsprüfung als „zufriedenstellend“ bewertet. Andernfalls wird die Leistung als „nicht zufriedenstellend“ bewertet. Fehlende Messwerte werden als Ausreißer gewertet.

*The proficiency testing is performed on basis of the results of the interlaboratory comparison. Satisfactory performance is given if the number of radon-222 exposure values (=measurement values) outside of the maximum admissible deviation range does not exceed the number given in table 3 [3]. The maximum admissible deviation range is defined in equation 4.*

*The lower limit  $UG_g$  and the upper limit  $OG_g$  are determined for each exposure group  $g$ , respectively. Values  $x_{g,i}/X_g$  that are outside of these limits are marked in red in table 5. If the total number of outliers does not exceed the number given in table 3 the performance is evaluated as “satisfactory”. Otherwise, the performance is evaluated as “unsatisfactory”. Missing values are treated as outliers.*

$$UG_g \leq \frac{x_{g,i}}{X_g} \leq OG_g \quad \text{mit/with } UG_g = 0,7 - \frac{30}{X_g} \quad \text{und/and } OG_g = 1,3 + \frac{30}{X_g} \quad (4)$$

$g$	Nummer der Expositionsgruppe ( $g = 1 \dots 4$ , Transitgruppe: $g = 0$ ) <i>Number of the exposure group (<math>g = 1 \dots 4</math>, transit group: <math>g = 0</math>)</i>
$x_{g,i}$	Messwert $P_{mess}$ der Radon-222-Exposition des Gerätes $i$ der Expositionsgruppe $g$ <i>Measurement value <math>P_{mess}</math> of the exposure to radon-222 of instrument <math>i</math> in exposure group <math>g</math></i>
$X_g$	Referenzwert der Radon-222-Exposition $P_{Rn,Ref}$ für die Expositionsgruppe $g$ <i>Reference value of the exposure to radon-222 <math>P_{Rn,Ref}</math> for exposure group <math>g</math></i>
$UG_g$	Untere Grenze für die Expositionsgruppe $g$ <i>Lower limit for the exposure group <math>g</math></i>
$OG_g$	Obere Grenze für die Expositionsgruppe $g$ <i>Upper limit for the exposure group <math>g</math></i>

Tabelle 3: Zulässige Anzahl an Ausreißern  
*Table 3: Admissible number of outliers*

Messgerättyp / <i>Detector type</i>	Anzahl exponierter Geräte / <i>Number of exposed devices</i>	Anzahl Ausreißer / <i>Number of outliers</i>
FKSD / SSNTD	28	2

### Gesamtbericht

Das BfS veröffentlicht einen Gesamtbericht zur Vergleichs- und Eignungsprüfung 2024, der die pseudonymisierten Ergebnisse aller Teilnehmer enthält.

*BfS publishes a comprehensive report on the interlaboratory comparison and proficiency testing 2024. This report contains the pseudonymized results of all participants.*

### Literaturangaben / References:

- [1] EA-4/02 M: 2022 „Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration“, EA (European Accreditation), re-published 4th April 2022\_rev 03
- [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-Vergleichs- und Eignungsprüfung für Radon-Exposimeter 2024: Vergleichsprüfung BfS Interlaboratory Comparison and Proficiency Testing of Radon Exposimeters 2024: Interlaboratory Comparison

Tabelle 4 Messergebnisse für Laborcode XXX, Setnummer 1, Bauform Y **Fehler!** Verweisquelle konnte nicht gefunden werden., Identifikationsnummer im Gesamtbericht 00  
Table 4: Measurement results for laboratory code XXX, set 1, design Y, identification number in comprehensive report 00

Expositionsgruppe/ Exposure group	Transitgruppe/ Transit group		1		2		3		4	
	Messgeräte- Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication [kBq·h/m <sup>3</sup> ]								
Referenzwert der Rn-222-Exposition/ Reference exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m <sup>3</sup> ]										
1	XXX102	8	XXX106	255	XXX101	968	XXX103	2033	XXX108	2227
2	XXX105	6	XXX114	274	XXX112	941	XXX104	2004	XXX109	2262
3	XXX107	5	XXX115	279	XXX122	926	XXX118	1984	XXX110	2304
4	XXX111	6	XXX120	253	XXX130	1004	XXX121	1942	XXX113	2345
5	XXX116	8	XXX125	259	XXX131	982	XXX123	1971	XXX117	2285
6	XXX126	9	XXX128	263	XXX133	914	XXX124	2038	XXX119	2191
7	XXX127	8	XXX132	251	XXX135	928	XXX134	2039	XXX129	2287
Mittelwert/ Mean value [kBq·h/m <sup>3</sup> ]		7		262		952		2002		2272
Relative Standardabweichung/ Relative standard deviation [%]		21		4,2		3,6		1,9		2,3
Relative Messabweichung / Relative error [%]				4,4		-4,3		3,6		1,9

Der Expositionswert der Radon-Exposimeter der Transitgruppe wurde bei der Auswertung durch den Teilnehmer berücksichtigt. /  Ja / Yes  Nein / No  
The exposure value of the radon exposimeters of the transit group was taken into account by the participant.

## BFS-Vergleichs- und Eignungsprüfung für Radon-Exposimeter 2024: Eignungsprüfung BFS Interlaboratory Comparison and Proficiency Testing of Radon Exposimeters 2024: Proficiency Testing

Tabelle 5 Leistung in der Eignungsprüfung nach beschriebenen Verfahren (S.5) für die BFS Vergleichsprüfung Bericht-ID VPrf2024\_XXX1  
Table 5: Performance in proficiency testing according to the described scheme (p.5) for the BFS interlaboratory comparison report ID VPrf2024\_XXX1

Expositionsgruppe / Exposure group	1		2		3		4	
	Messgeräte- Code/ Code of device	$P_{mess}/P_{Rn,Ref}$						
Referenzwert der Rn-222-Exposition/ Reference exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	<b>251</b>		<b>995</b>		<b>1932</b>		<b>2229</b>	
UG	0,6		0,7		0,7		0,7	
OG	1,4		1,3		1,3		1,3	
Anzahl der Ausreißer / Number of outliers	0		0		0		0	
Gesamtanzahl der Ausreißer / Total number of outliers	0							
Erlaubte Anzahl an Ausreißern / Allowed number of outliers	2							
Leistung in der Eignungsprüfung (zufriedenstellend / nicht zufriedenst.) / Performance in Proficiency testing (satisfactory / unsatisfactory)					zufriedenstellend/ satisfactory			

Ende des Berichtes / end of report

## **Begriffe und Definitionen / *Terms and Definitions***

### **Anerkannte Stelle / *Recognised body***

Eine durch das Bundesamt für Strahlenschutz anerkannte Stelle zur Messung der Radon-Aktivitätskonzentration an Arbeitsplätzen nach § 127 Abs. 1 bzw. § 128 Abs. 2 des Strahlenschutzgesetzes, welche die Bedingungen nach § 155 Abs. 4 der Strahlenschutzverordnung erfüllt.

*A measurement institution recognised by the Federal Office for Radiation Protection for the measurement of radon activity concentration at workplaces according to section 127 (1) or section 128 (2) of the Radiation Protection Act that fulfills the requirements of section 155 (4) of the Radiation Protection Ordinance.*

### **Bauform / *Instrument type***

Details zu den verschiedenen Bauformen, die an der aktuellen Vergleichsprüfung teilgenommen haben, finden sich in Anhang A2.

*Details on the different instrument designs that have participated in the current interlaboratory comparison are listed in appendix A2.*

### **Behördlich bestimmte Messstelle / *Measuring body***

Messstelle zur Bestimmung der beruflichen Exposition durch Radon, welche nach § 169 des Strahlenschutzgesetzes durch die zuständige Behörde bestimmt wird.

*Measuring bodies for the determination of the occupational exposure by radon determined by the competent authority according to section 169 of the Radiation Protection Act.*

### **Boxplot / *Box plot***

Der Boxplot [17] ist eine grafische Darstellung, bei der mindestens 50 % der Ergebnisse innerhalb der Box liegen. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an. Linien unterhalb und oberhalb der Box geben das 5%- bzw. 95%-Perzentil an. Einzelne Ergebnisse außerhalb dieses Bereiches können als Punkte angezeigt sein.

*A box plot [17] is a graphic presentation. At least 50% of the results are within the box. The black line within the box indicates the median value. Lines ("whisker") below and above the box indicate the 5% and 95% percentile, respectively. Individual results outside of this range can be indicated as points.*

### **Eignungsprüfung / *Proficiency testing***

Bewerten der Leistung eines Teilnehmers nach zuvor aufgestellten Kriterien durch Vergleiche zwischen Laboratorien (DIN EN ISO/IEC 17043:2010-05)

*Evaluation of participant performance against pre-established criteria by means of interlaboratory comparison (DIN EN ISO/IEC 17043:2010-05)*

### **Exposimeter / *Exposimeter***

Ein Exposimeter ist ein nichtelektronisches, integrierendes Messgerät mit passiver Probenahme und ohne direkte Messwertanzeige. Die Messergebnisse werden nach der Probenahme in einem separaten Auswerteprozess ermittelt. Typische Exposimeter sind Geräte mit Festkörperspurdetektor (FKSD) oder Elektret-Ionisationskammer. Während der Probenahme diffundiert Radon in eine Messkammer mit Detektor. Der Detektor registriert die mit dem radioaktiven Zerfall des Radons (und seiner Folgeprodukte) entstehenden Signale (Spuren bzw. Spannungsabfall) und speichert diese. Der Detektor wird nach Ablauf der Probenahmezeit ausgewertet. Aus dem Auswertungsergebnis (Spurendichte bzw. Spannungsabfall) wird der Wert der Radon-Exposition berechnet.

*An exposimeter is a non-electronic integrating measurement instrument with passive sampling and without a display unit. Thus, the measurement result can be determined only after the sampling process by a separate analysis. Typical exposimeters are solid-state nuclear track detectors (SSNTD) or electret ionization*

*chambers. During sampling period radon diffuses into a chamber equipped with a detector. The detector records the signals (tracks or voltage drop) caused by the radioactive decay of radon (and its decay products). After the sampling period the detector is analysed. Radon exposure is calculated from the result (track density or total voltage drop).*

### **Expositionsgruppe / Exposure group**

Die Messgeräte jedes eingesandten Sets werden durch BfS-Mitarbeiter per Zufallsprinzip in mehrere Gruppen gleicher Größe aufgeteilt. Jede Gruppe wird durch eine laufende Nummer (0 bis 4) eindeutig gekennzeichnet. Die Gruppen 1 bis 4 bilden die Expositionsgruppen, deren Messgeräte in einer Referenzatmosphäre exponiert werden. Für Elektrete werden drei Expositionsgruppen gebildet.

*The measurement instruments of each set are evenly divided into several groups. Each group is labeled with a unique number (0 to 4). Groups 1 to 4 are the exposure groups. Measurement instruments of these groups are exposed to the reference atmospheres. Electrets feature 3 exposure groups.*

### **ID-Nummer / ID number**

Die Identifikationsnummer wird zur Pseudonymisierung der Ergebnisse in diesem Gesamtbericht verwendet. Die ID-Nummer wird dem Messgeräteset im individuellen Bericht zugeordnet.

*The identification number is employed in this comprehensive report for displaying only pseudonymized results. The assigned ID number is displayed in the individual report of the set.*

### **Messgerätetyp / Measurement instrument type**

Der Messgerätetyp ist durch sein Design sowie den physikalischen oder physikalisch-chemischen Prozess zur Ermittlung der Messgröße gekennzeichnet.

*The measurement instruments type is characterised by its design and the applied physical-chemical processes for the determination of the measurement value.*

### **Passives Messgerät / Passive measurement instrument**

siehe Exposimeter  
*see Exposimeter*

### **Radon / Radon**

In diesem Bericht steht „Radon“ stets für das Isotop Radon-222.

*Throughout this report “radon” stands for the isotope radon-222.*

### **Set / Set**

Eine teilnehmende Institution muss für jeden Messgerätetyp eine bestimmte Anzahl an Geräten zur Vergleichs- und Eignungsprüfung einreichen. Diese bilden ein Set. Die Anzahl der Geräte pro Set ist abhängig vom Detektortyp. In der Regel bilden 35 Festkörperspurdetektor-Messgeräte bzw. 24 Elektret-Messgeräte ein Set.

*Each participant has to supply a certain number of measurement instruments of one type for the interlaboratory comparison and proficiency testing. These form a set. The number of measurement instruments per set depends on the detector type. Typically, it comprises 35 solid-state nuclear track detectors or 24 Electret detectors.*

### **Transitgruppe / Transit group**

Die Messgeräte der Transitgruppe (Gruppe 0) werden nicht in den Referenzatmosphären exponiert, sondern über den gesamten Zeitraum der Vergleichsprüfung in einem Raum mit nachweislich geringer Radon-Aktivitätskonzentration gelagert. Der Mittelwert der Auswertungsergebnisse der Transitgruppe ist ein Maß für die Transport- und Lagerungseffekte, denen alle eingesandten Messgeräte ausgesetzt waren

(siehe „Transit-Nulleffekt“).

*The measurement instruments of the transit group (group 0) are not exposed in the reference atmospheres. Instead, they are stored in a room with proven low radon activity concentration during the exposure period. The average value of the transit measurement instruments results is an indication for effects related to transport and storage that all measurement instruments of the set were subjected to (see transit background).*

#### **Transit-Nulleffekt / Transit background**

Die Messgeräte sind Transport- und Lagerungseffekten ausgesetzt, die die Messungen beeinflussen können. Dieser „Transit-Nulleffekt“ sollte mit Hilfe der Transitgruppe bestimmt und von den Messergebnissen subtrahiert werden.

*Measurement instruments are subject to transport and storage effects that can affect the measurement. The “transit background” should be determined via the transit group and consequently subtracted from the measurement results.*

#### **Vergleichsprüfung / Interlaboratory Comparison**

Organisation, Durchführung und Bewertung von Messungen oder Prüfungen gleicher oder gleichartiger Prüfgegenstände durch zwei oder mehrere Laboratorien nach vorgegebenen Bedingungen (gemäß DIN EN ISO/IEC 17043:2010-05)

*Organization, performance and evaluation of measurements or tests on the same or similar items by two or more laboratories in accordance with predetermined conditions (according to DIN EN ISO/IEC 17043:2010-05)*

## Abbildungsverzeichnis / List of Figures

Abbildung 3-1: Kalibrierkammer im Radon-Kalibrierlaboratorium des Bundesamtes für Strahlenschutz (Volumen: 30 m <sup>3</sup> ) / Figure 3-1: Calibration chamber in the Radon Calibration Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection (volume: 30 m <sup>3</sup> ) .....	13
Abbildung 4-1 Relative Messabweichung der Messgeräte in der Expositionsgruppe 1 als Boxplot / Figure 4-1: Relative error of the measurement instruments in exposure group 1 as box plot .....	17
Abbildung 4-2 Relative Messabweichung der Messgeräte in der Expositionsgruppe 2 als Boxplot / Figure 4-2: Relative error of the measurement instruments in exposure group 2 as box plot .....	17
Abbildung 4-3 Relative Messabweichung der Messgeräte in der Expositionsgruppe 3 als Boxplot / Figure 4-3: Relative error of the measurement instruments in exposure group 3 as box plot .....	18
Abbildung 4-4 Relative Messabweichung der Messgeräte in der Expositionsgruppe 4 als Boxplot / Figure 4-4: Relative error of the measurement instruments in exposure group 4 as box plot .....	18
Abbildung 4-5 Abweichung der Messwerte der 43 Messgeräte-Sets in den vier Expositionsgruppen von den jeweiligen Referenzwerten (als Verhältnis) und erlaubter Bereich. / Figure 4-5 Deviation of the measurement values of 43 sets of measurement instruments in 4 exposure groups from the respective reference value (ratio) and region of acceptance .....	19
Abbildung A3-1 Ablaufschema / Figure A3-1: Time course .....	32
Abbildung A5-1 Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen der Referenzatmosphären / Figure A5-1 Radon activity concentration of the reference atmospheres over the time of exposure .....	33
Abbildung A5-2 Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftdruck exemplarisch für Exposition 4 / Figure A5-2 Temperature, relative humidity and air pressure during exposure no. 4 as an example .....	33

## **Tabellenverzeichnis / List of tables**

Tabelle 2-1 Anzahl der einzureichenden Messgeräte und der Expositionsgruppen / <i>Table 2-1 Number of measurement instruments to be submitted and number of exposure groups</i> .....	9
Tabelle 4-1 Verteilung der Ausreißer der 43 Sets mit grau unterlegter Markierung des Bereiches zufriedenstellender Leistung sowie die Verteilung der Leistungsbewertung. / <i>Table 4-1 Distribution of outliers over the 43 sets with highlighted range of satisfactory performance as well as distribution of performance</i> .....	20
Tabelle 4-2 Leistungsergebnisse der teilnehmenden Messgeräte-Sets bisheriger Eignungsprüfungen / <i>Table 4-2 Performance of the participating sets of measurement instruments in hitherto proficiency testings</i> .....	21
Tabelle A1-1 Institutionen, die an der Vergleichs- und Eignungsprüfung 2024 teilgenommen haben / <i>Table A1-1 Participants of the interlaboratory comparison and proficiency testing 2024</i> .....	25
Tabelle A2-1 Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren oder Elektreten / <i>Table A2-1: Measuring instruments using solid-state nuclear track detectors or electrets</i> .....	28
Tabelle A4-1 Parameter der Atmosphäre im Lagerraum / <i>Table A4-1 Parameters of the atmosphere in the storage room</i> .....	32
Tabelle A5-1 Werte der Radon-Referenzatmosphären / <i>Table A5-1 Parameters of the radon reference atmospheres</i> .....	34
Tabelle A7-1 Messwerte der Transitgruppe / <i>Table A7-1: Measurement values of the transit group</i> .....	37
Tabelle A7-2 Ergebnisse der Expositionsgruppe 1 / <i>Table A7-2: Results of exposure group 1</i> .....	39
Tabelle A7-3 Ergebnisse der Expositionsgruppe 2 / <i>Table A7-3: Results of exposure group 2</i> .....	40
Tabelle A7-4 Ergebnisse der Expositionsgruppe 3 / <i>Table A7-4: Results of exposure group 3</i> .....	41
Tabelle A7-5 Ergebnisse der Expositionsgruppe 4 / <i>Table A7-5: Results of exposure group 4</i> .....	42