

Bericht

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222-Aktivitätskonzentration oder -Exposition / Instruments to measure radon-222 activity concentration or exposure

Vergleichs- und Eignungsprüfung 2022 / Interlaboratory comparison and proficiency testing 2022

BfS-47/23

Felice Friedrich-Kees 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

De-Mail: epost@bfs.de-mail.de

www.bfs.de

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN: urn:nbn:de:0221-2023011135828

Januar/2023

Zusammenfassung / Summary

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat die gesetzliche Aufgabe zur Durchführung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung für Radonmessungen, die dem Strahlenschutz an Arbeitsplätzen dienen. Diese Qualitätssicherung ist entscheidend, um die Radon-Situation verlässlich bewerten zu können und über Reduzierungsmaßnahmen zu entscheiden. Dazu werden meist passive Messgeräte eingesetzt, mit denen die Radon-Aktivitätskonzentration in der Raumluft oder die personenbezogene Exposition bestimmt wird. Zur Qualitätssicherung dieser Geräte hat sich die Teilnahme an Vergleichs- und Eignungsprüfungen bewährt. Dabei werden die Messergebnisse einer Anzahl von kontrolliert exponierten Geräten mit einem Referenzwert verglichen. Liegen die Abweichungen der gemessenen Werte vom Referenzwert innerhalb eines zulässigen Bereichs, so wird die Leistung der teilnehmenden Institution als "zufriedenstellend" bewertet. Anbieter von Radonmessungen können somit das Funktionieren ihres Qualitätsmanagementsystems nachweisen. Öffentliche und private Auftraggeber sowie Verbraucher können sich anhand des Berichts einen allgemeinen Überblick über die Leistungsfähigkeit des Anbieterfeldes für Radonmessungen verschaffen.

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse der 19. BfS Vergleichs- und Eignungsprüfung im Jahr 2022 vor. 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 der Vergleichs- und Eignungsprüfung in pseudonymisierter Form zusammen. In der Eignungsprüfung 2022 zeigten 32 der 35 Gerätesets der teilnehmenden Institutionen eine zufriedenstellende Leistung. Individuelle Berichte liegen den teilnehmenden Institutionen vor.

Berichte zurückliegender BfS Vergleichs- und Eignungsprüfungen sind im Online-Repositorium des Bundesamtes für Strahlenschutz zugänglich [1].

The German government has entrusted the Federal Office for Radiation Protection (BfS) with the operation of measures for quality assurance of radon measurements concerning the radiation protection at workplaces. The quality assurance of the measurements of either the radon activity concentration or the exposure to radon is a key factor to evaluate the radon situation in order to decide about measures for reduction. To a large extent, measurements are performed with passive measurement instruments. The quality of their results is typically assured by participation in interlaboratory comparison and proficiency testings. Here, a number of measurement results from instruments exposed in a controlled way are compared to the reference values. The performance is evaluated as "satisfactory", if the deviations of the measurement values from the reference value remain within a pre-defined range. Thus, institutions offering radon measuring services can demonstrate the effective operation of their quality management system. This allows public and private customers to get a general idea on the performance of radon measuring institutions.

This report presents the results of the 19th BfS interlaboratory comparison and proficiency testing that has taken place in 2022. 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 annually changing 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 2022, 32 of 35 instrument sets from participating institutions have shown a satisfactory performance in proficiency testing. Individual reports are available from the respective participating institution.

Reports on previous BfS interlaboratory comparison and proficiency testings have been published in the online repository DORIS [1].

Inhalt / Content

Zusam	menfassung / Summary	3
1	Einleitung / Introduction	6
1.1	Rechtliche Grundlagen und Festlegungen / Legal principles and provisions	6
1.2	Zweck der Vergleichs- und Eignungsprüfung / Purpose of the interlaboratory comparison and proficiency testing	7
2	Organisation / Organisation	7
2.1	Qualitätssicherung / Quality assurance	7
2.2	Anzahl der Messgeräte pro Gerätetyp / Number of measurement instruments per instrument typ	
2.3	Ablauf der Vergleichsprüfung / Process of the interlaboratory comparison	8
2.4	Ablauf der Eignungsprüfung / Process of the proficiency testing 1	0
3	Expositionen / Exposures	0
3.1	Herstellung der Radon-Referenzatmosphären / Generation of the reference atmospheres 1	0
3.2	Raum zur Lagerung der Messgeräte / Storage of the measurement instruments 1	2
3.3	Exposition der Messgeräte / Exposure of the measurement instruments	2
4	ERGEBNISSE / Results	3
4.1	Vergleichsprüfung / Interlaboratory Comparison	3
4.2	Eignungsprüfung / Proficiency testing	6
Literat	urverzeichnis / Bibliography2	0
Anlage	enverzeichnis / <i>List of Appendices</i> 2	1
A1	Teilnehmende Institutionen / Participants2	2
A2	Messgerätetypen / Types of measurement instruments2	4
А3	Ablaufschema / Time course2	8
A4	Atmosphäre im Lagerraum / Atmosphere in the storage room2	8
A 5	Referenzatmosphären / Reference atmospheres2	9

A6	Datenauswertung / Analysis of data	31
Α7	Messwerte / Measurement values	33
A8	Ergebnisbericht (Muster) / Report (example)	39
Begri	iffe und Definitionen / Terms and Definitions	47
Abbil	Idungsverzeichnis / List of Figures	50
Tabel	llenverzeichnis / List of tables	51

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.

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) führt Vergleichsprüfungen für passive Radon-Messgeräte als Teil der Aufgaben der Leitstelle für Fragen der Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität (ENORM) durch, um eine zuverlässige Ermittlung der Strahlenexposition durch Radon zu ermöglichen.

Beruflich strahlenexponierte Personen werden anhand individueller Messungen radiologisch überwacht. 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. Weiterhin werden im Strahlenschutzgesetz in § 127 und § 128 Vorschriften zu Messungen an Arbeitsplätzen in Innenräumen getroffen. 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 passiven 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 des Bundesamtes für Strahlenschutz zur Qualitätssicherung teilzunehmen. Hierzu zählt die Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radon-Messgeräte.

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 Radonfolgeprodukte 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].

Die Vergleichs- und Eignungsprüfung wird in der Regel jährlich vom BfS für die Messgröße Radon-222-Exposition organisiert. 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. Auch Anbietern von Messungen, die nicht im Zusammenhang mit der beruflichen Strahlenexposition stehen, wird empfohlen, zur Qualitätssicherung an Vergleichs- und Eignungsprüfungen teilzunehmen. Die erfolgreiche Teilnahme soll das Vertrauen der Kunden in die durchgeführten Messungen und die Akzeptanz der erhaltenen Ergebnisse erhöhen. Für Anbieter, die eine Akkreditierung auf dem Gebiet der Bestimmung der Radon-222-Exposition oder der Radon-222-Aktivitätskonzentration in Luft unter Verwendung passiver 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 [8] 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].

The interlaboratory comparison and proficiency testing is organised for the measurand radon exposure and usually takes place on an annual basis. The radon exposure is the product of the average radon activity concentration and the exposure time.

The results should serve for the validation of the measurement procedures of the participating institutions. Participation is recommended also for institutions devoid of occupational monitoring activities. 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 passive 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 [8]. 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 [9].

Die zu prüfenden Messgeräte werden im Radon-Kalibrierlaboratorium des BfS exponiert. Das Laboratorium unterhält ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO/IEC 17025 [8] 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 [9]Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) [National Accreditation Body.

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 [8] 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 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 passiver Messgeräte eines Typs zur Prüfung einzureichen. Von diesen wird ein Teil in überwachten Radon-Aktivitätskonzentrationen exponiert (siehe Tabelle 2-1, Spalte 2), ein anderer Teil bildet 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 passive measurement instruments 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

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

2.3 Ablauf der Vergleichsprüfung / Process of the interlaboratory comparison

Die Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radon-Messgeräte 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].

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 Anzahl der teilnehmenden Institutionen ist auf 30 beschränkt. 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 Radonkonzentration 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 Messgerätelieferung 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. Die anschließende Abholung der Geräte wird von den teilnehmenden Institutionen beauftragt.

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

The Federal Office for Radiation Protection announces the interlaboratory comparison and proficiency testing for passive radon measurement instruments 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].

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 is limited to 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. 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 can be collected from the Federal Office for Radiation Protection on order of the participant.

Prior to the analysis of the detectors by the participants, no information about the reference values of the radon activity concentration or exposure as well as the assignment of individual devices to the exposure groups is provided. 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. These values are communicated to the Federal Office for Radiation Protection for final analysis.

2.4 Ablauf der Eignungsprüfung / Process of the proficiency testing

Die Eignungsprüfung wird auf Basis der Daten der Vergleichsprüfung eines Messgerätesets durchgeführt. Dabei wird für jede Expositionsgruppe die Abweichung der bestimmten Radon-Expositionen der einzelnen Messgeräte des Sets vom Referenzwert der Exposition der jeweiligen Gruppe untersucht (siehe Anhang A6). Die Eignungsprüfung ist erfolgreich bestanden, wenn die Werte innerhalb eines vorab definierten zulässigen Bereiches liegen. Die Leistung wird in diesem Fall als "zufriedenstellend" bewertet. Abhängig von der Anzahl der Messgeräte ist dabei eine bestimmte maximale Anzahl von Werten, die außerhalb des zulässigen Bereiches liegen, erlaubt [16]. Bei Überschreitung dieser Anzahl von Ausreißern wird die Leistung als "nicht zufriedenstellend" bewertet.

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 [16]. By exceeding this limit, the performance is evaluated as "not satisfactory".

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 m³ und 30 m³ verwendet. Die hergestellten Referenzatmosphären sind durch ihre Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sowie durch die klimatischen Parameter Temperatur, Luftdruck und relative Luftfeuchte gekennzeichnet. Vor Beginn der Expositionen wird die Radon-Aktivitätskonzentration 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 [12]. 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.

The radon calibration laboratory at the Federal Office for Radiation Protection features two calibration chambers with volumes of 11 m³, and 30 m³, 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. Before the beginning of exposure, 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 [12]. 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.



Abbildung 3-1: Kalibrierkammer im Radon-Kalibrierlaboratorium des Bundesamtes für Strahlenschutz (Volumen: 30 m³) / Figure 3-1: Calibration chamber in the Radon Calibration Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection (volume: 30 m³)

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® PQ 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® PQ 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 during storage within the storage room. 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.

Passive Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren oder Elektretdetektoren sind über die Expositionszeit integrierende Messgeräte, deren Anzeigewert direkt proportional zur Radon-Exposition ist¹. In dieser Vergleichsprüfung wird deshalb die Messgröße Radon-Exposition als Vergleichsgröße festgelegt.

Für die Expositionen werden Referenzatmosphären mit unterschiedlichen Niveaus der Radon-Aktivitätskonzentration hergestellt. Die Expositionszeiten betragen mindestens fünf Tage. Die Radon-Expositionen liegen in einem für die Praxis relevanten Bereich zwischen 150 kBq·h/m³ und 3000 kBq·h/m³.

Die Messunsicherheit des Referenzwertes wird gemäß Qualitätsmanagementsystem [13] auf Basis des Dokuments EA-4/02 M:2013 [14] berechnet. Die Messunsicherheit der Expositionszeit 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 integrating passive measurement instruments. Their indication value is directly proportional to the radon exposure². Therefore, the radon exposure is chosen as comparative measurand in this interlaboratory comparison.

¹ Die mittlere Radon-Aktivitätskonzentration kann durch Division des Expositionswertes mit der Expositionszeit ermittelt werden.

² 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/m³ and 3000 kBq·h/m³ and, thus, in a range relevant for practical applications of such detectors.

The measurement uncertainty was determined in accordance with the quality management system [13] and EA-4/02 M:2013 [14]. The measurement uncertainty for the exposure time is negligible.

4 ERGEBNISSE / Results

4.1 Vergleichsprüfung / Interlaboratory Comparison

An der Vergleichsprüfung 2022 haben 31 Institutionen mit insgesamt 35 Messgerätesets teilgenommen. Zwei weitere Institutionen waren zur Vergleichsprüfung zugelassen, konnten die Teilnahme aber nicht umsetzen. Zur Pseudonymisierung der Daten wurden Prüfcodes verwendet, die eine Zuordnung zum jeweiligen Messgerätetyp, aber nicht zur teilnehmenden Institution zulassen. Die Liste der teilnehmenden Institutionen sowie die Spezifikation der Messgerätesets inklusive der Messgerätetypen und der zugehörigen Prüfcodes sind in den Anhängen A1 und A2 aufgelistet.

Für jedes Messgeräteset wurde für jede der vier 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. Jede teilnehmende Institution erhielt einen individuellen Bericht über die Ergebnisse ihres jeweiligen Messgerätesets. Ein Muster-Bericht ist in Anhang A8 dargestellt. Die Messabweichungen der einzelnen Messgeräte sind in den folgenden Diagrammen (Abbildung 4-1 bis Abbildung 4-5) vergleichend als Boxplot dargestellt. Auf der Abszisse sind die Prüfcodes der Messgerätesets angegeben, sortiert nach aufsteigendem Median (Abbildung 4-1 bis 4-4).

In 2022, 31 institutions with a total of 35 sets of measurement instruments took part in the interlaboratory comparison. Two more institutions were admitted but could not perform participation. To pseudonymise the data, a test code is used, that refers to the type of the measurement instrument but not to the participant. A list of participants and a list of measurement instrument specifications of the individual sets including type and test code are shown in the appendices A1 and A2, respectively.

For each set and each of the four 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. Each participating institution received an individual report on the results of their set. An example report is shown in appendix A8. 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 test codes for the sets are given on the abscissa in the order of ascending median values (figure 4-1 to 4.4).

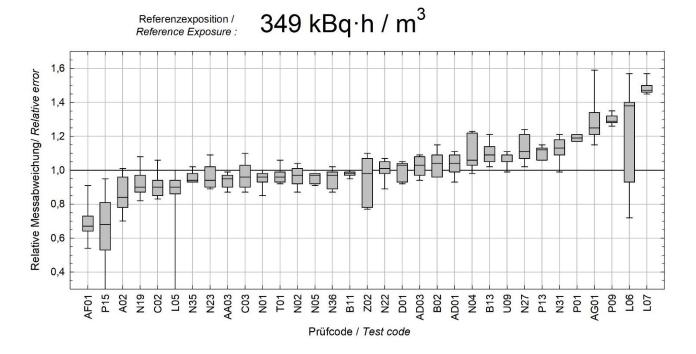


Abbildung 4-1 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 1 als Boxplot / Figure 4-1: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 1 as box plot

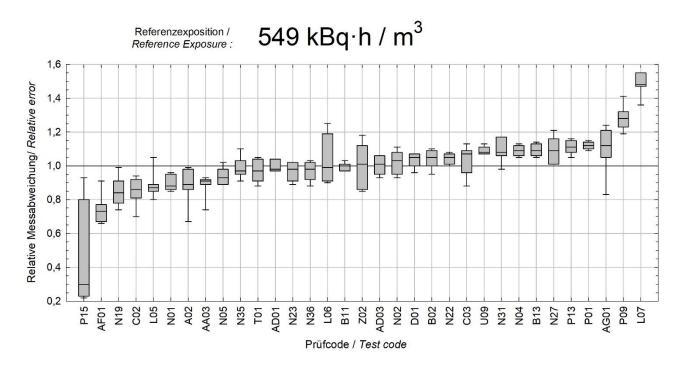


Abbildung 4-2 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 2 als Boxplot / Figure 4-2: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 2 as box plot

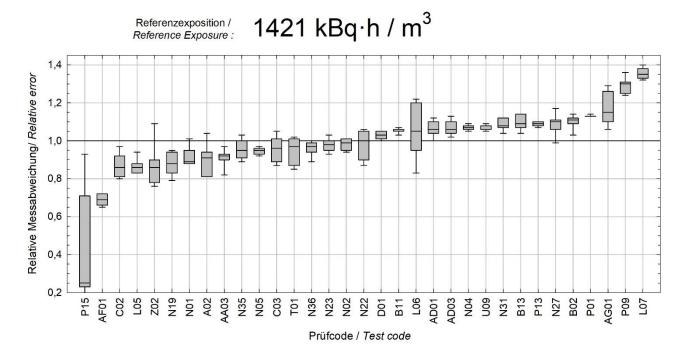


Abbildung 4-3 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 3 als Boxplot / Figure 4-3: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 3 as box plot

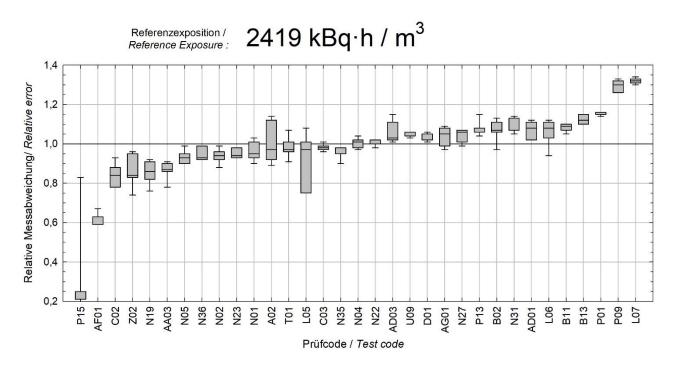


Abbildung 4-4 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 4 als Boxplot / Figure 4-4: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 4 as box plot

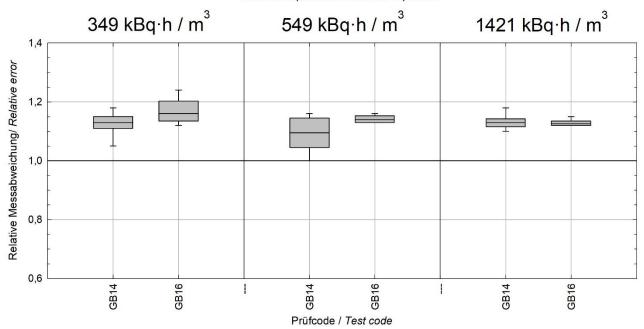


Abbildung 4-5 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Elektretdetektor der Expositionsgruppen 1 bis 3 als Boxplots / Figure 4-5: Relative error of the instruments using electret detectors of the exposure groups 1 to 3 as box plots

4.2 Eignungsprüfung / Proficiency testing

Die Leistungsbewertung erfolgt auf Basis von Erkenntnissen aus vergangenen Vergleichsprüfungen für passive Radon-Messgeräte und wissenschaftlich begründbaren Leistungserwartungen [16]. 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 4-6 sind die Daten zur Leistungsbewertung der teilnehmenden Messgerätesets in der Auswertung in einem Boxplot gezeigt. Es handelt sich um 960 Einzelmesswerte der 33 FKSD- und 2 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 2022 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. 32 der 35 teilnehmenden Sets haben die Kriterien der Eignungsprüfung erfüllt und diese erfolgreich bestanden. Ihre Leistung wird gemäß Nomenklatur der entsprechenden Norm [18] als "zufriedenstellend" bewertet. Drei der FKSD-Sets weisen mit jeweils mehr als zwei Ausreißern eine "nicht zufriedenstellende" Leistung auf. 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 teilnehmenden Institutionen.

The evaluation of performance is based on findings from previous interlaboratory comparisons for passive radon measuring instruments and the expected performance based on scientific evaluation [16]. 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 4-6 shows the proficiency testing data for all participating sets in a box plot. The plot summarizes 960 measurements values of 33 FKSD as well as 2 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. 32 of 35 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 [18]. Three of the solid state nuclear track detector sets show an "unsatisfactory" performance with more than two outliers each. 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.

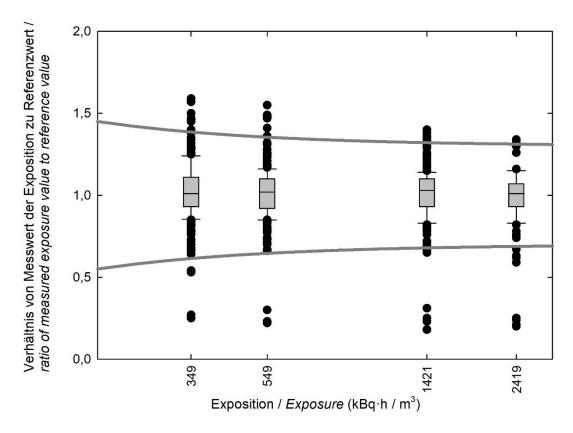


Abbildung 4-6 Abweichung der Messwerte der 35 Messgeräte-Sets in den vier Expositionsgruppen von den jeweiligen Referenzwerten (als Verhältnis) und erlaubter Bereich. / Figure 4-6 Deviation of the measurement values of 35 sets of measurement instruments in 4 exposure groups from the respective reference value (ratio) and region of acceptance.

Tabelle 4-1 Verteilung der Ausreißer der 35 Sets mit grau unterlegter Markierung des Bereiches zufriedenstellender Leistung sowie die Verteilung der Leistungsbewertung. / Table 4-1 Distribution of outliers over the 35 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 <i>Electret</i>	Gesamt <i>Total</i>				
0	26	2	28				
1	4	0	4				
2	0	0	0				
>2	3	0	3				
Leistungsbewertung performance	FKSD SSNTD	Elektret <i>Electret</i>	Gesamt <i>Total</i>				
Zufriedenstellend satisfactory	30	2	32				
nicht zufriedenstellend unsatisfactory	3	0	3				

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

Jahr <i>Year</i>	Gesamtanzahl der Sets Total number of sets	Leistung zufrie (Anzahl Sets Satisfactory Pe (number of sets)	s / Anteil) erformance	Leistung nicht zuf (Anzahl Sets Unsatisfactory I (number of sets)	/ Anteil) Performance
2019	31	29	94%	2	6%
2020	31	28	90%	3	10%
2021	41	41	100%	0	0%
2022	35	32	91%	3	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 durch ihre Unterstützung beim Aus-, Einpacken und Versand der Pakete, bei der Sortierung der 960 Messgeräte, bei den Messungen im Radon-Kalibrierlaboratorium, bei der Datenauswertung und bei der Erstellung des Berichtes mitgewirkt haben.

Sincere thanks are given to all participating institutions 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 interlaboratory comparison by unpacking, packing and shipping the parcels, sorting the 960 measuring instruments, performing measurements in the laboratory, data processing and compiling the report.

Literaturverzeichnis / Bibliography

- [1] Digitales Online Repositorium 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 https://www.bfs.de/ssr
- [6] Liste der anerkannten Stellen im Internet, https://www.bfs.de/DE/themen/ion/service/radon-messung/anerkennung/anerkennung_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 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)
- [9] 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)
- [10] https://www.bfs.de/DE/themen/ion/service/radon-messung/vergleichspruefung/vergleichspruefung node.html
- [11] https://www.eptis.org
- [12] https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/labore/radon/radon.html
- [13] Qualitätsmanagementhandbuch des Radon-Kalibrierlaboratoriums, Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Radonmetrologie
- [14] EA-4/02 M:2013, Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen (Deutsche Übersetzung)
- [15] Hartung, J., Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. R. Oldenburg Verlag GmbH, München 1986
- [16] 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
- [17] Kanisch, G., Verfahren zur statistischen Auswertung von Daten mit als "<G" dokumentierten Werten, DOKUM/STATAUSW, in: Messanleitungen für die "Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung", ISSN 1865-8725, BMU, 1998
- [18] 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)

Anlagenverzeichnis / List of Appendices

A1	Teilnehmende Institutionen / Participants	22
A2	Messgerätetypen / Types of measurement instruments	24
А3	Ablaufschema / Time course	28
A4	Atmosphäre im Lagerraum / Atmosphere in the storage room	28
A5	Referenzatmosphären / Reference atmospheres	29
A6	Datenauswertung / Analysis of data	31
A7	Messwerte / Measurement values	33
A8	Ergebnisbericht (Muster) / Report (example)	39

A1 Teilnehmende Institutionen / Participants

Tabelle A1-1 Institutionen, die an der Vergleichs- und Eignungsprüfung 2022 teilgenommen haben / Table A1-1 Participants of the interlaboratory comparison and proficiency testing 2022

Teilnehmende Institution	Land	Adresse
Participant	Country	Address
AGES - Österreichische Agentur für Gesundheit	Österreich	Wieningerstraße 8
und Ernährungssicherheit GmbH	Austria	A-4020 Linz
Österreichische Fachstelle für Radon	7.000.70	
ALGADE	Frankreich	Avenue du Brugeaud
Laboratoire LED-DU	France	87250 Bessines sur Gartempe
ALTRAC Prüflabor	Deutschland	Straße der Einheit 17
	Germany	09661 Striegistal
Bundesamt für Strahlenschutz	Deutschland	Köpenicker Allee 120-130
UR 1 Radonmetrologie	Germany	10318 Berlin
Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)	Deutschland	Eschenstraße 55
Fachbereich Strahlenschutz	Germany	31224 Peine
Calidad Radiologica S.L.	Spanien	Avenida Cerro del Aguila 3
	Spain	Oficina 1B3
		28703 San Sebastian de los
		Reyes (Madrid)
Direction de la Santé	Luxemburg	Villa Louvigny - Allée Marconi
Laboratoire des Analyses Radiologiques	Luxembourg	L-2120 Luxembourg
ENEA Radon Service	Italien	Via Martiri di Montesole, 4
	Italy	40129 Bologna (BO)
Geoex srls	Italien	Via Abetonia 30
RadonLab Services	Italy	00041 Albano Laziale Rome
Hirosaki University	Japan	66-1 Hon-Cho, Hirosaki, Aomori
Professor Shinji Tokonami	Japan	036-8564
Institute of Radiation Emergency Medicine		
Institute of Public Health of North Macedonia	Nordmazedonien	50 Divizija- 6, P.O. Box 577
	North Macedonia	Skopje
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	Deutschland	SUM - DL, Gebäude 123
Campus Nord	Germany	Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
Sicherheit und Umwelt (SUM)		76344 Eggenstein-
		Leopoldshafen
Keskkonnaamet	Estland	Kopli 76
kliima- ja kiirgusosakond	Estland	10416 Tallinn
Laboratorio di Radioattività Lab.RAD	Italien	Corso Nicolangelo Protopisani
CeSMA Advanced Metrological and Technological	Italy	80146 Napoli (NA)
Service Centre		
Landesanstalt für Personendosimetrie und	Deutschland	Köpenicker Straße 325, Haus 41
Strahlenschutzausbildung Mecklenburg-	Germany	12555 Berlin
Vorpommern		
LaRUC	Spanien	c/ Cardenal Herrera Oria, s/n
Universidad de Cantabria	Spain	39011 Santander (Cantabria)
L.B. Servizi per le Aziende s.r.l.	Italien	Via Gabriele Paleotti, 43
	Italy	00168 Roma
Magistratsabteilung 39	Österreich	Währinger Gürtel 18-20
Prüf-, Inspektions- und Zertifizierungsstelle	Austria	1090 Wien
Labor für Strahlenschutz		
Außenstelle AKH - Leitstelle 4B		

Teilnehmende Institution	Land	Adresse
Participant	Country	Address
Mirion Technologies (AWST) GmbH	Deutschland	Otto-Hahn-Ring 6
Abt. Dosimetrics Radon-Messstelle	Germany	81739 München
Analyselabor:		
Eurofins Radon Testing Sweden AB	Schweden	Robertsviksgatan 6a
	Sweden	972 41 Luleå
Radonanalys GJAB	Schweden	Ideon Science Park, Beta 5
	Sweden	SE 22370 Lund
Radon Laboratory	Bulgarien	st. Sv. Georgi Sofiiski 3 building
National Center of Radiobiology and Radiation	Bulgaria	7
Protection		Sofia 1606
Radonova Laboratories AB	Schweden	P.O. Box 15120
	Sweden	SE-75138 Uppsala
Radosys KFT.	Ungarn	Vegyész u. 17-25
	Hungary	1116 BUDAPEST
SafeRadon GmbH	Deutschland	Kurpfalzring 98a
	Germany	69123 Heidelberg
Seibersdorf Labor GmbH	Österreich	2444 Seibersdorf
Radiation Safety & Applications	Austria	
TECNORAD S.R.L. A Socio Unico	Italien	Via Schiaparelli 5
	Italy	37135 Verona (VR)
Turkish Energy, Nuclear and Mineral Research	Türkei	Yarımburgaz Mah. Nükleer
Institute	Türkiye	Araştırma Merkezi Yolu No:10
Nuclear Energy Research Institute Presidency		Küçükçekmece - Istanbul
UKHSA, Radon Dosimetry	Großbritannien	Chilton, Didcot
CRE	UK	OX11 ORQ
Universitat Rovira i Virgili	Spanien	C/ Sant Llorenç, 21, 43201 Reus,
Radon Laboratory	Spain	Tarragona
School of Medecine		
U-Series Srl	Italien	Via Ferrarese, 131
	Italy	40128 Bologna (BO)
ZVD d.o.o.	Slowenien	Chengdujska cesta 25
	Slovenia	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 <i>Detector thickness</i>	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Expositions- bereich range of exposure	Prüfcode / Test code
А		Makrofol®	0,3 mm	201 mm²	127 mm²	20 – 5 000 kBq·h/m³	A02
АА		CR-39	1 mm	100 mm²	51,3 mm²	32 – 15 000 kBq·h/m³	AA03
4.0		39	1,5 mm	290 mm²	160 mm²	25 – 50 000 kBq·h/m³	AD01
AD		CR-39	1,5 mm	290 mm²	160 mm²	25 – 50 000 kBq·h/m³	AD03
AF		CR-39	1,4 mm	625 mm²	400 mm²	20 – 40 000 kBq·h/m³	AF03
AG		LR-115	0,012 mm	300 mm²	300 mm²	100 – 3 500 kBq·h/m³	AG01

Messgerätetyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke <i>Detector thickness</i>	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Expositions- bereich range of exposure	Prüfcode / Test code
			1,5 mm	440 mm²	210 mm²	20 – 50 000 kBq·h/m³	B02
В		CR-39	1,0 mm	1036 mm²	535 mm²	20 − 50 000 kBq·h/m³	B11
			1,5 mm	610 mm²	100 mm²	10 − 8 100 kBq·h/m³	B13
		39	1 mm	100 mm²	51,3 mm²	32 – 15 000 kBq·h/m³	C02
С		CR-39	1 mm	100 mm²	55,7 mm²	30 − 90 000 kBq·h/m³	C03
D		Makrofol®	0,3 mm	1000 mm²	120 mm²	100 − 10 000 kBq·h/m³	D01
		eflon®)	k.A./ n.s	k.A./ <i>n.s</i>	k.A./ <i>n.s</i>	40 – 3 300 kBq·h/m³	GB14
GB	STATE OF STA	Elektret (Teflon®)	k.A./ n.s	k.A./ n.s	k.A./ n.s	6 – 3 525 kBq·h/m³	GB16
	CR-39		1 mm	100 mm²	51,6923 mm²	100 – 80 000 kBq·h/m³	L05
L		CR-39	0,8 mm	100 mm²	10 mm²	100 – 3 000 kBq·h/m³	L06
			1 mm	100 mm²	52 mm²	150 – 2 000 kBq·h/m³	L07

Messgerätetyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke <i>Detector thickness</i>	Gesamt-Detektorfläche <i>Total detector area</i>	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Expositions- bereich range of exposure	Prüfcode / Test code		
			0,9 mm	100 mm²	50 mm²	20 – 20 000 kBq·h/m³	N01		
			1 mm	100 mm²	50 mm²	40 – 8 000 kBq·h/m³	N02		
			k.A./ N.s.	100 mm²	52 mm²	50 – 15 000 kBq·h/m³	N04		
			1 mm	100 mm²	51,7 mm²	40 – 12 000 kBq·h/m³	N05		
	CR-33	CR-39	1 mm	100 mm²	51,3 mm²	32 - 15.000 kBq·h/m³	N19		
N			1 mm	100 mm²	50 mm²	40 – 8 000 kBq·h/m³	N22		
			1 mm	100 mm²	51,71 mm²	150 – 2 000 kBq·h/m³	N23		
			0,95 mm	100 mm²	52 mm²	50 – 8 000 kBq·h/m³	N27		
			1 mm	100 mm²	50 mm²	150 − 3 000 kBq·h/m3	N31		
			1 mm	100 mm²	55,7 mm²	30 − 90 000 kBq·h/m3	N35		
			0,9 mm	100 mm²	50 mm²	20 – 20 000 kBq·h/m3	N36		
			1,5 mm	625 mm²	100 mm²	<100 – 40 000 kBq·h/m³	P01		
		39	1,5 mm	625 mm²	59 mm²	100 – 5 000 kBq·h/m³	P09		
Р		CR-39	1,5 mm	ca. 600 mm²	ca. 100 mm²	25 – 4 000 kBq·h/m³	P13		
					1 mm	600 mm²	100 mm²	24 – 40 000 kBq·h/m³	P15

Messgerätetyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke <i>Detector thickness</i>	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Expositions- bereich range of exposure	Prüfcode / Test code
Т		CR-39	1,4 mm	900 mm²	42 mm²	20 – 10 000 kBq·h/m³	T01
U		CR-39	1,5 mm	625 mm²	225 mm²	146 – 4 673 kBq·h/m³	U09
Z		LR-115	0,012 mm	227 mm²	133 mm²	50 – 10 000 kBq·h/m³	Z02

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

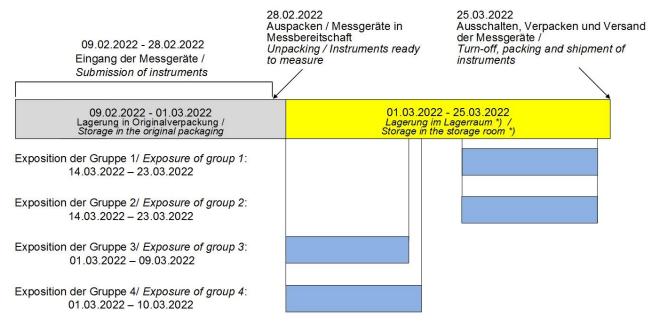


Abbildung A3-1 Ablaufschema / Figure A3-1: Time course

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}	U(C _{Rn})	r.H.	U _{r.H.}	Т	U _T	р	U_p	H [*] (10)	$U_{\dot{H}^{*}(10)}$
[Bq/m³]	[Bq/m³]	[%]	[%]	[°C]	[K]	[hPa]	[hPa]	[nSv/h]	[nSv/h]
6	7	23	6	22	1	1025	6	77	2

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 T0 and expanded measurement uncertainty of air pressure T1 during the storage of instruments. The parameter T2 is the mean ambient equivalent dose rate with the expanded measurement uncertainty T3 is the mean ambient equivalent dose rate with the expanded measurement uncertainty T3.

A5 Referenzatmosphären / Reference atmospheres

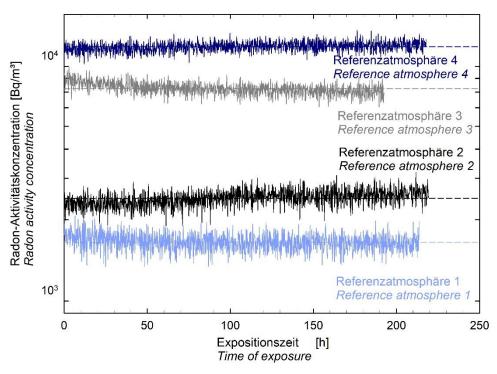


Abbildung A5-1 Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen der Referenzatmosphären / Figure A5-1 Radon activity concentration of the reference atmospheres over the time of exposure

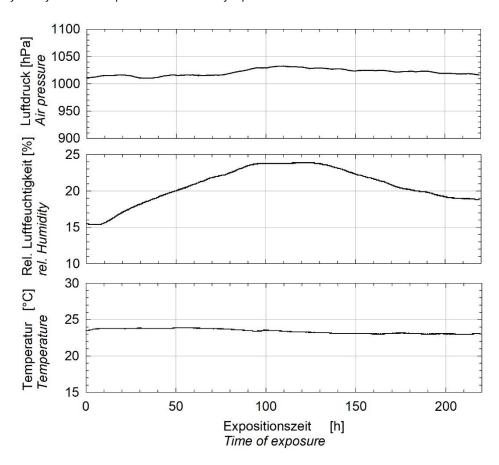


Abbildung A5-2 Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftdruck exemplarisch für Exposition 4 / Figure A5-2 Temperature, relative humidity and air pressure during exposure no. 4 as an example

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 ³]	U(C _{Rn,Ref}) [kBq/m ³]	P _{Rn,Ref} [kBq·h/m³]	V [m³]	T [°C]	r.H. [%]	p [hPa]
1	14.0323.03.2022	216,9	1,61	0,08	349	11	24	25	1024
2	14.0323.03.2022	222,4	2,47	0,12	549	30	23	21	1021
3	01.0309.03.2022	195,7	7,26	0,36	1421	30	23	19	1012
4	01.0310.03.2022	221,1	10,94	0,55	2419	11	24	23	1016

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:2013 [14] 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 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:2013 [14]. 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 (Prüfcode 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.

$$\bar{\mathbf{x}}_{\mathbf{g}} = \frac{1}{\mathbf{n}} \times \sum_{i=1}^{n} \mathbf{x}_{\mathbf{g},i} \tag{1}$$

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

$$RERR_{g} = \frac{(\bar{x}_{g} - X_{g})}{X_{g}} \times 100$$
 (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.

$$UG \le \frac{x_{g,i}}{x_g} \le OG (4)$$

UG =
$$0.7 - \frac{30}{X_g}$$
 und OG = $1.3 + \frac{30}{X_g}$ (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 [16]. 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

 ${\rm RERR_g}$ 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 (test codes 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 [16]. 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

Prüfcode Test code	Messgeräte- anzahl Number of instruments	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h/m³]	Standardabweichung Standard deviation [kBq·h/m³]	Transit-Effekt berücksichtigt? Transit effect taken into account?
A02	7	11,1	6,7	Ja / Yes
AA03	7	22,1	3,6	Ja / Yes
AD01	7	9,0	6,7	Ja / Yes
AD03	7	3,7	4,4	Ja / Yes
AF01 ¹⁾	7	k.A./ <i>n.s.</i>	k.A./ n.s.	k.A./ <i>n.s.</i>
AG01	7	24	11	Nein/ No
B02	7	1,1	3,1	Ja / Yes
B11	7	7,7	3,4	Ja / Yes
B13	7	14,0	7,6	Ja / Yes
C02	7	24,4	7,8	Ja / Yes
C03	7	6,3	5,8	Nein/ No
D01	7	3,7	1,4	Nein/ No
GB14	6	22,8	4,3	Ja / Yes
GB16	6	15,0	3,1	Ja / Yes
L05	7	9,9	3,5	Ja / Yes
L06	7	33	29	Ja / Yes
L07	7	22	18	Nein/ No
N01	7	8,7	2,5	Ja / Yes
N02	7	7,7	4,0	Ja / Yes
N04	7	20,7	6,9	k.A./ n.s.
N05	7	20,6	5,9	Ja / Yes
N19	7	18,3	4,0	Ja / Yes
N22	7	44	18	Ja / Yes
N23	7	19,0	6,4	k.A./ <i>n.s.</i>
N27	7	19,1	4,3	Ja / Yes
N31	7	53	17	Ja / Yes
N35	7	4,7	4,1	Nein/ No
N36	7	6,6	5,6	Nein/ No
P01	7	23,6	3,6	Ja / Yes
P09	7	8,0	2,4	k.A./ <i>n.s.</i>
P13	7	10,1	2,2	Nein/ No
P15	7	4,6	4,4	Ja / Yes
T01	7	7,0	9,3	Nein/ No
U09	7	46	12	Ja / Yes
Z02	7	35,7	4,7	Nein/ No

¹⁾ Die teilnehmende Institution hat keine Werte für die Transitgeräte angegeben. / There were no transit values reported by the participant.

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.

Explanation 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.

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 A7-2 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 organisers. 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	Prüfcode Test code	Messgeräteanzahl No. of instruments	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h/m³]	Standardabweichung Standard deviation [kBq·h/m³]	Referenzwert <i>Reference value</i> <i>P_{Rn,Ref}</i> [kBq·h/m³]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
1	A02	7	299	39	349	-14
	AA03	7	327	14		-6,3
	AD01	7	360	22		3,1
	AD03	7	358	19		2,6
	AF01	7	241	39		-31
	AG01	7	450	51		29
	B02	7	364	25		4,4
	B11	7	340,6	5,6		-2,4
	B13	7	383	23		9,7
	C02	7	319	27		-8,7
	C03	7	341	28		-2,3
	D01	7	350	20		0,2
	GB14	6	393	16		13
	GB16	6	408	16		17
	L05	7	287	88		-18
	L06	7	430	110		24
	L07	7	519	15		49
	N01	7	332	17		-4,9
	N02	7	334	21		-4,2
	N04	7	382	34		9,5
	N05	7	334	12		-4,2
	N19	7	321	30		-8,0
	N22	7	349	20		0,1
	N23	7	338	26		-3,3
	N27	7	393	27		13
	N31	7	393	26		13
	N35	7	334	11		-4,4
	N36	7	332	20		-4,8
	P01	7	415,7	6,2		19
	P09	7	453	12		30
	P13	7	386	12		11
	P15	7	232	79		-34
	T01	7	338	17		-3,2
	U09	7	375	15		7,3
	Z02	7	329	48		-5,7

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

Expositionsgruppe Exposure group	Prüfcode Test code	Messgeräteanzahl No. of instruments	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h/m³]	Standardabweichung Standard deviation [kBq·h/m³]	Referenzwert Reference value P _{Rn,Ref} [kBq·h/m³]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
2	A02	7	486	60	549	-12
	AA03	7	485	36		-12
	AD01	7	551	19		0,3
	AD03	7	554	29		0,8
	AF01	7	407	46		-26
	AG01	7	605	75		10
	B02	7	573	31		4,4
	B11	7	547	13		-0,4
	B13	7	601	20		9,4
	C02	7	466	45		-15
	C03	7	563	50		2,5
	D01	7	566	24		3,0
	GB14	6	601	32		9,4
	GB16	6	626,3	7,3		14
	L05	7	487	43		-11
	L06	7	571	77		3,9
	L07	7	813	35		48
	N01	7	494	24		-10
	N02	7	558	38		1,6
	N04	7	597	17		8,7
	N05	7	519	28		-5,5
	N19	7	464	49		-16
	N22	7	573	18		4,3
	N23	7	527	28		-4,0
	N27	7	600	43		9,2
	N31	7	597	37		8,8
	N35	7	544	36		-0,8
	N36	7	533	31		-2,9
	P01	7	616	12		12
	P09	7	707	39		29
	P13	7	608	22		11
	P15	7	270	180		-50
	T01	7	531	36		-3,2
	U09	7	598	13		9,0
	Z02	7	547	71		-0,4

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

Expositionsgruppe Exposure group	Prüfcode Test code	Messgeräteanzahl No. of instruments	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h/m³]	Standardabweichung Standard deviation [kBq·h/m³]	Referenzwert Reference value P _{Rn,Ref} [kBq·h/m³]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
3	A02	7	1290	120	1421	-9,6
	AA03	7	1295	65		-8,9
	AD01	7	1516	57		6,7
	AD03	7	1518	57		6,8
	AF01	7	973	38		-32
	AG01	7	1670	130		18
	B02	7	1567	51		10
	B11	7	1497	18		5,4
	B13	7	1564	55		10
	C02	7	1230	90		-13
	C03	7	1360	110		-4,4
	D01	7	1460	26		2,8
	GB14	6	1609	40		13
	GB16	6	1602	18		13
	L05	7	1227	55		-14
	L06	7	1500	200		6,0
	L07	7	1927	42		36
	N01	7	1306	67		-8,1
	N02	7	1393	41		-2,0
	N04	7	1519	17		6,9
	N05	7	1342	26		-5,5
	N19	7	1257	90		-12
	N22	7	1400	110		-1,6
	N23	7	1391	47		-2,1
	N27	7	1550	79		9,1
	N31	7	1543	43		8,6
	N35	7	1357	66		-4,5
	N36	7	1363	53		-4,1
	P01	7	1606,7	7,1		13
	P09	7	1835	56		29
	P13	7	1543	20		8,6
	P15	7	580	420		-59
	T01	7	1350	100		-5,3
	U09	7	1525	23		7,3
	Z02	7	1240	160		-13

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

Expositionsgruppe Exposure group	Prüfcode Test code	Messgeräteanzahl No. of instruments	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h/m³]	Standardabweichung Standard deviation [kBq·h/m³]	Referenzwert <i>Reference value</i> <i>P_{Rn,Ref}</i> [kBq·h/m³]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
4	A02	7	2410	240	2419	-0,3
	AA03	7	2100	110		-13
	AD01	7	2600	110		7,4
	AD03	7	2580	150		6,3
	AF01	7	1506	68		-38
	AG01	7	2520	110		4,1
	B02	7	2590	130		7,2
	B11	7	2613	42		8,0
	B13	7	2715	52		12
	C02	7	2040	140		-16
	C03	7	2380	37		-1,6
	D01	7	2512	44		3,9
	L05	7	2250	320		-7,0
	L06	7	2570	150		6,1
	L07	7	3196	35		32
	N01	7	2320	120		-4,1
	N02	7	2269	77		-6,1
	N04	7	2425	58		0,2
	N05	7	2260	79		-6,6
	N19	7	2060	140		-15
	N22	7	2438	38		0,8
	N23	7	2301	50		-4,9
	N27	7	2533	79		4,7
	N31	7	2641	84		9,2
	N35	7	2330	71		-3,7
	N36	7	2286	76		-5,5
	P01	7	2789	17		15
	P09	7	3139	65		30
	P13	7	2605	81		7,7
	P15	7	770	550		-68
	T01	7	2380	130		-1,6
	U09	7	2527	28		4,5
	Z02	7	2100	200		-13

A8 Ergebnisbericht (Muster) / Report (example)



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

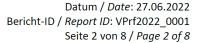
Datum / Date: 27.06.2022 Bericht-ID / Report ID: VPrf2022_0001 Seite 1 von 8 / Page 1 of 8

BfS-Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radonmessgeräte 2022 Ergebnisse

BfS Interlaboratory Comparison and Proficiency Testing of Passive Radon Detectors 2022

Results

	R	esults			
Teilnehmendes Labor: Participant	Bundesamt für Strahlens Köpenicker Allee 120-13 10318 Berlin DEUTSCHLAND		Laborcode: Laboratory code 000 Set Nummer: Set number 1		
Gerätetyp: Type of device	Radonmessgerät mit Fest Radon measurement dev nuclear track detector Name		Prüfcode: Test code X00		
Anzahl der Geräte: Number of devices	35	Geräte-Codes: Code of devices	000101 - 000135		
Detektormaterial: Detector material	Makrofol	Detektordicke: Detector thickness	0,5 mm		
Gesamt- Detektorfläche: Total detector size	1000 mm²	100 mm²			
Bereich der Radonexpos Vergleichsprüfung: Range of the exposure to interlaboratory comparis	o radon in the	Analyzed detector size 150 - 3000 kBq·h/m³			
Eingangsdatum der Mes Date of receipt of results	_	20.04.2022			
	auf Seite 5 beschriebenen uated on basis of the profices atisfactory.		ibed on page 5 as		
Datum Date 27.06.2022	ate Head of Section UR 1		Koordinatorin Coordinator		
	Dr. M. Dubslaff	Dr. F. Friedrich-Kees			





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

Die Expositionsdaten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Das Datum gibt den Zeitraum an, in dem die Messgeräte in den Referenzatmosphären exponiert wurden. Der Parameter $C_{Rn,Ref}$ ist der Mittelwert der Radon-222-Aktivitätskonzentration während der Expositionszeit t und $P_{Rn,Ref}$ die Radonexposition, die sich aus dem Produkt 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:2013 [1] und GUM [2] ermittelt. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphäre sind die Mittelwerte der Temperatur (T), der relativen Luftfeuchtigkeit (T) und des Luftdrucks (T) angegeben.

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 passive radon monitors of closed type (with diffusion barrier) were accepted for participation in the interlaboratory comparison. The monitors submitted by the participant were separated into 5 groups with 7 devices each. Monitors with electret detectors were separated into 4 groups with 6 devices each. One of the groups was used as a transit group to determine effects of transport and storage. Each of the remaining groups was exposed in one of the reference atmospheres. After exposition the instruments were returned to

Exposure data are summarised in table 1. The exposure interval is given in the date column. $C_{Rn,Ref}$ is the mean activity concentration of radon-222 during exposure time t whereas $P_{Rn,Ref}$ is the radon exposure calculated as the product of $C_{Rn,Ref}$ and t (given in rounded numbers). U is the extended relative uncertainty of the radon-222 activity concentration resulting from the standard uncertainty of the measurement multiplied with a coverage factor k = 2 (95% confidence interval) in accordance with EA-4/02 M:2013 [1] and GUM [2]. Additionally, mean values of temperature (T), relative humidity (r.H.) and air pressure (p) of reference atmospheres are given.

the laboratory for evaluation without disclosing the exposure data.

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/m³]	<i>U(C_{Rn,Ref})</i> [kBq/m³]	P _{Rn,Ref} [kBq·h/m³]	V*) [m³]	<i>T</i> [°C]	r.H. [%]	p [hPa]
1	14.0323.03.2022	216,9	1,61	0,08	349	11	24	25	1024
2	14.0323.03.2022	222,4	2,47	0,12	549	30	23	21	1021
3	01.0309.03.2022	195,7	7,26	0,36	1421	30	23	19	1012
4	01.0310.03.2022	221,1	10,94	0,55	2419	11	24	23	1016

^{*)} Volumen des Kalibrierbehälters / Volume of the calibration container

Lagerbedingungen der Transitgruppe / Storage conditions of the transit group

Zu Beginn der Expositionsphase wurden alle Radonmessgeräte ausgepackt und im messbereiten Zustand in einen Raum mit geringer Radon-222-Aktivitätskonzentration gebracht (Lagerraum). Die Messgeräte der Transitgruppe wurden über den gesamten Zeitraum der Expositionsphase (26 Tage) in diesem Raum gelagert. Alle anderen Geräte wurden vor und nach der Exposition in den Referenzatmosphären ebenfalls im Lagerraum aufbewahrt. Am Ende der Expositionsphase wurden alle exponierten und Transit-Radonmessgeräte zur gleichen Zeit aus dem Lagerraum entnommen und verpackt. Die Parameter der Atmosphäre im Lagerraum sind in Tabelle 2 dargestellt.

At the beginning of the exposure term all radon measurement instruments were unpacked, made ready for measurement and brought into a room with low radon-222 activity concentration (storage room). The instruments of the transit group were stored over the entire exposure term (26 days) in this storage room. All other instruments were stored in this room before the beginning and after the end of the exposures in reference atmospheres. At the end of the exposure term, all exposed and transit instruments were removed from the storage room and re-packed at the same time. The parameters of the atmosphere in the storage room are given in table 2.

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

C_{Rn} [Bq/m ³]	$U(C_{Rn})$ [Bq/m ³]	r.H. [%]	<i>U_{г.н.}</i> [%]	<i>T</i> [°C]	<i>U</i> _τ [K]	p [hPa]	U _p [hPa]	$\dot{\textit{H}}^*(10)$ [nSv/h]	$U_{\dot{H}^*(10)}$ [nSv/h]
6	7	23	6	22	1	1025	6	77	2

Der Parameter C_{Rn} ist die mittlere Radon-222-Aktivitätskonzentration, die während der Lagerung der Messgeräte im Lagerraum 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 (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).



Messergebnisse / Measurement results

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

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

The participating laboratory has determined the measurement values of exposure to radon-222 for each individual instrument and has reported them to the BfS. 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 laboratory was not informed by BfS which instrument belongs to which exposure group. Only the detector numbers of the transit group were announced. The transit group comprises instruments which were not exposed in reference atmospheres but transported and stored under the same conditions like all other instruments. It was the responsibility of the laboratory to decide whether and how 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 berechnet (siehe Formeln (1) und (2)). Die relative Messabweichung wurde für die Expositionsgruppen 1 bis 4 gemäß Gleichung (3) berechnet. Mittelwert, relative Standardabweichung und relative Messabweichung wurden in der durch die Nachkommastellen angezeigten Genauigkeit berechnet und in Tabelle 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.

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

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

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

- *g* Nummer der Expositionsgruppe (g = 1....4, Transitgruppe: g = 0) Number of the exposure group (g = 1....4, transit group: g = 0)
- Anzahl der Messwerte der entsprechenden Expositionsgruppe
 Number of measurement values of the corresponding exposure group



- $x_{g,i}$ Messwert der Radon-222-Exposition des Gerätes i der Expositionsgruppe gMeasurement value of the exposure to radon-222 of instrument i in exposure group g
- $ar{x}_g$ Arithmetischer Mittelwert der Radon-222-Exposition der Expositionsgruppe gArithmetic mean value of the exposure to radon-222 of exposure group g
- RSD_g Relative Standardabweichung der Messwerte der Expositionsgruppe g in Prozent Relative standard deviation of the measurement values of exposure group g in percent
- X_g Referenzwert der Radon-222-Exposition $P_{Rn,Ref}$ für die Expositionsgruppe g Reference value of the exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ for exposure group g
- $RERR_g$ Relative Messabweichung der Messwerte der Expositionsgruppe g vom Referenzwert in Prozent Relative error of the measurement values of exposure group g from the reference value in percent

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.

$$UG_g \le \frac{x_{g,i}}{x_g} \le OG_g$$
 mit/with $UG_g = 0.7 - \frac{30}{x_g}$ und/and $OG_g = 1.3 + \frac{30}{x_g}$ (4)

- *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 P_{mess} der Radon-222-Exposition des Gerätes i der Expositionsgruppe gMeasurement value P_{mess} of the exposure to radon-222 of instrument i in exposure group g
- X_g Referenzwert der Radon-222-Exposition $P_{Rn,Ref}$ für die Expositionsgruppe g Reference value of the exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ for exposure group g
- UG_g Untere Grenze für die Expositionsgruppe gLower limit for the exposure group g
- OG_g Obere Grenze für die Expositionsgruppe gUpper limit for the exposure group g



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

Messgerätetyp /	Anzahl exponierter Messgeräte /	Anzahl Ausreißer /
Detector type	Number of exposed monitors	Number of outliers
Elektret / Electret	18	1
FKSD / SSNTD	28	2

Literaturangaben / References:

- [1] EA-4/02 M:2013 "Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen", (Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration), European Accreditation, 2013 bzw. 2018 (Deutsche Übersetzung / German Translation)
- [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 Interlaboratory Comparison and Proficiency Testing of Passive Radon Detectors 2022: Interlaboratory Comparison BfS-Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radonmessgeräte 2022: Vergleichsprüfung

Tabelle 4 Messergebnisse für Laborcode 000, Set Nummer 1, Prüfcode X00 Table 4: Measurement results for laboratory code 000, set number 1, test code X00

Transitgruppe/ 1 2 3 4		Messgeräte- Anzeigewert/ Code/ Indication Gode of [kBq·h / m³]	2 000104 358 000103 552 000102 1432	2 000108 353 000107 589 000109 1485 000114	364 000111 578 000115 1480 000121	366 000112 526 000116 1488	000122 4 000124 363 000118 550 000119 1459 000129 2529	000128 5 000125 323 000120 576 000132 1422 000131 2528	000133 3 000130 322 000127 588 000134 1456 000135 2500		38 5,5 1,8	
Expositionsgruppe/ Exposure group	Referenzwert der Rn-222-Exposition/ Reference exposure to radon-222	er / N <i>umber</i>	1 0001	2 0001	3 0001	4 0001	5 0001	6 0001	7 0001	Mittelwert/ Mean value [kBq:h·m ⁻³]	Standardabweichung/ Standard deviation [%]	Relative Messabweichung /

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



BfS-Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radonmessgeräte 2022: Eignungsprüfung BfS Interlaboratory Comparison and Proficiency Testing of Passive Radon Detectors 2022: Proficiency Testing

Table 5: Performance in Proficiency Testing according to the described scheme (p.5) for the BfS interlaboratory comparison report ID VPrf2022_0001 Tabelle 5 Leistung in der Eignungsprüfung nach beschriebenem Verfahren (S.5) für die BfS Vergleichsprüfung Bericht-ID VPrf2022_0001

Expositionsgruppe / Exposure group			2		E)	3	7	4
Referenzwert der Rn-222-Exposition/ Reference exposure to radon-222 P _{Rn,Ref} [KBq-h-m³]	78	349	549	6	14	1421	24	2419
	Messgeräte- Code/ Code of device	P mess /P Rn,Ref	Messgeräte- Code/ Code of device	P mess/P Rn,Ref	Messgeräte- Code/ Code of device	P mess / P Rn,Ref	Messgeräte- Code/ Code of device	P mess /P Rn,Ref
	000104	1,0	000103	1,0	000102	1,0	000113	1,1
	000108	1,0	000107	1,1	000109	1,0	000114	1,1
	000117	1,0	000111	1,1	000115	1,0	000121	1,0
	000123	1,0	000112	1,0	000116	1,0	000126	1,0
	000124	1,0	000118	1,0	000119	1,0	000129	1,0
	000125	6'0	000120	1,0	000132	1,0	000131	1,0
	000130	6'0	000127	1,1	000134	1,0	000135	1,0
NG	0	0,6	9,0	9	Ó	0,7		0,7
90	1,	1,4	1,	1,4	1,	1,3	1	1,3
Anzahl der Aussreißer/ Number of <i>outliers</i>		0	0		J	0	0	0
Gesamtanzahl der Ausreisser/ Total number of outliers		0			Eignungs prüfung/	prüfung/	zufriedenstellend/	stellend/
Erlaubte Anzahl an Ausreißern/ Allowed number of outliers		2			Proficiency testing	y testing	satisfactory	actory

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.

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 [15] 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 [15] 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)

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.

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

Passives Messgerät bezeichnet in diesem Bericht ein nichtelektronisches, integrierendes Messgerät (Exposimeter), das über keine aktive Probenahme und über keine Anzeigeeinheit verfügen. Die Messergebnisse werden nach der eigentlichen Messung durch einen separaten Auswerteprozess ermittelt. Typische nichtelektronische Exposimeter ohne Direktanzeige sind Geräte mit Festkörperspurdetektor (FKSD) oder Elektret-Ionisationskammer.

A passive measurement instrument is a non-electronic integrating measurement instrument that features neither active probing nor a display unit. Thus, the measurement result can be determined only after the actual measurement process by a separate analysis. Typical passive radon measurement instruments are solid-state nuclear track detectors (SSNTD) or electret ionization chambers.

Prüfcode / Test Code

Der Prüfcode eines Sets wird zur Pseudonymisierung der Ergebnisse im Bericht verwendet. Er ist charakteristisch für die Bauform (siehe Anhang A2).

The test code of a set is employed in the report for displaying only pseudonymized results. It is assigned depending on the instrumental design (see appendix A2).

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 m³) / Figure 3-1: Calibration chamber in the Radon Calibration Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection (volume: 30 m³)
Abbildung 4-1 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 1 als Boxplot / Figure 4-1: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 1 as box plot
Abbildung 4-2 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 2 als Boxplot / Figure 4-2: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 2 as box plot
Abbildung 4-3 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 3 als Boxplot / Figure 4-3: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 3 as box plot
Abbildung 4-4 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 4 als Boxplot / Figure 4-4: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 4 as box plot
Abbildung 4-5 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Elektretdetektor der Expositionsgruppen 1 bi 3 als Boxplots / Figure 4-5: Relative error of the instruments using electret detectors of the exposui groups 1 to 3 as box plots
Abbildung 4-6 Abweichung der Messwerte der 35 Messgeräte-Sets in den vier Expositionsgruppen von der jeweiligen Referenzwerten (als Verhältnis) und erlaubter Bereich. / Figure 4-6 Deviation of the measurement values of 35 sets of measurement instruments in 4 exposure groups from the respective reference value (ratio) and region of acceptance
Subbildung A3-1 Ablaufschema / Figure A3-1: Time course
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

Tabellenverzeichnis / List of tables

Tabelle	e 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>
Tabelle	e 4-1 Verteilung der Ausreißer der 35 Sets mit grau unterlegter Markierung des Bereiches zufriedenstellender Leistung sowie die Verteilung der Leistungsbewertung. / Table 4-1 Distribution of outliers over the 35 sets with highlighted range of satisfactory performance as well as distribution of performance
Tabelle	4-2 Leistungsergebnisse der teilnehmenden Messgeräte-Sets bisheriger Eignungsprüfungen / Table 4-2 Performance of the participating sets of measurement instruments in previous proficiency testings
Tabelle	A1-1 Institutionen, die an der Vergleichs- und Eignungsprüfung 2022 teilgenommen haben / Table A1-1 Participants of the interlaboratory comparison and proficiency testing 2022
Tabelle	A2-1 Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren oder Elektreten / <i>Table A2-1: Measuring</i> instruments using solid-state nuclear track detectors or electrets
Tabelle	e A4-1 Parameter der Atmosphäre im Lagerraum / Table A4-1 Parameters of the atmosphere in the storage room
Tabelle	A5-1 Werte der Radon-Referenzatmosphären / <i>Table A5-1 Parameters of the radon reference</i> atmospheres
Tabelle	e A7-1 Messwerte der Transitgruppe / Table A7-1: Measurement values of the transit group 33
Tabelle	e A7-2 Ergebnisse der Expositionsgruppe 1 / Table A7-2: Results of exposure group 1
Tabelle	e A7-3 Ergebnisse der Expositionsgruppe 2 / Table A7-3: Results of exposure group 2
Tabelle	e A7-4 Ergebnisse der Expositionsgruppe 3 / Table A7-4: Results of exposure group 3
Tabelle	e A7-5 Ergebnisse der Expositionsgruppe 4 / Table A7-5: Results of exposure group 4