



Bundesamt
für Strahlenschutz

Bericht

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

Vergleichs- und Eignungsprüfung 2021 /
Interlaboratory comparison and proficiency testing 2021

BfS-39/22

Felice Friedrich-Kees
Elisabeth Foerster
Felix Schneider
Sebastian Feige

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:0221-2022030331657](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2022030331657)

Dezember/2021

Zusammenfassung / Summary

Dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wurde vom Gesetzgeber die Aufgabe übertragen, Maßnahmen der Qualitätssicherung von Radonmessungen, die dem Strahlenschutz an Arbeitsplätzen dienen, durchzuführen. Eine qualitätsgesicherte Messung der Radon-Aktivitätskonzentration bzw. der Exposition ist entscheidend, um beispielsweise die Situation an Arbeitsplätzen und in Aufenthaltsräumen zu bewerten und über Reduzierungsmaßnahmen zu entscheiden. Vielfach werden dazu passive Exposimeter zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration in der Raumluft oder der personenbezogenen Exposition eingesetzt. Zur Qualitätssicherung dieser Geräte hat sich die Teilnahme an Vergleichs- und Eignungsprüfungen bewährt, bei der die Messergebnisse einer Anzahl von kontrolliert exponierten Geräten mit einem Referenzwert verglichen werden. Liegen die Abweichungen der gemessenen Werte vom Referenzwert innerhalb eines zulässigen Bereichs, so wird die Leistung der teilnehmenden Institution als „zufriedenstellend“ bewertet. Andernfalls ist die Leistung „nicht zufriedenstellend“. Anbieter von Radonmessungen können somit das Funktionieren ihres Qualitätsmanagementsystems nachweisen. Öffentliche und private Auftraggeber sowie Verbraucher können sich an Hand des Berichts einen allgemeinen Überblick über die Leistungsfähigkeit des Anbieterfeldes für Radonmessungen verschaffen.

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse der 18. BfS Vergleichs- und Eignungsprüfung im Jahr 2021 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 anonymisierter Form zusammen. 2021 haben alle teilnehmenden Institutionen die Eignungsprüfung erfolgreich bestanden. Individuelle Berichte liegen den teilnehmenden Institutionen vor.

Berichte zurückliegender BfS Vergleichs- und Eignungsprüfungen sind im Online-Repository des Bundesamtes für Strahlenschutz zugänglich.

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 exposimeters. 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 18th BfS interlaboratory comparison and proficiency testing that has taken place in 2021. 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 anonymized results of the interlaboratory comparison and proficiency testing. In 2021, all participating institutions have passed the proficiency testing successfully. 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.

Inhalt / Content

Zusammenfassung / <i>Summary</i>	3
1 Einleitung / <i>Introduction</i>	6
1.1 Rechtliche Grundlagen und Festlegungen / <i>Legal principles and provisions</i>	6
1.2 Zweck der Vergleichs- und Eignungsprüfung / <i>Purpose of the interlaboratory comparison and proficiency testing</i>	7
2 Organisation / <i>Organisation</i>	7
2.1 Qualitätssicherung / <i>Quality assurance</i>	7
2.2 Anzahl der zu prüfenden Messgeräte pro Gerätetyp / <i>Number of measurement instruments to be tested per instrument type</i>	8
2.3 Ablauf der Vergleichsprüfung / <i>Process of the interlaboratory comparison</i>	8
2.4 Ablauf der Eignungsprüfung / <i>Process of the proficiency testing</i>	10
3 Expositionen / <i>Exposures</i>	10
3.1 Herstellung von Radon-Referenzatmosphären / <i>Generation of reference atmospheres</i>	10
3.2 Raum zur Lagerung der Messgeräte / <i>Storage of the measurement instruments</i>	12
3.3 Exposition von Messgeräten in Radon-Referenzatmosphären / <i>Exposure of measurement instruments in radon reference atmospheres</i>	12
4 ERGEBNISSE / <i>Results</i>	13
4.1 Vergleichsprüfung / <i>Interlaboratory Comparison</i>	13
4.2 Eignungsprüfung / <i>Proficiency testing</i>	16
Literaturverzeichnis / <i>Bibliography</i>	20
Anlagenverzeichnis / <i>List of Appendices</i>	21
A1 Teilnehmende Institutionen / <i>Participants</i>	22
A2 Messgerätetypen / <i>Types of measurement instruments</i>	24
A3 Ablaufschema / <i>Time course</i>	29
A4 Atmosphäre im Lagerraum / <i>Atmosphere in the storage room</i>	29
A5 Referenzatmosphären / <i>Reference atmospheres</i>	30

A6	Datenauswertung / <i>Analysis of data</i>	32
A7	Messwerte / <i>Measurement values</i>	34
A8	Ergebnisbericht (Muster) / <i>Report (example)</i>	41
	Begriffe und Definitionen / <i>Terms and Definitions</i>	49
	Abbildungsverzeichnis / <i>List of Figures</i>	52
	Tabellenverzeichnis / <i>List of tables</i>	53

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 [1] bildet das deutsche Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [2], ergänzt durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [3], die Grundlage für den gesetzlichen Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung.

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 getroffen.

Weiterhin werden im Strahlenschutzgesetz in § 127 und § 128 Vorschriften zu Messungen an Arbeitsplätzen in Innenräumen getroffen. Diese sind verpflichtend, wenn der Arbeitsplatz in einem Radonvorsorgegebiet nach § 121 StrlSchG im Erd- oder Kellergeschoss liegt oder wenn die Art des Arbeitsplatzes einem der in Anlage 8 des Strahlenschutzgesetzes genannten Arbeitsfelder mit erhöhter Exposition durch Radon zuzuordnen ist. Bei Anhaltspunkten für eine erhöhte Radonkonzentration sind auch an anderen Arbeitsplätzen verpflichtend Messungen durchzuführen. 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.

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 Radonmessgeräte.

European Council Directive 2013/59/EURATOM [1] 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) [2] supplemented by the Radiation Protection Ordinance (RPO) [3].

As before, provisions are made for individual monitoring of persons exposed occupationally to radiation. Section 169 of the RPA and section 172 of the RPO specify regulations on measuring bodies whereas the data collection of body doses for the Radiation Protection Register is treated in section 173 of the RPO.

In addition, sections 127, 128 of the RPA contain provisions for measurements at indoor workplaces. Measurements are compulsory if the workplace is situated in the basement level or ground floor within an area with enhanced radon concentration identified in accordance with section 121 of the RPA or if the type of workplace is classified as one of the fields of work in accordance with Annex 8 of the RPA (Fields of work with increased radon exposure). Additionally, the competent authority may order measurements if there are indications for an enhanced radon concentration. The measurement of the average annual radon activity concentration has to be performed with measurement instruments provided by a body recognised by the Federal Office for Radiation Protection according to section 155 of the RPO.

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 [4].

Die Vergleichs- und Eignungsprüfung wird in der Regel jährlich vom Bundesamt für Strahlenschutz (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 den 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 [5] 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 [4].

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 [5]. 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 [6] sowie an Veröffentlichungen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) auf diesem Gebiet.

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

Radon-222 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 [6] and the publications of the Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) [National Accreditation Body] in this field.

The measurement instruments to be tested are exposed in the radon calibration laboratory of BfS. The laboratory maintains a quality management system according to DIN EN ISO/IEC 17025 [5] and is accredited by the DAkkS under number D-K-15063-01-00 for the calibration of instruments for the measurands activity concentrations of radon-222 and the potential alpha energy concentration of short-lived radon-222 decay products.

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

Durch jede teilnehmende Institution ist ein Set mit einer definierten Anzahl passiver Messgeräte eines Typs 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. 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 <i>Measurement instrument and/or detector type</i>	Anzahl der Messgeräte zur Exposition <i>Number of measurement instruments to be exposed</i>	Anzahl der Messgeräte der Transitgruppe <i>Number of measurement instruments for the transit group</i>	Anzahl der Expositionsgruppen <i>Number of exposure groups</i>
Festkörperspurdetektoren <i>Solid-state nuclear track detectors</i>	28	7	4
Elektrettdetektoren <i>Electrets</i>	18	6	3

2.3 Ablauf der Vergleichsprüfung / Process of the interlaboratory comparison

Die Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radonmessgeräte wird etwa zwei Monate vor deren Beginn bekannt gegeben. Allgemeine Informationen werden auf der Internetseite des Bundesamtes für Strahlenschutz [7] sowie im Europäischen Informationssystem über Eignungsprüfungen EPTIS bereitgestellt, das als Internetdatenbank verfügbar ist [8].

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 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 Messgeräteelieferung 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 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 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 [7] as well as in the European Information System for proficiency testing EPTIS, which is available as an internet database [8].

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.

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 [13]. 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 [13]. By exceeding this limit, the performance is evaluated as “not satisfactory”.

3 Expositionen / Exposures

3.1 Herstellung von Radon-Referenzatmosphären / Generation of reference atmospheres

Für die Herstellung von Radon-Referenzatmosphären stehen im Radon-Kalibrierlaboratorium des Bundesamtes für Strahlenschutz Behälter aus Edelstahl mit Volumina von 0,4 m³, 11 m³ und 30 m³ zur Verfügung. Die hergestellten Referenzatmosphären sind durch ihre Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sowie durch die klimatischen Parameter Temperatur, Luftdruck und relative Luftfeuchte gekennzeichnet. Vor Beginn der Expositionen wird die Radon-Aktivitätskonzentration für jeden verwendeten Behälter 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 innerhalb der Behälter während der Exposition zeitlich ausreichend konstant bleiben. Die Atmosphäre wird innerhalb der Behälter durch Ventilatoren homogenisiert.

Die Verfahren zur Herstellung und Aufrechterhaltung von Radon-Referenzatmosphären sind auf der Internetseite des Bundesamts für Strahlenschutz dargestellt [9]. Die Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration sowie der relevanten Umgebungsparameter sind auf nationale Normale zurückgeführt. Alle während der Expositionen aufgenommenen Messdaten werden aufgezeichnet und sämtliche Messbedingungen dokumentiert, so dass die Wiederholbarkeit und die Reproduzierbarkeit der Messungen sichergestellt sind.

The radon calibration laboratory at the Federal Office for Radiation Protection features stainless steel containers with volumes of 0.4 m³, 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 container 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 container sufficiently constant for the duration of the exposure. The atmosphere within the container 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 [9]. 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 Ortsdosis 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 von Messgeräten in Radon-Referenzatmosphären / *Exposure of measurement instruments in radon reference atmospheres*

Die Expositionsdaten für die einzelnen Expositionsgruppen sind im Anhang 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 3500 kBq·h/m³.

Die Messunsicherheit des Referenzwertes wird gemäß Qualitätsmanagementsystem [10] auf Basis des Dokuments EA-4/02 M:2013 [11] berechnet. Die passiven Messgeräte werden in der Regel bei Radon-Aktivitätskonzentrationen oberhalb von 1000 Bq·m⁻³ exponiert. Die erweiterte relative Messunsicherheit beträgt in diesem Messbereich minimal 5 Prozent (Erweiterungsfaktor k = 2). Die Messunsicherheit der Expositionszeit ist vernachlässigbar.

The exposure data for the individual exposure groups are given in the appendix. 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 3500 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 [10] and EA-4/02 M:2013 [11]. The passive measurement instruments are usually exposed to radon activity concentrations above 1000 Bq·m⁻³. Then, the expanded relative measurement uncertainty amounts to a minimum of 5 per cent (coverage factor $k = 2$). The measurement uncertainty for the exposure time is negligible.

4 ERGEBNISSE / Results

4.1 Vergleichsprüfung / Interlaboratory Comparison

An der Vergleichsprüfung 2021 haben 38 Institutionen mit insgesamt 42 Messgerätesets teilgenommen. Zur Anonymisierung 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.

Eine teilnehmende Institution konnte die Messwerte erst nach Veröffentlichung der Referenzwerte einreichen. In der Gesamtauswertung werden daher nur 41 Messgerätesets berücksichtigt.

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, Tabelle A7-2 bis Tabelle A7-5 für jedes Messgeräteset dargestellt. 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.

In 2021, 38 institutions with a total of 42 sets of measurement instruments took part in the interlaboratory comparison. To anonymise 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.

The measurement values of one participant were submitted only after publication of the reference values. Thus, the comprehensive report comprises only the data of 41 sets.

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 4-4). The test codes for the sets are given on the abscissa in the order of ascending median values.

Referenzexposition /
Reference Exposure : **383 kBq·h / m³**

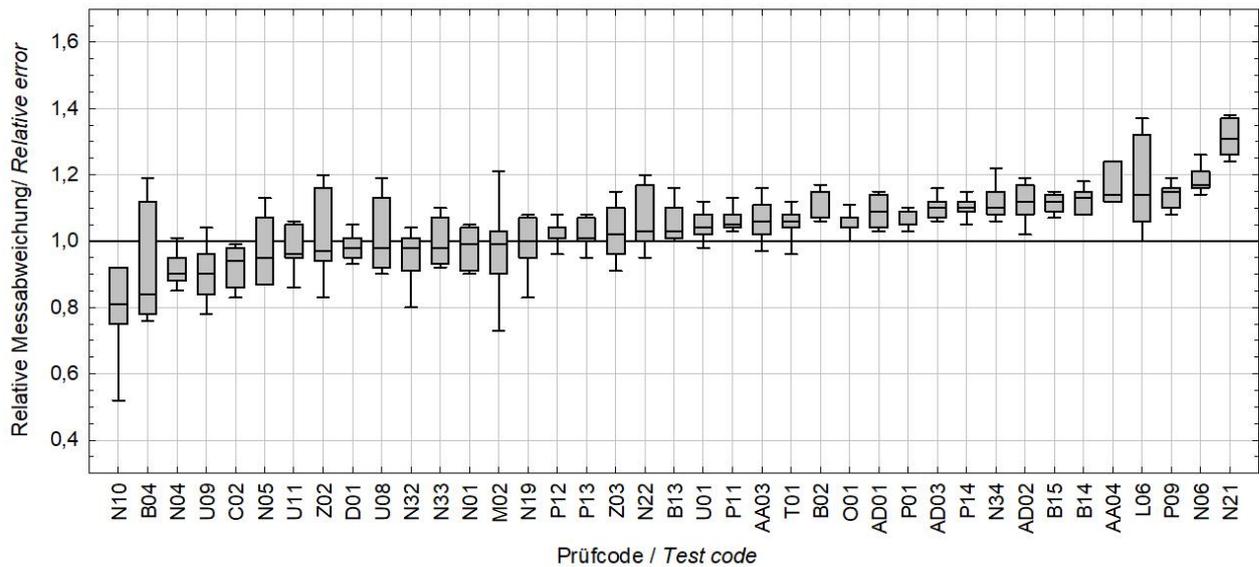


Abbildung 4-1 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 1 als Boxplot /
Figure 4-1: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 1 as box plot

Referenzexposition /
Reference Exposure : **1056 kBq·h / m³**

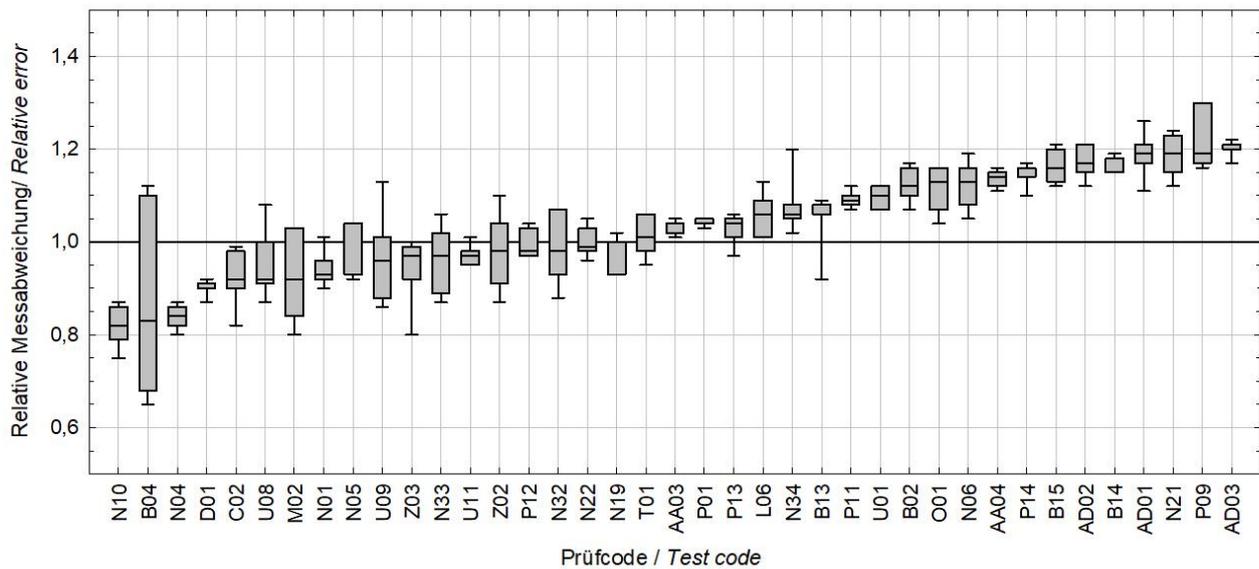


Abbildung 4-2 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 2 als Boxplot /
Figure 4-2: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 2 as box plot

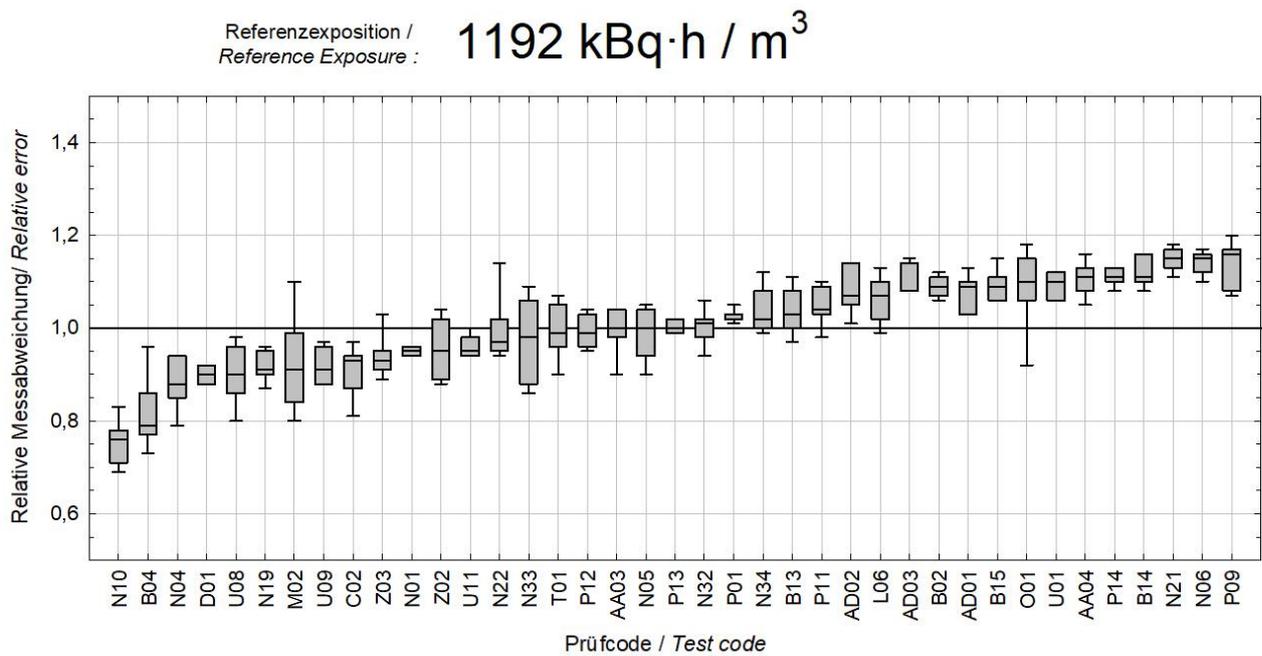


Abbildung 4-3 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 3 als Boxplot /
Figure 4-3: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 3 as box plot

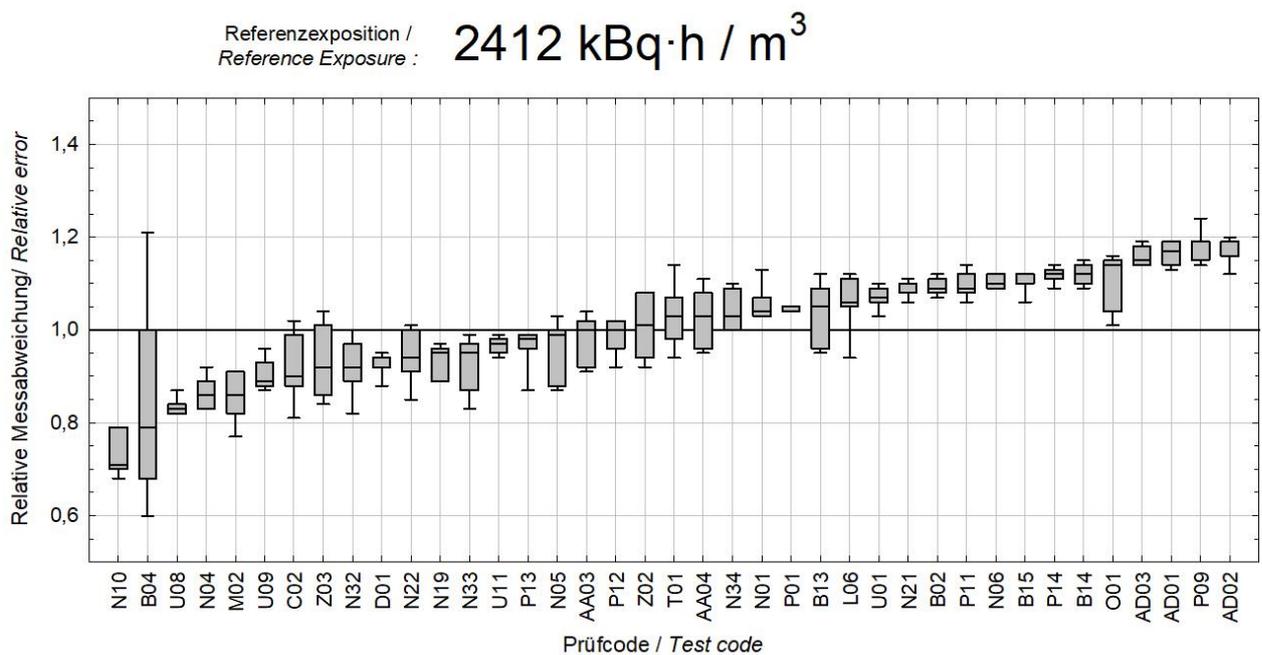


Abbildung 4-4 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 4 als Boxplot /
Figure 4-4: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 4 as box plot

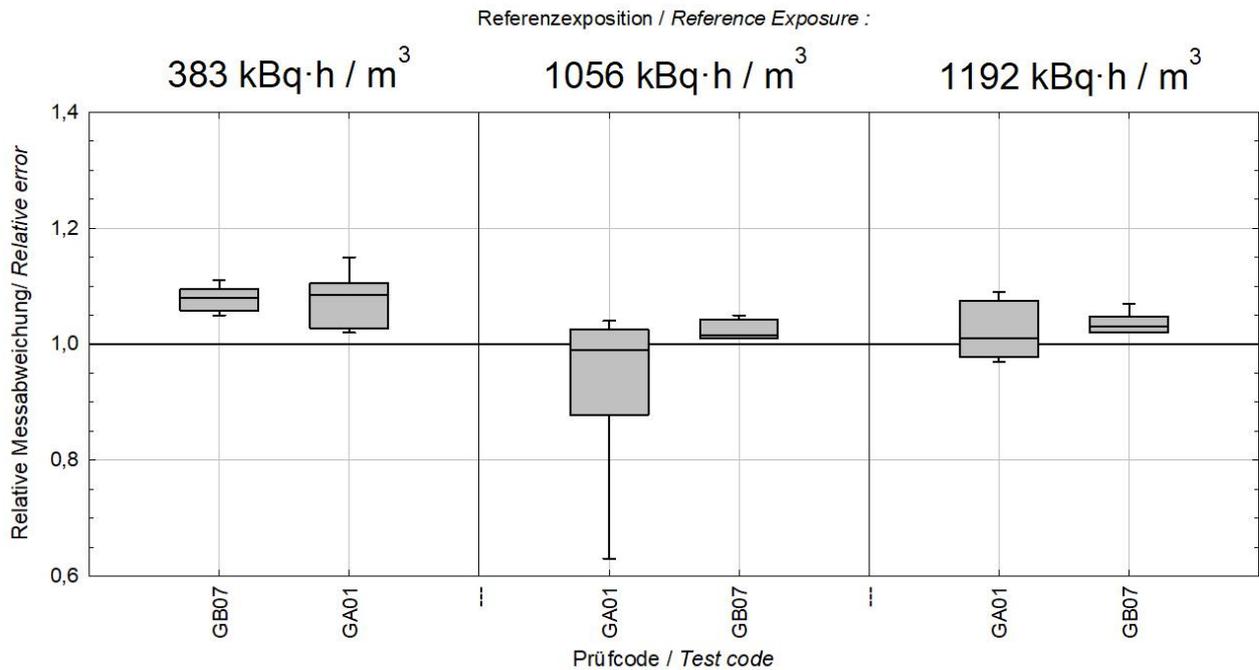


Abbildung 4-5 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Elektret der Expositionsgruppen 1 bis 3 als Boxplots /
 Figure 4-5: Relative error of the instruments using electrets of the exposure groups 1 to 3 as box plots

4.2 Eignungsprüfung / Proficiency testing

Die Leistungsbewertung erfolgt auf Basis von Erkenntnissen aus vergangenen Vergleichsprüfungen für passive Radonmessgeräte und wissenschaftlich begründbaren Leistungserwartungen [13]. Die Anzahl der teilnehmenden Labore, Ergebnisse anderer teilnehmender Labore oder die von den Laboren angegebene Messunsicherheit werden nicht für die Bewertung herangezogen. Somit ist das Bewertungskriterium unabhängig von zufälligen Variationen oder Änderungen in der Grundgesamtheit der Teilnehmer.

In Abbildung 4-6 sind die Daten zur Leistungsbewertung der teilnehmenden Messgerätesets in der Auswertung in einem Boxplot gezeigt. Es handelt sich um 1128 Einzelmesswerte der 39 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 2021 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. Alle teilnehmenden Sets haben die Kriterien der Eignungsprüfung erfüllt und diese erfolgreich bestanden. Ihre Leistung wird gemäß Nomenklatur der entsprechenden Norm [15] als „zufriedenstellend“ bewertet. Ein Überblick über die Leistungsergebnisse der seit 2019 durchgeführten Eignungsprüfungen ist in Tabelle 4-2 dargestellt. Auf Grund der Teilnehmerauswahl erlauben die vorliegenden Daten keine generelle Aussage über signifikante Leistungsänderungen der Gesamtheit der Teilnehmer.

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 [13]. 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 1128 measurements values of 39 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. All 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 [15]. 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.

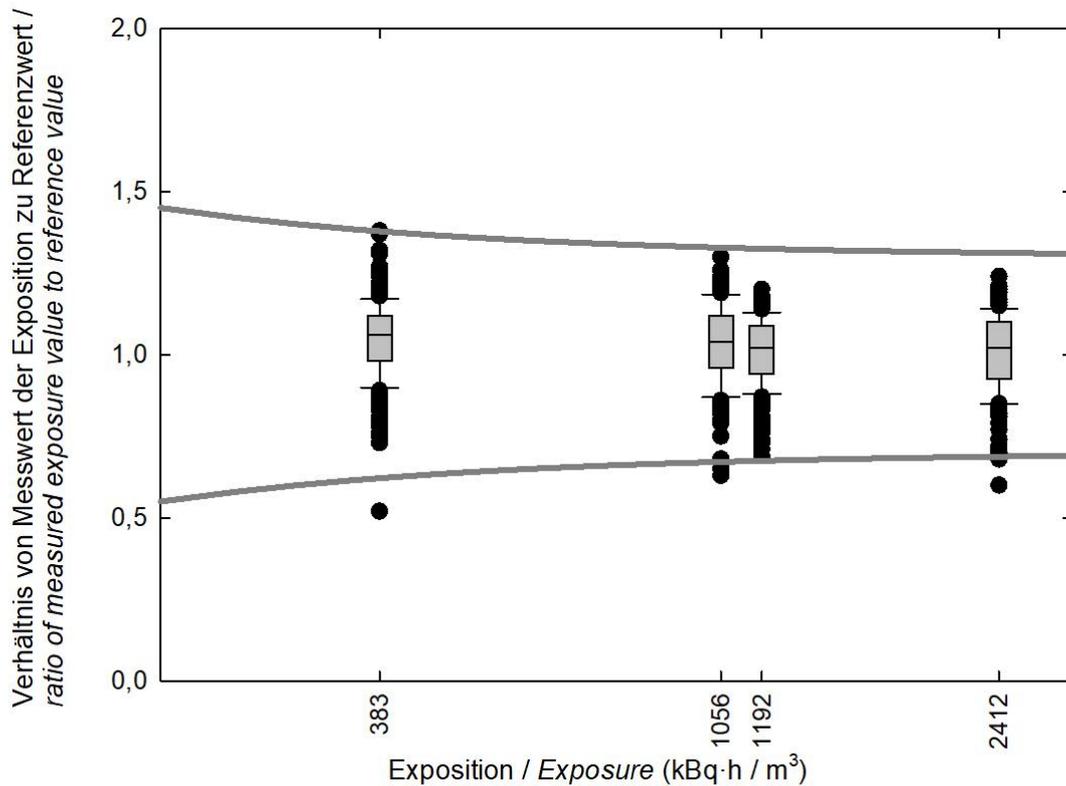


Abbildung 4-6 Abweichung der Messwerte von 41 Messgeräte-Sets von den jeweiligen Referenzwerten (als Verhältnis) und erlaubter Bereich. / Figure 4-6 Deviation of the measurement value of 41 sets of measurement instruments from the respective reference value (ratio) and region of acceptance.

Tabelle 4-1 Verteilung der Ausreißer der 41 Sets mit grau unterlegter Markierung des Bereiches zufriedenstellender Leistung sowie die Verteilung der Leistungsbewertung. / Table 4-1 Distribution of outliers over the 41 sets with highlighted range of satisfactory performance as well as distribution of performance

	Anzahl der Sets / Number of sets		
Anzahl der Ausreißer <i>Number of outliers</i>	FKSD <i>SSNTD</i>	Elektret <i>Electret</i>	Gesamt <i>Total</i>
0	37	1	38
1	1	1	2
2	1	0	1
>2	0	0	0
Leistungsbewertung <i>performance</i>	FKSD <i>SSNTD</i>	Elektret <i>Electret</i>	Gesamt <i>Total</i>
Zufriedenstellend <i>satisfactory</i>	39	2	41
nicht zufriedenstellend <i>unsatisfactory</i>	0	0	0

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 <i>Total number of sets</i>	Leistung zufriedenstellend <i>Satisfactory Performance</i>	Leistung nicht zufriedenstellend <i>Unsatisfactory Performance</i>
2019	31	29	2
2020	31	28	3
2021	41	41	0

Danksagung / Acknowledgements

Wir danken allen teilnehmenden Institutionen für die freundliche Zusammenarbeit und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Fachgebiete UR 1 Radonmetrologie und UR 5 Dosimetrie und Spektrometrie des BfS, die durch ihre Unterstützung beim Aus-, Einpacken und Versand der Pakete, bei der Sortierung der 1448 Messgeräte, bei den Messungen im Radon-Kalibrierlaboratorium, bei der Datenauswertung und bei der Erstellung des Berichtes mitgewirkt haben.

We gratefully thank all participating institutions for the pleasant cooperation and the members of sections UR 1 Radon Metrology and UR 5 Dosimetry and Spectrometry, who have contributed to this interlaboratory comparison by unpacking, packing and shipping the parcels, sorting the 1448 measuring instruments, performing measurements in the laboratory, data processing and compiling the report.

Literaturverzeichnis / Bibliography

- [1] Rat der Europäischen Union, Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/EURATOM, 90/641/EURATOM, 96/29/EURATOM, 97/43/EURATOM und 2003/122/EURATOM, Amtsblatt der Europäischen Union, Reihe L, Nr. 13/1 vom 17.01.2014
- [2] Gesetz 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
- [3] 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
- [4] Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Regeln für die Durchführung von Vergleichsmessungen von Dosimetern gemäß § 2 Abs. 3 Satz 3 der Eichordnung, PTB-Mitteilungen 122 (2012), Heft 4
- [5] DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03, 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)
- [6] 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)
- [7] http://www.bfs.de/DE/themen/ion/service/radon-messung/vergleichspruefung/vergleichspruefung_node.html
- [8] <http://www.eptis.org>
- [9] <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/labore/radon/radon>
- [10] Qualitätsmanagementhandbuch des Radon-Kalibrierlaboratoriums, Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Radonmetrologie
- [11] EA-4/02 M:2013, Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen (Deutsche Übersetzung)
- [12] Hartung, J., Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. R. Oldenburg Verlag GmbH, München 1986
- [13] Beck, T.R., Foerster, E., Buchröder, H., Schmidt, V., Döring, J., The measurement accuracy of passive radon instruments, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 158, No. 1, S. 59-67, 2014, doi: 10.1093/rpd/nct182
- [14] Kanisch, G., Verfahren zur statistischen Auswertung von Daten mit als "<G" dokumentierten Werten, DOKUM/STATAUSW, in: Messanleitungen für die "Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung", ISSN 1865-8725, BMU, 1998
- [15] 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 / <i>Participants</i>	22
A2	Messgerätetypen / <i>Types of measurement instruments</i>	24
A3	Ablaufschema / <i>Time course</i>	29
A4	Atmosphäre im Lagerraum / <i>Atmosphere in the storage room</i>	29
A5	Referenzatmosphären / <i>Reference atmospheres</i>	30
A6	Datenauswertung / <i>Analysis of data</i>	32
A7	Messwerte / <i>Measurement values</i>	34
A8	Ergebnisbericht (Muster) / <i>Report (example)</i>	41

A1 Teilnehmende Institutionen / *Participants*

Tabelle A1-1 Institutionen, die an der Vergleichs- und Eignungsprüfung 2021 teilgenommen haben /
 Table A1-1 *Participants of the interlaboratory comparison and proficiency testing 2021*

Teilnehmende Institution <i>Participant</i>	Land <i>Country</i>	Adresse <i>Address</i>
Aleph Group & Asociados S.A.C	Peru Peru	Av Rafael Escardo 154, Distrito San Miguel 15088 Lima
ALGADE Laboratoire LED-DU	Frankreich France	Avenue du Brugeaud 87250 Bessines-sur-Gartempe
ALGADE Laboratoire Dosirad	Frankreich France	15 rue du Gardon 26700 Pierrelatte
ALTRAC Prüflabor	Deutschland Germany	Straße der Einheit 17 09661 Striegistal
Bio-Synergetics.de Baubiologie und Umweltmesstechnik	Deutschland Germany	Metzholz 6 42799 Leichlingen
BSS Bergsicherung Sachsen GmbH	Deutschland Germany	Fundgrube Anna und Schindler 4 08289 Schneeberg
Bundesamt für Strahlenschutz UR 1	Deutschland Germany	Köpenicker Allee 120-130 10318 Berlin
Direction de la Santé Laboratoire des Analyses Radiologiques	Luxemburg Luxembourg	Villa Louvigny - Allée Marconi L-2120 Luxembourg
ENEA Radon Service	Italien Italy	Via Martiri di Montesole, 4 40129 Bologna
European Commission DG JRC - Joint Research Centre Nuclear Safety & Security JRC Nuclear Decommissioning - Dosimetry Laboratory	Italien Italy	Via Enrico Fermi, 2749, Bd 5L, TP 055 21027 Ispra
Geoex srls Radon Lab Services	Italien Italy	Corso G. Matteotti 44 00041 Albano Laziale Rome
Hainaut Analyses	Belgien Belgium	Boulevard Saintelette, 55 7000 Mons
Hirosaki University Institut of Radiation Emergency Medicine	Japan Japan	66-1 Hon-Cho 036-8564 Hirosaki
Keskkonnaamet kliima - ja kiirgusosakond	Estland Estonia	Kopli 76 10416 Tallinn
L.B. Servizi per le aziende	Italien Italy	Via Giuseppe Allievo, 8100135 Roma
Laboratorio de Radioactividade Natural Departamento de Ciencias da Terra Universidade de Coimbra	Portugal Portugal	Rua Silvio Lima 3030-790 Coimbra
Laboratorio di Radioattività Lab.RAD CeSMA Advanced Metrological and Technological Cervice Centre	Italien Italy	Corso Nicolangelo Protopisani 80146 Napoli (NA)
Landesamt für Umwelt	Deutschland Germany	Kaiser-Friedrich-Str. 7 55116 Mainz

Teilnehmende Institution Participant	Land Country	Adresse Address
LaRUC Universidad de Cantabria	Spanien Spain	c/ Cardenal Herrera Oria, s/n 39011 Santander (Cantabria)
Mi.am srl.	Italien Italy	Via Bolzoni 30 29122 Piacenza (PC)
Mirion Technologies (AWST) GmbH Abt. Dosimetrics Radon-Messstelle	Deutschland Germany	Otto-Hahn-Ring 6 81739 München
Messlabor/ Measuring laboratory: Eurofins Radon Testing Sweden AB	Schweden Sweden	Gammelstadsvägen 5 972 41 LULEÅ
Materialprüfungsamt Nordrhein- Westfalen	Deutschland Germany	Marsbruchstraße 186 44287 Dortmund
Niton srl	Italien Italy	Via Prima Strada 23H 20020 Lainate (MI)
Pearl	Frankreich France	20 Rue Atlantis 87280 Limoges
PUBLIC HEALTH ENGLAND CRCE Personal Dosimetry Service	Großbritannien United Kingdom	Chilton, Didcot OX11 0RQ Oxfordshire
Radonova Laboratories AB	Schweden Sweden	P.O. Box 15120 SE-75138 Uppsala
RadonTec GmbH	Deutschland Germany	Hauptstraße 5 89426 Wittislingen
Radosys KFT.	Ungarn Hungary	Vegyész u. 17-25 1116 Budapest
RadPro International GmbH	Deutschland Germany	An der Hasenjagd 7 42897 Remscheid
Sachverständigenbüro Dr. J. Kemski	Deutschland Germany	Euskirchener Straße 54 53121 Bonn
SafeRadon GmbH	Deutschland Germany	Kurpfalzring 98a 69123 Heidelberg
Seibersdorf Labor GmbH Radiation Safety & Applications	Österreich Austria	Campus Seibersdorf 2444 Seibersdorf
Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz	Deutschland Germany	Göschwitzer Straße 41 07745 Jena
TÜV Rheinland Energy GmbH	Deutschland Germany	Am Grauen Stein 51105 Köln
U-Series Srl	Italien Italy	Via Ferrarese, 131 40128 Bologna (BO)
X-GAMMAGUARD di Laura Pini	Italien Italy	Via Gorizia, 40 21047 Saronno (VA)
ZVD d.o.o.	Slowenien Slovenia	Pot k izviro 6 1260 Ljubljana Polje

A2 Messgerätetypen / Types of measurement instruments

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

Messgerätetyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke Detector thickness	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Expositions- bereich range of exposure	Prüfcode / Test code
AA		CR-39	1 mm	100 mm ²	51,3 mm ²	32 – 15 000 kBq·h/m ³	AA03
			1 mm	100 mm ²	51,7 mm ²	11 – 22 000 kBq·h/m ³	AA04
AD		CR-39	1,5 mm	290 mm ²	160 mm ²	25 – 50 000 kBq·h/m ³	AD01
			1,5 mm	290 mm ²	160 mm ²	20 – 50 000 kBq·h/m ³	AD02
			1,5 mm	290 mm ²	160 mm ²	25 – 50 000 kBq·h/m ³	AD03
B		CR-39	1,5 mm	440 mm ²	210 mm ²	20 – 50 000 kBq·h/m ³	B02
			0,5 mm	1053 mm ²	176 mm ²	20 – 3 500 kBq·h/m ³	B04
			1,25 mm	419 mm ²	120 mm ²	40 – 8 000 kBq·h/m ³	B13
			1,5 mm	440 mm ²	210 mm ²	20 – 50 000 kBq·h/m ³	B14
			1,5 mm	440 mm ²	210 mm ²	20 – 50 000 kBq·h/m ³	B15
C		CR-39	1 mm	100 mm ²	51,3 mm ²	32 – 15 000 kBq·h/m ³	C02

Messgerättyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerättyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke Detector thickness	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Expositions- bereich range of exposure	Prüfcode / Test code
D		Makrofol	0,3 mm	620 mm ²	120 mm ²	50 – 10 000 kBq·h/m ³	D01
GA		Elektret (Teflon)	0,127 mm	3421 mm ²	k.A./ n.s.	250 – 16 000 kBq·h/m ³	GA01
GB		Elektret (Teflon)	k.A./ n.s	k.A./ n.s	k.A./ n.s	2,5 – 11 000 kBq·h/m ³	GB07
L		CR-39	0,1 mm	100 mm ²	10 mm ²	100 – 3 000 kBq·h/m ³	L06
M		CR-39	1,8 mm	625 mm ²	100 mm ²	k.A./ N.s	M02

Messgerättyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke Detector thickness	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Expositions- bereich range of exposure	Prüfcode / Test code
N		CR-39	0,9 mm	100 mm ²	52 mm ²	20 – 20 000 kBq·h/m ³	N01
			k.A./ N.s.	100 mm ²	52 mm ²	50 – 15 000 kBq·h/m ³	N04
			1 mm	100 mm ²	46,8 mm ²	40 – 12 000 kBq·h/m ³	N05
			0,9 mm	100 mm ²	50 mm ²	20 – 20 000 kBq·h/m ³	N06
			1 mm	100 mm ²	50 mm ²	150 – 2 000 kBq·h/m ³	N10
			1 mm	100 mm ²	51,3 mm ²	32 - 15.000 kBq·h/m ³	N19
			1 mm	100 mm ²	52 mm ²	150 – 12 000 kBq·h/m ³	N21
			1 mm	100 mm ²	50 mm ²	40 – 8 000 kBq·h/m ³	N22
			1 mm	100 mm ²	51,7 mm ²	9 – 15 000 kBq·h/m ³	N32
			1 mm	100 mm ²	51,7 mm ²	32 – 15 000 kBq·h/m ³	N33
			1 mm	100 mm ²	51,7 mm ²	20 – 50 000 kBq·h/m ³	N34
O		LR-115	0,1 mm	290 mm ²	240 mm ²	3 – 20 000 kBq·h/m ³	O01

Messgerättyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke Detector thickness	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Expositions- bereich range of exposure	Prüfcode / Test code
P		CR-39	1,5 mm	625 mm ²	100 mm ²	<100 – 40 000 kBq·h/m ³	P01
			1,5 mm	625 mm ²	59 mm ²	100 – 5 000 kBq·h/m ³	P09
			1,5 mm	625 mm ²	100 mm ²	20 – 10 000 kBq·h/m ³	P11
			1,5 mm	225 mm ²	143 mm ²	20 – 20 000 kBq·h/m ³	P12
			1,5 mm	ca. 600 mm ²	ca. 500 mm ²	<150 – >3 000 kBq·h/m ³	P13
			1 mm	625 mm ²	208 mm ²	20 – 30 000 kBq·h/m ³	P14
T		CR-39	1,4 mm	900 mm ²	42 mm ²	20 – 10 000 kBq·h/m ³	T01
U		CR-39	1,5 mm	225 mm ²	67 mm ²	25 – 20 000 kBq·h/m ³	U01
			1,4 mm	625 mm ²	400 mm ²	100 – 2 500 kBq·h/m ³	U08
			1,5 mm	625 mm ²	225 mm ²	100 – 3 000 kBq·h/m ³	U09
			1,5 mm	625 mm ²	100 mm ²	10 – 20 000 kBq·h/m ³	U11

Messgerätetyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke Detector thickness	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Expositions- bereich range of exposure	Prüfcode / Test code
Z		LR-115	0,012 mm	227 mm ²	133 mm ²	50 – 10 000 kBq·h/m ³	Z02
			0,012 mm	227 mm ²	151 mm ²	30 – 30 000 kBq·h/m ³	Z03

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

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

A3 Ablaufschema / Time course

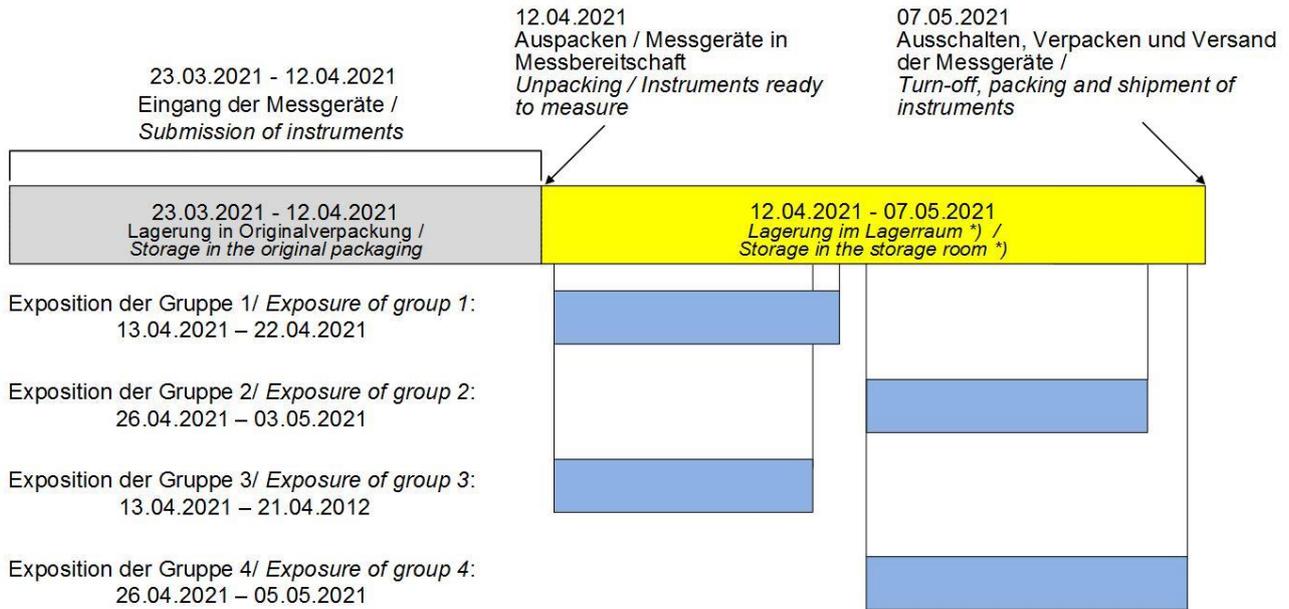


Abbildung A3-1 Ablaufschema / Figure A3-1: Time course

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

A4 Atmosphäre im Lagerraum / Atmosphere in the storage room

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

C_{Rn} [Bq/m ³]	$C_{Rn,EG}$ [Bq/m ³]	r.H. [%]	$U_{r.H.}$ [%]	T [°C]	U_T [°C]	p [hPa]	U_p [hPa]	$\dot{H}^*(10)$ [nSv/h]	$U_{\dot{H}^*(10)}$ [nSv/h]
3	5	32	8	19	1	1010	3	77	3

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

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

A5 Referenzatmosphären / Reference atmospheres

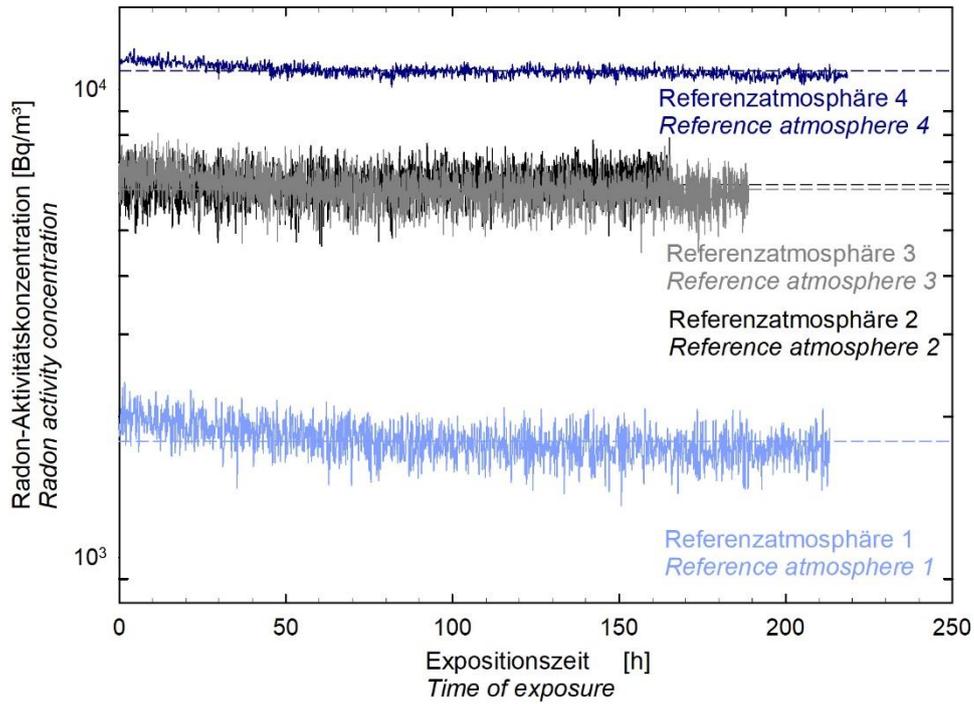


Abbildung A5-1 Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen der Referenzatmosphären / Figure A5-1 Radon activity concentration of the reference atmospheres over the time of exposure

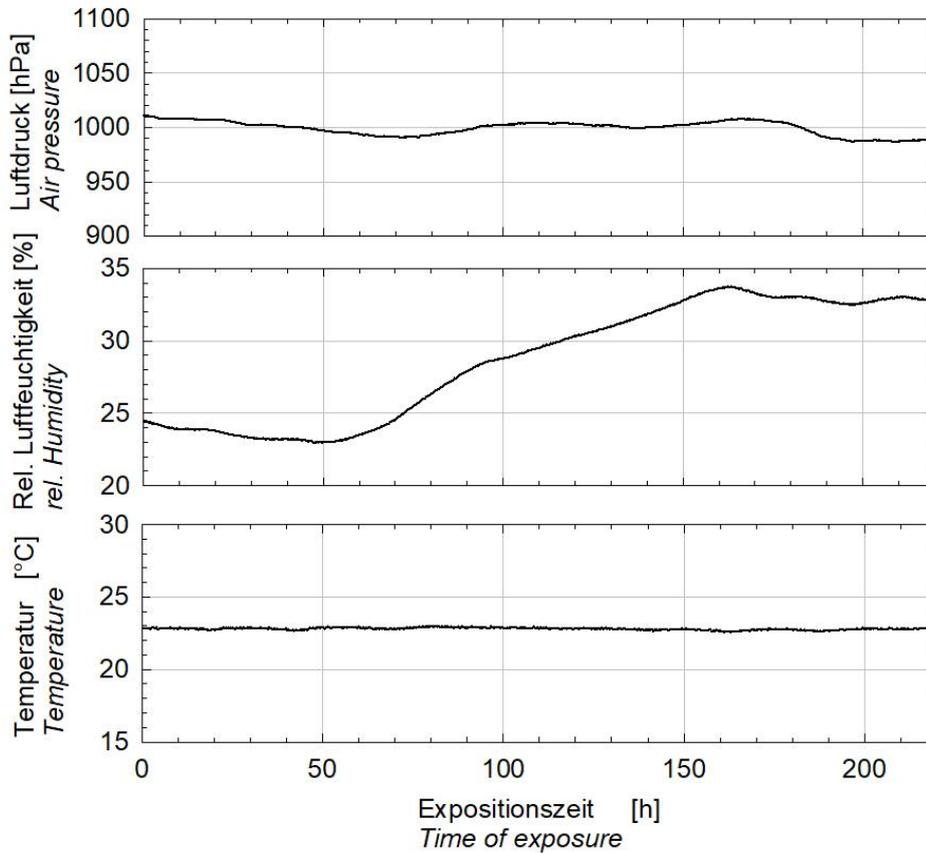


Abbildung A5-2 Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftdruck exemplarisch für Exposition 4 / Figure A5-2 Temperature, relative humidity and air pressure during exposure no. 4 as an example

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

Nr. No.	Datum Date	t [h]	$C_{Rn,Ref}$ [kBq/m ³]	$U(C_{Rn,Ref})$ [kBq/m ³]	V [m ³]	$P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m ³]	T [°C]	r.H. [%]	p [hPa]
1	13.04.2021 - 22.04.2021	215,3	1,78	0,09	11	383	23	29	1011
2	26.04.2021 - 03.05.2021	168,4	6,27	0,31	30	1056	23	22	1003
3	13.04.2021 - 21.04.2021	191,0	6,24	0,31	30	1192	23	23	1014
4	26.04.2021 - 05.05.2021	221,5	10,89	0,54	11	2412	23	29	1000

Erläuterung zu Tabelle A5-1:

Die Spalte „Nr.“ gibt die Nummer der Expositionsgruppe an und das Datum den Zeitraum, in dem die Messgeräte in den Referenzatmosphären für die Zeit t 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 [11] ermittelt. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphären sind außerdem das Volumen des Kalibrierbehälters V und die Klimabedingungen angegeben: Mittelwert der Temperatur T mit einer erweiterten Messunsicherheit von 0,6 °C (k=2), Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit r.H. mit einer erweiterten Messunsicherheit von 8 % (k = 2) und Mittelwert des Luftdrucks p mit einer erweiterten Messunsicherheit von 1 hPa (k = 2).

Explanation for table A5-1:

In the “No.” column the number of the exposure group is indicated and in the Date column the exposure interval is given. $C_{Rn,Ref}$ is the mean activity concentration of radon during the exposure time t, and $P_{Rn,Ref}$ 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 [11]. 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.

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

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

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

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

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

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

Messwerte eines Messgerätetyps liegen allgemein mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 90% in diesem Bereich, wenn eine bestimmte Anzahl von Ausreißern pro Set nicht überschritten wird [13]. Als Ausreißer werden Messwerte bezeichnet, die außerhalb des zulässigen Bereiches liegen sowie fehlende Messwerte. Die Anzahl der erlaubten Ausreißer pro Set beträgt 2 für Festkörperspurdetektoren mit je 28 exponierten Messgeräten sowie 1 für Elektrete mit je 18 exponierten Messgeräten. Die Leistung von Messgerätesets mit höchstens dieser Anzahl an Ausreißern unter den Messergebnissen wird als „zufriedenstellend“ bewertet. Andernfalls wird die Leistung als „nicht zufriedenstellend“ bewertet.

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

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

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

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

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

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

For each set of instruments of the same type of each participant (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)) [4]. 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 [13]. 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 <i>Test code</i>	Messgeräte- anzahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h/m ³]	Standardabweichung <i>Standard deviation</i> [kBq·h/m ³]	Transit-Effekt berücksichtigt? <i>Transit effect taken into account?</i>
AA03	7	27	15	Ja / Yes
AA04	7	24	7	Ja / Yes
AD01	7	5	6	Ja / Yes
AD02	7	9	3	Ja / Yes
AD03	7	3	5	Ja / Yes
B02	7	3	6	Ja / Yes
B04	7	20	6	Ja / Yes
B13	7	12	4	Ja / Yes
B14	7	4	2	Ja / Yes
B15	7	2	3	Ja / Yes
C02	7	34	17	Ja / Yes
D01	7	6	2	Nein / No
GA01	6	128	23	Ja / Yes
GB07	6	-9	3	Nein / No
L06	7	16	12	Ja / Yes
M02	7	256	44	Ja / Yes
N01	7	9	3	k.A./ N.s.
N04	7	19	9	k.A./ N.s.
N05	7	11	4	Ja / Yes
N06	7	5	4	Ja / Yes
N10	7	0	7	Ja / Yes
N19	7	24	6	Ja / Yes
N21	7	11	6	k.A./ N.s.
N22	7	37	7	Ja / Yes
N32	7	26	6	Ja / Yes
N33	7	31	8	Ja / Yes
N34	7	33	10	Ja / Yes
O01	7	19	9	Ja / Yes
P01	7	13	2	Ja / Yes
P09	7	1	1	Nein / No
P11	7	1	2	Ja / Yes
P12	7	19	5	Ja / Yes
P13	7	4	4	Nein / No
P14	2	22	5	Ja / Yes
T01	7	8	5	Ja / Yes
U01	7	35	10	Ja / Yes
U08	7	Nicht angebar / <i>Not assignable</i> ²⁾		Ja / Yes
U09	7	81	41	Ja / Yes
U11	7	31	18	Ja / Yes
Z02	7	Nicht angebar / <i>Not assignable</i> ²⁾		Ja / Yes
Z03	7	16	5	Nein / No

1) Berechnung nach Kanisch [14] / Calculation according to Kanisch [14]

2) 7 von 7 Messwerten sind kleiner als die untere Nachweisgrenze. / 7 of 7 measurement values are lower than the lower detection limit.

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.

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

Expositionsgruppe Exposure group	Prüfcode Test code	Messgeräteeinheit No. of instruments	Mittelwert Mean value [kBq·h/m ³]	Standardabweichung Standard deviation [kBq·h/m ³]	Referenzwert Reference value $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m ³]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
1	AA03	7	409	24	383	7
	AA04	7	447	21		17
	AD01	7	418	19		10
	AD02	7	426	22		12
	AD03	7	422	13		11
	B02	7	420	17		10
	B04	7	359	70		-7
	B13	7	402	22		6
	B14	7	431	15		13
	B15	7	428	11		12
	C02	7	352	23		-9
	D01	7	379	15		-2
	GA01	6	412	18		8
	GB07	6	413	8,4		8
	L06	7	446	51		17
	M02	7	371	56		-4
	N01	7	375	24		-3
	N04	7	351	20		-9
	N05	7	374	38		-3
	N06	7	454	16		19
	N10	7	303	51		-21
	N19	7	382	34		-1
	N21	7	503	23		32
	N22	7	408	34		7
	N32	7	366	31		-5
	N33	7	380	26		-1
	N34	7	428	20		12
	O01	7	406	13		6
	P01	7	411	10		8
	P09	7	435	15		14
	P11	7	406	13		7
	P12	7	391	15		2
	P13	7	391	17		3
	P14	7	422	13		11
	T01	7	403	19		6
	U01	7	402	17		5
	U08	7	389	42		2
	U09	7	346	33		-10
	U11	7	372	26		-3
	Z02	7	388	50		2
Z03	7	394	33	3		

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

Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräteeanzahl <i>No. of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h/m ³]	Standardabweichung <i>Standard deviation</i> [kBq·h/m ³]	Referenzwert <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m ³]	relative Mess- abweichung <i>Relative error</i> [%]
2	AA03	7	1029	40	1056	-3
	AA04	7	1093	15		4
	AD01	7	980	62		-8
	AD02	7	953	18		-10
	AD03	7	1186	35		13
	B02	7	1255	45		19
	B04	7	992	162		-7
	B13	7	1172	51		12
	B14	7	991	39		-7
	B15	7	1254	45		19
	C02	7	1057	29		1
	D01	7	1101	6		5
	GA01	6	917	195		-14
	GB07	6	1076	45		2
	L06	7	885	26		-17
	M02	7	1156	21		10
	N01	7	1018	56		-4
	N04	7	1000	74		-6
	N05	7	1190	52		13
	N06	7	867	47		-18
	N10	7	1081	18		3
	N19	7	1285	63		22
	N21	7	971	95		-9
	N22	7	1115	65		6
	N32	7	1037	80		-2
	N33	7	997	74		-6
	N34	7	1152	17		10
	O01	7	1051	32		-1
	P01	7	1236	36		18
	P09	7	1022	94		-4
	P11	7	1268	15		21
	P12	7	1198	19		14
	P13	7	1042	74		-2
	P14	7	1228	37		17
	T01	7	1014	73		-4
	U01	7	1026	24		-3
U08	7	1088	31	4		
U09	7	1208	23	15		
U11	7	1119	42	6		
Z02	7	1236	18	18		
Z03	7	1137	61	8		

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

Expositionsgruppe Exposure group	Prüfcode Test code	Messgeräteeinheit No. of instruments	Mittelwert Mean value [kBq·h/m ³]	Standardabweichung Standard deviation [kBq·h/m ³]	Referenzwert Reference value $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m ³]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
3	AA03	7	1093	37	1192	-9
	AA04	7	1187	57		-1
	AD01	7	1084	64		-10
	AD02	7	1072	20		-11
	AD03	7	1298	28		9
	B02	7	1285	43		8
	B04	7	1217	56		3
	B13	7	1297	98		9
	B14	7	1133	14		-5
	B15	7	1373	31		16
	C02	7	1192	82		-1
	D01	7	1221	14		3
	GA01	6	975	92		-19
	GB07	6	1186	69		-1
	L06	7	1050	63		-12
	M02	7	1304	30		10
	N01	7	1183	66		-1
	N04	7	1073	73		-10
	N05	7	1363	32		15
	N06	7	899	54		-25
	N10	7	1232	24		4
	N19	7	1349	64		14
	N21	7	1097	121		-8
	N22	7	1235	57		4
	N32	7	1135	70		-5
	N33	7	1119	55		-7
	N34	7	1253	52		6
	O01	7	1184	40		-1
	P01	7	1291	58		9
	P09	7	1095	42		-9
	P11	7	1316	37		11
	P12	7	1319	43		11
	P13	7	1193	46		1
	P14	7	1302	40		10
	T01	7	1165	102		-3
	U01	7	1143	25		-5
U08	7	1197	18	1		
U09	7	1326	21	12		
U11	7	1269	56	7		
Z02	7	1335	35	12		
Z03	7	1234	55	4		

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

Expositionsgruppe Exposure group	Prüfcode Test code	Messgeräteeinheit No. of instruments	Mittelwert Mean value [kBq·h/m ³]	Standardabweichung Standard deviation [kBq·h/m ³]	Referenzwert Reference value $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m ³]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
4	AA03	7	2257	83	2412	-7
	AA04	7	2371	118		-2
	AD01	7	2209	176		-9
	AD02	7	2229	58		-8
	AD03	7	2634	41		10
	B02	7	2810	56		17
	B04	7	2672	145		11
	B13	7	2543	92		6
	B14	7	2623	47		9
	B15	7	2267	131		-6
	C02	7	2525	8		5
	D01	7	2060	508		-15
	L06	7	2484	157		3
	M02	7	2077	77		-14
	N01	7	2579	55		7
	N04	7	2316	150		-4
	N05	7	2016	42		-17
	N06	7	2656	34		11
	N10	7	1760	106		-28
	N19	7	2847	78		19
	N21	7	2070	127		-15
	N22	7	2504	153		4
	N32	7	2412	157		-1
	N33	7	2231	182		-8
	N34	7	2647	63		10
	O01	7	2381	88		-2
	P01	7	2832	64		18
	P09	7	2172	76		-10
	P11	7	2799	50		17
	P12	7	2487	141		4
	P13	7	2233	144		-8
	P14	7	2657	49		11
	T01	7	2219	141		-8
U01	7	2326	39	-4		
U08	7	2327	110	-4		
U09	7	2700	37	12		
U11	7	2556	143	6		
Z02	7	2703	50	13		
Z03	7	2522	100	5		

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

Die Messwerte der Radonmessgeräte 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 Radonmessgeräte 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.

A8 Ergebnisbericht (Muster) / Report (example)



Bundesamt
für Strahlenschutz

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

Datum / Date: 23.08.2021
Bericht-ID / Report ID: VPrf2021_XXXX
Seite 1 von 8 / Page 1 of 8

BfS-Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radonmessgeräte 2021 Ergebnisse

*BfS Interlaboratory Comparison and Proficiency Testing of Passive Radon Detectors 2021
Results*

Teilnehmendes Labor: <i>Laboratory</i>	Musterlabor Musterstr. 25 12345 Musterhausen		Laborcode: <i>Laboratory code</i> XXX Set Nummer: <i>Set number</i> X
Gerätetyp: <i>Type of device</i>	Radonmessgerät mit Festkörperspurdetektor <i>Radon measurement device with solid state nuclear track detector</i> TypeX		Prüfcode: <i>Test code</i> XXX
Anzahl der Geräte: <i>Number of devices</i>	35	Geräte-Codes: <i>Code of devices</i>	xxxx01 - xxxx35
Detektormaterial: <i>Detector material</i>	Makrofol	Detektordicke: <i>Detector thickness</i>	0,5 mm
Gesamt-Detektorfläche: <i>Total detector size</i>	500 mm²	Ausgewertete Detektorfläche: <i>Analyzed detector size</i>	100 mm²
Bereich der Radonexposition in der Vergleichsprüfung: <i>Range of the exposure to radon in the interlaboratory comparison:</i>		150 - 3000 kBq·h/m³	
Eingangsdatum der Messergebnisse: <i>Date of receipt of results</i>		10.06.2021	
Die Leistung gemäß des auf Seite 5 beschriebenen Eignungsprüfungsverfahrens wird bewertet als <i>The performance is evaluated on basis of the proficiency testing scheme described on page 5 as</i>			
<input checked="" type="checkbox"/> zufriedenstellend / <i>satisfactory</i> . <input type="checkbox"/> nicht zufriedenstellend / <i>unsatisfactory</i> .			
Datum <i>Date</i>	Fachgebietsleiter UR 1 <i>Head of Section UR 1</i>	Verantwortliche wiss. Referentin im Radon-Kalibrierlaboratorium <i>Responsible Scientist in the Radon Calibration Laboratory</i>	Koordinatorin <i>Coordinator</i>
23.08.2021	S. Feige	E. Foerster	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 Kalibrierung von Geräten zur Messung der Aktivitätskonzentration von Radon-222 in Luft und der potenziellen Alphaenergie-Konzentration der kurzlebigen Radon-222-Zerfallsprodukte (PAEC) akkreditiert. Alle für die Vergleichsprüfung relevanten Messungen unterliegen einem akkreditierten Qualitätsmanagementsystem und sind auf die jeweiligen nationalen Normale zurückgeführt.

Es wurden vier Radon-222-Referenzatmosphären in verschiedenen Edelstahlbehältern erzeugt und die Radon-222-Aktivitätskonzentration mit Gebrauchsnorm-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 aus $C_{Rn,Ref}$ und t ergibt (Angabe in der Tabelle als gerundeter Wert). Die erweiterte relative Messunsicherheit der Radon-222-Aktivitätskonzentration (U) ergibt sich aus der Standardmessunsicherheit multipliziert mit dem Erweiterungsfaktor $k=2$ (95% Vertrauensbereich). Sie wurde gemäß EA-4/02M:2013 [1] und GUM [2] ermittelt. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphäre sind die Mittelwerte der Temperatur (T), der relativen Luftfeuchtigkeit ($r.H.$) und des Luftdrucks (p) angegeben.

The 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 devices measuring the activity concentration of radon-222 in air and the potential alpha energy concentration of the short-lived radon decay products. All relevant measurements concerning the 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 the laboratory for evaluation without disclosing the exposure data.

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

Tabelle 1 Expositionsdaten / Table 1: Exposure data

Expositionsgruppe Exposure group	Datum (von – bis) Date (from – to) dd.mm.yyyy	t [h]	$C_{Rn,Ref}$ [kBq/m ³]	U [%]	$P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m ³]	V*) [m ³]	T [°C]	r.H. [%]	p [hPa]
1	13.04.-22.04.2021	215,3	1,78	5	383	11	23	29	1011
2	26.04.-03.05.2021	168,4	6,27	5	1056	30	23	22	1003
3	13.04.-21.04.2021	191,0	6,24	5	1192	30	23	23	1014
4	26.04.-05.05.2021	221,5	10,89	5	2412	11	23	29	1000

*) 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 (Lageraum). Die Messgeräte der Transitgruppe wurden über den gesamten Zeitraum der Expositionsphase (21 Tage) in diesem Raum gelagert. Alle anderen Geräte wurden vor und nach der Exposition in den Referenzatmosphären ebenfalls im Lageraum aufbewahrt. Am Ende der Expositionsphase wurden alle exponierten und Transit-Radonmessgeräte zur gleichen Zeit aus dem Lageraum entnommen und verpackt. Die Parameter der Atmosphäre im Lageraum sind in Tabelle 2 dargestellt.

At the beginning of the exposure term all 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 (21 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]	$C_{Rn,EG}$ [Bq/m ³]	r.H. [%]	$U_{r.H.}$ [%]	T [°C]	U_T [K]	p [hPa]	U_p [hPa]	$\dot{H}^*(10)$ [nSv/h]	$U_{\dot{H}^*(10)}$ [nSv/h]
3	5	32	8	19	1	1010	3	77	3

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

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

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

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

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

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

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



- \bar{x}_g Arithmetischer Mittelwert der Radon-222-Exposition der Expositionsgruppe g
Arithmetic mean value of the exposure to radon-222 of exposure group g
- RSD_g Relative Standardabweichung der Messwerte der Expositionsgruppe g in Prozent
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.

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

- 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 g
Measurement 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 jeweiligen Expositionsgruppe ($g = 1...4$)
Lower limit for the exposure group ($g = 1...4$)
- OG_g Obere Grenze für die jeweiligen Expositionsgruppe ($g = 1...4$)
Upper limit for the exposure group ($g = 1...4$)



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

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

Literaturangaben / References:

- [1] EA-4/02M:2013 "Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen", (*Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration*), European Accreditation, 2013 bzw. 2018 (Deutsche Übersetzung)
- [2] Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (*Guide to expression of uncertainty in measurement*), International Organization for Standardization, Genf, 1995
- [3] Beck et al., The measurement accuracy of passive radon instruments, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 158, No. 1, pp. 59-67, 2014

Bfs-Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radonmessgeräte 2021: Vergleichsprüfung

Bfs Interlaboratory Comparison and Proficiency Testing of Passive Radon Detectors 2021: Interlaboratory Comparison

Tabelle 4 Messergebnisse für Laborcode xxx, Set Nummer x, Prüfcode XXX
Table 4: Measurement results for laboratory code xxx, set number x, test code XXX

Expositionsgruppe/ Exposure group	Transitgruppe/ Transit group		1		2		3		4	
	Messgeräte- Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication [kBq·h / m ³]	Messgeräte- Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication [kBq·h / m ³]	Messgeräte- Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication [kBq·h / m ³]	Messgeräte- Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication [kBq·h / m ³]	Messgeräte- Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication [kBq·h / m ³]
Referenzwert der Rn-222-Exposition/ Reference exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]		383		1056		1192		2412		
Nummer / Number										
1	xxxx01	4	xxxx03	358	xxxx05	953	xxxx04	1049	xxxx02	2209
2	xxxx07	4	xxxx08	376	xxxx06	915	xxxx10	1065	xxxx09	2116
3	xxxx12	6	xxxx14	365	xxxx13	958	xxxx15	1071	xxxx11	2212
4	xxxx18	3	xxxx19	376	xxxx20	955	xxxx17	1050	xxxx16	2264
5	xxxx22	6	xxxx25	385	xxxx24	966	xxxx23	1092	xxxx21	2259
6	xxxx27	6	xxxx26	388	xxxx29	952	xxxx28	1101	xxxx30	2256
7	xxxx33	10	xxxx35	403	xxxx31	971	xxxx32	1073	xxxx34	2289
Mittelwert/ Mean value [kBq·h·m ⁻³]		6		379		953		1072		2229
Standardabweichung/ Standard deviation [%]		42		4,0		2,0		1,9		2,6
Relative Messabweichung / Relative error [%]				-1,1		-9,8		-10		-7,6

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

BfS-Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radonmessgeräte 2021: Eignungsprüfung BfS Interlaboratory Comparison and Proficiency Testing of Passive Radon Detectors 2021: Proficiency Testing

Tabelle 5 Leistung in der Eignungsprüfung nach beschriebenem Verfahren (S.5) für die BfS Vergleichsprüfung Bericht-ID VPrf2021_xxxx
Table 5: Performance in Proficiency Testing according to the described scheme (p.5) for the BfS interlaboratory comparison report ID VPrf2021_xxxx

Expositionsgruppe / Exposure group	1		2		3		4	
	Mesgeräte- Code/ Code of device	$P_{mess}/P_{Rn,Ref}$						
Referenzwert der Rn-222-Exposition/ Reference exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	383		1056		1192		2412	
	xxxx03	0,9	xxxx05	0,9	xxxx04	0,9	xxxx02	0,9
	xxxx08	1,0	xxxx06	0,9	xxxx10	0,9	xxxx09	0,9
	xxxx14	1,0	xxxx13	0,9	xxxx15	0,9	xxxx11	0,9
	xxxx19	1,0	xxxx20	0,9	xxxx17	0,9	xxxx16	0,9
	xxxx25	1,0	xxxx24	0,9	xxxx23	0,9	xxxx21	0,9
	xxxx26	1,0	xxxx29	0,9	xxxx28	0,9	xxxx30	0,9
	xxxx35	1,1	xxxx31	0,9	xxxx32	0,9	xxxx34	0,9
UG	0,6		0,7		0,7		0,7	
OG	1,4		1,3		1,3		1,3	
Anzahl der Ausreißer/ Number of outliers	0		0		0		0	
Gesamtanzahl der Ausreißer/ Total number of outliers	0							
Erlaubte Anzahl an Ausreißern/ Allowed number of outliers	2							
					Eignungsprüfung/ Proficiency testing		zufriedenstellend/ satisfactory	

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 (1) bzw. § 128 (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 [12] 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 [12] 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*

Bei passiven Messgeräten oder Messgerätesystemen ist die Messsonde nicht mit der Anzeigeeinheit verbunden, so dass das Messergebnis erst nach dem Messvorgang durch eine separate Auswertung der Messsonde festgestellt werden kann. Typische passive, integrierende Radon-Messgeräte sind Geräte mit Festkörperspurdetektoren (FKSD) oder Elektret-Ionisationskammern.

In passive measurement instruments or measurement instrument systems, the measuring probe is not connected to a display unit. Thus, the measurement result can be determined only after the actual measurement process by a separate analysis of the measuring probe. 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 Anonymisierung 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 anonymized 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 m ³) / Figure 3-1: Calibration chamber in the Radon Calibration Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection (volume: 30 m ³)	11
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.....	14
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.....	14
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.....	15
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.....	15
Abbildung 4-5 Relative Messabweichung der Messgeräte mit Elektret der Expositionsgruppen 1 bis 3 als Boxplots / Figure 4-5: Relative error of the instruments using electrets of the exposure groups 1 to 3 as box plots	16
Abbildung 4-6 Abweichung der Messwerte von 41 Messgeräte-Sets von den jeweiligen Referenzwerten (als Verhältnis) und erlaubter Bereich. / Figure 4-6 Deviation of the measurement value of 41 sets of measurement instruments from the respective reference value (ratio) and region of acceptance.	17
Abbildung A3-1 Ablaufschema / Figure A3-1: Time course.....	29
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	30
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.....	30

Tabellenverzeichnis / List of tables

Tabelle 2-1 Anzahl der einzureichenden Messgeräte und der Expositionsgruppen / <i>Table 2-1 Number of measurement instruments to be submitted and number of exposure groups</i>	8
Tabelle 4-1 Verteilung der Ausreißer der 41 Sets mit grau unterlegter Markierung des Bereiches zufriedenstellender Leistung sowie die Verteilung der Leistungsbewertung. / <i>Table 4-1 Distribution of outliers over the 41 sets with highlighted range of satisfactory performance as well as distribution of performance</i>	18
Tabelle 4-2 Leistungsergebnisse der teilnehmenden Messgeräte-Sets bisheriger Eignungsprüfungen / <i>Table 4-2 Performance of the participating sets of measurement instruments in previous proficiency testings</i>	18
Tabelle A1-1 Institutionen, die an der Vergleichs- und Eignungsprüfung 2021 teilgenommen haben / <i>Table A1-1 Participants of the interlaboratory comparison and proficiency testing 2021</i>	22
Tabelle A2-1 Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren oder Elektreten / <i>Table A2-1: Measuring instruments using solid-state nuclear track detectors or electrets</i>	24
Tabelle A4-1 Parameter der Atmosphäre im Lagerraum / <i>Table A4-1 Parameters of the atmosphere in the storage room</i>	29
Tabelle A5-1 Werte der Radon-Referenzatmosphären / <i>Table A5-1 Parameters of the radon reference atmospheres</i>	31
Tabelle A7-1 Messwerte der Transitgruppe / <i>Table A7-1: Measurement values of the transit group</i>	34
Tabelle A7-2 Ergebnisse der Expositionsgruppe 1 / <i>Table A7-2: Results of exposure group 1</i>	36
Tabelle A7-3 Ergebnisse der Expositionsgruppe 2 / <i>Table A7-3: Results of exposure group 2</i>	37
Tabelle A7-4 Ergebnisse der Expositionsgruppe 3 / <i>Table A7-4: Results of exposure group 3</i>	38
Tabelle A7-5 Ergebnisse der Expositionsgruppe 4 / <i>Table A7-5: Results of exposure group 4</i>	39