

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

Vergleichs- und Eignungsprüfung 2019

Instruments to measure radon-222 activity concentration or exposure to radon-222 – Interlaboratory comparison and proficiency testing 2019

Felice Friedrich

Elisabeth Foerster

Martin Dubslaff

Felix Schneider

Sebastian Feige

BfS-27/19

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

urn:nbn:de:0221-2019121120815

Zur Beachtung:

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

Salzgitter, November 2019

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

Vergleichs- und Eignungsprüfung 2019

Instruments to measure radon-222 activity concentration or exposure to radon-222 - Interlaboratory comparison and proficiency testing 2019

Felice Friedrich

Elisabeth Foerster

Martin Dubsloff

Felix Schneider

Sebastian Feige

INHALTSVERZEICHNIS / CONTENT

ABBILDUNGSVERZEICHNIS / LIST OF FIGURES.....	6
TABELLENVERZEICHNIS / LIST OF TABLES.....	6
BEGRIFFE UND DEFINITIONEN / TERMS AND DEFINITIONS	7
1 EINLEITUNG / INTRODUCTION	9
1.1 RECHTLICHE GRUNDLAGEN UND FESTLEGUNGEN / LEGAL PRINCIPLES AND PROVISIONS.....	9
1.2 ZWECK DER VERGLEICHS- UND EIGNUNGSPRÜFUNG / PURPOSE OF THE INTERLABORATORY COMPARISON AND PROFICIENCY TESTING	9
2 ORGANISATION / ORGANISATION.....	10
2.1 QUALITÄTSSICHERUNG / QUALITY ASSURANCE	10
2.2 ANZAHL DER ZU PRÜFENDEN MESSGERÄTE PRO GERÄTETYP / NUMBER OF MEASUREMENT INSTRUMENTS TO BE TESTED PER INSTRUMENT TYPE	10
2.3 ABLAUF DER VERGLEICHSPRÜFUNG / PROCESS OF THE INTERLABORATORY COMPARISON.....	11
2.4 ABLAUF DER EIGNUNGSPRÜFUNG / PROCESS OF THE PROFICIENCY TESTING.....	12
3 EXPOSITIONEN / EXPOSURES	12
3.1 HERSTELLUNG VON RADON-REFERENZATMOSPHÄREN / CREATION OF REFERENCE ATMOSPHERES.....	12
3.2 RAUM ZUR LAGERUNG DER MESSGERÄTE / STORAGE OF THE MEASUREMENT INSTRUMENTS.....	13
3.3 EXPOSITION VON MESSGERÄTEN IN RADON-REFERENZATMOSPHÄREN / EXPOSURE OF MEASUREMENT INSTRUMENTS IN RADON REFERENCE ATMOSPHERES	14
4 ERGEBNISSE / RESULTS	15
4.1 VERGLEICHSPRÜFUNG / INTERLABORATORY COMPARISON.....	15
4.2 EIGNUNGSPRÜFUNG / PROFICIENCY TESTING.....	17
5 LITERATURVERZEICHNIS / REFERENCES.....	21
A. ANHANG / APPENDIX	22
A-1. TEILNEHMENDE / PARTICIPANTS.....	23
A-2. MESSGERÄTETYPEN / TYPES OF MEASUREMENT INSTRUMENTS.....	25
A-3. ABLAUFSCHEMA / TIME COURSE	29
A-4. ATMOSPHÄRE IM LAGERRAUM / ATMOSPHERE IN THE STORAGE ROOM	29
A-5. REFERENZATMOSPHÄREN / REFERENCE ATMOSPHERES	30

A-6.	DATENAUSWERTUNG / ANALYSIS OF DATA	32
A-7.	MESSWERTE / MEASUREMENT VALUES	33
A-8.	ERGEBNISBERICHT DER VERGLEICHSPRÜFUNG (MUSTER) / REPORT ON MEASUREMENT RESULTS (TEMPLATE).....	39
A-9.	ERGEBNISBERICHT DER EIGNUNGSPRÜFUNG (MUSTER) / REPORT ON PROFICIENCY TESTING (TEMPLATE).....	46

ABBILDUNGSVERZEICHNIS / LIST OF FIGURES

Abbildung 3-1: Kalibrierlaboratorium für Radonmessgeräte des Bundesamtes für Strahlenschutz mit Kalibrierbehältern (Volumen: 0,4 m ³) / <i>Figure 3-1: Radon Calibration Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection with calibration containers (volume: 0.4 m³)</i>	13
Abbildung 4-1: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 1 / <i>Figure 4-1: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 1</i>	15
Abbildung 4-2: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 2 / <i>Figure 4-2: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 2</i>	16
Abbildung 4-3: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 3 / <i>Figure 4-3: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 3</i>	16
Abbildung 4-4: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 4 / <i>Figure 4-4: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 4</i>	17
Abbildung 4-5: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Elektret der Expositionsgruppen 2 bis 4 / <i>Figure 4-5: Relative error of the instruments using electrets of the exposure groups 2 to 4</i>	17
Abbildung 4-6 Abweichung der Messwerte von den Referenzwerten (als Verhältnis) ohne systematische Ausreißer (Messgeräte aus 29 Sets). Innerhalb der Trompetenkurve liegt der erlaubte Bereich nach Kriterien der BfS-Eignungsprüfung 2019. / <i>Figure 4-6 Deviation of the measurement value from the reference value (ratio) without systematic outliers (measurement instruments of 29 sets). The region of acceptance according to the criteria defined for the BfS proficiency testing 2019 is within the trumpet curve.</i>	18
Abbildung A-1: Ablaufschema / <i>Figure A-1: Time course</i>	29
Abbildung A-2: Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen der Referenzatmosphären / <i>Figure A-2: Radon activity concentrations of the reference atmospheres over the time of exposure</i>	30
Abbildung A-3: Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftdruck exemplarisch für Exposition 3 / <i>Figure A-3: Temperature, relative humidity and air pressure during exposure no. 3 as an example</i>	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>	11
Tabelle 4-1 Verteilung der Ausreißer der insgesamt 31 Sets (Festkörperspurdetektoren (FKSD) und Elektrete) mit Markierung des Bereiches zufriedenstellender Leistung sowie die Verteilung der Leistungsbewertung. / <i>Distribution of outliers over the 31 sets (solid-state nuclear track detectors (SSNTD) and electrets) with highlighted range of satisfactory performance as well as performance distribution</i>	19
Tabelle A-1: Institutionen, die an der Vergleichsprüfung 2019 teilgenommen haben / <i>Table A-1: Measuring institutions, which have participated in the interlaboratory comparison 2019</i>	23
Tabelle A-2: Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren oder Elektreten / <i>Table A-2: Measuring instruments using solid-state nuclear track detectors or electrets</i>	25
Tabelle A-3: Parameter der Atmosphäre im Lagerraum / <i>Table A-3: Parameters of the atmosphere in the storage room</i>	29
Tabelle A-4: Werte der Radon-Referenzatmosphären / <i>Table A-4: Parameters of the radon reference atmospheres</i>	31
Tabelle A-5: Messwerte der Transitgruppe / <i>Table A-5: Measurement values of the transit group</i>	33
Tabelle A-6: Ergebnisse der Expositionsgruppe 1 / <i>Table A-6: Results of exposure group 1</i>	34
Tabelle A-7: Ergebnisse der Expositionsgruppe 2 / <i>Table A-7: Results of exposure group 2</i>	35
Tabelle A-8: Ergebnisse der Expositionsgruppe 3 / <i>Table A-8: Results of exposure group 3</i>	36
Tabelle A-9: Ergebnisse der Expositionsgruppe 4 / <i>Table A-9: Results of exposure group 4</i>	37

BEGRIFFE UND DEFINITIONEN / TERMS AND DEFINITIONS

Anerkannte Stelle / Approved measurement institution

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 approved by the Federal Office for Radiation Protection for the measurement of radon activity concentration at workplaces according to §127 (1) or §128 (2) of the radiation protection act that fulfills the requirements of §155 (4) of the radiation protection ordinance.

Behördlich bestimmte Messstelle / Measurement office

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

Measurement offices for the determination of the occupational exposure determined by the competent authority according to §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 Gruppe 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.

Messstelle / Measuring institution

An der Vergleichs- und Eignungsprüfung teilnehmende Institutionen werden im Ergebnisbericht auch als Messstelle bezeichnet.

Participants of the interlaboratory comparison and proficiency testing are also denominated measuring institutions in the individual report.

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 A-2).

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 attachment A-2).

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 is 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 abgezogen 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)

1 EINLEITUNG / INTRODUCTION

1.1 Rechtliche Grundlagen und Festlegungen / Legal principles and provisions

Die Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates der Europäischen Union vom 5. Dezember 2013 [1] legt die grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung fest. Mit dem deutschen Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) vom 27. Juni 2017 [2], ergänzt durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 29. November 2018 [3], wurde die EU-Richtlinie in nationales Recht umgesetzt.

Wie in den bisherigen Regelungen sollen beruflich strahlenexponierte Personen anhand individueller Messungen radiologisch überwacht werden. Hierzu wurden in §169 StrlSchG und §172 StrlSchV Festlegungen zu behördlich bestimmten Messstellen sowie in §173 StrlSchV zur Eintragung ins Strahlenschutzregister getroffen.

Weiterhin werden im Strahlenschutzgesetz §§127, 128 Vorschriften zur Festlegung von Messungen an Arbeitsplätzen in Innenräumen getroffen. Diese sind verpflichtend, wenn der Arbeitsplatz in einem Gebiet nach §121 StrlSchG bzw. §153 StrlSchV („Radonvorsorgegebiet“) im Erd- oder Kellergeschoss liegt beziehungsweise wenn die Art des Arbeitsplatzes einem der in Anlage 8 des Strahlenschutzgesetzes genannten Arbeitsfeldern mit erhöhter Exposition durch Radon zuzuordnen ist. Für die Bestimmung der über das Jahr gemittelten Radon-Aktivitätskonzentration sind Stellen zu beauftragen, die nach §155 StrlSchV durch das BfS anerkannt wurden.

Die Überwachung von Arbeitsplätzen in Innenräumen oder Personen, die während der Ausübung ihres Berufes Strahlenexpositionen infolge der Inhalation von Radon und dessen kurzlebigen Radonfolgeprodukten ausgesetzt sind, erfolgt hauptsächlich mit Hilfe von passiven Messgeräten mit Festkörperspur- oder Elektretdetektoren.

Sowohl behördlich bestimmte Messstellen als auch anerkannte Stellen sind gemäß §172 bzw. §155 StrlSchV verpflichtet, an Maßnahmen zur Qualitätssicherung des Bundesamtes für Strahlenschutz teilzunehmen. Diese finden in Form der Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radonmessgeräte jährlich statt.

European Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 [1] lays down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. These are implemented in German law by the radiation protection act (RPA) [2] of 27 June 2017 supplemented by the radiation protection ordinance (RPO) of 29 November 2018 [3].

As before, provisions are made for individual monitoring of persons exposed occupationally to radiation. §169 RPA and §172 RPO specify regulations on measurement offices whereas the data collection for the radiation protection register is treated in §173 RPO.

Furthermore §§127, 128 RPA contain provisions for measurements at indoor workplaces. Measurements are compulsory if the workplace is situated in a basement or cellar of an area with enhanced radon concentration according to §121 RPA and §153 RPO or if the type of work activity that can be attributed to one of the fields of work activity specified in Appendix 8 RPA (Fields of work with increased Radon exposure). The measurement of the average annual radon activity concentration has to be performed by an approved measurement institution according to §155 RPO.

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

Measurement offices as well as approved measurement institutions have to take part in measures for quality assurance at the Federal Office for Radiation Protection on regular terms according to §172 and §155 RPO, respectively. These measures comprise the annual 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 Radonfolgeprodukten sowie für die Messung der Radon-Aktivitätskonzentration in Luft. Sie sollen einen einheitlichen Qualitätsstandard sicherstellen. Art und Umfang der Vergleichs- und Eignungsprüfungen orientieren sich an Verfahren, die in anderen Gebieten der physikalischen Strahlenschutzkontrolle, insbesondere in der Personendosimetrie externer Strahlung, durchgeführt werden [4].

Die Vergleichs- und Eignungsprüfungen werden in der Regel jährlich vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) für die Messgröße Radon-Exposition organisiert. Die Messgröße Radon-Exposition ist das Produkt aus der mittleren Radon-Aktivitätskonzentration und der Expositionsdauer.

Eine Teilnahme ist für behördlich bestimmte Messstellen sowie anerkannte Stellen nach §155 StrlSchV verpflichtend. Die Ergebnisse sollen für die Validierung ihrer Messverfahren genutzt werden. Eine zufriedenstellende Leistung in der Eignungsprüfung ist Voraussetzung für die Anerkennung von Stellen nach §155 StrlSchV. Weiterhin wird auch Anbietern von Messungen, die nicht im Zusammenhang mit der beruflichen

Strahlenexposition stehen, empfohlen, zur Qualitätssicherung an den Vergleichs- und Eignungsprüfungen teilzunehmen. Die erfolgreiche Teilnahme soll das Vertrauen der Kunden in die durchgeführten Messungen und die Akzeptanz in die erhaltenen Ergebnisse erhöhen. Für Anbieter, die eine Akkreditierung auf dem Gebiet der Bestimmung der Radon-Exposition oder der Radon-Aktivitätskonzentration in Luft unter Verwendung passiver Messgeräte besitzen oder eine solche anstreben, kann die Teilnahme an den Vergleichs- und Eignungsprüfungen als Bestandteil der Validierung des Messverfahrens nach DIN EN ISO/IEC 17025 [5] anerkannt werden.

The interlaboratory comparison and proficiency testing is a component of the measures for quality assurance in measurements of radiation exposure from radon and radon decay products and should ensure a consistent quality standard. The type and scope of the 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 for the measurand radon exposure is usually organised on an annual basis. The radon exposure is the product of the average radon activity concentration and the exposure time.

Measurement offices and approved measurement institutions are obliged to participate. The results should serve for the validation of the measurement procedures. A satisfactory performance in the proficiency testing is required for the approvability of a measurement institution according to §155 of the radiation protection ordinance. Besides, participation for quality assurance purposes is also recommended 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 aiming to obtain accreditation in the field of determining the radon exposure or radon activity concentrations in the air using passive measurement instruments, participation in the interlaboratory comparisons can be accepted as a component of the validation of their measurement process to DIN EN ISO/IEC 17025 [5].

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 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. 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 jeden Teilnehmenden 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 . A 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
Elektretdetektoren <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 [7] sowie im Europäischen Informationssystem über Eignungsprüfungen EPTIS bereitgestellt, das als Internetdatenbank verfügbar ist [8].

Teilnahmeinteressenten 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 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 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 zur Handhabung der Messgeräte vorliegen, werden diese berücksichtigt. Nach der Vorbereitung der Messgeräte (Entnahme aus der Originalverpackung, Versetzen in Messbereitschaft, Einteilung in Gruppen) erfolgt die kontrollierte Lagerung der Geräte in einem klimatisierten 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 Gerätebefindliche Radon herausdiffundieren kann. Anschließend werden diese Geräte kontrolliert im Lagerraum gelagert. Nach Abschluss aller Expositionen werden die Messgeräte den Teilnehmenden zugeordnet, radondicht bzw. nach Kundenwunsch verpackt. Die anschließende Abholung der Geräte wird von den Teilnehmenden beauftragt.

Vor der Auswertung erhalten die Teilnehmenden 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 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. Prioritization is mainly 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. After the preparation of the measurement instruments (removal from the original packaging, setting measurement readiness, grouping), they are stored in a temperature-controlled 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 packaged radon-proof or as stated by the participant. Subsequently, the measurement instruments can be collected from the Federal Office for Radiation Protection on order of the 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 the measurement instruments and determine for each of them the measurement 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 Wunsch der Teilnehmenden 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 A-6). Liegen die Werte innerhalb eines vorab definierten zulässigen Bereiches, so wird die Leistung 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 wird die Leistung als „nicht zufriedenstellend“ bewertet.

Proficiency testing for a set of measurement instruments is performed on demand of the participant 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 A-6). 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. By exceeding this limit, the performance is evaluated as “not satisfactory”.

3 EXPOSITIONEN / EXPOSURES

3.1 Herstellung von Radon-Referenzatmosphären / Creation 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-Aktivitätskonzentrationen sowie durch die klimatischen Parameter Temperatur, Luftdruck und relative Luftfeuchte gekennzeichnet. In den 11 m³- und 30 m³-Behältern können die Klimaparameter eingestellt und geregelt werden. Vor Beginn der Expositionen wird die Radon-Aktivitätskonzentration für jeden verwendeten Behälter auf einen zuvor festgelegten Wert eingestellt 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 Webseite des Bundesamts für Strahlenschutz dargestellt [9]. Die Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration sowie der relevanten Umgebungsparameter sind auf nationale Normale zurückgeführt. Alle während der Expositionen aufgenommenen Messdaten werden aufgezeichnet und sämtliche Messbedingungen dokumentiert, so dass die Wiederholbarkeit und die 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. In the 11 m³ and 30 m³ containers, the climatic parameters can be set and regulated. Before the beginning of exposure, the radon activity concentration for each container is set to a predefined value 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: Kalibrierlaboratorium für Radonmessgeräte des Bundesamtes für Strahlenschutz mit Kalibrierbehältern (Volumen: 0,4 m³) / Figure 3-1: Radon Calibration Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection with calibration containers (volume: 0.4 m³)

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

Für die Lagerung der zu prüfenden Messgeräte vor und nach der Exposition wird ein Lagerraum genutzt, dessen Raumluft im 24-Stunden-Betrieb ständig mit Außenluft gespült wird. Die Überwachung der Radon-Aktivitätskonzentration sowie der klimatischen Parameter erfolgt mittels eines Gebrauchsnormals vom Typ Alphaguard®. Zusätzlich wird ein Messgerät zur Messung der Ortsdosis vom Typ GE Reuter-Stokes 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 in 24 hour operation. 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®. In addition, a measurement instrument of type GE Reuter-Stokes is used to measure the ambient equivalent dose rate so as to record the radiation exposure through external gamma radiation during storage within the storage room. The mean ambient equivalent dose rate can be used by the participants 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. Damit sind die Expositionszeiten ausreichend lang, um kurzzeitige Störungen der Atmosphären vernachlässigen zu können und um den Fehler bei der Bestimmung der Expositionszeiten zu minimieren. Die Radon-Expositionen liegen in einem für die Praxis relevanten Bereich zwischen 200 kBq·h·m⁻³ und 3500 kBq·h·m⁻³.

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.

For the exposures, reference atmospheres with different radon activity concentration levels were created. The exposure times comprised at least five days, which is sufficiently long to neglect short-term disturbances in the atmospheres and to minimise the errors in determining the exposure times. The radon exposures were between 200 kBq·h·m⁻³ and 3500 kBq·h·m⁻³ and, thus, in a range relevant for practical applications of such detectors.

The measurement uncertainty was determined in accordance with 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.

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.

4 ERGEBNISSE / RESULTS

4.1 Vergleichsprüfung / Interlaboratory Comparison

An der Vergleichsprüfung 2019 haben 27 Institutionen mit insgesamt 31 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 sowie die Spezifikationen der Messgerätesets inklusive der Messgerätetypen und der zugehörigen Prüfcodes sind in den Anhängen A-1 und A-2 aufgelistet.

Für jedes Messgeräteset und jede der vier Expositionsgruppen wurden jeweils der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung und die relative Messabweichung vom Referenzwert berechnet (siehe Anhang A-6). Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Tabelle A-6 bis Tabelle A-9 für jedes Messgeräteset dargestellt. Für die Messgeräte der Transitgruppe sind der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung der Messwerte in Tabelle A-5 angegeben. Jede teilnehmende Institution erhielt einen individuellen Bericht über die Ergebnisse ihres jeweiligen Messgerätesets (Muster-Bericht siehe Anhang A-8). 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.

In 2019, 27 institutions with a total of 31 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 listed in appendices A-1 and A-2, respectively.

For each set and each of the four exposure groups, the arithmetic mean, the standard deviation and the relative error from the reference value was calculated (see appendix A-6). The results are presented in table A-6 to table A-9 for each set. For the measurement instruments of the transit group, the arithmetic mean and the standard deviation of the measurement values are given in table A-5. Each participating institution received an individual report on the results of their set (Example report see appendix A-8). The distributions of the individual measurement values within their sets are presented in the following figures as box plots (figure 4-1 to figure 4-5). The test codes for the sets are given on the abscissa.

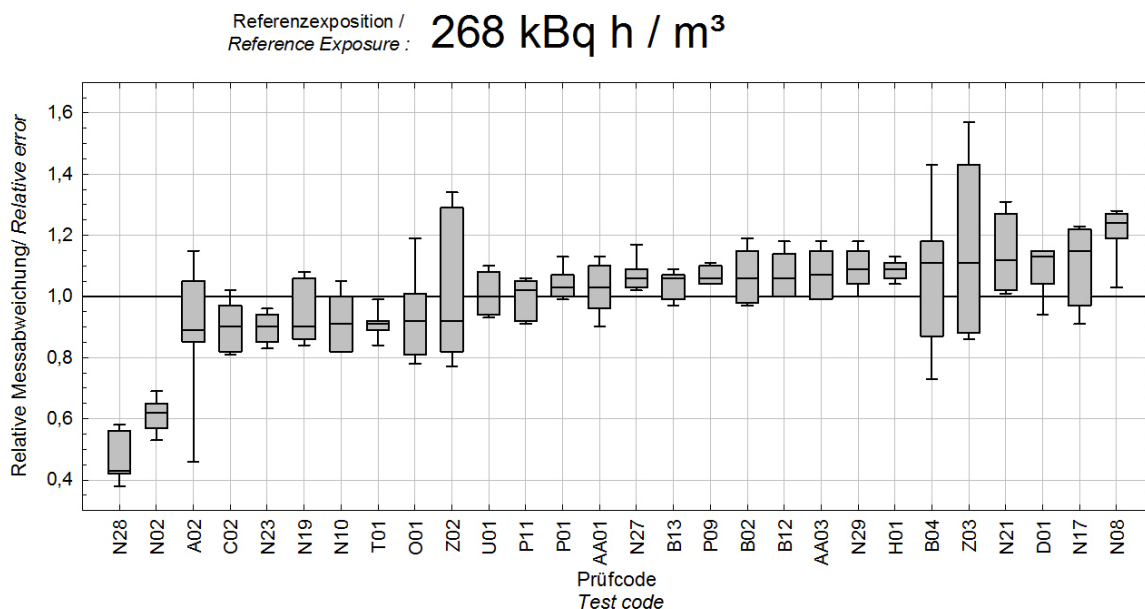


Abbildung 4-1: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 1 als Boxplot / Figure 4-1: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 1 as box plot

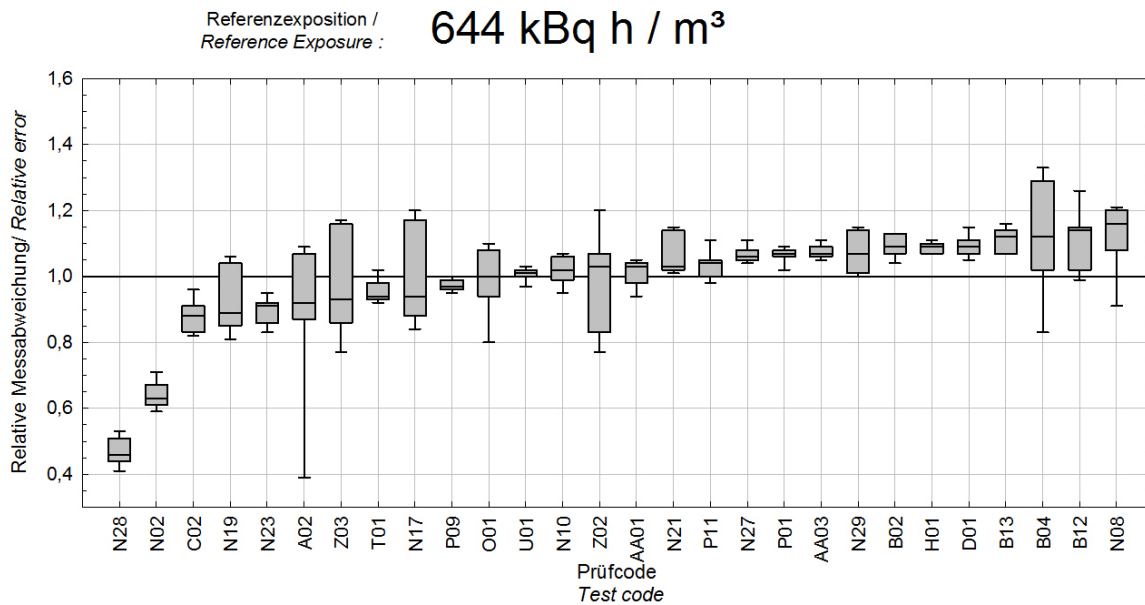


Abbildung 4-2: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 2 als Boxplot / Figure 4-2: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 2 as box plot

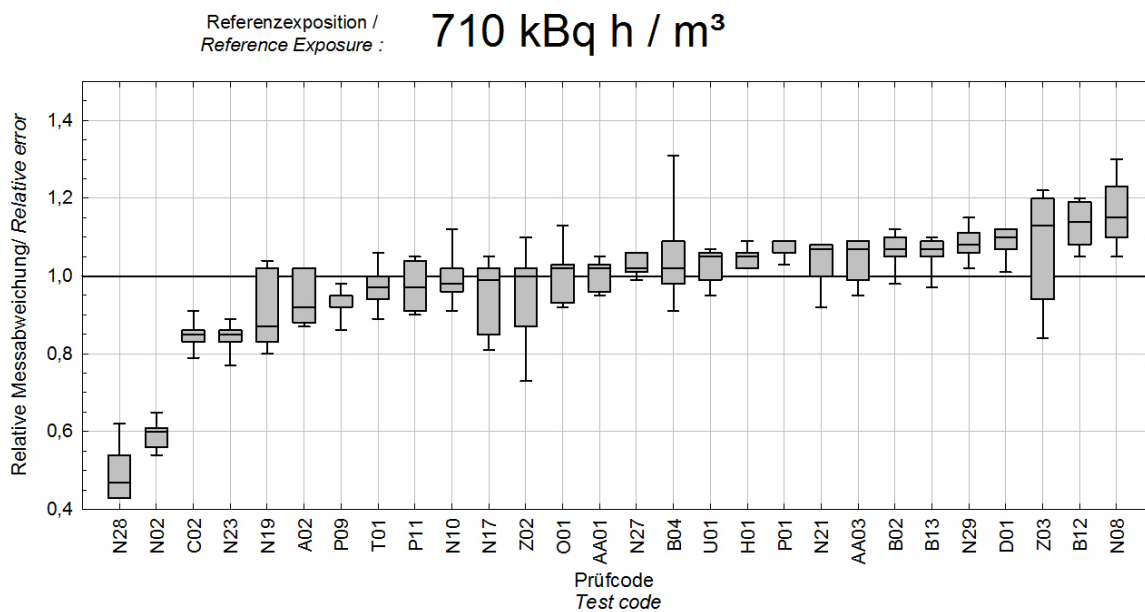


Abbildung 4-3: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 3 als Boxplot / Figure 4-3: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 3 as box plot

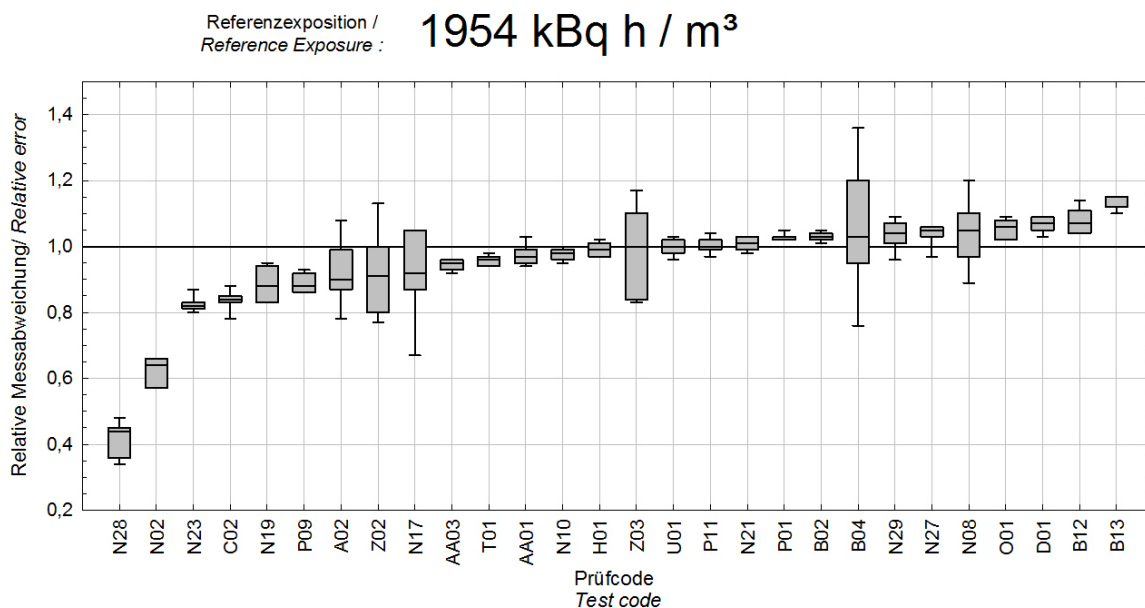


Abbildung 4-4: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 4 als Boxplot / Figure 4-4: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 4 as box plot

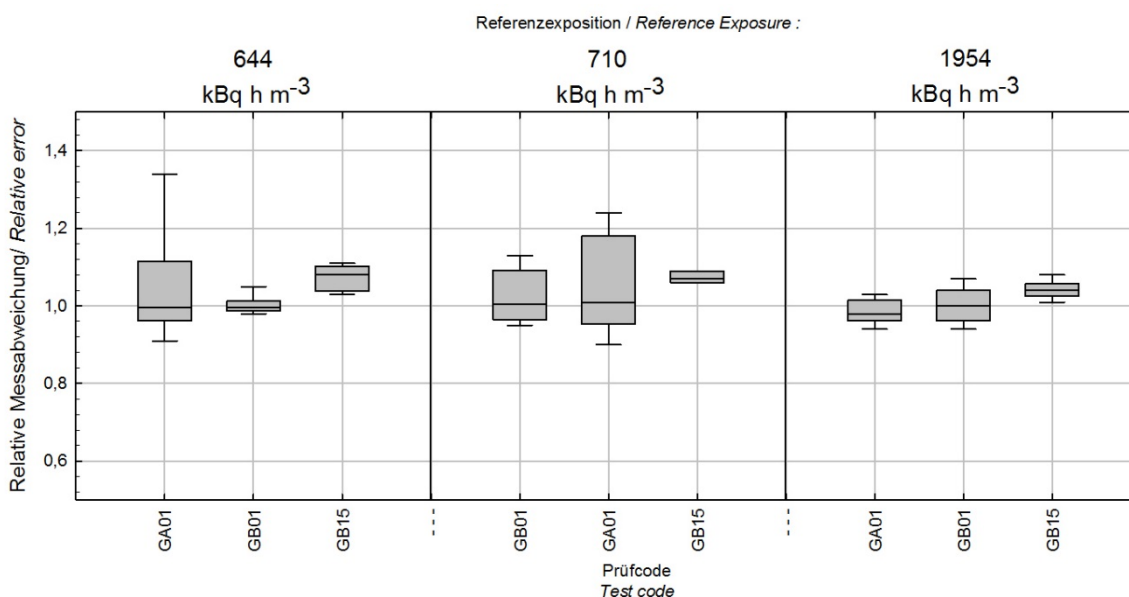


Abbildung 4-5: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Elektret der Expositionsgruppen 2 bis 4 als Boxplots / Figure 4-5: Relative error of the instruments using electrets of the exposure groups 2 to 4 as box plots

4.2 Eignungsprüfung / Proficiency testing

Im Jahr 2019 wurde seitens des BfS eine Bewertung der Ergebnisse der Vergleichsprüfung in Form einer Eignungsprüfung angeboten. Ein entsprechender zusätzlicher Bericht wurde von 80% der teilnehmenden Institutionen nachgefragt (Muster-Bericht siehe Anhang A-9).

In Abbildung 4-6 sind die Daten zur Leistungsbewertung sämtlicher teilnehmender Sets ohne systematische Ausreißer³ in einem Boxplot gezeigt. Es handelt sich um 782 Messwerte von 29 Sets aufgeteilt in die vier

³ Als systematischer Ausreißer wird hier die Gesamtmenge der Messwerte eines Sets bezeichnet, wenn diese systematisch mehr als 30 % vom Referenzwert abweichen.

Expositionsgruppen. Dargestellt ist die Abweichung jedes gemessenen Expositionswertes vom jeweiligen Referenzwert als Verhältnisswert. Weiterhin dargestellt ist der erlaubte Bereich der BfS-Eignungsprüfung 2019 innerhalb der sogenannten Trompetenkurve (siehe Anhang A-6). Werte außerhalb dieses Bereiches werden als Ausreißer gewertet.

Die Leistungsbewertung eines teilnehmenden Sets hängt von der Anzahl der Ausreißer unter den Messwerten ab (siehe Anhang A-6). Die Anzahl der teilnehmenden Sets mit Festkörperspurdetektoren (FKSD) bzw. Elektreten in Abhängigkeit von der Anzahl der Ausreißer ist in Tabelle 4-1 dargestellt. Insgesamt wurde nach Kriterien der Eignungsprüfung 2019 bei 94 % der Teilnehmenden bzw. teilnehmenden Sets die Leistung als „zufriedenstellend“ bewertet.

In 2019, the Federal Office for Radiation Protection offered proficiency testing based on the results of the interlaboratory comparison. An additional written report was opted for by 80 % of the participants (example report see appendix A-9).

Figure 4-6 shows the proficiency testing data for all participating sets without systematic outliers⁴ in a box plot. This refers to 782 measurements values of 29 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 A-6). 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 A-6). The distribution of outliers over the participating sets with solid-state nuclear track detectors and electrets is shown in table 4-1. In total, 94 % of the participating sets show a “satisfactory” performance.

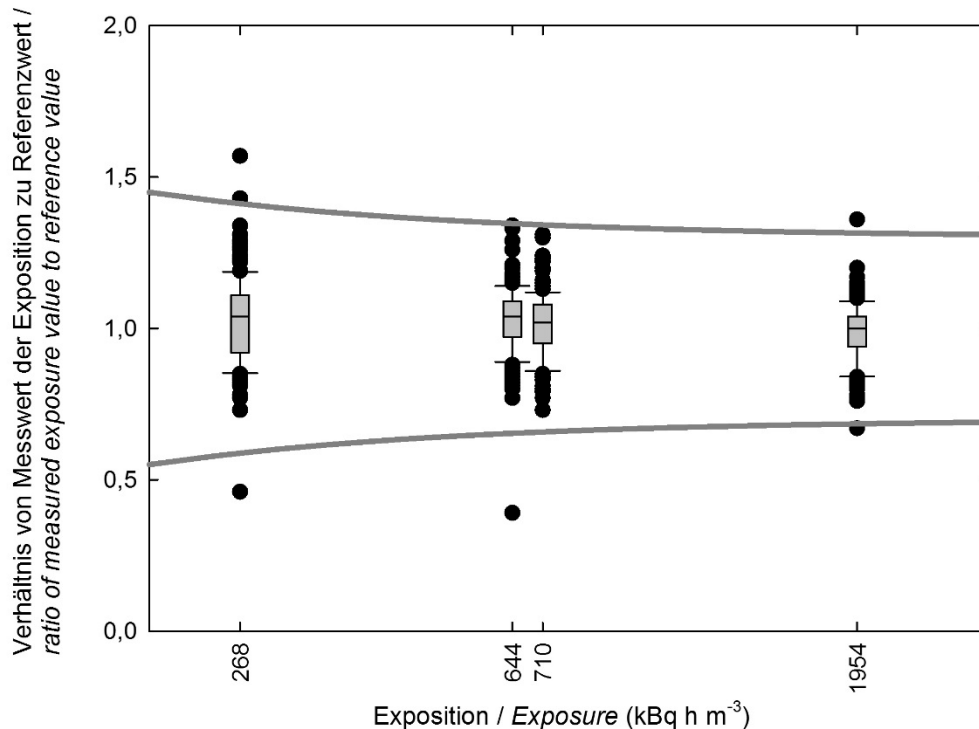


Abbildung 4-6 Abweichung der Messwerte von den Referenzwerten (als Verhältnis) ohne systematische Ausreißer (Messgeräte aus 29 Sets). Innerhalb der Trompetenkurve liegt der erlaubte Bereich nach Kriterien der BfS-Eignungsprüfung 2019. / Figure 4-6 Deviation of the measurement value from the reference value (ratio) without systematic outliers (measurement instruments of 29 sets). The region of acceptance according to the criteria defined for the BfS proficiency testing 2019 is within the trumpet curve.

⁴ The entire measurement values of a set are called systematic outlier if all of the values show a systematic deviation of more than 30 % from the reference value.

Tabelle 4-1 Verteilung der Ausreißer der insgesamt 31 Sets (Festkörperspurdetektoren (FKSD) und Elektrete) mit grau unterlegter Markierung des Bereiches zufriedenstellender Leistung sowie die Verteilung der Leistungsbewertung. / Distribution of outliers over the 31 sets (solid-state nuclear track detectors (SSNTD) and electrets) with highlighted range of satisfactory performance as well as performance distribution

	Anzahl der Sets / Number of sets		
Anzahl der Ausreißer / Number of outliers	FKSD / SSNTD	Elektret / Electret	Gesamt / Total
0	23	3	26
1	2	0	2
2	1	0	1
>2	2	0	2
Leistungsbewertung / performance			
zufriedenstellend / satisfactory	26	3	29
nicht zufriedenstellend / unsatisfactory	2	0	2

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 1052 Messgeräte, bei den Messungen im Radon-Kalibrierlabor 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 1052 measuring instruments, performing measurements in the laboratory and compiling the report.

5 LITERATURVERZEICHNIS / REFERENCES

- [1] Rat der Europäischen Union, Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/EURATOM, 90/641/EURATOM, 96/29/EURATOM, 97/43/EURATOM und 2003/122/EURATOM, Amtsblatt der Europäischen Union, Reihe L, Nr. 13/1 vom 17.01.2014
- [2] Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das durch Artikel 2 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) geändert worden ist
- [3] Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036)
- [4] Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Regeln für die Durchführung von Vergleichsmessungen von Dosimetern gemäß § 2 Abs. 3 Satz 3 der Eichordnung, PTB-Mitteilungen 122 (2012), Heft 4
- [5] DIN EN ISO/IEC 17025:2005-08, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005) / *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025:2005)*
- [6] DIN EN ISO/IEC 17043:2010-05, Konformitätsbewertung - Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen (ISO/IEC 17043:2010) / *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 (28.01.2019)
- [8] <http://www.eptis.bam.de> (05.01.2018)
- [9] <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/labore/radon/radon> (05.01.2018)
- [10] Qualitätsmanagementhandbuch des 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, in: Messanleitungen für die "Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung", BMUB, 1998

A. ANHANG / APPENDIX

A-1.	TEILNEHMENDE / PARTICIPANTS	23
A-2.	MESSGERÄTETYPEN / TYPES OF MEASUREMENT INSTRUMENTS	25
A-3.	ABLAUFSHEMA / TIME COURSE	29
A-4.	ATMOSPHERE IM LAGERRAUM / ATMOSPHERE IN THE STORAGE ROOM	29
A-5.	REFERENZATMOSPHEREN / REFERENCE ATMOSPHERES	30
A-6.	DATENAUSWERTUNG / ANALYSIS OF DATA	32
A-7.	MESSWERTE / MEASUREMENT VALUES	33
A-8.	ERGEBNISBERICHT DER VERGLEICHSPRÜFUNG (MUSTER) / REPORT ON MEASUREMENT RESULTS (TEMPLATE)	39
A-9.	ERGEBNISBERICHT DER EIGNUNGSPRÜFUNG (MUSTER) / REPORT ON PROFICIENCY TESTING (TEMPLATE)	46

A-1. TEILNEHMENDE / PARTICIPANTS

Tabelle A-1: Institutionen, die an der Vergleichsprüfung 2019 teilgenommen haben / Table A-1: Participants of the interlaboratory comparison 2019

Teilnehmende Institution <i>Participant</i>	Land <i>Country</i>	Adresse <i>Address</i>
Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES)	Österreich <i>Austria</i>	Wieningerstraße 8 4020 Linz
AGQ Labs	Spanien <i>Spain</i>	Ctra. A-8013 Km 20.8 41220 Burguillos (Seville)
ALGADE LED-DU	Frankreich <i>France</i>	Avenue du Brugeaud, B.P. 46 87250 Bessines-sur-Gartempe
ALTRAC Radon-Messtechnik	Deutschland <i>Germany</i>	Dorothea-Viehmann-Straße 28 12524 Berlin
ARPA LOMBARDIA - CRR sede di Bergamo	Italien <i>Italy</i>	Via Clara Maffei, 4 24121 Bergamo
Bundesamt für Strahlenschutz UR 1	Deutschland <i>Germany</i>	Köpenicker Allee 120-130 10318 Berlin
"Constantin Cosma" Radon Laboratory Faculty of Environmental Sciences and Engineering Babes-Bolyai University	Rumänien <i>Romania</i>	Str. Fantanele Nr. 30 RO-400294 Cluj-Napoca Cluj
Dosimetrics GmbH (Kooperationspartner in Deutschland/ <i>Cooperation partner in Germany</i>) Eurofins Radon Testing Sweden AB (Messlabor/ <i>Measuring laboratory</i>)	Deutschland <i>Germany</i> Schweden <i>Sweden</i>	Otto-Hahn-Ring 6 81739 München Gammelstadsvägen 5 972 41 LULEÅ
ENEA Radon Service	Italien <i>Italy</i>	Via Martiri di Montesole, 4 40129 Bologna
GEOEX srls Radon Lab	Italien <i>Italy</i>	Corso Matteotti 44 00041 Albano Laziale (Roma)
Greek Atomic Energy Commission	Griechenland <i>Greece</i>	P.O Box 60092 15341 Agis Paraskevi
Hainaut Vigilance Sanitaire	Belgien <i>Belgium</i>	Boulevard Sainctelette 55 7000 Mons
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Sicherheit und Umwelt	Deutschland <i>Germany</i>	Hermann-von-Helmholtz-Platz 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Laboratoire Dosirad	Frankreich <i>France</i>	15 rue du Gardon 26700 Pierrelatte
Laboratorio Mediciones de Gas Radón Autoridad Regulatoria Nuclear Argentina	Argentinien <i>Argentina</i>	Av. del Libertador 8250 1429 Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz	Deutschland <i>Germany</i>	Kaiser-Friedrich-Str. 7 55116 Mainz
MI.AM srl	Italien <i>Italy</i>	Via Bolzoni 30 29029 Piacenza (PC)

Teilnehmende Institution <i>Participant</i>	Land <i>Country</i>	Adresse <i>Address</i>
Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen	Deutschland <i>Germany</i>	Marsbruchstraße 186 44287 Dortmund
Niton srl	Italien <i>Italy</i>	Via Prima Strada 23H 20020 Lainate (MI)
Public Health England Radon Dosimetry	Großbritannien <i>United Kingdom</i>	Chilton, Didcot OX 11 ORQ Oxfordshire
Radonova Laboratories AB (Messlabor/ <i>Measuring laboratory</i>)	Schweden <i>Sweden</i>	Rapsgatan 25 75450 Uppsala
Radosys Kft	Ungarn <i>Hungary</i>	Vegyész u. 17-25 1116 Budapest
RFI s.p.a. - Ricerca e Sviluppo Laboratori	Italien <i>Italy</i>	n.175 Via di Portonaccio 00159 Roma
TECNORAD S.U.R.L.	Italien <i>Italy</i>	Via Giovanni Virginio Schiaparelli 5 37135 Verona (VR)
Turkish Atomic Energy Agency	Türkei <i>Turkey</i>	Yarimburgaz Mah. Nukleer Arastirma Merkezi Yolu No:10 Kucukcekmece-Istanbul
U-Series Srl	Italien <i>Italy</i>	Via Ferrarese, 131 40128 Bologna
ZVD Zavod za varstvo pri delu D. O. O.	Slowenien <i>Slovenia</i>	Chengdujska cesta 25 1260 Ljubljana Polje

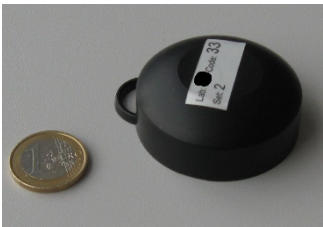
A-2. MESSGERÄTETYPEN / TYPES OF MEASUREMENT INSTRUMENTS

Tabelle A-2: Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren oder Elektreten / Table A-2: 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
A		Makrofol	0,3 mm	201 mm ²	127 mm ²	20 - 5 000 kBq·h·m ⁻³	A02
AA		CR-39	0,9 mm	300 mm ²	190 mm ²	20 – 20 000 kBq·h·m ⁻³	AA01
			1 mm	100 mm ²	51 mm ²	32 – 15 000 kBq·h·m ⁻³	AA03
B		CR-39	1,5 mm	440 mm ²	140 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 mm	481 mm ²	40 mm ²	10 – 10 000 kBq·h·m ⁻³	B12
			1,25 mm	419 mm ²	120 mm ²	40 – 8 000 kBq·h·m ⁻³	B13

Messgerättyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke Detector thickness	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Expositions- bereich range of exposure	Prüfcode / Test code
C		CR-39	1 mm	100 mm ²	51 mm ²	32 – 15 000 kBq·h·m ⁻³	C02
D		Makrofol	0,3 mm	1020 mm ²	240 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)	0,127 mm	3421 mm ²	k.A./ N.s.	50 – 2 500 kBq·h·m ⁻³	GB01
			0,127 mm	3421 mm ²	855 mm ²	200 – 3 500 kBq·h·m ⁻³	GB15
H		CR-39	1,5 mm	440 mm ²	140 mm ²	20 – 25 000 kBq·h·m ⁻³	H01

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
N		CR-39	1 mm	100 mm ²	50,9 mm ²	40 – 20 000 kBq·h·m ⁻³	N02
			1 mm	100 mm ²	51,713 mm ²	20 – 6 000 kBq·h·m ⁻³	N08
			1 mm	100 mm ²	50 mm ²	150 – 2 000 kBq·h·m ⁻³	N10
			1 mm	100 mm ²	50 mm ²	40 – 8 000 kBq·h·m ⁻³	N17
			1 mm	100 mm ²	51 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	51,71 mm ²	150 – 2 000 kBq·h·m ⁻³	N23
			0,95 mm	100 mm ²	52 mm ²	0 – 12 000 kBq·h·m ⁻³	N27
			1 mm	100 mm ²	50 mm ²	40 – 8 000 kBq·h·m ⁻³	N28
			1 mm	100 mm ²	51,7131 mm ²	20 – 20 000 kBq·h·m ⁻³	N29
O		LR-115	0,1 mm	290 mm ²	240 mm ²	3 – 20 000 kBq·h·m ⁻³	O01
P		CR-39	1,5 mm	625 mm ²	100 mm ²	50 – 40 000 kBq·h·m ⁻³	P01
			1 mm	625 mm ²	59 mm ²	200 – 3 500 kBq·h·m ⁻³	P09
			1,5 mm	625 mm ²	100 mm ²	20 – 40 000 kBq·h·m ⁻³	P11

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
T		CR-39	1,4 mm	900 mm ²	29 - 47 mm ²	20 – 20 000 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
Z		LR-115	0,012 mm	227 mm ²	113 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 A-2/ *Explanations for table A-2:*

Die Angaben zum Detektor, zur Detektordicke, der Gesamt-Detektorfläche, der ausgewerteten Detektorfläche sowie zum Expositionsbereich sind Angaben der teilnehmenden Institution. / *Details on detector, detector thickness, total detector area, analysed detector area and range of exposure were indicated by the participants*
k.A.: keine Angabe; n.z.: nicht zutreffend / *N.s.: not specified; N.a.: not applicable*

A-3. ABLAUFSCHEMA / TIME COURSE

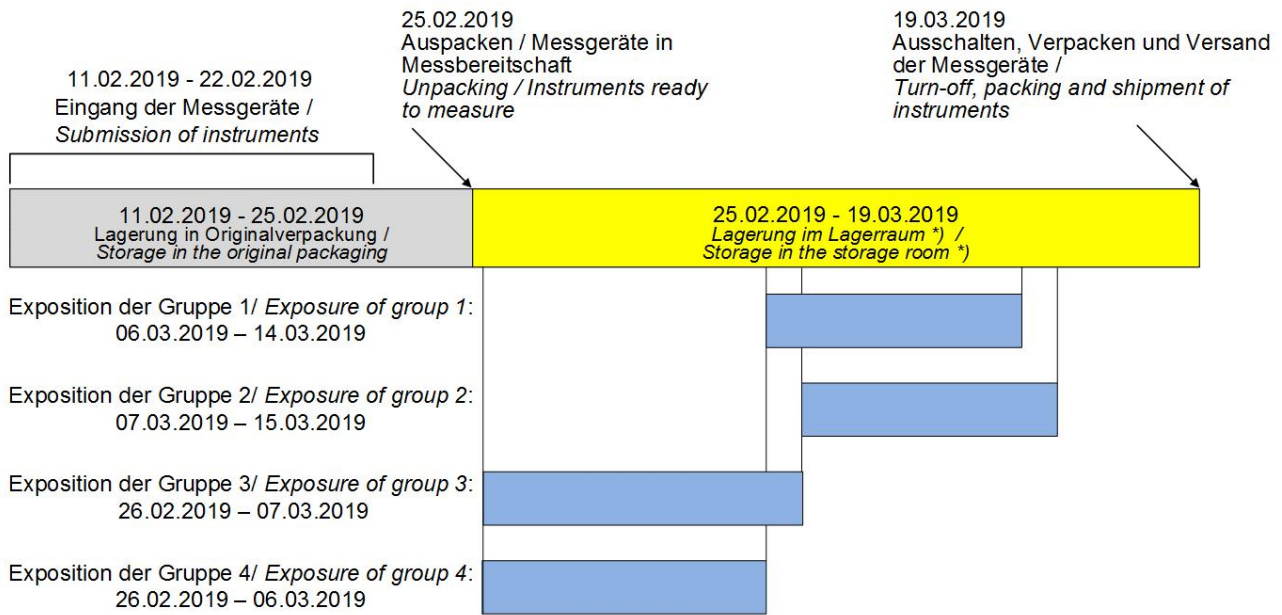


Abbildung A-1: Ablaufschema / Figure A-1: Time course

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

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

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

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

C_{Rn} [Bq·m ⁻³]	$C_{Rn,EG}$ [Bq·m ⁻³]	$r.H.$ [%]	$U_{r.H.}$ [%]	T [°C]	U_T [°C]	p [hPa]	U_p [hPa]	$\dot{H}^*(10)$ [nSv·h ⁻¹]	$U_{\dot{H}^*(10)}$ [nSv·h ⁻¹]
4	5	39	8	18	1	1003	3	69	2

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 $U_{\dot{H}^*(10)}$ ($k=2$).

A-5. REFERENZATMOSPHERÄN / REFERENCE ATMOSPHERES

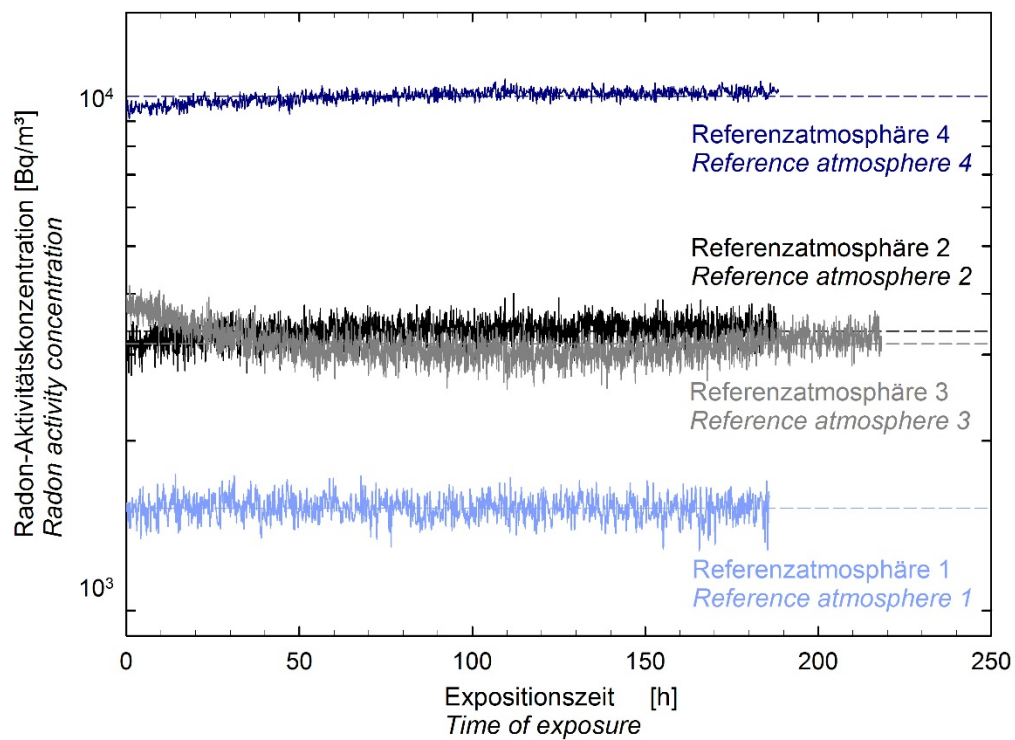


Abbildung A-2: Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen der Referenzatmosphären /
Figure A-2: Radon activity concentrations of the reference atmospheres over the time of exposure

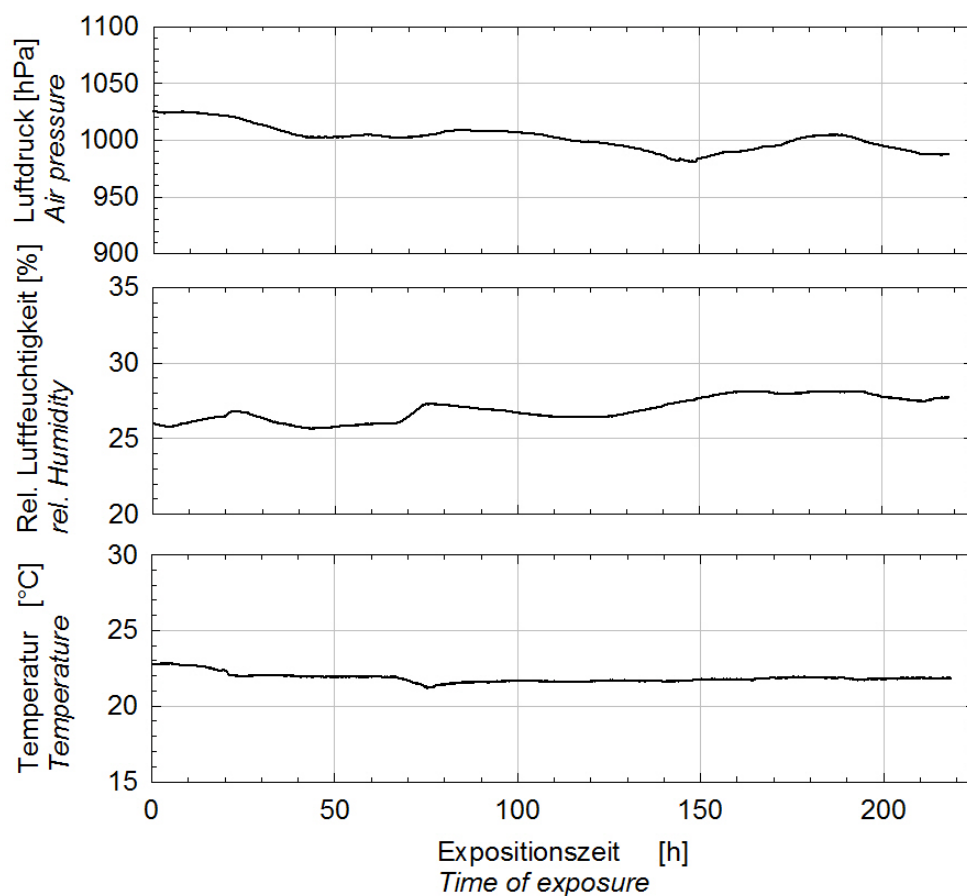


Abbildung A-3: Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftdruck exemplarisch für Exposition 3 /
Figure A-3: Temperature, relative humidity and air pressure during exposure no. 3 as an example

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

Nr. No.	Datum Date	t [h]	$C_{Rn,Ref}$ [kBq·m ⁻³]	V [m ³]	$P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	U [%]	T [°C]	r.H. [%]	p [hPa]
1	06.03.– 14.03.2019	189,0	1,42	11	268	5	23	26	999
2	07.03. – 15.03.2019	191,0	3,37	30	644	5	22	28	998
3	26.02. – 07.03.2019	221,3	3,21	30	710	5	22	27	1002
4	26.02. – 06.03.2019	191,6	10,20	11	1954	5	23	25	1004

Erläuterung zu Tabelle A-4:

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 DAKKS-DKD-3 [11] ermittelt. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphären sind außerdem das Volumen des Kalibrierbehälters **V** und die Klimabedingungen angegeben: Mittelwert der Temperatur **T** mit einer erweiterten Messunsicherheit von 0,6 °C (**k=2**), Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit **r.H.** mit einer erweiterten Messunsicherheit von 8 % (**k = 2**) und Mittelwert des Luftdrucks **p** mit einer erweiterten Messunsicherheit von 1 hPa (**k = 2**).

Explanation for table A-4:

*In the “No.” column the number of the exposure group 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 DAKKS-DKD-3 [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**).*

A-6. DATENAUSWERTUNG / ANALYSIS OF DATA

Für jedes Set von Messgeräten eines Typs (Prüfcode siehe Tabelle A-2) 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.

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

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

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

Für die Leistungsbewertung (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.

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

$$UG = 0.7 - \frac{30}{X_g} \text{ und } OG = 1.3 + \frac{30}{X_g} \quad (5,6)$$

Messwerte eines Messgerätetyps liegen allgemein mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 90% in diesem Bereich, wenn eine bestimmte Anzahl von Ausreißern pro Set nicht überschritten wird [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 ($g = 1 \dots 4$, Transitgruppe: $g = 0$)

Number of the exposure group ($g = 1 \dots 4$, 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 code see table A-2) 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”.

A-7. MESSWERTE / MEASUREMENT VALUES

Tabelle A-5: Messwerte der Transitgruppe / Table A-5: Measurement values of the transit group

Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräte- anzahl <i>Number of instrument</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h·m ⁻³]	Standardabweichung <i>Standard deviation</i> [kBq·h·m ⁻³]	Transit-Effekt berücksichtigt? <i>Transit effect taken into account?</i>
A02	7	7	3,1	Nein / No
AA01	7	11	4,2	Ja / Yes
AA03	7	21	4,3	Ja / Yes
B02	7	1	1,9	Ja / Yes
B04	7	0 ¹⁾	0,0	Ja / Yes
B12	7	32	9,8	Nein / No
B13	7	10	1,8	Ja / Yes
C02	7	19	7,0	Ja / Yes
D01	7	5	1,1	Nein / No
GA01	6	115	44,2	Ja / Yes
GB01	6	29	11,8	Ja / Yes
GB15	6	23	9,9	Ja / Yes
H01	7	2	1,7	Nein / No
N02	7	7	8,5	Ja / Yes
N08	7	70	11,7	Ja / Yes
N10	7	-21	15,7	Ja / Yes
N17	7	236	115,8	Ja / Yes
N19	7	15	4,5	Ja / Yes
N21	7	20	3,6	Ja / Yes
N23	7	9	3,5	Ja / Yes
N27	7	12	7,3	Ja / Yes
N28	7	16	9,0	Ja / Yes
N29	2	22 ²⁾	4,1	Ja / Yes
O01	7	61	15,6	Ja / Yes
P01	7	83	8,7	Ja / Yes
P09	7	2	0,8	Nein / No
P11	7	238	19,1	Ja / Yes
T01	7	4	2,6	Nein / No
U01	7	10	1,9	Ja / Yes
Z02	7	25	6,2	Nein / No
Z03	7	14	5,6	Ja / Yes

¹⁾ Von der teilnehmenden Institution wurde für alle 7 Messgeräte als Wert der Exposition „0“ angegeben. / *The participant has indicated an exposure value of “0” for all 7 measurement instruments.*

²⁾ Berechnung nach Kanisch [14] / *Calculation according to Kanisch [14]*

Erläuterungen zu Tabelle A-5:

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 A-5:

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

Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräteanzahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h·m ⁻³]	Standard- abweichung <i>Standard deviation</i> [kBq·h·m ⁻³]	Referenzwert <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	relative Mess- abweichung <i>Relative error</i> [%]
1	A02	7	235	58	268	-12,3
	AA01	7	276	24		2,8
	AA03	7	285	21		6,4
	B02	7	285	22		6,3
	B04	7	283	60		5,7
	B12	7	287	18		7,0
	B13	7	279	12		4,2
	C02	7	240	21		-10,4
	D01	7	295	21		10,1
	H01	7	292	8		8,8
	N02	7	165	14		-38,3
	N08	7	326	23		21,6
	N10	7	245	23		-8,5
	N17	7	296	36		10,4
	N19	7	252	25		-6,1
	N21	7	304	33		13,4
	N23	7	240	13		-10,4
	N27	7	287	14		7,1
	N28	7	125	20		-53,3
	N29	7	292	17		9,1
	O01	7	252	38		-6,1
	P01	7	280	14		4,3
	P09	7	286	7		6,7
	P11	7	267	17		-0,5
	T01	7	244	12		-9,0
	U01	7	270	19		0,8
	Z02	7	269	62		0,4
	Z03	7	306	73		14,2

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

Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräteanzahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h·m ⁻³]	Standard- abweichung <i>Standard deviation</i> [kBq·h·m ⁻³]	Referenzwert <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	relative Mess- abweichung <i>Relative error</i> [%]
2	A02	7	572	150	644	-11,2
	AA01	7	651	24		1,1
	AA03	7	692	13		7,4
	B02	7	701	23		8,9
	B04	7	716	110		11,1
	B12	7	714	58		10,9
	B13	7	716	23		11,1
	C02	7	569	31		-11,6
	D01	7	705	20		9,5
	GA01	6	672	97		4,3
	GB01	6	645	17		0,1
	GB15	6	693	22		7,6
	H01	7	699	11		8,6
	N02	7	413	29		-35,8
	N08	7	725	67		12,6
	N10	7	658	27		2,1
	N17	7	640	91		-0,6
	N19	7	593	61		-8,0
	N21	7	690	39		7,2
	N23	7	576	27		-10,6
	N27	7	684	14		6,3
	N28	7	305	28		-52,7
	N29	7	693	37		7,6
	O01	7	638	65		-1,0
	P01	7	687	15		6,7
	P09	7	628	11		-2,4
	P11	7	668	26		3,7
	T01	7	616	24		-4,3
	U01	7	649	12		0,8
	Z02	7	643	95		-0,2
	Z03	7	635	102		-1,4

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

Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräteanzahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h·m ⁻³]	Standard- abweichung <i>Standard deviation</i> [kBq·h·m ⁻³]	Referenzwert <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	relative Mess- abweichung <i>Relative error</i> [%]
3	A02	7	664	44	710	-6,4
	AA01	7	709	28		-0,2
	AA03	7	742	38		4,4
	B02	7	757	31		6,7
	B04	7	744	90		4,8
	B12	7	803	39		13,2
	B13	7	753	30		6,1
	C02	7	600	25		-15,5
	D01	7	775	29		9,2
	GA01	6	743	90		4,7
	GB01	6	726	51		2,3
	GB15	6	761	10		7,2
	H01	7	743	18		4,7
	N02	7	420	25		-40,8
	N08	7	821	59		15,6
	N10	7	706	47		-0,5
	N17	7	669	69		-5,8
	N19	7	637	67		-10,3
	N21	7	740	43		4,3
	N23	7	597	27		-15,9
	N27	7	730	20		2,8
	N28	7	346	48		-51,2
	N29	7	772	28		8,8
	O01	7	711	52		0,1
	P01	7	758	16		6,7
	P09	7	657	26		-7,5
	P11	7	690	42		-2,8
	T01	7	690	37		-2,8
	U01	7	730	30		2,9
	Z02	7	671	87		-5,6
	Z03	7	764	100		7,7

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

Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräteanzahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h·m ⁻³]	Standard- abweichung <i>Standard deviation</i> [kBq·h·m ⁻³]	Referenzwert <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	relative Mess- abweichung <i>Relative error</i> [%]
4	A02	7	1785	187	1954	-8,6
	AA01	7	1912	59		-2,1
	AA03	7	1843	34		-5,7
	B02	7	2007	32		2,7
	B04	7	2049	372		4,9
	B12	7	2096	78		7,3
	B13	7	2202	33		12,7
	C02	7	1638	58		-16,2
	D01	7	2086	42		6,7
	GA01	6	1926	61		-1,4
	GB01	6	1962	88		0,4
	GB15	6	2039	51		4,4
	H01	7	1938	37		-0,8
	N02	7	1221	74		-37,5
	N08	7	2043	200		4,5
	N10	7	1909	38		-2,3
	N17	7	1809	260		-7,4
	N19	7	1721	93		-11,9
	N21	7	1972	39		0,9
	N23	7	1614	39		-17,4
	N27	7	2025	62		3,6
	N28	7	811	106		-58,5
	N29	7	2023	87		3,5
	O01	7	2055	53		5,2
	P01	7	2006	17		2,7
	P09	7	1733	55		-11,3
	P11	7	1963	47		0,5
	T01	7	1871	36		-4,2
	U01	7	1948	47		-0,3
	Z02	7	1780	257		-8,9
	Z03	7	1928	249		-1,3

Erläuterungen zu Tabelle A-6 bis Tabelle A-9:

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). Mittelwert, Standardabweichung und relative Messabweichung werden gerundet angegeben.

Elektretdetektoren wurden nur in den Expositionsgruppen 2, 3 und 4 exponiert.

Details for table A-6 to table A-9:

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 it takes into account the indications of their transit group instruments for the evaluation of the exposed instruments. For each group, the mean value and the standard deviation were calculated. The reference exposure is the exposure to radon in a reference atmosphere. The reference exposure is traced back to the national standard and is considered as the conventionally true value used for the exposure group. The relative error is the difference between mean value and reference exposure related to reference exposure (given in percent). Mean value, standard deviation and relative error are rounded as indicated.

Electrets were exposed in exposure groups 2, 3, and 4 only.

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



BfS-Vergleichsprüfung für passive Radonmessgeräte 2019: Ergebnisse
BfS Interlaboratory Comparison of Passive Radon Detectors 2019: Results

Bericht-ID / Report ID: **VPrf2019_ LLL S**

Messstelle: <i>Laboratory</i>		Laborcode: <i>Laboratory code</i> LLL Set Nummer: <i>Set number</i> S
Gerätetyp: <i>Type of device</i>	Radonmessgerät mit Festkörperspurdetektor <i>Radon measurement device with solidstate nuclear track detector</i>	Prüfcode: <i>Test code</i> xxx
Anzahl der Geräte: <i>Number of devices</i>	35	Geräte-Code: <i>Code of devices</i> LLS001 – LLS035
Detektortyp: <i>Type of detector</i>	☒ Festkörperspurdetektor <i>Solid state nuclear track detector</i>	☐ Elektret <i>Electret</i>
Detektormaterial: <i>Detector material</i>	PADC (CR-39®)	Detektordicke: <i>Detector thickness</i> 1.5 mm
Gesamt-Detektorfläche: <i>Total detector size</i>	440 mm²	Ausgewertete Detektorfläche: <i>Analyzed detector size</i> 140 mm²
Messbereich der Radonexposition: <i>Measuring range of the exposure to radon</i>	10 - 25 000 kBq·h·m⁻³	
Eingangsdatum der Messergebnisse: <i>Date of receipt of results</i>	xx.xx.2019	

Datum:
Date

xx.xx.2019

Fachgebietsleiter UR 1:
Head of Section UR 1

S. Feige

Stellv. Leiter des Radon-
Kalibrierlaboratoriums:
*Deputy Head of the Radon
Calibration Laboratory*

Dr. M. Dubsloff

Koordinatorin:
Coordinator

F. Friedrich

Verfahren der Vergleichsprüfung / Procedure:

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

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

Zur Vergleichsprüfung zugelassen wurden nur Detektoren geschlossenen Typs (mit Diffusionsbarriere). Die von der Messstelle 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 die Messstelle zurückgesandt.

Die Expositionsdaten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Das Datum gibt den Zeitraum an, in dem die Messgeräte in den Referenzatmosphären exponiert wurden. Der Parameter $C_{Rn,Ref}$ ist der Mittelwert der Radon-222-Aktivitätskonzentration während der Expositionszeit t und $P_{Rn,Ref}$ die Radonexposition, die sich aus dem Produkt aus $C_{Rn,Ref}$ und t ergibt (Angabe in der Tabelle als gerundeter Wert). Die erweiterte relative Messunsicherheit der Radon-222-Aktivitätskonzentration (U) ergibt sich aus der Standardmessunsicherheit multipliziert mit dem Erweiterungsfaktor $k=2$ (95% Vertrauensbereich). Sie wurde gemäß 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. Two working standards traceable to the national standard were used to monitor the radon-222 activity concentration.

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

Exposi- tions- gruppe <i>Exposure group</i>	Datum von – bis <i>Date from - to</i>	t [h]	$C_{Rn,Ref}$ [kBq·m ⁻³]	Volumen/ Volume *) [m ³]	$P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	U [%]	T [°C]	r.H. [%]	p [hPa]
1	06.03.– 14.03.2019	189,0	1,42	11	268	5	23	26	999
2	07.03. – 14.03.2019	191,0	3,37	30	644	5	22	28	998
3	26.02. – 07.03.2019	221,3	3,21	30	710	5	22	27	1002
4	26.02. – 06.03.2019	191,6	10,20	11	1954	5	23	25	1004

*) Volumen des Kalibrierbehälters / Volume of the calibration container

Lagerbedingungen der Transitgruppe / Storage conditions of the transit group:

Zu Beginn der Vergleichsprüfungen wurden alle Radonmessgeräte ausgepackt und im messbereiten Zustand in einen Raum mit geringer Radon-222-Aktivitätskonzentration gebracht (Lageraum). Die Messgeräte der Transitgruppe wurden über den gesamten Zeitraum der Vergleichsprüfung (22 Tage) in diesem Raum gelagert. Alle anderen Geräte wurden vor und nach der Exposition in den Referenzatmosphären ebenfalls im Lageraum aufbewahrt. Am Ende der Vergleichsprüfungen 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 interlaboratory comparison all radon measurement instruments were unpacked, made ready for measurement and brought into a room with low radon-222 activity concentration (storage room). The instruments of the transit group were stored over the entire period of interlaboratory comparison (22 days) in this storage room. All other instruments were stored in this room before the beginning and after the end of the exposures in reference atmospheres. At the end of the interlaboratory comparison all exposed and transit instruments were removed from the storage room and re-packed at the same time. The parameters of the atmosphere in the storage room are given in table 2.

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

C_{Rn} [Bq·m ⁻³]	$C_{Rn,EG}$ [Bq·m ⁻³]	r.H. [%]	$U_{r.H.}$ [%]	T [°C]	U_T [°C]	p [hPa]	U_p [hPa]	$\dot{H}^*(10)$ [nSv·h ⁻¹]	$U_{\dot{H}^*(10)}$ [nSv·h ⁻¹]
≤ 5	5	39	8	18	1	1003	3	69	2

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:

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

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

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

The laboratory was not informed by BfS which instrument belongs to which exposure group. Only the detector numbers of the transit group were announced. The transit group comprises instruments which were not exposed in reference atmospheres but transported and stored under the same conditions like all other instruments. It was in 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 3 angegeben.

Mean value and relative standard deviation of the determined exposures to radon-222 were calculated for each exposure group and the transit group according to equations (1) and (2).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Bewertung / Assessment:

Es liegt in der Verantwortung der teilnehmenden Messstelle, die Resultate entsprechend ihres Qualitätsmanagementsystems zu bewerten. Anhand der Analyse von Daten der bisherigen BfS-Vergleichsprüfungen für passive Radonmessgeräte konnte gezeigt werden, dass die relative Messabweichung der Einzelmesswerte in Abhängigkeit vom Referenzwert bei geeigneter Qualitätssicherung innerhalb eines zulässigen Bereichs liegen können [3]. Seit 2019 wird durch das BfS eine auf den Ergebnissen der aktuellen Vergleichsprüfung basierende Eignungsprüfung angeboten.

It is in the responsibility of the participating laboratory to evaluate the results according to their quality management system. Analyzing the data from previous BfS interlaboratory comparisons of passive radon detectors it has been shown that the relative deviation of every single measurement value from the reference can assume values within an accepted range, if an appropriate quality management system is operated [3]. Since 2019, BfS offers a proficiency testing based on the results of the current interlaboratory comparison.

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 Vergleichsprüfung für passive Radonmessgeräte 2019: Ergebnisse

BfS Intercomparison of Passive Radon Detectors 2019: Results

Tabelle 3: Messergebnisse für Laborcode LLL, Set Nummer S, Prüfcode xxx

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

Expositionsgruppe g / Exposure group g	Transitgruppe (0) / Transit group (0)		1		2		3		4	
Referenzwert der Rn-222-Exposition/ Reference exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]			268		644		710		1954	
Nummer / Number	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]
1	LLLS05	6	LLLS02	307	LLLS01	692	LLLS04	788	LLLS03	2085
2	LLLS08	6	LLLS09	309	LLLS06	711	LLLS10	780	LLLS07	2121
3	LLLS13	5	LLLS11	309	LLLS15	717	LLLS12	797	LLLS14	2116
4	LLLS19	3	LLLS18	280	LLLS16	738	LLLS20	716	LLLS17	2020
5	LLLS24	4	LLLS21	252	LLLS23	702	LLLS25	762	LLLS22	2058
6	LLLS26	5	LLLS27	304	LLLS29	676	LLLS28	798	LLLS30	2138
7	LLLS32	5	LLLS34	304	LLLS31	700	LLLS35	784	LLLS33	2061
Mittelwert/ Mean value [kBq·h·m ⁻³]		5		295		705		775		2086
Standardabweichung/ Standard deviation [%]		22,0		7,3		2,8		3,7		2,0
Relative Messabweichung / Relative error [%]				10,1		9,5		9,2		6,7

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

☒ Ja / Yes

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

☐ Nein / No

A-9. ERGEBNISBERICHT DER EIGNUNGSPRÜFUNG (MUSTER) / *REPORT ON PROFICIENCY TESTING (TEMPLATE)*

BfS-Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radonmessgeräte 2019:
 Eignungsprüfung

*BfS Interlaboratory Comparison and Proficiency Testing of Passive Radon Detectors 2019:
 Proficiency testing*

Messstelle: <i>Laboratory</i>		Laborcode / <i>Laboratory code:</i> LLL Set Nummer / <i>Set number:</i> S
Gerätetyp: <i>Type of device</i>	Radonmessgerät mit Festkörperspurdetektor <i>Radon measurement device with solid state nuclear track detector</i>	Prüfcode / <i>Test code:</i> xxx
Detektormaterial: <i>Detector material</i>	Makrofol®	Bericht-ID der Vergleichsprüfung / <i>Report ID of the Interlaboratory Comparison:</i> VPrf2019_ LLL S

Die Leistung gemäß des auf Seite 2 beschriebenen Eignungsprüfungsverfahrens wird bewertet als
The performance based on the proficiency testing scheme described on page 2 is evaluated as

☒ zufriedenstellend / *satisfactory*.

☐ nicht zufriedenstellend / *unsatisfactory*.

Datum:
Date

xx.xx.2019

Fachgebietsleiter UR 1:
Head of Section UR 1

S. Feige

Koordinatorin:
Coordinator

Dr. F. Friedrich

stellv. Koordinatorin:
Deputy Coordinator

E. Foerster

Verfahren der Eignungsprüfung / Proficiency Testing Scheme:

Die Eignungsprüfung findet auf Grundlage der Daten der aktuellen Vergleichsprüfung des BfS statt (vgl. Bericht-ID auf dem Titelblatt). Eine zufriedenstellende Leistung ist gegeben, wenn nicht mehr als die in Tabelle 1 dargestellte Anzahl der ermittelten Radon-222-Expositionswerte (=Messwerte) außerhalb des Bereiches der maximal zulässigen Abweichung liegen [1]. Der Bereich der maximal zulässigen Abweichung ist definiert über

$$UG_g \leq \frac{x_{g,i}}{X_g} \leq OG_g \quad \text{mit} \quad UG_g = 0,7 - \frac{30}{X_g} \quad \text{und} \quad OG_g = 1,3 + \frac{30}{X_g}.$$

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 2 rot markiert. Übersteigt die Summe der Ausreißer für alle Gruppen g nicht den in Tabelle 1 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 current BfS interlaboratory comparison (see report ID on first page). 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 1 [1]. The maximum admissible deviation range is defined as

$$UG_g \leq \frac{x_{g,i}}{X_g} \leq OG_g \quad \text{with} \quad UG_g = 0.7 - \frac{30}{X_g} \quad \text{and} \quad OG_g = 1.3 + \frac{30}{X_g}.$$

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 2. If the total number of outliers does not exceed the number given in table 1 the performance is evaluated as “satisfactory”. Otherwise, the performance is evaluated as “unsatisfactory”. Missing values are treated as outliers.

- 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 1 / Table 1: Zulässige Anzahl an Ausreißern / Admissible number of outliers

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

Literaturangaben / References:

- [4] Beck et al., The measurement accuracy of passive radon instruments, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 158, No. 1, pp. 59-67, 2014



Tabelle 2: Leistung in der Eignungsprüfung für die BfS Vergleichsprüfung Bericht-ID VPrf2019_ LLL S

Table 2: Performance in Proficiency Testing for the BfS interlaboratory comparison result ID VPrf2019_ LLL S

Expositionsgruppe / Exposure group	1		2		3		4	
Referenzwert der Rn-222-Exposition/ Reference exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m ⁻³]	268		644		710		1954	
	Messgeräte- Code/ Code of device	$\frac{P_{mess}}{P_{Rn,ref}}$	Messgeräte- Code/ Code of device	$\frac{P_{mess}}{P_{Rn,ref}}$	Messgeräte- Code/ Code of device	$\frac{P_{mess}}{P_{Rn,ref}}$	Messgeräte- Code/ Code of device	$\frac{P_{mess}}{P_{Rn,ref}}$
	LLLS02	1,1	LLLS01	1,1	LLLS04	1,1	LLLS03	1,1
	LLLS09	1,2	LLLS06	1,1	LLLS10	1,1	LLLS07	1,1
	LLLS11	1,2	LLLS15	1,1	LLLS12	1,1	LLLS14	1,1
	LLLS18	1,0	LLLS16	1,1	LLLS20	1,0	LLLS17	1,0
	LLLS21	0,9	LLLS23	1,1	LLLS25	1,1	LLLS22	1,1
	LLLS27	1,1	LLLS29	1,0	LLLS28	1,1	LLLS30	1,1
	LLLS34	1,1	LLLS31	1,1	LLLS35	1,1	LLLS33	1,1
UG	0,6		0,7		0,7		0,7	
OG	1,4		1,3		1,3		1,3	
Anzahl der Ausreißer/ Number of outliers	0		0		0		0	

Gesamtanzahl der Ausreißer/ Total number of outliers	0
Erlaubte Anzahl an Ausreißern/ Allowed number of outliers	2

Leistung in der Eignungsprüfung nach beschriebenem Verfahren (S. 2) / Performance in proficiency testing according to described scheme (p. 2)	zufriedenstellend / satisfactory
--	-------------------------------------

Kontakt:
Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter
Telefon: + 49 (0)3018 333-0
Telefax: + 49 (0)3018 333-1885
Internet: www.bfs.de
E-Mail: ePost@bfs.de
Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.

