

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

Vergleichs- und Eignungsprüfung 2020

*Instruments to measure radon-222 activity concentration or exposure to radon-222*

*Interlaboratory comparison and proficiency testing 2020*

Abteilung Umweltradioaktivität / *Department Environmental Radioactivity*

Fachgebiet Radonmetrologie / *Section Radon Metrology*

Felice Friedrich-Kees

Elisabeth Foerster

Martin Dubslaff

Felix Schneider

Sebastian Feige



Bundesamt für Strahlenschutz

**BfS-31/20**

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

**urn:nbn:de:0221-2020122324427**

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, Dezember 2020**

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

**Vergleichs- und Eignungsprüfung 2020**

***Instruments to measure radon-222 activity concentration or  
exposure to radon-222***

***Interlaboratory comparison and proficiency testing 2020***

***Abteilung Umweltradioaktivität / Department Environmental Radioactivity***

***Fachgebiet Radonmetrologie / Section Radon Metrology***

**Felice Friedrich-Kees**

**Elisabeth Foerster**

**Martin Dubslaff**

**Felix Schneider**

**Sebastian Feige**

## ZUSAMMENFASSUNG / SUMMARY

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

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse der 17. BfS Vergleichs- und Eignungsprüfung im Jahr 2020 vor. Der Teilnehmerkreis umfasst sowohl behördlich bestimmte Messstellen nach § 169 des Strahlenschutzgesetzes und anerkannte Stellen nach § 155 der Strahlenschutzverordnung als auch weitere Messlabore aus dem In- und Ausland. Der Bericht listet die teilnehmenden Institutionen auf und fasst die Ergebnisse der Vergleichs- und Eignungsprüfung in anonymisierter Form zusammen. 2020 wurde bei 90 % der teilnehmenden Institutionen die Leistung als „zufriedenstellend“ bewertet. Individuelle Berichte liegen den teilnehmenden Institutionen vor.

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

*This report presents the results of the 17th BfS interlaboratory comparison and proficiency testing that has taken place in 2020. The group of participants comprises measuring bodies according to section 169 of the Radiation Protection Act and recognised bodies according to section 155 of the Radiation Protection Ordinance as well as measuring institutions from all over the world. The report lists the participating measuring institutions and summarizes the anonymized results of the interlaboratory comparison and proficiency testing. In 2020, the performance of 90 % of the participating institutions was evaluated “satisfactory”. Individual reports are available from the respective participating institution.*

## **INHALTSVERZEICHNIS / CONTENT**

<b>ZUSAMMENFASSUNG / SUMMARY</b> .....	<b>4</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS / LIST OF FIGURES</b> .....	<b>7</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS / LIST OF TABLES</b> .....	<b>7</b>
<b>BEGRIFFE UND DEFINITIONEN / TERMS AND DEFINITIONS</b> .....	<b>8</b>
<b>1 EINLEITUNG / INTRODUCTION</b> .....	<b>10</b>
1.1 <b>RECHTLICHE GRUNDLAGEN UND FESTLEGUNGEN / LEGAL PRINCIPLES AND PROVISIONS</b> .....	<b>10</b>
1.2 <b>ZWECK DER VERGLEICHS- UND EIGNUNGSPRÜFUNG / PURPOSE OF THE INTERLABORATORY COMPARISON AND PROFICIENCY TESTING</b> .....	<b>10</b>
<b>2 ORGANISATION / ORGANISATION</b> .....	<b>11</b>
2.1 <b>QUALITÄTSSICHERUNG / QUALITY ASSURANCE</b> .....	<b>11</b>
2.2 <b>ANZAHL DER ZU PRÜFENDEN MESSGERÄTE PRO GERÄTETYP / NUMBER OF MEASUREMENT INSTRUMENTS TO BE TESTED PER INSTRUMENT TYPE</b> .....	<b>11</b>
2.3 <b>ABLAUF DER VERGLEICHSPRÜFUNG / PROCESS OF THE INTERLABORATORY COMPARISON</b> .....	<b>12</b>
2.4 <b>ABLAUF DER EIGNUNGSPRÜFUNG / PROCESS OF THE PROFICIENCY TESTING</b> .....	<b>13</b>
<b>3 EXPOSITIONEN / EXPOSURES</b> .....	<b>13</b>
3.1 <b>HERSTELLUNG VON RADON-REFERENZATMOSPHÄREN / CREATION OF REFERENCE ATMOSPHERES</b> .....	<b>13</b>
3.2 <b>RAUM ZUR LAGERUNG DER MESSGERÄTE / STORAGE OF THE MEASUREMENT INSTRUMENTS</b> .....	<b>14</b>
3.3 <b>EXPOSITION VON MESSGERÄTEN IN RADON-REFERENZATMOSPHÄREN / EXPOSURE OF MEASUREMENT INSTRUMENTS IN RADON REFERENCE ATMOSPHERES</b> .....	<b>15</b>
<b>4 ERGEBNISSE / RESULTS</b> .....	<b>15</b>
4.1 <b>VERGLEICHSPRÜFUNG / INTERLABORATORY COMPARISON</b> .....	<b>15</b>
4.2 <b>EIGNUNGSPRÜFUNG / PROFICIENCY TESTING</b> .....	<b>19</b>
<b>5 LITERATURVERZEICHNIS / REFERENCES</b> .....	<b>22</b>
<b>A. ANHANG / APPENDIX</b> .....	<b>23</b>
A-1. <b>TEILNEHMENDE INSTITUTIONEN / PARTICIPANTS</b> .....	<b>24</b>
A-2. <b>MESSGERÄTETYPEN / TYPES OF MEASUREMENT INSTRUMENTS</b> .....	<b>26</b>
A-3. <b>ABLAUFSHEMA / TIME COURSE</b> .....	<b>30</b>
A-4. <b>ATMOSPHÄRE IM LAGERRAUM / ATMOSPHERE IN THE STORAGE ROOM</b> .....	<b>30</b>

A-5.	REFERENZATMOSPHEREN / <i>REFERENCE ATMOSPHERES</i> .....	31
A-6.	DATENAUSWERTUNG / <i>ANALYSIS OF DATA</i> .....	33
A-7.	MESSWERTE / <i>MEASUREMENT VALUES</i> .....	34
A-8.	ERGEBNISBERICHT (MUSTER) / <i>REPORT (EXAMPLE)</i> .....	40

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS / LIST OF FIGURES

Abbildung 3-1: Kalibrierlaboratorium für Radonmessgeräte des Bundesamtes für Strahlenschutz mit Kalibrierkammer (Volumen: 30 m <sup>3</sup> ) / <i>Figure 3-1: Radon Calibration Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection with calibration chamber (volume: 30 m<sup>3</sup>)</i> .....	14
Abbildung 4-1: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 1 als Boxplot / <i>Figure 4-1: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 1 as box plot</i> .....	16
Abbildung 4-2: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 2 als Boxplot / <i>Figure 4-2: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 2 as box plot</i> .....	17
Abbildung 4-3: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 3 als Boxplot / <i>Figure 4-3: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 3 as box plot</i> .....	17
Abbildung 4-4: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 4 als Boxplot / <i>Figure 4-4: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 4 as box plot</i> .....	18
Abbildung 4-5: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Elektret der Expositionsgruppen 1 bis 3 als Boxplots / <i>Figure 4-5: Relative error of the instruments using electrets of the exposure groups 1 to 3 as box plots</i> .....	18
Abbildung 4-6 Abweichung der Messwerte von 30 Sets von den jeweiligen Referenzwerten (als Verhältnis) und erlaubter Bereich. / <i>Figure 4-6 Deviation of the measurement value of 30 sets from the respective reference value (ratio) and region of acceptance.</i> .....	19
Abbildung A-1: Ablaufschema / <i>Figure A-1: Time course</i> .....	30
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> .....	31
Abbildung A-3: Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftdruck exemplarisch für Exposition 2 / <i>Figure A-3: Temperature, relative humidity and air pressure during exposure no. 2 as an example</i> .....	31

## 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> .....	12
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. / <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 distribution of performance</i> .....	20
Tabelle A-1: Institutionen, die an der Vergleichsprüfung 2020 teilgenommen haben / <i>Table A-1: Participants of the interlaboratory comparison 2020</i> .....	24
Tabelle A-2: Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren oder Elektreten / <i>Table A-2: Measuring instruments using solid-state nuclear track detectors or electrets</i> .....	26
Tabelle A-3: Parameter der Atmosphäre im Lagerraum / <i>Table A-3: Parameters of the atmosphere in the storage room</i> .....	30
Tabelle A-4: Werte der Radon-Referenzatmosphären / <i>Table A-4: Parameters of the radon reference atmospheres</i> .....	32
Tabelle A-5: Messwerte der Transitgruppe / <i>Table A-5: Measurement values of the transit group</i> .....	34
Tabelle A-6: Ergebnisse der Expositionsgruppe 1 / <i>Table A-6: Results of exposure group 1</i> .....	35
Tabelle A-7: Ergebnisse der Expositionsgruppe 2 / <i>Table A-7: Results of exposure group 2</i> .....	36
Tabelle A-8: Ergebnisse der Expositionsgruppe 3 / <i>Table A-8: Results of exposure group 3</i> .....	37
Tabelle A-9: Ergebnisse der Expositionsgruppe 4 / <i>Table A-9: Results of exposure group 4</i> .....	38

## **BEGRIFFE UND DEFINITIONEN / TERMS AND DEFINITIONS**

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

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

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

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

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

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

### **Boxplot / Box plot**

Der Boxplot [12] ist eine grafische Darstellung, bei der mindestens 50 % der Ergebnisse innerhalb der Box liegen. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an. Linien unterhalb und oberhalb der Box geben das 5%- bzw. 95%-Perzentil an. Einzelne Ergebnisse außerhalb dieses Bereiches können als Punkte angezeigt sein.

*A box plot [12] is a graphic presentation. At least 50% of the results are within the box. The black line within the box indicates the median value. Lines ("whisker") below and above the box indicate the 5% and 95% percentile, respectively. Individual results outside of this range can be indicated as points.*

### **Eignungsprüfung / Proficiency testing**

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

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

### **Expositionsgruppe / Exposure group**

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

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

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

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

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

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

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

*In passive measurement instruments or measurement instrument systems, the measuring probe is not connected to a display unit. Thus, the measurement result can be determined only after the actual measurement process by a separate analysis of the measuring probe. Typical passive Radon measurement instruments are solid-state nuclear track detectors (SSNTD) or electret ionization chambers.*



### **Prüfcode / Test Code**

Der Prüfcode eines Sets wird zur Anonymisierung der Ergebnisse im Bericht verwendet. Er ist charakteristisch für die Bauform (siehe Anhang 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 comprises 35 solid-state nuclear track detectors or 24 Electret detectors.*

### **Transitgruppe / Transit group**

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

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

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

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

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

### **Vergleichsprüfung / Interlaboratory Comparison**

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

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

# 1 EINLEITUNG / INTRODUCTION

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

Die Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates der Europäischen Union [1] legt die grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung fest. Mit dem deutschen Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [2], ergänzt durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [3], wurde diese 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 der ermittelten Körperdosis ins Strahlenschutzregister getroffen.

Weiterhin werden im Strahlenschutzgesetz in §§ 127, 128 Vorschriften zur Festlegung von Messungen an Arbeitsplätzen in Innenräumen getroffen. Diese sind verpflichtend, wenn der Arbeitsplatz in einem Radonvorsorgegebiet nach § 121 StrlSchG im Erd- oder Kellergeschoss liegt oder wenn die Art des Arbeitsplatzes einem der in Anlage 8 des Strahlenschutzgesetzes genannten Arbeitsfelder mit erhöhter Exposition durch Radon zuzuordnen ist. Die zuständige Landesbehörde kann unabhängig davon auch Messungen anordnen, wenn ein Anhaltspunkt für eine erhöhte Radonkonzentration am Arbeitsplatz vorliegt. Gemessen wird hier die über das Jahr gemittelte Radon-Aktivitätskonzentration. Hierfür sind Geräte von Stellen zu verwenden, die nach § 155 Abs. 4 StrlSchV durch das BfS anerkannt wurden.

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

Sowohl behördlich bestimmte Messstellen als auch anerkannte Stellen sind gemäß § 172 Abs. 3 bzw. § 155 Abs. 4 StrlSchV verpflichtet, an Maßnahmen des Bundesamtes für Strahlenschutz zur Qualitätssicherung teilzunehmen. Diese finden in Form der Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radonmessgeräte jährlich statt.

*European Council Directive 2013/59/EURATOM [1] lays down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. These are implemented in German law by the Radiation Protection Act (RPA) [2] supplemented by the Radiation Protection Ordinance (RPO) [3].*

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

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

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

*Measuring bodies as well as recognised bodies have to take part in measures for quality assurance at the Federal Office for Radiation Protection on regular terms according to section 172 subsection 3 and section 155 subsection 4 RPO, respectively. These measures comprise the 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 Radonfolgeprodukte sowie für die Messung der Radon-Aktivitätskonzentration in Luft. Sie soll einen einheitlichen Qualitätsstandard sicherstellen. Art und Umfang der Vergleichs- und Eignungsprüfung orientiert sich an Verfahren, die in anderen Gebieten der physikalischen Strahlenschutzkontrolle, insbesondere in der Personendosimetrie externer Strahlung, durchgeführt werden [4].

Die Vergleichs- und Eignungsprüfung wird in der Regel jährlich vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) für die Messgröße Radon-222-Exposition organisiert. Die Messgröße Radon-222-Exposition ist das Produkt aus der mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentration und der Expositionsdauer.

Die Ergebnisse sollen von den teilnehmenden Institutionen für die Validierung ihrer Messverfahren genutzt werden. Auch Anbietern von Messungen, die nicht im Zusammenhang mit der beruflichen Strahlenexposition stehen, wird empfohlen, zur Qualitätssicherung an den Vergleichs- und Eignungsprüfungen teilzunehmen. Die erfolgreiche Teilnahme soll das Vertrauen der Kunden in die durchgeführten Messungen und die Akzeptanz in die erhaltenen Ergebnisse erhöhen. Für Anbieter, die eine Akkreditierung auf dem Gebiet der Bestimmung der Radon-222-Exposition oder der Radon-222-Aktivitätskonzentration in Luft unter Verwendung passiver Messgeräte besitzen oder eine solche anstreben, kann die Teilnahme an der Vergleichs- und Eignungsprüfung als Bestandteil der Validierung des Messverfahrens nach DIN EN ISO/IEC 17025 [5] anerkannt werden. Daneben ist eine zufriedenstellende Leistung in der Eignungsprüfung eine Voraussetzung für die Anerkennung nach § 155 StrlSchV.

*The interlaboratory comparison and proficiency testing is a component of the measures for quality assurance in measurements of radiation exposure from radon and its decay products. It should ensure a consistent quality standard. The type and scope of the interlaboratory comparison and proficiency testing are oriented towards procedures that are established in other areas of physical radiation protection monitoring, in particular in the personal dosimetry of external radiation [4].*

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

*The results should serve for the validation of the measurement procedures of the participating institutions. Participation is recommended also for institutions devoid of occupational monitoring activities. A successful participation helps to increase the trust of the customer in the measurements and results. For institutions that have or are willing to obtain accreditation in the field of determining the radon-222 exposure or radon-222 activity concentration in air using passive measurement instruments, participation in the interlaboratory comparison can be accepted as a component of the validation of their measurement process as required by DIN EN ISO/IE 17025 [5]. Besides, a satisfactory performance in the proficiency testing is required for recognition according to section 155 subsection 4 of the RPO.*

## **2 ORGANISATION / ORGANISATION**

### **2.1 Qualitätssicherung / Quality assurance**

Alle durchgeführten Arbeiten unterliegen dem Qualitätsmanagementsystem des Bundesamtes für Strahlenschutz. Die qualitätssichernden Maßnahmen bei der Organisation, Durchführung und Bewertung der Vergleichs- und Eignungsprüfungen orientieren sich zusätzlich an den Forderungen der DIN EN ISO/IEC 17043 [6] sowie an Veröffentlichungen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) auf diesem Gebiet.

Die zu prüfenden Messgeräte werden im Radon-Kalibrierlaboratorium des BfS exponiert. Das Laboratorium unterhält ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO/IEC 17025 [5] und ist bei der DAkkS unter der Nummer D-K-15063-01-00 für die Kalibrierung von Geräten zur Messung der Aktivitätskonzentration von Radon-222 in Luft und der potentiellen Alphaenergie-Konzentration der kurzlebigen Radon-222-Folgeprodukte akkreditiert.

*All works carried out are subject to the quality management system of the Federal Office for Radiation Protection. The measures to assure quality in the organisation, implementation and assessment of the interlaboratory comparison are further oriented towards the requirements of DIN EN ISO/IEC 17043 [6] and the publications of the Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) [National Accreditation Body] in this field.*

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

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

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

Each participant is required to supply a certain number of passive measurement instruments of one type. 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**

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

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

Die Vergleichs- und Eignungsprüfung 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].

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

Die eingereichten Messgeräte verbleiben zunächst in den Originalverpackungen und werden in einem Lagerraum mit geringer Radonkonzentration aufbewahrt. Zur Kontrolle der Lagerbedingungen werden die Radon-Aktivitätskonzentration, die Umgebungsäquivalentdosisleistung, die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet. Vor Beginn der Prüfungen wird eine Eingangskontrolle durchgeführt, bei der die Vollständigkeit, Unversehrtheit und eindeutige Kennzeichnung der Messgeräte geprüft wird. Eine Information an die teilnehmende Institution erfolgt, wenn defekte Messgeräte festgestellt werden oder die Messgeräteelieferung unvollständig ist. Bei unvollständiger oder nicht eindeutiger Kennzeichnung der Messgeräte wird eine neue Kennzeichnung vergeben.

Die Geräte eines Sets werden per Zufallsprinzip in Gruppen mit jeweils gleich großer Geräteanzahl eingeteilt (Expositionsgruppen und Transitgruppe, siehe Tabelle 2-1). Sofern schriftliche Anweisungen der teilnehmenden Institutionen zur Handhabung der Messgeräte vorliegen, werden diese nach Möglichkeit berücksichtigt. Nach der Vorbereitung der Messgeräte (Entnahme aus der Originalverpackung, Versetzen in Messbereitschaft, Einteilung in Gruppen) erfolgt die kontrollierte Lagerung der Geräte in einem Lagerraum mit geringer Radon-Aktivitätskonzentration. Die Messgeräte der Transitgruppe verbleiben bis zum Versand in diesem Lagerraum.

Für den Messvergleich werden die Messgeräte der Expositionsgruppen aus dem Lagerraum entnommen und verschiedenen Radon-Referenzatmosphären während einer festgelegten Zeitdauer ausgesetzt. Nach den Expositionen erfolgt die Aufbewahrung der Messgeräte für circa eine Stunde in Frischluft mit geringer Radon-Aktivitätskonzentration, damit das innerhalb der Diffusionskammer der Geräte befindliche Radon herausdiffundieren kann. Anschließend werden diese Geräte kontrolliert im Lagerraum gelagert. Nach Abschluss aller Expositionen werden die Messgeräte den Teilnehmenden zugeordnet und radondicht bzw. nach Kundenwunsch verpackt. Die anschließende Abholung der Geräte wird von den teilnehmenden Institutionen beauftragt.

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

Die teilnehmenden Institutionen werten die Messgeräte aus und stellen für jedes Messgerät den Messwert der Radon-Exposition fest. Diese Werte werden zur Endauswertung an das Bundesamt für Strahlenschutz übermittelt.

*The Federal Office for Radiation Protection announces the interlaboratory comparison and proficiency testing for passive radon measurement instruments about two months in advance. General information is provided on the homepage [7] as well as in the European Information System for proficiency testing EPTIS, which is available as an internet database [8].*

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

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

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

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

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

*The participants analyse each measurement instrument for its value for radon exposure. These values are communicated to the Federal Office for Radiation Protection for final analysis.*

## **2.4 Ablauf der Eignungsprüfung / Process of the proficiency testing**

Die Eignungsprüfung wird auf Basis der Daten der Vergleichsprüfung eines Messgerätesets durchgeführt. Dabei wird für jede Expositionsgruppe die Abweichung der bestimmten Radon-Expositionen der einzelnen Messgeräte des Sets vom Referenzwert der Exposition der jeweiligen Gruppe untersucht (siehe Anhang 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 von Ausreißern wird die Leistung als „nicht zufriedenstellend“ bewertet.

*Proficiency testing for a set of measurement instruments is performed on basis of the data reported for the interlaboratory comparison. For each exposure group, the deviation of the reported radon exposure values of the individual measurement instruments from the reference exposure value of the respective group is determined (see appendix 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 [13]. 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 m<sup>3</sup>, 11 m<sup>3</sup> und 30 m<sup>3</sup> zur Verfügung. Die hergestellten Referenzatmosphären sind durch ihre Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sowie durch die klimatischen Parameter Temperatur, Luftdruck und relative Luftfeuchte gekennzeichnet. Vor Beginn der

Expositionen wird die Radon-Aktivitätskonzentration für jeden verwendeten Behälter auf einen zuvor festgelegten Wert eingestellt und kontinuierlich überwacht. Durch automatische Nachdosierung von Radon wird der durch den radioaktiven Zerfall bedingte Verlust kompensiert, so dass die Radon-Aktivitätskonzentrationen innerhalb der Behälter während der Exposition zeitlich ausreichend konstant bleiben. Die Atmosphäre wird innerhalb der Behälter durch Ventilatoren homogenisiert.

Die Verfahren zur Herstellung und Aufrechterhaltung von Radon-Referenzatmosphären sind auf der 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 m<sup>3</sup>, 11 m<sup>3</sup>, and 30 m<sup>3</sup>, respectively. Therein, reference atmospheres can be created that are characterised by their radon activity concentrations as well as by the climatic parameters of temperature, air pressure and relative humidity. 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 Kalibrierkammer (Volumen: 30 m<sup>3</sup>) / Figure 3-1: Radon Calibration Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection with calibration chamber (volume: 30 m<sup>3</sup>)**

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

Für die Lagerung der zu prüfenden Messgeräte vor und nach der Exposition wird ein Lagerraum genutzt, dessen Raumluft ständig mit Außenluft gespült wird. Die Überwachung der Radon-Aktivitätskonzentration sowie der

klimatischen Parameter erfolgt mittels eines Gebrauchsnormals vom Typ Alphaguard®. 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. 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 ist<sup>1</sup>. In dieser Vergleichsprüfung wird deshalb die Messgröße Radon-Exposition als Vergleichsgröße festgelegt.

Für die Expositionen werden Referenzatmosphären mit unterschiedlichen Niveaus der Radon-Aktivitätskonzentration hergestellt. Die Expositionszeiten betragen mindestens fünf Tage. Die Radon-Expositionen liegen in einem für die Praxis relevanten Bereich zwischen 150 kBq·h/m<sup>3</sup> und 3500 kBq·h/m<sup>3</sup>.

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<sup>-3</sup> 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 exposure<sup>2</sup>. 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. The radon exposures were between 150 kBq·h/m<sup>3</sup> and 3500 kBq·h/m<sup>3</sup> and, thus, in a range relevant for practical applications of such detectors.*

*The measurement uncertainty was determined in accordance with the quality management system [10] and EA-4/02 M:2013 [11]. The passive measurement instruments are usually exposed to radon activity concentrations above 1000 Bq·m<sup>-3</sup>. Then, the expanded relative measurement uncertainty amounts to a minimum of 5 per cent (coverage factor  $k = 2$ ). The measurement uncertainty for the exposure time is negligible.*

## **4 ERGEBNISSE / RESULTS**

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

An der Vergleichsprüfung 2020 haben 29 Institutionen mit insgesamt 31 Messgerätesets teilgenommen. Zur Anonymisierung der Daten wurden Prüfcodes verwendet, die eine Zuordnung zum jeweiligen Messgerätetyp, aber

---

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

<sup>2</sup> The average radon-activity concentration can be determined dividing the exposure value by the exposure time.

nicht zur teilnehmenden Institution zulassen. Die Liste der teilnehmenden Institutionen sowie die Spezifikation der Messgerätesets inklusive der Messgerätetypen und der zugehörigen Prüfcodes sind in den Anhängen A-1 und A-2 aufgelistet.

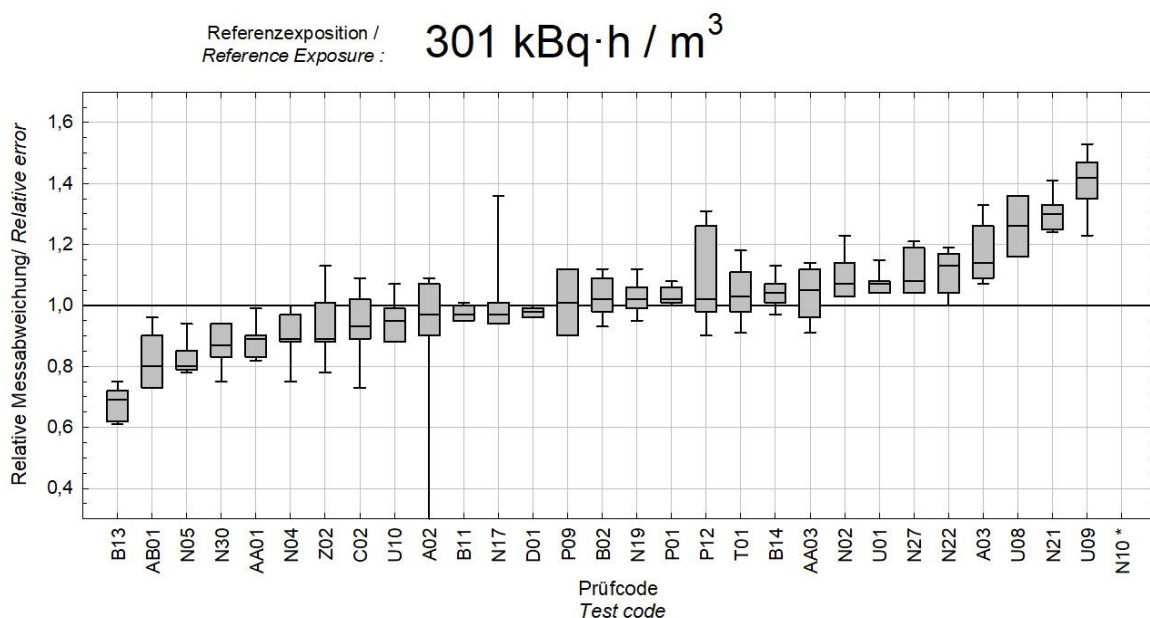
Die Messwerte einer teilnehmenden Institution wurden offensichtlich fehlerbehaftet an das BfS übermittelt und daher nicht in die Gesamtauswertung übernommen. In den folgenden Abbildungen ist dies durch einen Stern (\*) gekennzeichnet.

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 2020, 29 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.*

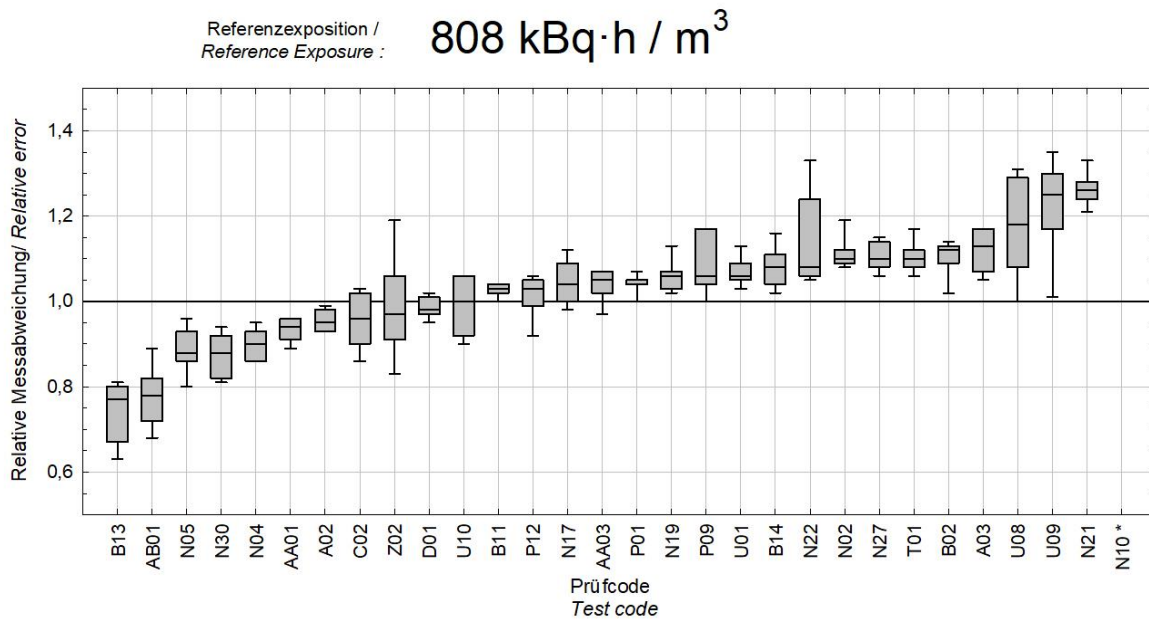
*Data of one participant was not included in the analysis due to a gross error that had occurred in reporting the measurement data to BfS. This is marked by an asterisk in the following figures.*

*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.*

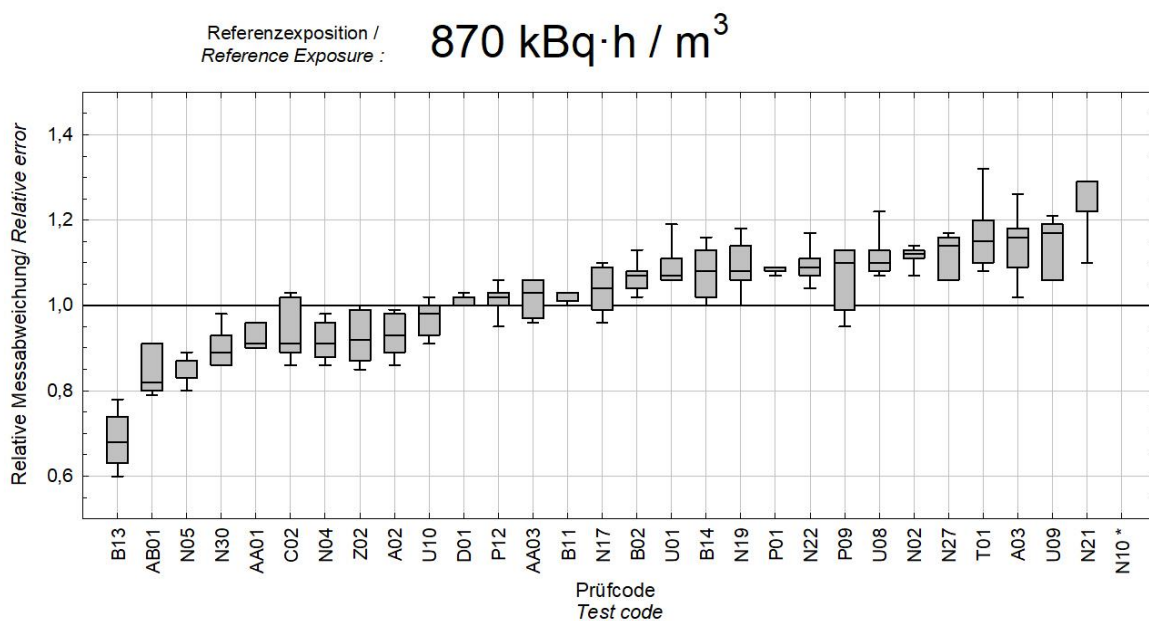


**Abbildung 4-1: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 1 als Boxplot / Figure 4-1: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 1 as box plot**

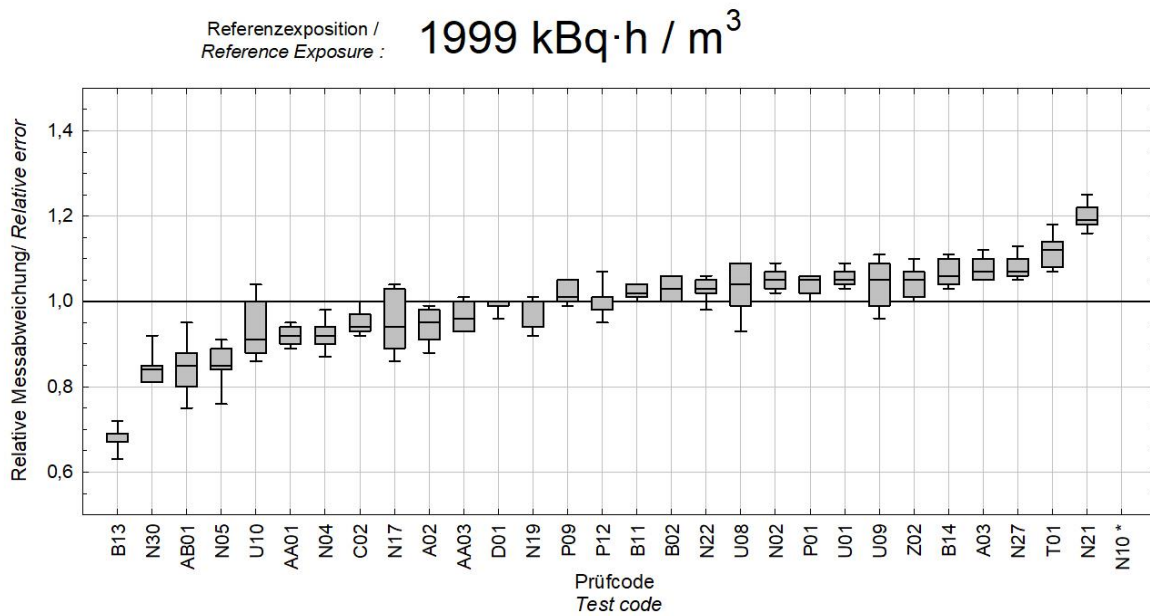




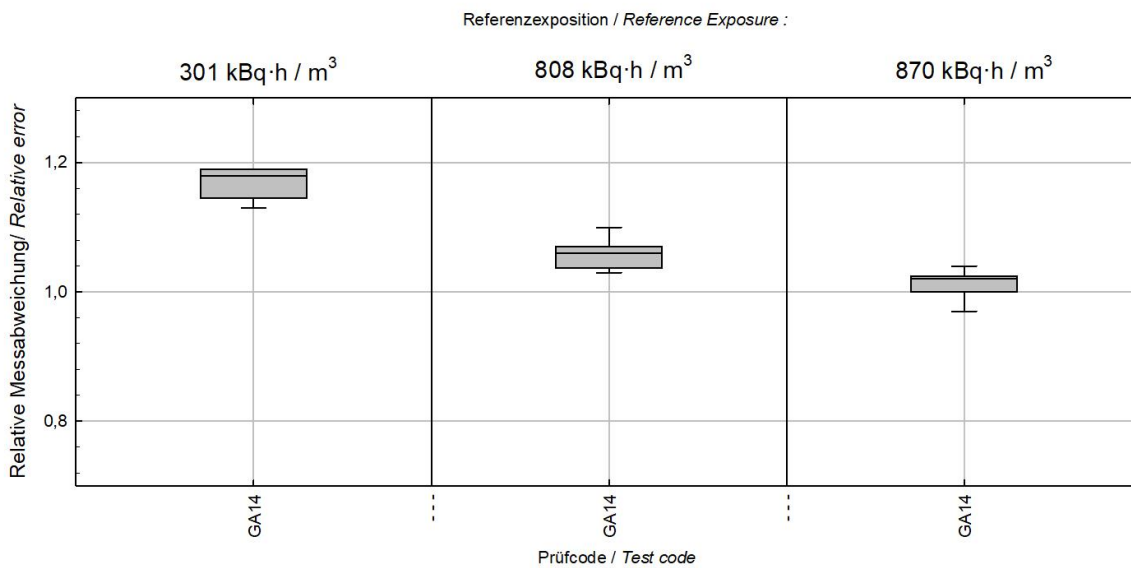
**Abbildung 4-2: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren der Expositionsgruppe 2 als Boxplot / Figure 4-2: Relative error of the instruments using solid-state nuclear track detectors of exposure group 2 as box plot**



**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 1 bis 3 als Boxplots / Figure 4-5: Relative error of the instruments using electrets of the exposure groups 1 to 3 as box plots**

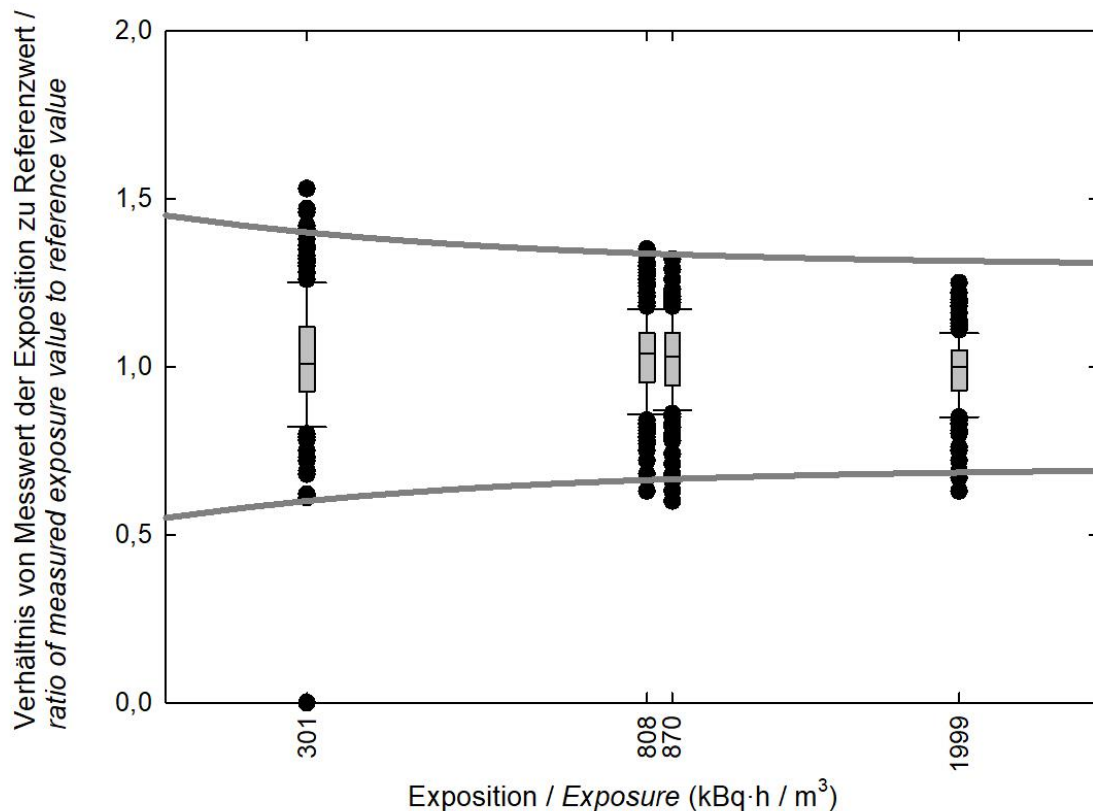
## 4.2 Eignungsprüfung / Proficiency testing

In Abbildung 4-6 sind die Daten zur Leistungsbewertung der teilnehmenden Messgerätesets, die nicht mit einem groben Fehler<sup>3</sup> behaftet waren, in der Auswertung in einem Boxplot gezeigt. Es handelt sich um 830 Messwerte von 30 Sets aufgeteilt in die vier Expositionsgruppen. Dargestellt ist die Abweichung jedes gemessenen Expositionswertes vom jeweiligen Referenzwert als Verhältniswert. Weiterhin dargestellt ist der erlaubte Bereich der BfS-Eignungsprüfung 2020 innerhalb der sogenannten Trompetenkurve (siehe Anhang A-6).

Die Leistungsbewertung eines teilnehmenden Sets hängt von der Gesamtzahl der Messgeräte in dem Set und der Anzahl der Ausreißer unter diesen Messwerten ab (siehe Anhang A-6). Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über die erhaltenen Leistungsbewertungen. Insgesamt wurde nach den Kriterien der Eignungsprüfung 2020 bei 90 % der teilnehmenden Institutionen bzw. Sets die Leistung als „zufriedenstellend“ bewertet.

*Figure 4-6 shows the proficiency testing data for all participating sets in a box plot. Sets with gross errors<sup>4</sup> are excluded. The plot summarizes 830 measurements values of 30 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, 90 % of the participating institutions or rather sets in 2020 show a “satisfactory” performance according to the criteria applied in the proficiency testing.*



**Abbildung 4-6 Abweichung der Messwerte von 30 Sets von den jeweiligen Referenzwerten (als Verhältnis) und erlaubter Bereich. / Figure 4-6 Deviation of the measurement value of 30 sets from the respective reference value (ratio) and region of acceptance.**

<sup>3</sup> Als grober Fehler wird hier ein Fehler bezeichnet, durch den die überwiegende Menge der Messwerte eines Sets stark, jedoch nicht systematisch, vom Referenzwert abweicht.

<sup>4</sup> In this report, gross error means an error that leads to a large, though not systematic, deviation of the majority of measurement values of a set 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 distribution of performance**

	<b>Anzahl der Sets / Number of sets</b>		
<b>Anzahl der Ausreißer / Number of outliers</b>	<b>FKSD / SSNTD</b>	<b>Elektret / Electret</b>	<b>Gesamt / Total</b>
0	26	1	27
1	1	0	1
2	0	0	0
>2	3	0	3
<b>Leistungsbewertung / performance</b>			
zufriedenstellend / satisfactory	27	1	28
nicht zufriedenstellend / unsatisfactory	3	0	3

## **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 1074 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 1074 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] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 1 des Gesetzes vom 23. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2231) geändert worden ist
- [3] Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 748) geändert worden ist
- [4] Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Regeln für die Durchführung von Vergleichsmessungen von Dosimetern gemäß § 2 Abs. 3 Satz 3 der Eichordnung, PTB-Mitteilungen 122 (2012), Heft 4
- [5] DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017) / *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025:2017)*
- [6] DIN EN ISO/IEC 17043:2010-05, Konformitätsbewertung - Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen (ISO/IEC 17043:2010) / *Conformity assessment - General requirements for proficiency testing (ISO/IEC 17043:2010)*
- [7] [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/service/radon-messung/vergleichspruefung/vergleichspruefung\\_node.html](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, DOKUM/STATAUSW, in: Messanleitungen für die "Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung", ISSN 1865-8725, BMU, 1998

## **A. ANHANG / APPENDIX**

<b>A-1.</b>	<b>TEILNEHMENDE INSTITUTIONEN / PARTICIPANTS .....</b>	<b>24</b>
<b>A-2.</b>	<b>MESSGERÄTETYPEN / TYPES OF MEASUREMENT INSTRUMENTS .....</b>	<b>26</b>
<b>A-3.</b>	<b>ABLAUFSHEMA / TIME COURSE .....</b>	<b>30</b>
<b>A-4.</b>	<b>ATMOSPHERE IM LAGERRAUM / ATMOSPHERE IN THE STORAGE ROOM .....</b>	<b>30</b>
<b>A-5.</b>	<b>REFERENZATMOSPHEREN / REFERENCE ATMOSPHERES .....</b>	<b>31</b>
<b>A-6.</b>	<b>DATENAUSWERTUNG / ANALYSIS OF DATA .....</b>	<b>33</b>
<b>A-7.</b>	<b>MESSWERTE / MEASUREMENT VALUES .....</b>	<b>34</b>
<b>A-8.</b>	<b>ERGEBNISBERICHT (MUSTER) / REPORT (EXAMPLE) .....</b>	<b>40</b>

## A-1. TEILNEHMENDE INSTITUTIONEN / PARTICIPANTS

**Tabelle A-1: Institutionen, die an der Vergleichsprüfung 2020 teilgenommen haben / Table A-1: Participants of the interlaboratory comparison 2020**

<b>Teilnehmende Institution</b> <i>Participant</i>	<b>Land</b> <i>Country</i>	<b>Adresse</b> <i>Address</i>
Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES)	Österreich <i>Austria</i>	Wieningerstraße 8 4020 Linz
ALGADE LED-DU	Frankreich <i>France</i>	Avenue du Brugeaud, B.P. 46 87250 Bessines-sur-Gartempe
ALTRAC Radon-Messtechnik	Deutschland <i>Germany</i>	Dorothea-Viehmänn-Straße 28 12524 Berlin
Bundesamt für Strahlenschutz UR 1	Deutschland <i>Germany</i>	Köpenicker Allee 120-130 10318 Berlin
Central Laboratory for Radiological Protection	Polen <i>Poland</i>	Konwaliowa 7th Street 03-194 Warsaw
CIEMAT, E12	Spanien <i>Spain</i>	Avenida Complutense, 4028040 Madrid
"Constantin Cosma" Radon Laboratory Faculty of Environmental Sciences and Engineering Babes-Bolyai University	Rumänien <i>Romania</i>	Str. Fantanele Nr. 30 RO-400294 Cluj-Napoca Cluj
Direction de la Santé Laboratoire des Analyses Radiologiques	Luxemburg <i>Luxembourg</i>	Villa Louvigny - Allée Marconi L-2120 Luxembourg
Dosimetrics GmbH (Kooperationspartner in Deutschland/ <i>Cooperation partner in Germany</i> )	Deutschland <i>Germany</i>	Otto-Hahn-Ring 6 81739 München
Eurofins Radon Testing Sweden AB (Messlabor/ <i>Measuring laboratory</i> )	Schweden <i>Sweden</i>	Gammelstadsvägen 5 972 41 LULEÅ
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)
Hainaut Analyses	Belgien <i>Belgium</i>	Boulevard Saintelette 55 7000 Mons
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Sicherheit und Umwelt	Deutschland <i>Germany</i>	Hermann-von-Helmholtz-Platz 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Keskkonnaamet Kiirgusosakond	Estland <i>Estonia</i>	Kopli 76 10416 Tallinn
L.B. Servizi per le aziende	Italien <i>Italy</i>	Via Giuseppe Allievo, 8100135 Roma
Laboratorio di Radioattività Lab.RAD CeSMA Advanced Metrological and Technological Service Centre	Italien <i>Italy</i>	Corso Nicolangelo Protopisani 80146 Napoli (NA)
La RUC Universidad de Cantabria	Spanien <i>Spain</i>	c/ Cardenal Herrera Oria, s/n 39011 Santander (Cantabria)






<b>Teilnehmende Institution</b> <i>Participant</i>	<b>Land</b> <i>Country</i>	<b>Adresse</b> <i>Address</i>
MI.AM srl	Italien <i>Italy</i>	Via Bolzoni 30 29029 Piacenza (PC)
Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen	Deutschland <i>Germany</i>	Marsbruchstraße 186 44287 Dortmund
Ökosil Ltd.	Estland <i>Estonia</i>	Kesk Str 2 EE40213 Sillamäe
Public Health England Radon Dosimetry, CRCE	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
Sachverständigenbüro Dr. Kemski	Deutschland <i>Germany</i>	Euskirchner Straße 54 53121 Bonn
SUJCHBO, v.v.i. Laboratory for Dosimetry and Monitoring of Radioactivity	Tschechische Republik <i>Czech Republic</i>	Kamenna 71 26231 Milin
TECNORAD S.U.R.L.	Italien <i>Italy</i>	Via Giovanni Virginio Schiaparelli 5 37135 Verona (VR)
U-Series Srl	Italien <i>Italy</i>	Via Ferrarese, 131 40128 Bologna
X-GAMMAGUARD di Laura Pini	Italien <i>Italy</i>	Via Gorizia, 40 21047 Saronno (VA)
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	Expositionsbereich range of exposure	Prüfcode / Test code
A		Makrofol	0,3 mm	201 mm <sup>2</sup>	127 mm <sup>2</sup>	20 - 5 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	A02
			0,115 mm	290 mm <sup>2</sup>	118 mm <sup>2</sup>	75 - 7 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	A03
AA		CR-39	0,9 mm	300 mm <sup>2</sup>	180 mm <sup>2</sup>	20 - 20 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	AA01
			1 mm	100 mm <sup>2</sup>	51,7 mm <sup>2</sup>	32 - 15 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	AA03
AB		LR-115	k.A./ N.s.	100 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	200 - 160 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	AB01
B		CR-39	1,5 mm	440 mm <sup>2</sup>	210 mm <sup>2</sup>	20 - 50 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	B02
			1 mm	1036 mm <sup>2</sup>	535 mm <sup>2</sup>	20 - 50 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	B11
			1,25 mm	419 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	40 - 8 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	B13
			1,5 mm	440 mm <sup>2</sup>	140 mm <sup>2</sup>	20 - 50 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	B14

Messgerättyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke Detector thickness	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Expositionsbereich range of exposure	Prüfcode / Test code
C		CR-39	1 mm	100 mm <sup>2</sup>	51,7 mm <sup>2</sup>	32 – 15 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	C02
D		Makrofol	0,3 mm	1020 mm <sup>2</sup>	240 mm <sup>2</sup>	50 – 10 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	D01
GA		Elektret (Teflon)	k.A./ N.s.	910 mm <sup>2</sup>	910 mm <sup>2</sup>	0 – 1 500 kBq·h/m <sup>3</sup>	GA14
N		CR-39	1 mm	100 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	40 – 8 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	N02
			k.A./ N.s.	100 mm <sup>2</sup>	52 mm <sup>2</sup>	50 – 15 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	N04
			1 mm	100 mm <sup>2</sup>	46,8 mm <sup>2</sup>	40 – 12 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	N05
			1 mm	100 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	150 – 2 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	N10
			1 mm	100 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	40 – 8 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	N17
			1 mm	100 mm <sup>2</sup>	51,7 mm <sup>2</sup>	32 - 15 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	N19

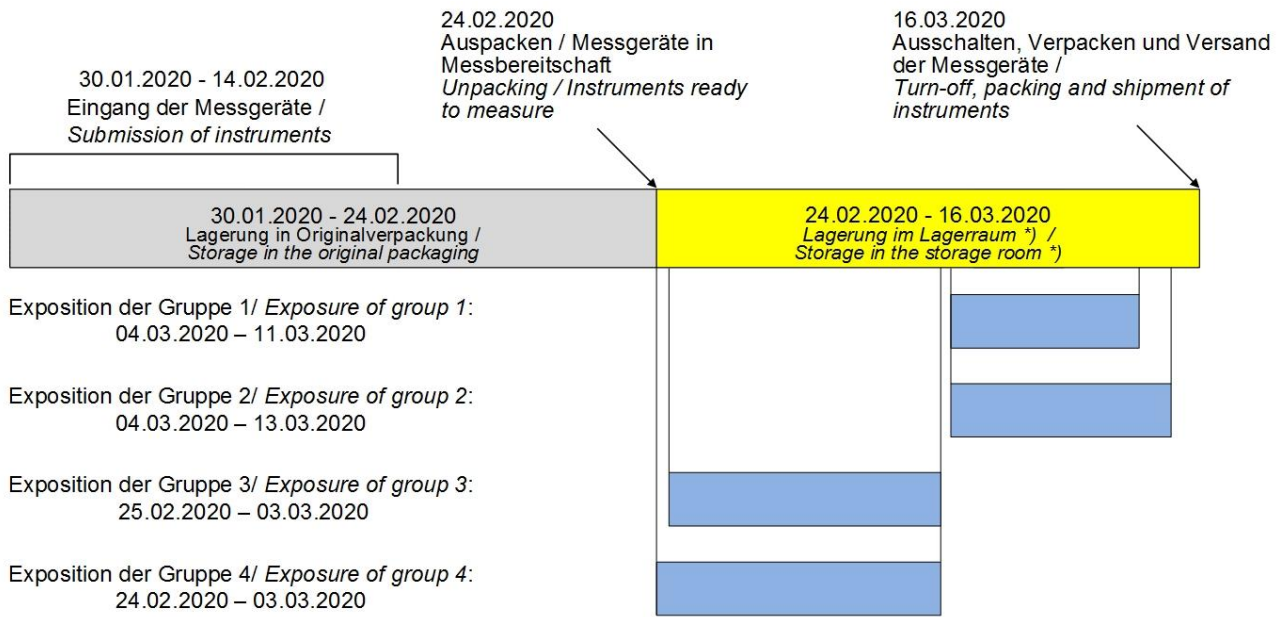
Messgerättyp (Bauform) / Instrument type (design)	Abbildung des Messgerätetyps (nicht maßstabsgerecht) Figure of instrument type (not to scale)	Detektor / Detector	Detektordicke Detector thickness	Gesamt-Detektorfläche Total detector area	Ausgewertete Detektorfläche Analysed detector area	Expositionsbereich range of exposure	Prüfcode / Test code
			1 mm	100 mm <sup>2</sup>	52 mm <sup>2</sup>	150 – 12 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	N21
			1 mm	100 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	40 – 8 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	N22
			0,95 mm	100 mm <sup>2</sup>	52 mm <sup>2</sup>	50 – 8 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	N27
			1 mm	100 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	40 – 8 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	N30
P		CR-39	1,5 mm	625 mm <sup>2</sup>	100 mm <sup>2</sup>	<100 – 40 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	P01
			1 mm	625 mm <sup>2</sup>	59 mm <sup>2</sup>	200 – 3 500 kBq·h/m <sup>3</sup>	P09
			1,5 mm	225 mm <sup>2</sup>	143 mm <sup>2</sup>	20 – 20 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	P12
T		CR-39	1,4 mm	900 mm <sup>2</sup>	29 - 47 mm <sup>2</sup>	20 – 10 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	T01
U		CR-39	1,5 mm	225 mm <sup>2</sup>	67 mm <sup>2</sup>	25 – 20 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	U01
			1,5 mm	625 mm <sup>2</sup>	400 mm <sup>2</sup>	20 – 40 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	U08
			1,5 mm	625 mm <sup>2</sup>	225 mm <sup>2</sup>	100 – 3 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	U09
			1,5 mm	625 mm <sup>2</sup>	225 mm <sup>2</sup>	20 – 10 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	U10

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
Z		LR-115	0,012 mm	227 mm <sup>2</sup>	113 mm <sup>2</sup>	50 – 10 000 kBq·h/m <sup>3</sup>	Z02

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 <sup>-3</sup> ]	$C_{Rn,EG}$ [Bq·m <sup>-3</sup> ]	$r.H.$ [%]	$U_{r.H.}$ [%]	$T$ [°C]	$U_T$ [°C]	$p$ [hPa]	$U_p$ [hPa]	$\dot{H}^*(10)$ [nSv·h <sup>-1</sup> ]	$U_{\dot{H}^*(10)}$ [nSv·h <sup>-1</sup> ]
3	5	41	8	17	1	1001	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

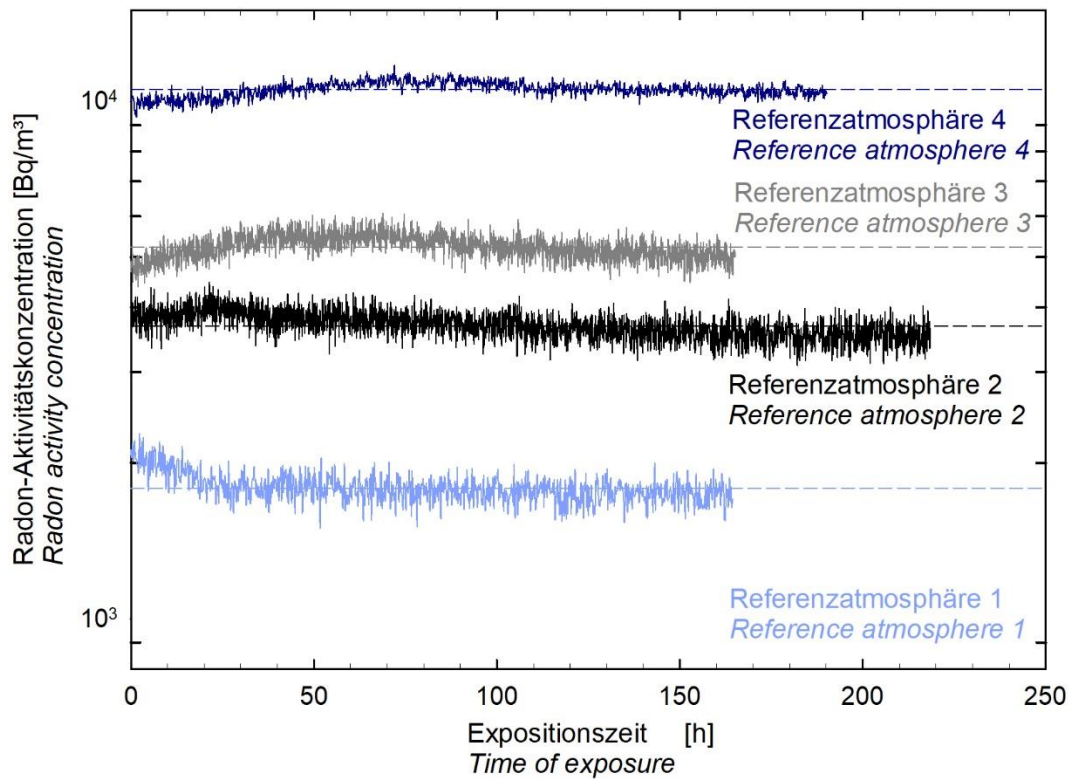


Abbildung A-2: Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen der Referenzatmosphären /  
 Figure A-2: Radon activity concentrations of the reference atmospheres over the time of exposure

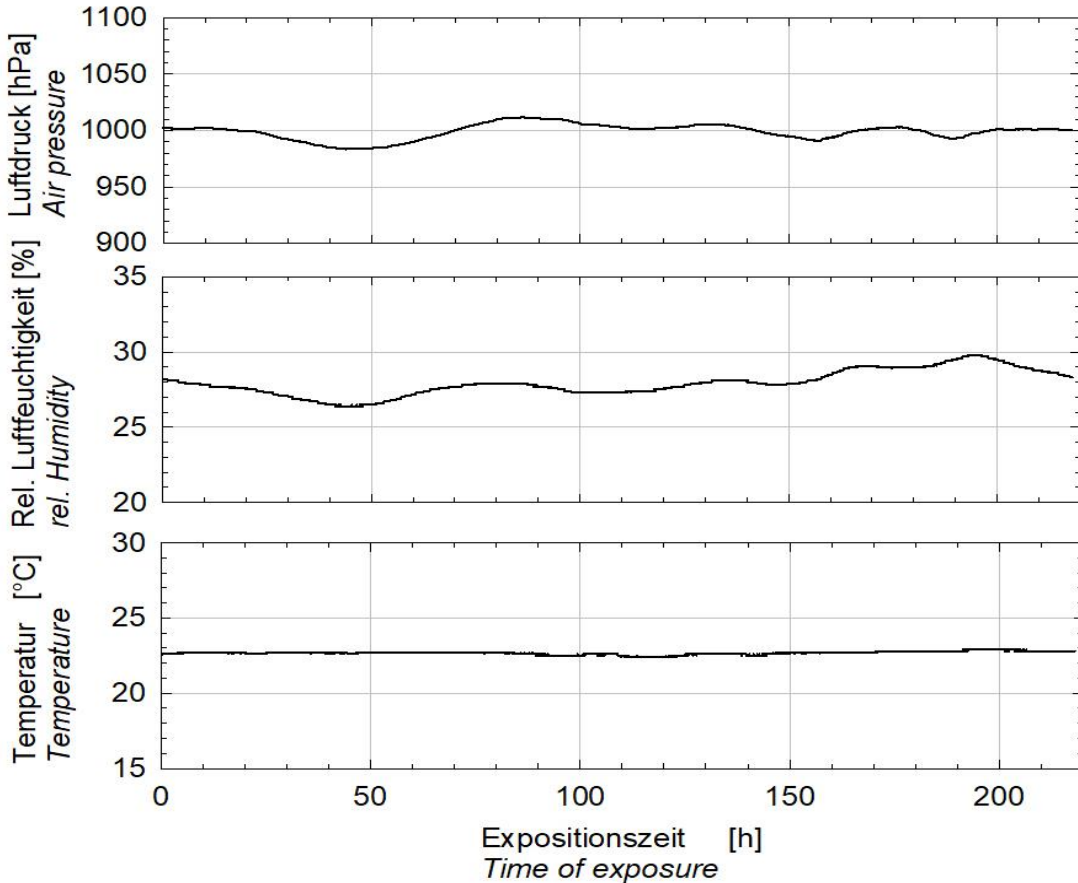


Abbildung A-3: Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftdruck exemplarisch für Exposition 2 /  
 Figure A-3: Temperature, relative humidity and air pressure during exposure no. 2 as an example

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

<b>Nr.</b> No.	<b>Datum</b> Date	<b>t</b> [h]	<b><math>C_{Rn,Ref}</math></b> [kBq/m <sup>3</sup> ]	<b>V</b> [m <sup>3</sup> ]	<b><math>P_{Rn,Ref}</math></b> [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	<b>U</b> [%]	<b>T</b> [°C]	<b>r.H.</b> [%]	<b>p</b> [hPa]
1	04.03.- 11.03.2020	168,1	1,79	11	301	5	24	27	999
2	04.03.- 13.03.2020	221,3	3,65	30	808	5	23	28	999
3	25.02.- 03.03.2020	168,2	5,17	30	870	5	23	28	991
4	24.02.-03.03.2020	193,5	10,33	11	1999	5	24	26	991

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.

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

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

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

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 <sup>3</sup> ]	Standardabweichung <i>Standard deviation</i> [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Transit-Effekt berücksichtigt? <i>Transit effect taken into account?</i>
A02	7	43	101,6	Nein / No
A03	7	70	14,3	Ja / Yes
AA01	7	10	3,5	Ja / Yes
AA03	7	17	5,2	Ja / Yes
AB01	7	Nicht angebar / <i>Not assignable</i> <sup>1)</sup>		Nein / No
B02	7	5	3,5	Ja / Yes
B11	7	4	1,6	Ja / Yes
B13	7	6	1,3	Ja / Yes
B14	7	4	2,6	Ja / Yes
C02	7	22	5,3	Ja / Yes
D01	7	5	0,4	k.A./ n.s.
GA14	6	59	4,6	Nein / No
N02	7	11	4,8	Ja / Yes
N04	7	12	4,6	Nein / No
N05	7	7	2,9	Ja / Yes
N10	7	1010	888,9	Ja / Yes
N17	7	28	6,4	k.A./ n.s.
N19	7	20	4,2	Ja / Yes
N21	7	25	10,2	Ja / Yes
N22	7	78	166,3	Nein / No
N27	7	20	7,4	Ja / Yes
N30	7	23	8,0	Ja / Yes
P01	2	15	5,3	Ja / Yes
P09	7	2	1,1	Nein / No
P12	7	81	9,7	Ja / Yes
T01	7	8	7,5	Nein / No
U01	7	7	1,3	Ja / Yes
U08	7	0	0,0	Ja / Yes
U09	7	76	30,3	Nein / No
U10	7	94	14,7	Ja / Yes
Z02	7	Nicht angebar / <i>Not assignable</i> <sup>1)</sup>		k.A./ n.s.

<sup>1)</sup> 7 von 7 Messwerten sind kleiner als die untere Nachweisgrenze. / 7 of 7 measurement values are lower than the lower detection limit.

Erläuterungen zu Tabelle 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 Exposure group	Prüfcode Test code	Messgeräteeanzahl Number of instruments	Mittelwert Mean value [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Standard- abweichung Standard deviation [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	Referenzwert Reference value $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	relative Mess- abweichung Relative error [%]
1	A02	7	257	114,6	301	-14,6
	A03	7	352	27,9		16,9
	AA01	7	266	17,3		-11,6
	AA03	7	314	24,8		4,3
	AB01	7	246	28,7		-18,1
	B02	7	311	20,2		3,3
	B11	7	294	7,5		-2,2
	B13	7	205	15,2		-31,8
	B14	7	313	15,6		3,9
	C02	7	282	34,5		-6,4
	D01	7	293	5,2		-2,5
	GA14	6	352	7,8		16,9
	N02	7	331	22,8		9,9
	N04	7	270	23,5		-10,4
	N05	7	250	16,3		-17,1
	N10	7	860	753,5		185,7
	N17	7	309	44,8		2,7
	N19	7	309	16,0		2,5
	N21	7	392	18,1		30,3
	N22	7	335	21,1		11,3
	N27	7	332	21,8		10,4
	N30	7	262	21,3		-12,9
	P01	7	310	8,0		3,1
	P09	7	302	29,6		0,5
	P12	7	321	46,5		6,8
	T01	7	315	26,5		4,7
	U01	7	323	10,7		7,2
U08	7	379	26,1	25,8		
U09	7	423	28,9	40,5		
	U10	7	286	20,3	-5,0	
	Z02	7	282	34,0	-6,2	

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

<b>Expositionsgruppe</b> <i>Exposure group</i>	<b>Prüfcode</b> <i>Test code</i>	<b>Messgeräteeanzahl</b> <i>Number of instruments</i>	<b>Mittelwert</b> <i>Mean value</i> [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	<b>Standardabweichung</b> <i>Standard deviation</i> [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	<b>Referenzwert</b> <i>Reference value</i> <i>P<sub>Rn,Ref</sub></i> [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	<b>relative Messabweichung</b> <i>Relative error</i> [%]
2	A02	7	773	19,9	808	-4,3
	A03	7	908	38,7		12,4
	AA01	7	756	21,7		-6,5
	AA03	7	839	27,7		3,8
	AB01	7	629	55,1		-22,2
	B02	7	892	31,5		10,4
	B11	7	829	10,0		2,6
	B13	7	593	56,5		-26,7
	B14	7	873	38,6		8,0
	C02	7	773	48,3		-4,4
	D01	7	795	17,2		-1,6
	GA14	6	854	21,4		5,8
	N02	7	899	30,8		11,3
	N04	7	725	30,5		-10,3
	N05	7	718	42,9		-11,1
	N10	7	978	887,8		21,0
	N17	7	840	40,1		4,0
	N19	7	854	28,5		5,7
	N21	7	1023	31,6		26,6
	N22	7	921	84,9		14,0
	N27	7	896	27,0		10,9
	N30	7	705	40,0		-12,7
	P01	2	842	17,5		4,2
	P09	7	875	52,4		8,3
	P12	7	819	40,3		1,4
	T01	7	894	26,6		10,7
	U01	7	863	28,0		6,9
	U08	7	957	93,4		18,5
	U09	7	991	88,6		22,6
	U10	7	800	50,0		-1,0
Z02	7	795	94,5	-1,6		

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

<b>Expositionsgruppe</b> <i>Exposure group</i>	<b>Prüfcode</b> <i>Test code</i>	<b>Messgeräteeanzahl</b> <i>Number of instruments</i>	<b>Mittelwert</b> <i>Mean value</i> [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	<b>Standardabweichung</b> <i>Standard deviation</i> [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	<b>Referenzwert</b> <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	<b>relative Messabweichung</b> <i>Relative error</i> [%]
3	A02	7	811	42,4	870	-6,8
	A03	7	994	64,7		14,3
	AA01	7	803	21,2		-7,8
	AA03	7	882	39,7		1,4
	AB01	7	736	45,4		-15,4
	B02	7	929	30,0		6,7
	B11	7	889	10,2		2,2
	B13	7	595	53,0		-31,6
	B14	7	937	52,8		7,7
	C02	7	817	57,6		-6,1
	D01	7	876	11,0		0,7
	GA14	6	883	20,9		1,6
	N02	7	971	21,2		11,6
	N04	7	797	35,6		-8,4
	N05	7	745	25,6		-14,4
	N10	7	809	698,8		-7,0
	N17	7	898	45,0		3,3
	N19	7	949	48,1		9,1
	N21	7	1081	61,5		24,2
	N22	7	955	35,0		9,8
	N27	7	976	37,6		12,1
	N30	7	782	38,5		-10,1
	P01	2	940	5,8		8,1
	P09	7	928	61,6		6,7
	P12	7	883	30,2		1,5
	T01	7	1016	67,4		16,8
	U01	7	952	40,3		9,4
	U08	7	970	43,2		11,5
	U09	7	992	53,5		14,0
	U10	7	846	35,4		-2,8
Z02	7	804	49,6	-7,6		

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

<b>Expositionsgruppe</b> <i>Exposure group</i>	<b>Prüfcode</b> <i>Test code</i>	<b>Messgeräteeanzahl</b> <i>Number of instruments</i>	<b>Mittelwert</b> <i>Mean value</i> [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	<b>Standardabweichung</b> <i>Standard deviation</i> [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	<b>Referenzwert</b> <i>Reference value</i> <i>P<sub>Rn,Ref</sub></i> [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	<b>relative Messabweichung</b> <i>Relative error</i> [%]
4	A02	7	1888	77,3	1999	-5,6
	A03	7	2161	55,1		8,1
	AA01	7	1842	40,9		-7,8
	AA03	7	1930	66,0		-3,4
	AB01	7	1686	124,9		-15,7
	B02	7	2053	51,6		2,7
	B11	7	2040	29,3		2,1
	B13	7	1355	55,9		-32,2
	B14	7	2123	61,0		6,2
	C02	7	1893	56,3		-5,3
	D01	7	1976	28,3		-1,2
	N02	7	2097	51,3		4,9
	N04	7	1844	70,4		-7,8
	N05	7	1705	95,5		-14,7
	N10	7	741	729,6		-62,9
	N17	7	1891	133,9		-5,4
	N19	7	1947	69,5		-2,6
	N21	7	2394	59,9		19,8
	N22	7	2063	53,3		3,2
	N27	7	2160	59,9		8,1
	N30	7	1689	70,9		-15,5
	P01	2	2072	46,7		3,7
	P09	7	2029	49,0		1,5
	P12	7	2007	73,1		0,4
	T01	7	2230	70,9		11,6
	U01	7	2114	40,9		5,8
	U08	7	2067	120,2		3,4
	U09	7	2093	105,8		4,7
U10	7	1866	128,8	-6,7		
Z02	7	2084	68,7	4,3		

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

Die Messwerte der Radonmessgeräte wurden den jeweiligen Expositionsgruppen zugeordnet. Es lag in der Verantwortung der teilnehmenden 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 1, 2 und 3 exponiert.

*Details for table A-6 to table A-8:*

*The measurement values of the radon instruments tested were assigned to the exposure groups. The net exposure (difference between the mean values of the exposure group and the transit group) was not calculated by the organisers. It was 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 1, 2, and 3 only.*

## **A-8. ERGEBNISBERICHT (MUSTER) / *REPORT (EXAMPLE)***





BfS-Vergleichs- und Eignungsprüfung für passive Radonmessgeräte 2020:  
 Ergebnisse

*BfS Interlaboratory Comparison and Proficiency Testing of Passive Radon  
 Detectors 2020: Results*

Bericht-ID / Report ID: VPrf2020\_LLL S

Teilnehmendes Labor: <i>Laboratory</i>		Laborcode: <i>Laboratory code</i> <b>LLL</b>
		Set Nummer: <i>Set number</i> <b>S</b>
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> <b>XXX</b>
	Typenbezeichnung / <i>Type name</i>	
Anzahl der Geräte: <i>Number of devices</i>	<b>35</b>	Geräte-Codes: <i>Code of devices</i> <b>LLLS01 - LLLS35</b>
Detektormaterial: <i>Detector material</i>	<b>Makrofol®</b>	Detektordicke: <i>Detector thickness</i> <b>300 µm</b>
Gesamt-Detektorfläche: <i>Total detector size</i>	<b>620 mm<sup>2</sup></b>	Ausgewertete Detektorfläche: <i>Analyzed detector size</i> <b>120 mm<sup>2</sup></b>
Expositionsbereich der Vergleichsprüfung: <i>Exposure range of the interlaboratory comparison</i>	<b>150 - 3000 kBq·h/m<sup>3</sup></b>	
Eingangsdatum der Messergebnisse: <i>Date of receipt of results</i>	<b>14.05.2020</b>	
<p>Die Leistung gemäß des auf Seite 5 beschriebenen Eignungsprüfungsverfahrens wird bewertet als  <i>The performance is evaluated on basis of the proficiency testing scheme described on page 5 as</i></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> zufriedenstellend / <i>satisfactory.</i>                      <input type="checkbox"/> nicht zufriedenstellend / <i>unsatisfactory.</i></p>		
Datum: <i>Date</i>  <b>18.09.2020</b>	Fachgebietsleiter UR 1: <i>Head of Section UR 1</i>  <b>S. Feige</b>	Stellv. technischer Leiter des Radon-Kalibrierlaboratoriums: <i>Deputy head of the Radon Calibration Laboratory</i>  <b>Dr. M. Dubsclaff</b>
		Koordinatorin: <i>Coordinator</i>  <b>Dr. F. Friedrich-Kees</b>

**Verfahren der Vergleichsprüfung / Procedure of the Interlaboratory Comparison:**

Die Vergleichsprüfung wurde im Radon-Kalibrierlaboratorium des BfS durchgeführt. Alle für die Vergleichsprüfung relevanten Messungen unterliegen dem Qualitätsmanagementsystem und sind auf die jeweiligen nationalen Normale zurückgeführt.

Es wurden vier Radon-222-Referenzatmosphären in verschiedenen Edelstahlbehältern erzeugt und die Radon-222-Aktivitätskonzentration mit Gebrauchsnorm-Messeinrichtungen ermittelt.

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

Die Expositionsdaten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Das Datum gibt den Zeitraum an, in dem die Messgeräte in den Referenzatmosphären exponiert wurden. Der Parameter  $C_{Rn,Ref}$  ist der Mittelwert der Radon-222-Aktivitätskonzentration während der Expositionszeit  $t$  und  $P_{Rn,Ref}$  die Radonexposition, die sich aus dem Produkt aus  $C_{Rn,Ref}$  und  $t$  ergibt (Angabe in der Tabelle als gerundeter Wert). Die erweiterte relative Messunsicherheit der Radon-222-Aktivitätskonzentration ( $U$ ) ergibt sich aus der Standardmessunsicherheit multipliziert mit dem Erweiterungsfaktor  $k=2$  (95% Vertrauensbereich). Sie wurde gemäß EA-4/02M:2013 [1] und GUM [2] ermittelt. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphäre sind die Mittelwerte der Temperatur ( $T$ ), der relativen Luftfeuchtigkeit ( $r.H.$ ) und des Luftdrucks ( $p$ ) angegeben.

*The interlaboratory comparison was carried out in the BfS Radon Calibration Laboratory. All relevant measurements concerning the interlaboratory comparison are subject to the quality management system.*

*In total four Radon-222 reference atmospheres were generated in different stainless steel containers. Only passive radon monitors of closed type (with diffusion barrier) were accepted for participation in the interlaboratory comparison. The monitors submitted by the participant were separated into 5 groups with 7 devices each. Monitors with electret detectors were separated into 4 groups with 6 devices each. One of the groups was used as a transit group to determine effects of transport and storage. Each of the remaining groups was exposed in one of the reference atmospheres. After exposition the instruments were returned to the laboratory for evaluation without disclosing the exposure data.*

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

Tabelle 1: Expositionsdaten / Table 1: Exposure data

Exposi- tions- gruppe <i>Exposure group</i>	Datum von – bis <i>Date from – to (dd.mm.yyyy)</i>	t [h]	$C_{Rn,Ref}$ [kBq/m <sup>3</sup> ]	Volumen/ <i>Volume *</i> [m <sup>3</sup> ]	$P_{Rn,Ref}$ [kBq·h/m <sup>3</sup> ]	U [%]	T [°C]	r.H. [%]	p [hPa]
1	04.03.- 11.03.2020	168,1	1,79	11	301	5	24	27	999
2	04.03.- 13.03.2020	221,3	3,65	30	808	5	23	28	999
3	25.02.- 03.03.2020	168,2	5,17	30	870	5	23	28	991
4	24.02.-03.03.2020	193,5	10,33	11	1999	5	24	26	991

\*) Volumen des Kalibrierbehälters / *Volume of the calibration container*

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

Zu Beginn der Expositionsphase wurden alle Radonmessgeräte ausgepackt und im messbereiten Zustand in einen Raum mit geringer Radon-222-Aktivitätskonzentration gebracht (Lageraum). Die Messgeräte der Transitgruppe wurden über den gesamten Zeitraum der Expositionsphase (21 Tage) in diesem Raum gelagert. Alle anderen Geräte wurden vor und nach der Exposition in den Referenzatmosphären ebenfalls im Lagerraum aufbewahrt. Am Ende der Expositionsphase wurden alle exponierten und Transit-Radonmessgeräte zur gleichen Zeit aus dem Lagerraum entnommen und verpackt. Die Parameter der Atmosphäre im Lagerraum sind in Tabelle 2 dargestellt.

*At the beginning of the exposure term all radon measurement instruments were unpacked, made ready for measurement and brought into a room with low radon-222 activity concentration (storage room). The instruments of the transit group were stored over the entire exposure term (21 days) in this storage room. All other instruments were stored in this room before the beginning and after the end of the exposures in reference atmospheres. At the end of the exposure term all exposed and transit instruments were removed from the storage room and re-packed at the same time. The parameters of the atmosphere in the storage room are given in table 2.*

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

$C_{Rn}$ [Bq/m <sup>3</sup> ]	$C_{Rn,EG}$ [Bq/m <sup>3</sup> ]	r.H. [%]	$U_{r.H.}$ [%]	T [°C]	$U_T$ [K]	p [hPa]	$U_p$ [hPa]	$\dot{H}^*(10)$ [nSv/h]	$U_{\dot{H}^*(10)}$ [nSv/h]
3	5	41	8	17	1	1001	3	69	2

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

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

**Messergebnisse / Measurement results:**

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

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

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

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

**Datenauswertung / Analysis of data:**

Für die Expositionsgruppen  $g$  und die Transitgruppe wurden jeweils Mittelwert und relative Standardabweichung der Messwerte berechnet (siehe Formeln (1) und (2)). Die relative Messabweichung wurde für die Expositionsgruppen 1 bis 4 gemäß Gleichung (3) berechnet. Mittelwert, relative Standardabweichung und relative Messabweichung wurden in der durch die Nachkommastellen angezeigten Genauigkeit berechnet und in Tabelle 4 angegeben.

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

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

*In table 4 mean value, standard deviation and relative error are calculated and stated in the accuracy indicated by the decimal places of the given numbers.*

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

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

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

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

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

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

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

#### Verfahren der Eignungsprüfung / Proficiency Testing Scheme:

Die Eignungsprüfung findet auf Grundlage der Daten der Vergleichsprüfung statt. Eine zufriedenstellende Leistung ist gegeben, wenn nicht mehr als die in Tabelle 3 dargestellte Anzahl der ermittelten Radon-222-Expositionswerte (=Messwerte) außerhalb des Bereiches der maximal zulässigen Abweichung liegen [3]. Der Bereich der maximal zulässigen Abweichung ist definiert in Gleichung (4). Für jede Expositionsgruppe  $g$  wurde der Wert für die untere Grenze  $UG_g$  und die obere Grenze  $OG_g$  ermittelt. Werte von  $x_{g,i}/X_g$ , die außerhalb dieser Grenzen liegen, sind in Tabelle 5 rot markiert. Übersteigt die Summe der Ausreißer für alle Gruppen  $g$  nicht den in Tabelle 3 genannten Wert, wird die Leistung in der Eignungsprüfung als „zufriedenstellend“ bewertet. Andernfalls wird die Leistung als „nicht zufriedenstellend“ bewertet. Fehlende Messwerte werden als Ausreißer gewertet.

*The proficiency testing is performed on basis of the results of the interlaboratory comparison. Satisfactory performance is given if the number of radon 222 exposure values (=measurement values) outside of the maximum admissible deviation range does not exceed the number given in table 3 [3]. The maximum admissible deviation range is defined in equation 4. The lower limit  $UG_g$  and the upper limit  $OG_g$  are determined for each exposure group  $g$ , respectively. Values  $x_{g,i}/X_g$  that are outside of these limits are marked in red in table 5. If the total number of outliers does not exceed the number given in table 3 the performance is evaluated as "satisfactory". Otherwise, the performance is evaluated as "unsatisfactory". Missing values are treated as outliers.*

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

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

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

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

**Literaturangaben / References:**

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



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

Expositionsgruppe/ Exposure group	Transitgruppe/ Transit group		1		2		3		4	
	Messgeräte- Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication [kBq·h / m <sup>3</sup> ]	Messgeräte- Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication [kBq·h / m <sup>3</sup> ]	Messgeräte- Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication [kBq·h / m <sup>3</sup> ]	Messgeräte- Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication [kBq·h / m <sup>3</sup> ]	Messgeräte- Code/ Code of device	Anzeigewert/ Indication [kBq·h / m <sup>3</sup> ]
Referenzwert der Rn-222-Exposition/ Reference exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]		<b>301</b>		<b>808</b>		<b>870</b>		<b>1999</b>		
Number / Number										
1	LLS02	4	LLS03	288	LLS04	787	LLS05	873	LLS01	1978
2	LLS10	5	LLS07	288	LLS09	785	LLS08	867	LLS06	1976
3	LLS11	5	LLS15	296	LLS13	821	LLS14	872	LLS12	1981
4	LLS18	5	LLS20	301	LLS17	795	LLS19	870	LLS16	1990
5	LLS23	5	LLS24	298	LLS25	771	LLS21	867	LLS22	1988
6	LLS30	5	LLS28	289	LLS29	794	LLS27	896	LLS26	1915
7	LLS35	5	LLS34	294	LLS33	814	LLS32	886	LLS31	2003
Mittelwert/ Mean value [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]		5		293		795		876		1976
Standardabweichung/ Standard deviation [%]		7,8		1,8		2,2		1,3		1,4
Relative Messabweichung / Relative error [%]				-2,5		-1,6		0,7		-1,2

Der Expositionswert der Radon-Messgeräte der Transitgruppe wurde bei der Auswertung durch den Teilnehmer berücksichtigt. /  
 The exposure value of the radon measurement devices of the transit group has been taken into account by the participant.

Ja / Yes     Nein / No



Tabelle 5: Leistung in der Eignungsprüfung für die BfS Vergleichsprüfung Bericht-ID VPrf2020\_LLL S

Table 5: Performance in Proficiency Testing for the BfS interlaboratory comparison report ID VPrf2020\_LLL S

Expositionsgruppe / Exposure group Referenzwert der Rn-222-Exposition/ Reference exposure to radon-222 $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	1		2		3		4	
	Messgeräte- Code/ Code of device	$P_{mess}/P_{Rn,Ref}$	Messgeräte- Code/ Code of device	$P_{mess}/P_{Rn,Ref}$	Messgeräte- Code/ Code of device	$P_{mess}/P_{Rn,Ref}$	Messgeräte- Code/ Code of device	$P_{mess}/P_{Rn,Ref}$
	LLLS03	1,0	LLLS04	1,0	LLLS05	1,0	LLLS01	1,0
	LLLS07	1,0	LLLS09	1,0	LLLS08	1,0	LLLS06	1,0
	LLLS15	1,0	LLLS13	1,0	LLLS14	1,0	LLLS12	1,0
	LLLS20	1,0	LLLS17	1,0	LLLS19	1,0	LLLS16	1,0
	LLLS24	1,0	LLLS25	1,0	LLLS21	1,0	LLLS22	1,0
	LLLS28	1,0	LLLS29	1,0	LLLS27	1,0	LLLS26	1,0
	LLLS34	1,0	LLLS33	1,0	LLLS32	1,0	LLLS31	1,0
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 / Performance in Proficiency testing				zufriedenstellend/ satisfactory	



# Verantwortung für Mensch und Umwelt

**Kontakt:**

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 (0)3018 333-0

Telefax: + 49 (0)3018 333-1885

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

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

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz