

# Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2010

Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2010

Fachbereich  
Strahlenschutz und Umwelt

Thomas Beck

Helmut Buchröder

Joachim Döring

Elisabeth Foerster

Volkmar Schmidt



Bundesamt für Strahlenschutz

**BfS-SW-08/10**

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

**urn:nbn:de:0221-201008113016**

Zur Beachtung:

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

Salzgitter, November 2010

# **Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition - Vergleichsprüfung 2010**

**Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon - Interlaboratory Comparison 2010**

**Fachbereich  
Strahlenschutz und Umwelt**

**Thomas Beck**

**Helmut Buchröder**

**Joachim Döring**

**Elisabeth Foerster**

**Volkmar Schmidt**



## SUMMARY

According to the Directive 96/29/EURATOM the monitoring of occupational radiation exposures shall base on individual measurements carried out by an approved dosimetric service. Pursuant to the European Directive an approved dosimetric service is *a body responsible for the calibration, reading or interpretation of individual monitoring devices ... , whose capacity to act in this respect is recognized by the competent authorities*. This concept will also be applied to radon services issuing passive radon measurement devices.

Passive radon measurement devices<sup>1</sup> using solid state nuclear track detectors or electrets are recommended for individual monitoring of exposures to radon. German regulations lay down that radon measuring devices are appropriate for purposes of occupational radiation monitoring if

- the devices are issued by recognized radon measurement services, and
- the measurement service submits devices of the same type issued for radon monitoring to regular intercomparisons conducted by BfS.

A radon measuring service is recognized by the competent authority if it proves its organizational and technical competence, e. g. by accreditation. These regulations have been introduced in the area of occupational radiation exposures. Nevertheless, it is recommended that radon measuring services which carry out radon measurements in other areas (e.g. dwellings) should subject themselves to these measures voluntarily.

The interlaboratory comparisons comprise the organization, exposure, and evaluation of measurements of radon activity concentration or exposure to radon. The comparisons only concern radon-222; radon-220 is not in the scope. Radon services being interested can get further information from the European Information System on Proficiency Testing Schemes (eptis) available in the internet.

### Organisational course

Radon services which intend to participate submit a sufficient number of devices of the same type to BfS. The number depends on type and the need for transfer devices. Transfer devices are used for the measurement of effects during storage and delivery. Paragraph 2.2, Table 1 gives the numbers of devices needed for the different test procedures.

Radon devices submitted for the intercomparison remain in their original packaging and are stored under monitored conditions in a room with low radon concentrations. In order to prepare the tests, the devices are randomized and grouped to exposure batches of identical size. In case of determining effects during storage and delivery, additional batches (transfer batches) are to be gathered which will not be exposed to radon. After unpacking and preparing the radon devices are stored in aged air (aged-air chamber) until start of the exposures. Devices of transfer batches remain in the aged-air chamber for the whole time. Exposures during the storage in aged air are low related to the lowest reference exposure level and negligible with respect to its measurement uncertainty (see Paragraph A.3 and Paragraph A.4, Table A.4-1.).

---

<sup>1</sup> The term “passive” means in this case that the sensor consisting of a detector housed in a chamber has got no electrical circuits to register radiation effects. The measurement value is only indicated by chemical and/or physical processing of the detector after finishing exposure.

After exposure, radon devices are stored in fresh air for about one hour to ventilate and to diminish the radon inside. Devices with nuclear track detectors or electrets are put back into the aged-air chamber afterwards. After all exposures have taken place, the radon devices are delivered back to the services. Devices with activated charcoal are delivered back by parcel service immediately after finishing each single exposure.

Radon services determine the exposures to radon for devices with solid state nuclear track detectors or electrets or the average radon activity concentrations for devices with activated charcoal and transmit the results back to BfS for summarising and reporting. Radon services get a certificate each with their own results.

## **Reference atmospheres for radon**

The calibration laboratory at BfS is accredited as a German Calibration Service (DKD) Calibration Laboratory for the measurands radon activity concentration and potential alpha energy concentration of short-lived radon decay products.

The equipment of the radon calibration laboratory consists of an 11-m<sup>3</sup>-chamber used as an aged-air chamber in the intercomparison and five 0.4-m<sup>3</sup>-containers all made of stainless steel, and of supplementary technical devices (Paragraph 3.1, Figure 1). Each unit, i.e. the chamber and the five containers, is equipped with sensors to measure quantities of radon activity concentration, temperature and humidity. For the purpose of measuring radon activity concentration flow-through scintillation cells, traced back to national standard, are used. With this equipment all parameters influencing the reference atmosphere are monitored permanently. The values from these on-line measurements are displayed on the screen of the control panel and are continuously registered. The radon activity concentration in the containers can be adjusted to values in the range from 500 to 100,000 Bq/m<sup>3</sup>.

External recalibrations are carried out on the basis of standards, which can be traced back to the national standards of the federal metrology institute Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), using a radon transfer standard as reference standard, and occasionally also certified gas standards of PTB. A commercial radon measuring instrument specially reserved as a transfer standard is used.

Special care is needed for the exposure of devices with activated charcoal. Because of the high adsorption rate of activated charcoal high volume reference atmospheres are used to prevent large inhomogeneities and to reduce uncertainties in the monitoring of radon activity concentration. Therefore devices with activated charcoal are exposed separately in a 30-m<sup>3</sup>-chamber. Measures for quality assurance are analogous to those described for the 0.4-m<sup>3</sup>-containers.

Radon activity concentration and climatic parameter for each reference atmosphere used for the interlaboratory comparison are given in the attachment. Different exposures to radon are achieved by different levels of radon activity concentrations and/or limiting of duration of exposure. The duration of exposures is long enough to minimize uncertainties caused by taking radon devices in and out of the atmosphere.

## **Results**

The results of the interlaboratory comparison are given in the attachment. Paragraph 4, Figure 2 shows the summarised results for devices with solid state nuclear track detectors and electrets. Box plots indicate the scattering of values measured around the reference value.

## INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	6
1.1	Rechtliche Grundlagen und Festlegungen.....	6
1.2	Zweck der Vergleichsprüfungen .....	6
2	ORGANISATION.....	7
2.1	Qualitätssicherung.....	7
2.2	Anzahl der zu prüfenden Messgeräte eines Typs.....	7
2.3	Ablauf der Vergleichsprüfungen.....	8
3	EXPOSITIONEN .....	9
3.1	Herstellung von Radon-Referenzatmosphären .....	9
3.2	Altluftbehälter zur Lagerung der Messgeräte .....	10
3.3	Exposition von Messgeräten in Radon-Referenzatmosphären .....	11
4	ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNGEN.....	12
5	LITERATUR .....	14

## ANHANG: TABELLEN UND ABBILDUNGEN ZUR VERGLEICHSPRÜFUNG 2010

### *ATTACHMENT: TABLES AND FIGURES OF THE INTERLABORATORY COMPARISON 2010*

A.1	MESSSTELLEN, DIE AN DEN VERGLEICHSPRÜFUNGEN 2010 TEILGENOMMEN HABEN <i>RADON SERVICES, PARTICIPATED IN THE INTERCOMPARISON 2010</i> .....	16
A.2	MESSGERÄTETYPEN <i>INSTRUMENT TYPES</i> .....	18
A.3	PARAMETER DER ALTLUFTATMOSPHERE <i>PARAMETER OF THE AGED-AIR ATMOSPHERE</i> .....	24
A.4	VERGLEICHSPRÜFUNG FÜR MESSGERÄTE MIT FESTKÖRPERSPUR- UND ELEKTRETTDETEKTOREN <i>INTERCOMPARISON FOR MEASURING INSTRUMENTS USING SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTORS AND ELECTRETS</i> .....	25
A.5	VERGLEICHSPRÜFUNG FÜR MESSGERÄTE MIT AKTIVKOHLE <i>INTERCOMPARISON FOR MEASURING INSTRUMENTS USING ACTIVATED CHARCOAL</i> .....	27
A.6	ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNG: ANZEIGEWERTE DER NICHTEXPONIERTE MESSGERÄTE MIT FESTKÖRPERSPUR- UND ELEKTRETTDETEKTOREN (TRANSPORT- UND LAGERUNGSEFFEKTE) <i>RESULTS OF THE INTERCOMPARISON: INDICATION OF NON-EXPOSED INSTRUMENTS USING SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTORS AND ELECTRETS (INFLUENCES OF TRANSFER AND STORAGE)</i> .....	30
A.7	ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNG: MESSGERÄTE MIT FESTKÖRPERSPUR- UND ELEKTRETTDETEKTOREN <i>RESULTS OF THE INTERCOMPARISON: MEASURING INSTRUMENTS USING SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTORS AND ELECTRETS</i> .....	32
A.8	ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNG: MESSGERÄTE MIT AKTIVKOHLE <i>RESULTS OF INTERCOMPARISON: MEASURING INSTRUMENTS USING ACTIVATED CHARCOAL</i> .....	37

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Rechtliche Grundlagen und Festlegungen

Die Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates der Europäischen Union vom 13. Mai 1996 [1] legt die Grundnormen des Gesundheitsschutzes der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren ionisierender Strahlung fest. Nach Artikel 25 dieser Richtlinie soll die Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen durch individuelle Messungen erfolgen, „die von einer *zugelassenen Dosismessstelle* vorgenommen werden“. Diese Regelung gilt auch dann, wenn Personen während der Ausübung ihres Berufes Expositionen durch terrestrische natürliche Strahlenquellen, wie z. B. durch Inhalation von Radon und Radonzerfallsprodukten, ausgesetzt sind (96/29/EURATOM Artikel 41). Eine *zugelassene Dosismessstelle* nach Artikel 1 der europäischen Richtlinie ist eine „für das Kalibrieren, Ablesen und Auswerten der von individuellen Überwachungsgeräten registrierten Werte ... zuständige Stelle, deren Qualifikation in dieser Hinsicht von den zuständigen Behörden anerkannt ist“.

Die Strahlenschutzverordnung [2] setzt die Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates der Europäischen Union in nationales Recht um. In nachfolgenden Regelungen zur Durchführung der Strahlenschutzverordnung werden Festlegungen für die Bestimmung von Messstellen und Festlegungen für die Verwendung von Messgeräten zur Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen getroffen [3].

Für die Überwachung von Personen, die während der Ausübung ihres Berufes Strahlenexpositionen infolge der Inhalation von Radon und Radonzerfallsprodukten ausgesetzt sind, werden in der Regel passive Messgeräte eingesetzt. Bei passiven Messgeräten 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. Passive Messgeräte verwenden zur Registrierung von Strahlenexpositionen durch Radon und Radonzerfallsprodukte im Allgemeinen Kernspurdetektoren, Elektretdetektoren oder Aktivkohle<sup>2</sup>.

## 1.2 Zweck der Vergleichsprüfungen

Die Vergleichsprüfungen umfassen die Organisation, Durchführung und Bewertung von Messungen der Messgrößen Radon-Aktivitätskonzentration oder Radonexposition<sup>3</sup>, die unter festgelegten Referenzbedingungen mit den von den Messstellen eingesandten Geräten durchgeführt werden. Die Prüfungen sind Bestandteil der Maßnahmen zur Qualitätssicherung für Messungen von Strahlenexpositionen durch Radon und Radonzerfallsprodukte und sollen einen einheitlichen Qualitätsstandard sicherstellen. Art und Umfang der Vergleichsprüfungen orientieren sich an Verfahren, die in anderen Gebieten der physikalischen Strahlenschutzkontrolle, insbesondere in der Personendosimetrie externer Strahlung, durchgeführt werden [4].

Die Vergleichsprüfungen werden jährlich von der Leitstelle für die Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität des Bundesamtes für Strahlenschutz durchgeführt.

---

<sup>2</sup> Messgeräte mit Aktivkohle werden in der Regel nur wenige Tage exponiert und aus diesem Grund nicht für die Langzeitüberwachung an Arbeitsplätzen eingesetzt.

<sup>3</sup> Die Messgrößen betreffen ausschließlich das natürlich vorkommende Isotop Radon-222. Messgeräte, die das für den Strahlenschutz weniger bedeutsame, aber ebenfalls in der Natur vorkommende Isotop Radon-220 (Thoron) registrieren, sind nicht Gegenstand der Prüfungen.



Messstellen, die in der Bundesrepublik Messgeräte zur Überwachung beruflicher Strahlenexpositionen durch Radon und Radonzerfallsprodukte ausgeben, sind entsprechend der Richtlinie für die Überwachung der Strahlenexposition bei Arbeiten nach Teil 3 Kapitel 2 Strahlenschutzverordnung verpflichtet, an den Vergleichsprüfungen regelmäßig teilzunehmen [3].

Messstellen, die Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration in Häusern, im Freien oder zu anderen Zwecken durchführen, die nicht im Zusammenhang mit der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen stehen, wird empfohlen, ebenfalls an den Vergleichs- und Eignungsprüfungen teilzunehmen. Die Teilnahme soll das Vertrauen des Kunden in die durchgeführten Messungen und die Akzeptanz in die erhaltenen Ergebnisse erhöhen.

Für Messstellen, die eine Akkreditierung auf dem Gebiet der Bestimmung der Radonexposition oder der Radon-Aktivitätskonzentration in der Luft unter Verwendung passiver Messgeräte besitzen oder eine solche anstreben, kann die Teilnahme an den Vergleichsprüfungen als Bestandteil der Validierung des Messverfahrens nach DIN EN ISO/IEC 17025 anerkannt werden.

## **2 ORGANISATION**

### **2.1 Qualitätssicherung**

Alle durchgeführten Arbeiten unterliegen dem Qualitätsmanagementsystem des Bundesamtes für Strahlenschutz. Die qualitätssichernden Maßnahmen bei der Organisation, Durchführung und Bewertung der Vergleichsprüfungen orientieren sich zusätzlich an den Forderungen des ISO/IEC Guide 43 zur Entwicklung und Durchführung von Programmen für Eignungsprüfungen sowie an Veröffentlichungen des Deutschen Akkreditierungsrates auf diesem Gebiet.

Die zu prüfenden Messgeräte werden im Kalibrierlaboratorium für Radon- und Radonzerfallsprodukt-Messgeräte exponiert. Das Laboratorium unterhält ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO/IEC 17025 und ist beim Deutschen Kalibrierdienst unter der Nummer DKD-K-23001 für die Kalibrierung von Geräten zur Messung der Aktivitätskonzentration von Radon-222 und der potentiellen Alphaenergiekonzentration der kurzlebigen Radon-222-Zerfallsprodukte akkreditiert.

### **2.2 Anzahl der zu prüfenden Messgeräte eines Typs**

Für die Vergleichsprüfungen ist durch die teilnehmende Messstelle eine Anzahl passiver Messgeräte eines Typs einzureichen. Messgeräte eines Typs sind durch identisches Design und die Anwendung gleicher physikalischer oder physikalisch-chemischer Prozesse zur Ermittlung der Messgröße gekennzeichnet. Die Anzahl der durch eine Messstelle einzureichenden Geräte ist in Tabelle 1 angegeben. Die 2. Spalte enthält die Anzahl der Messgeräte, die unter Referenzbedingungen exponiert werden. Sofern die Messgeräte keine Vorrichtungen besitzen, die verhindern, dass Expositionen während der Lagerung und des Transportes den Anzeigewert beeinflussen, oder die teilnehmende Messstelle aus anderen Gründen wünscht, diese Expositionen zu erfassen, ist zusätzlich die in der 3. Spalte angegebene Messgerätezahl einzureichen. Die 4. Spalte enthält die Messgerätetypen (Detektortypen) für den der entsprechende Prüfplan in der Regel angewendet wird. In begründeten Fällen kann das Bundesamt für Strahlenschutz in Absprache mit der Messstelle die Prüfungen der eingesandten Messgerätetypen mit einem anderen Prüfplan durchführen.

**Tabelle 1: Anzahl der durch eine Messstelle einzureichenden Messgeräte**  
**Table 1: Number of Instruments to be submitted by a Radon Service**

Prüfplan <i>Test procedure</i>	Messgeräte zur Exposition unter Referenzbedingungen <i>Number of Instruments to be tested</i>	Messgeräte zur Ermittlung von Expositionen durch Lagerung und Transport <i>Number of non-exposed instruments (correction of transfer and storage effects)</i>	Messgerätetyp bzw. Detektortyp <i>Type of instrument to which the test procedure is to be preferred applied</i>
1	8	0	Aktivkohlesammler <i>Activated charcoal</i>
2	18	6	Elektretdetektoren <i>Electrets</i>
3	28	7	Festkörperspurdetektoren <i>Nuclear Track Detectors</i>

### 2.3 Ablauf der Vergleichsprüfungen

Die Vergleichsprüfungen für passive Radonmessgeräte werden ca. 2 – 3 Monate vor Beginn auf der Internetseite des Bundesamtes für Strahlenschutz sowie durch Anschreiben der Teilnehmer vorangegangener Vergleichsprüfungen bekannt gegeben. Weitere allgemeine Informationen werden im Europäischen Informationssystem über Eignungsprüfungen *eptis* bereitgestellt, das als Internetdatenbank (<http://www.eptis.bam.de>) verfügbar ist.

Messstellen, die beabsichtigen an den Vergleichsprüfungen teilzunehmen, reichen bis zu dem in der Ankündigung genannten Termin für jeden Messgerätetyp eine entsprechend Tabelle 1 bestimmte Anzahl eindeutig gekennzeichnete Messgeräte beim Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Radon ein.

Die von den teilnehmenden Messstellen eingereichten Messgeräte verbleiben zunächst in den Originalverpackungen und werden in einem Arbeitsraum mit geringer Radonkonzentration aufbewahrt. Zur Kontrolle der Lagerbedingungen werden die Radon-222-Aktivitätskonzentration, die Gammadosisleistung, die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit im Lagerraum aufgezeichnet. Vor Beginn der Prüfungen wird eine Eingangskontrolle durchgeführt, bei der die Vollständigkeit, Unversehrtheit und eindeutige Kennzeichnung der Messgeräte geprüft wird. Eine Information der Messstelle erfolgt, wenn defekte Messgeräte festgestellt werden oder die Messgeräteelieferung unvollständig ist. Bei unvollständiger oder nicht eindeutiger Kennzeichnung der Messgeräte wird eine neue Kennzeichnung vergeben.

In Abhängigkeit von dem angewandten Prüfplan werden die Geräte gleichen Typs einer Messstelle randomisiert und in bis zu 4 Gruppen mit jeweils gleich großer Geräteanzahl eingeteilt (Expositionsgruppen). Für Messgeräte, bei denen auch die Effekte während der Lagerung und des Transportes zu bestimmen sind, wird zusätzlich eine Gruppe mit gleicher Anzahl von Messgeräten gebildet (Transitgruppe). Sofern schriftliche Anweisungen der Messstellen zur Handhabung der Messgeräte vorliegen, werden diese berücksichtigt. Nach der Vorbereitung der Messgeräte (Entnahme aus der Originalverpackung) erfolgt die Lagerung der Geräte in einem großvolumigen Expositionsbehälter mit gealterter Luft (Altluftbehälter), um unerwünschte Expositionen durch Radon aus der Umgebungsluft zu minimieren. Die Messgeräte der Transitgruppe verbleiben bis zum Versand in dem Altluftbehälter.

Für die Prüfungen werden die Messgeräte der Expositionsgruppen aus dem Altluftbehälter entnommen und verschiedenen Radon-Referenzatmosphären während einer festgelegten Zeit ausgesetzt. Nach den Expositionen erfolgt die Aufbewahrung der Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren und der Messgeräte mit Elektretdetektoren für ca. 60 Minuten in Frischluft mit geringer Radon-Aktivitätskonzentration, damit das innerhalb der Geräte befindliche Radon-222 entweichen kann. Anschließend werden diese Geräte im Altluftbehälter gelagert. Nach Abschluss aller Expositionen werden die Messgeräte den teilnehmenden Messstellen zugeordnet, radondicht verpackt und an die Messstellen versendet. Für die Verpackungen werden die originalen Verpackungsmaterialien der jeweiligen Messstellen oder ALU-PE-Verbundfolientüten, die vom Bundesamt für Strahlenschutz bereitgestellt werden, verwendet.

Messgeräte mit Aktivkohle werden unmittelbar nach Entnahme aus der Radon-Referenzatmosphäre fest verschlossen, und den Messstellen per Paketdienst zurückgesendet.

Die Messstellen werten die Messgeräte aus und stellen für jedes Messgerät den Anzeigewert der Radon-Aktivitätskonzentration oder Radonexposition fest. Diese Werte werden zur Endauswertung an das Bundesamt für Strahlenschutz zurück gesendet.

### **3 EXPOSITIONEN**

#### **3.1 Herstellung von Radon-Referenzatmosphären**

Für die Herstellung von Radon-Referenzatmosphären stehen im Kalibrierlabor für Radon- und Radonzerfallsprodukt-Messgeräte des Bundesamtes für Strahlenschutz großvolumige 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-Aktivitätskonzentrationen sowie durch die klimatischen Parameter Temperatur, Druck und relative Luftfeuchte gekennzeichnet. Der 30 m<sup>3</sup> - Behälter verfügt zusätzlich über technische Einrichtungen zur Einstellung und Regelung der Klimaparameter, der Luftturbulenz und der Aerosolparameter.



**Abbildung 1: Kalibrierlabor für Radonmessgeräte des Bundesamtes für Strahlenschutz mit Kalibrierbehältern (Volumen: 0,4 m<sup>3</sup>)**  
*Figure 1: Radon Calibration Laboratory of the Federal Office for Radiation Protection with calibration containers (volume: 0.4 m<sup>3</sup>)*

Mit Beginn der Expositionen wird die Radon-Aktivitätskonzentration für jeden verwendeten Behälter durch einmalige Injektion von Radon-222 auf einen zuvor festgelegten Wert eingestellt. Durch automatische Nachdosierung von Radon-222 mit Kolbendosierpumpen bleiben die Radon-Aktivitätskonzentrationen innerhalb der Behälter während der Prüfungen homogen und zeitlich ausreichend konstant. Die Radon-Aktivitätskonzentration wird mittels Durchflussszintillationskammern quasi-kontinuierlich überwacht. Arbeitstäglich werden mit Szintillationskammern zusätzlich manuell Proben aus jeder Referenzatmosphäre entnommen, um die Messergebnisse zu prüfen und deren Redundanz sicherzustellen. Die Verfahren zur Herstellung und Aufrechterhaltung von Radon-Referenzatmosphären sind ausführlich in der Literatur dargestellt [5].

Die Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration sowie alle anderen für die Qualität der durchgeführten Prüfungen relevanten Messungen sind auf nationale Normale zurückgeführt.

Alle während der Prüfungen aufgenommenen Messdaten werden in Datenbanken aufgezeichnet und können zentral verwaltet werden, so dass die Wiederholbarkeit und die Rückverfolgbarkeit der Prüfungen sichergestellt sind.

### **3.2 Abluftbehälter zur Lagerung der Messgeräte**

Für die Lagerung der zu prüfenden Messgeräte vor und nach der Exposition wurde der 11 m<sup>3</sup> -Edelstahlbehälter genutzt. Dazu wurde die Behälterluft durch gealterte Luft mit geringer Radon-Aktivitätskonzentration ersetzt. Die Überwachung der Radon-Aktivitätskonzentration sowie der

klimatischen Parameter erfolgt nach dem gleichen Verfahren wie die Überwachung der Radon-Referenzatmosphären. Bei Bedarf wird zusätzlich ein Messgerät zur Messung der Umgebungsäquivalentdosisleistung vom Typ FHG-L10 mit Sonde FHZ 672 E-10 eingesetzt, um die Strahlenexposition durch externe Gammastrahlung während der Lagerung innerhalb des Altluftbehälters zu erfassen. Die mittlere externe Gammastrahlung kann von Messstellen verwendet werden, die z. B. Messgeräte mit Elektretdetektoren eingereicht haben, um den durch äußere Gammastrahlung hervorgerufenen Messeffekt zu korrigieren.

### 3.3 Exposition von Messgeräten in Radon-Referenzatmosphären

Die Expositionsdaten für die Prüfung der Messgeräte sind im Anhang angegeben. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphären sind die Mittelwerte der Radon-Aktivitätskonzentrationen während der Expositionszeiten und die Radonexpositionen sowie deren Messunsicherheiten angegeben. Des Weiteren werden die mittlere relative Luftfeuchtigkeit und die Lufttemperatur aufgeführt. Bei den Referenzatmosphären für die Prüfung von Messgeräten mit Aktivkohle sind zusätzlich der Luftdruck sowie der Gleichgewichtsfaktor zwischen Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten und der nicht an Aerosolpartikel angelagerte Anteil kurzlebiger Radon-Zerfallsprodukte (freier Anteil) angegeben.

Passive Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren oder mit Elektretdetektoren sind integrierende Messgeräte der Radon-Aktivitätskonzentration über die Expositionszeit. Ihr Anzeigewert ist direkt proportional der Radonexposition. Somit wird für die Prüfung von Messgeräten mit Festkörperspurdetektoren oder mit Elektretdetektoren die Radonexposition als Prüfgröße festgelegt. Für die Prüfung werden jeweils 4 Referenzatmosphären mit unterschiedlichen Niveaus der Radon-Aktivitätskonzentrationen hergestellt. Die Expositionszeiten betragen mindestens 5 Tage. Damit sind die Expositionszeiten ausreichend lang, um kurzzeitige Störungen der Atmosphären vernachlässigen zu können und um den Fehler bei der Bestimmung der Expositionszeiten zu minimieren. Die Radonexpositionen liegen in einem für die Praxis relevanten Bereich zwischen  $100 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$  und  $3500 \text{ kBq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Bei Messgeräten mit Aktivkohle (Aktivkohlesammler) erfolgt eine Anreicherung von Radon an die Aktivkohleoberfläche infolge Adsorption. Der Beladungsgrad ist sowohl von der Expositionszeit als auch von der Temperatur und der Feuchtigkeit der umgebenden Luft abhängig. Bei Verwendung von Messgeräten mit Aktivkohle müssen die selben Expositionszeiten gewählt werden, die auch bei der Kalibrierung dieser Geräte zugrunde gelegt werden. Da die Expositionszeiten handelsüblicher Messgeräte mit Aktivkohle 48 bzw. 72 Stunden betragen, stehen diese Zeiten auch für die Expositionen bei den Vergleichsprüfungen zur Auswahl. Welche dieser Expositionszeiten angewendet werden sollen, muss zuvor von den Messstellen mitgeteilt werden. Als Prüfgröße für diese Messgeräte wird die mittlere Radon-Aktivitätskonzentration festgelegt. Für die Prüfung werden Referenzatmosphären mit unterschiedlichen Niveaus der Radon-Aktivitätskonzentrationen hergestellt. Da es bei der Exposition von Aktivkohle in statischen Atmosphären infolge der Adsorption von Radon zu einer unvermeidbaren Verringerung der Radon-Aktivitätskonzentration in der Atmosphäre kommt, müssen für die Prüfungen großvolumige Behälter eingesetzt werden. Die Prüfungen werden deshalb in dem  $30 \text{ m}^3$  - Behälter durchgeführt. Damit können die Reduzierung der Radon-Aktivitätskonzentration auf maximal 20 % begrenzt und die Prüfbedingungen ausreichend stabil gehalten werden.

Die erweiterte relative Messunsicherheit ist durch die Rückführung der Radon-Aktivitätskonzentration auf das nationale Normal bestimmt und wird vom Deutschen Kalibrierdienst im Rahmen der Akkreditierung als Kalibrierlabor für Radonmessgeräte vorgegeben [6]. Innerhalb eines Bereiches der Radon-Aktivitätskonzentration von  $50 - 1000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  beträgt die erweiterte relative Messunsicherheit 12 % und oberhalb von

1000 Bq·m<sup>-3</sup> einheitlich 7 %. Diese Werte der erweiterten relativen Messunsicherheiten werden auch für die Radonexposition verwendet, da die Messunsicherheiten der Expositionszeiten vernachlässigbar sind.

#### **4 ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNGEN**

Die Ergebnisse der Vergleichsprüfung werden im Anhang ausführlich dargestellt. Für Messgerätetypen, die Kernspurdetektoren oder Elektretdetektoren zum Strahlungsnachweis enthalten, sind in Abbildung 2 die Ergebnisse mittels Boxplots zusammengefasst.

Abbildung 2 zeigt sowohl die relative Messabweichung der Messgeräte bezüglich der Referenzwerte als auch die Streuung der Messwerte innerhalb der Messgerätegruppe. Bei Beherrschung der messtechnischen Prozesse und Anwendung eines angemessenen Qualitätsmanagementsystems durch die Messstelle kann davon ausgegangen werden, dass der richtige Wert der Radon-Aktivitätsexposition durch eine Einzelmessung mit passiven Messgeräten oberhalb von 3000 kBq·h·m<sup>-3</sup> um weniger als 20 % und unterhalb von 650 kBq·h·m<sup>-3</sup> um weniger als das 1,5-fache über- bzw. unterschätzt wird.

Teilnehmer an den Vergleichsprüfungen, bei denen nicht mindestens 90 % der Messwerte diese Kriterien erfüllen, sollten geeignete Maßnahmen der Qualitätssicherung einleiten. In vielen Fällen kann die mittlere relative Messabweichung durch Nachkalibrierung der Messeinrichtung reduziert werden.

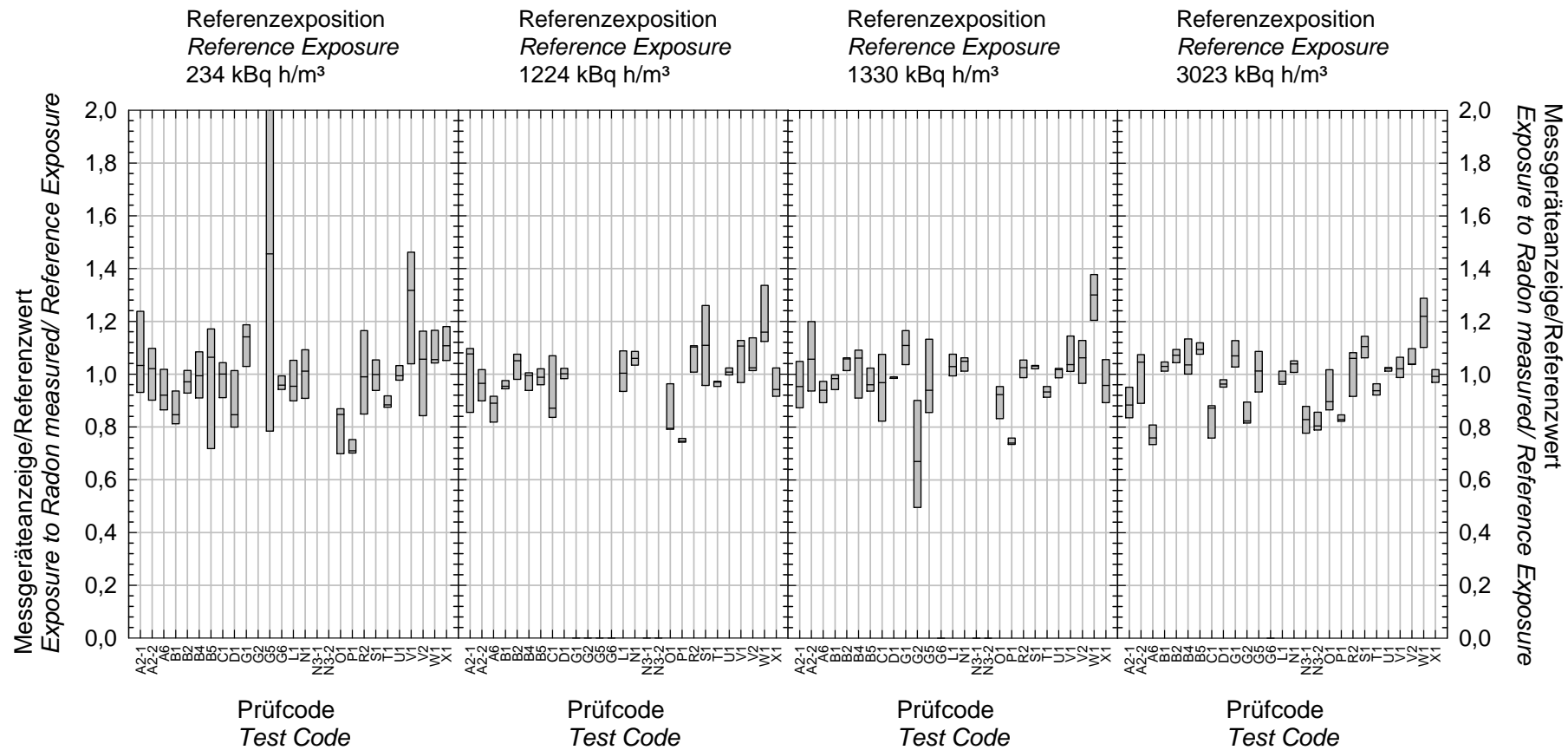


Abbildung 2: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren bzw. Elektretdetektoren, dargestellt als Boxplots [7] (innerhalb der Boxen liegen 50 % der Ergebnisse), Prüfcode siehe Anhang

Figure 2: Indication of the instruments using nuclear track detectors or electrets relative to the reference exposures, given as box plots [7] (within the boxes are 50% of the results), Test code see attachment

## 5 LITERATUR

- [1] Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren ionisierender Strahlung. Abl. der EG, Reihe L, Nr. 159 von 1996
- [2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 BGBl. I S. 1714 ber. I 2002 S. 1459 geändert durch Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung und anderer atomrechtlicher Verordnungen vom 18. Juni 2002 BGBl. I S. 1869, 1903
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Richtlinie für die Überwachung der Strahlenexposition bei Arbeiten nach Teil 3 Kapitel 2 Strahlenschutzverordnung. GMBL. 2004, Nr. 22, Seite 418
- [4] Physikalisch-Technische Bundesanstalt: Regeln für die Durchführung von Vergleichsmessungen von Dosimetern gemäß § 2 Abs. 3 Satz 3 der Eichordnung, Bekanntmachung der PTB vom 1. Mai 1990
- [5] Hamel, P., Schmidt, V.: The calibration laboratories for the measurement of radon and short-lived radon decay products at the Federal Office for Radiation Protection (BfS). *Kerntechnik* 66, 2001, 202 – 205
- [6] Qualitätsmanagementhandbuch des Kalibrierlaboratoriums für die Messgrößen Aktivitätskonzentration von Radon in der Luft und potentielle Alphaenergie-Konzentration der kurzlebigen Radon-Zerfallsprodukte. Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Radon
- [7] Hartung, J.: Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. R. Oldenburg Verlag GmbH, München 1986
- [8] DKD-3: Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen. Deutscher Kalibrierdienst DKD, Braunschweig 1998 (*deutsche Übersetzung der Publikation EAL-R2*)
- [9] Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (Guide to expression of uncertainty in measurement). International Organization for Standardization, Genf 1993



# ANHANG: TABELLEN UND ABBILDUNGEN ZUR VERGLEICHSPRÜFUNG 2010

## *ATTACHMENT: TABLES AND FIGURES OF THE INTERLABORATORY COMPARISON 2010*

<b>A.1</b>	<b>MESSSTELLEN, DIE AN DEN VERGLEICHSPRÜFUNGEN 2010 TEILGENOMMEN HABEN</b> <i>RADON SERVICES, PARTICIPATED IN THE INTERCOMPARISON 2010</i> .....	<b>16</b>
<b>A.2</b>	<b>MESSGERÄTETYPEN</b> <i>INSTRUMENT TYPES</i> .....	<b>18</b>
<b>A.3</b>	<b>PARAMETER DER ALTLUFTATMOSPHERE</b> <i>PARAMETER OF THE AGED-AIR ATMOSPHERE</i> .....	<b>24</b>
<b>A.4</b>	<b>VERGLEICHSPRÜFUNG FÜR MESSGERÄTE MIT FESTKÖRPERSPUR- UND ELEKTRETDETEKTOREN</b> <i>INTERCOMPARISON FOR MEASURING INSTRUMENTS USING SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTORS AND ELECTRETS</i> .....	<b>25</b>
<b>A.5</b>	<b>VERGLEICHSPRÜFUNG FÜR MESSGERÄTE MIT AKTIVKOHLE</b> <i>INTERCOMPARISON FOR MEASURING INSTRUMENTS USING ACTIVATED CHARCOAL</i> .....	<b>27</b>
<b>A.6</b>	<b>ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNG: ANZEIGEWERTE DER NICHTEXPONIERTE MESSGERÄTE MIT FESTKÖRPERSPUR- UND ELEKTRETDETEKTOREN (TRANSPORT- UND LAGERUNGSEFFEKTE)</b> <i>RESULTS OF THE INTERCOMPARISON: INDICATION OF NON-EXPOSED INSTRUMENTS USING SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTORS AND ELECTRETS (INFLUENCES OF TRANSFER AND STORAGE)</i> .....	<b>30</b>
<b>A.7</b>	<b>ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNG: MESSGERÄTE MIT FESTKÖRPERSPUR- UND ELEKTRETDETEKTOREN</b> <i>RESULTS OF THE INTERCOMPARISON: MEASURING INSTRUMENTS USING SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTORS AND ELECTRETS</i> .....	<b>32</b>
<b>A.8</b>	<b>ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNG: MESSGERÄTE MIT AKTIVKOHLE</b> <i>RESULTS OF INTERCOMPARISON: MEASURING INSTRUMENTS USING ACTIVATED CHARCOAL</i> .....	<b>37</b>

**A.1 Messstellen, die an den Vergleichsprüfungen 2010 teilgenommen haben**  
*Radon Services, participated in the intercomparison 2010*



<b>Messstelle</b> <i>Radon service</i>	<b>Land</b> <i>Country</i>	<b>Adresse</b> <i>Address</i>
A.R.P.A. Cal Dipartimento Provinciale die Catanzaro	Italien <i>Italy</i>	Via Lungomare Giovino 88063 Catanzaro
Altrac Radon-Messtechnik	Deutschland <i>Germany</i>	Dorothea-Viehmänn-Straße 28 12524 Berlin
Arpa Piemonte Dipartimento Tematico Radiazioni	Italien <i>Italy</i>	Via Jervis, 30 10015 Ivrea (To)
Asse GmbH	Deutschland <i>Germany</i>	Am Walde 2 38319 Remlingen
Bundesamt für Strahlenschutz SW 1.3	Deutschland <i>Germany</i>	Köpenicker Allee 120 –130 10318 Berlin
Direction de la Santé Division de la Radioprotection	Luxemburg <i>Luxembourg</i>	Villa Louvigny – Allée Marconi 2120 Luxembourg
ENEA IRP Servicio Valutazione Radon	Italien <i>Italy</i>	Via Dei Colli, 16 40136 Bologna
Gammadata Mättechnik AB	Schweden <i>Sweden</i>	P.O. Box 15120 75015 Uppsala Vertriebspartner für Deutschland: Radon Analytics , Alte Heerstrasse 1, 53121 Bonn
Health Protection Agency Radiation Protection Division Personal Dosimetry Service	Großbritannien <i>United Kingdom</i>	Chilton, Didcot Oxfordshire OX 11 ORQ
Helmholtz Zentrum München Auswertungsstelle Radonmessdienst	Deutschland <i>Germany</i>	Otto-Hahn-Ring 6 81739 München
Independia Control AB	Schweden <i>Sweden</i>	Sisjö Kullegata 8 42132 Västra Frölunda
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) HA Sicherheitsmanagement Strahlenschutz - Dosimetrie	Deutschland <i>Germany</i>	Herrmann-von-Helmholtz-Platz 1 76344 Eggenstein- Leopoldshafen
Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern Dezernat 650, Radioaktivitätsmessstelle	Deutschland <i>Germany</i>	Badenstraße 18 18439 Stralsund
Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz	Deutschland <i>Germany</i>	Kaiser-Friedrich-Straße 7 55116 Mainz

<b>Messstelle</b> <i>Radon service</i>	<b>Land</b> <i>Country</i>	<b>Adresse</b> <i>Address</i>
Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen Dezernat 32	Deutschland <i>Germany</i>	Marsbruchstraße 186 44287 Dortmund
mi.am srl	Italien <i>Italy</i>	Via de Amicis, 5 29029 Fabiano di Rivergaro
Pasela miljösupport ab	Schweden <i>Sweden</i>	Box 5093 42605 Västra Frölunda
Radosys Ltd.	Ungarn <i>Hungary</i>	Vegyész u. 17-25 1116 Budapest
Umweltinstitut München	Deutschland <i>Germany</i>	Landwehrstraße 64a 80336 München
Umweltmesstechnik Dipl.-Ing. M. Rosenkranz	Deutschland <i>Germany</i>	Weißer Kamp 9 21218 Seebetel
Universidad de Cantabria LaRUC Grupo Radón Departamento de Ciencias Médicas y Quirúrgicas	Spanien <i>Spain</i>	Avenida Cardenal Herrera Oria s/n C.P. 39011 Santander
Università degli Studi di Napoli Dipartimento di Scienze Fisiche	Italien <i>Italy</i>	Complesso Universitario di Monte S. Angelo Edificio 6, Via Cinthia 80126 Napoli
U-Series S.R.L.	Italien <i>Italy</i>	Via Ferrarese, 131 40128 Bologna
Veterinary Faculty of Sarajevo Center for Control of Food, Feed and Environmental Protection Laboratory for Radioactivity Control	Bosnien- Herzegowina <i>Bosnia and Herzegovina</i>	Zmaja od Bosne 90 71000 Sarajevo
ZVD d.d. Institut of Occupational Safety	Slowenien <i>Slovenia</i>	Chengdujska cesta 25 1260 Ljubljana Polje

## A.2 Messgerätetypen Instrument types





Tabelle A.2-1: Messgeräte mit Kernspurdetektoren oder Elektretdetektoren

Table A.2-1: Measuring instruments using nuclear track detectors or electrets

Bauform / Design	Messgerätetyp (nicht maßstabsgerecht) Instrument type (no accurate scale)	Detektor / Detector	Detektor- bzw. Messfeldfläche Detector or measurement area	Detektordicke Detector thickness	Typ Type	Expositionsbereich Range of exposure	Prüfcode / Test code
A		Makrofol	1,34 mm <sup>2</sup>	0,3 mm	geschlossen, mit Filter/ closed with filter	20 – 5 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	A2
			350 mm <sup>2</sup>	0,3 mm	geschlossen, mit Filter/ closed with filter	0 - 2 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	A6
B		CR-39	100 mm <sup>2</sup>	1 mm	geschlossen, ohne Filter/ closed without filter	36 – 10 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	B1
			140 mm <sup>2</sup>	1,5 mm	geschlossen, ohne Filter/ closed without filter	10 – 50 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	B2
			1053 mm <sup>2</sup>	0,5 mm	geschlossen, ohne Filter/ closed without filter	10 - > 2500 kBq·h·m <sup>-3</sup>	B4
			100 mm <sup>2</sup>	1,2 mm	geschlossen, ohne Filter/ closed without filter	30 - 2500 kBq·h·m <sup>-3</sup>	B5

Bauform / Design	Messgerätetyp (nicht maßstabsgerecht) <i>Instrument type (no accurate scale)</i>	Detektor / Detector	Detektor- bzw. Messfeldfläche <i>Detector or measurement area</i>	Detektordicke <i>Detector thickness</i>	Typ <i>Type</i>	Expositionsbereich <i>Range of exposure</i>	Prüfcode / Test code
C		CR-39	100 mm <sup>2</sup>	1 mm	geschlossen, ohne Filter/ <i>closed without filter</i>	30 – 18 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	C1
D		Makrofol	203 mm <sup>2</sup>	0,3 mm	geschlossen, mit Filter/ <i>closed with filter</i>	30 – 20 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	D1
G		Elektret	3421 mm <sup>2</sup>	0,127 mm	offen mit Filter/ <i>open with filter</i>	keine Angabe/ <i>not stated</i>	G1
			1250	keine Angabe <i>not stated</i>	offen mit Filter/ <i>open with filter</i>	300 – 10 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	G2
			keine Angabe <i>not stated</i>	keine Angabe <i>not stated</i>	geschlossen, ohne Filter/ <i>closed, without filter</i>	40 – 2000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	G5

Bauform / Design	Messgerätetyp (nicht maßstabsgerecht) <i>Instrument type (no accurate scale)</i>	Detektor / Detector	Detektor- bzw. Messfeldfläche <i>Detector or measurement area</i>	Detektordicke <i>Detector thickness</i>	Typ <i>Type</i>	Expositionsbereich <i>Range of exposure</i>	Prüfcode / Test code
G			keine Angabe <i>not stated</i>	keine Angabe <i>not stated</i>	keine Angabe <i>not stated</i>	0 - 240 kBq·h·m <sup>-3</sup>	G6
L		CR-39	100 mm <sup>2</sup>	1 mm	geschlossen, ohne Filter / <i>closed without filter</i>	50 – 15 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	L1
N		CR-39	100 mm <sup>2</sup>	1 mm	geschlossen, ohne Filter / <i>closed without filter</i>	50 – 15 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	N1
			100 mm <sup>2</sup>	1 mm	geschlossen, ohne Filter / <i>closed without filter</i>	50 – 15 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	N3
O		LR-115	100 mm <sup>2</sup>	0,115 mm	geschlossen, mit Filter / <i>closed with filter</i>	0,075 – 7 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	O1



Bauform / Design	Messgerätetyp (nicht maßstabsgerecht) <i>Instrument type (no accurate scale)</i>	Detektor / Detector	Detektor- bzw. Messfeldfläche <i>Detector or measurement area</i>	Detektordicke <i>Detector thickness</i>	Typ <i>Type</i>	Expositionsbereich <i>Range of exposure</i>	Prüfcode / Test code
P		CR-39	625 mm <sup>2</sup>	1,5 mm	geschlossen, ohne Filter / <i>closed without filter</i>	30 – 3 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	P1
R		CR-39	625 mm <sup>2</sup>	1,5 mm	geschlossen, ohne Filter / <i>closed without filter</i>	20 – 15 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	R2
S		Nitrocellulose	850 mm <sup>2</sup>	0,012 mm	geschlossen, mit Filter / <i>closed with filter</i>	300 – 10 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	S1
T		CR-39	925 mm <sup>2</sup>	1,4 mm	geschlossen, ohne Filter / <i>closed without filter</i>	8 – 22 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	T1

Bauform / Design	Messgerätetyp (nicht maßstabsgerecht) <i>Instrument type (no accurate scale)</i>	Detektor / Detector	Detektor- bzw. Messfeldfläche <i>Detector or measurement area</i>	Detektordicke <i>Detector thickness</i>	Typ <i>Type</i>	Expositionsbereich <i>Range of exposure</i>	Prüfcode / Test code
U		CR-39	625 mm <sup>2</sup>	1,5 mm	geschlossen, ohne Filter / <i>closed without filter</i>	20 – 15 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	U1
V		CR-39	625 mm <sup>2</sup>	1,5 mm	geschlossen, mit Filter / <i>closed with filter</i>	30 – 15 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	V1
		LR-115	875	0,012 mm	geschlossen, mit Filter / <i>closed with filter</i>	60 – 15 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	V2
W		CR-39	625 mm <sup>2</sup>	1,5 mm	geschlossen, ohne Filter / <i>closed without filter</i>	20 – 15 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	W1
X	kein Bild vorhanden/ <i>no picture available</i>	CR-39	46,8 mm <sup>2</sup>	1 mm	geschlossen, ohne Filter / <i>closed without filter</i>	20 – 15 000 kBq·h·m <sup>-3</sup>	X1



Tabelle A.2-2: Messgeräte mit Aktivkohle

Table A.2-2: Measuring instruments using activated charcoal

Bauform / Design	Messgerätetyp (nicht maßstabsgerecht) <i>Instrument type</i> (no accurate scale)	Aktivkohlemasse <i>Mass of activated charcoal</i>	Expositionszeit <i>Time of exposure</i>	Messbereich <i>Measuring range</i>	Auswertung <i>Measurement</i>	Prüfcode / Test code
cA		2 g	48 h	keine Angabe <i>not stated</i>	Flüssigszintillation/ <i>liquid scintillation</i>	cA1
		1 g	72 h	0,01 – 100 kBq·m <sup>-3</sup>		cA2
cB		70 g	48 h	keine Angabe <i>not stated</i>	Gammaskpektrometrie <i>gamma ray spectrometry</i>	cB2
		70 g	48 h	keine Angabe <i>not stated</i>		cB3
		73 g	72 h	0,01 – 50 kBq·m <sup>-3</sup>		cB4
		75 g	72 h	0,01 – 1 kBq·m <sup>-3</sup>		cB5

### A.3 Parameter der Altluftatmosphäre *Parameter of the aged-air atmosphere*

$C_{Rn}$ [Bq·m <sup>-3</sup> ]	$U_{CRn}$ [Bq·m <sup>-3</sup> ]	$C_{Rn,EG}$ [Bq·m <sup>-3</sup> ]	r.H. [%]	$U_{r.H.}$ [%]	T [°C]	$U_T$ [K]
7,8	0,9	1	23,4	9	23,4	0,7

Der Parameter  $C_{Rn}$  ist die mittlere Radon-222-Aktivitätskonzentration, die während der Lagerung der Messgeräte in der Altluftatmosphäre ermittelt wurde. Die erweiterte relative Messunsicherheit der Radon-222-Aktivitätskonzentration ( $U_{CRn}$ ) ergibt sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor  $k = 2$ . Sie wurde gemäß DKD-3 [8] und GUM [9] ermittelt.  $C_{Rn,EG}$  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  $U_T(k=2)$ .

*$C_{Rn}$  is the mean radon activity concentration determined during the storage of instruments in the aged-air atmosphere.  $U_{CRn}$  is the expanded relative uncertainty of the radon-222 activity concentration resulting from the standard uncertainty of the measurement multiplied with a coverage factor  $k=2$  (confidence interval) in accordance with DKD-3 [8] and GUM [9].  $C_{Rn,EG}$  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 uncertainty of relative humidity  $U_{r.H.}(k=2)$ , mean value of temperature (T), and expanded relative uncertainty of temperature  $U_T(k=2)$  during the storage of instruments in the aged-air atmosphere.*

**A.4 Vergleichsprüfung für Messgeräte mit Festkörperspur- und Elektretdetektoren**  
*Intercomparison for measuring instruments using solid state nuclear track detectors and electrets*

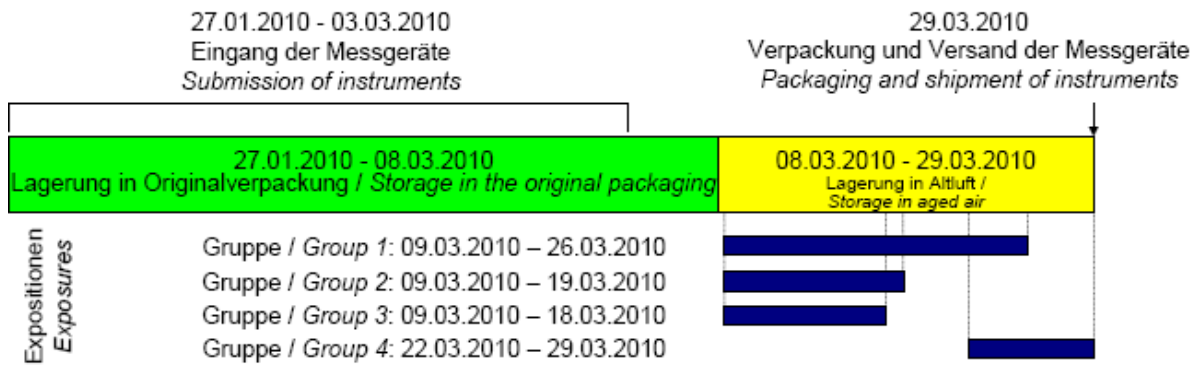


Abbildung A.4-1: Ablaufschema

Figure A.4-1: Time course

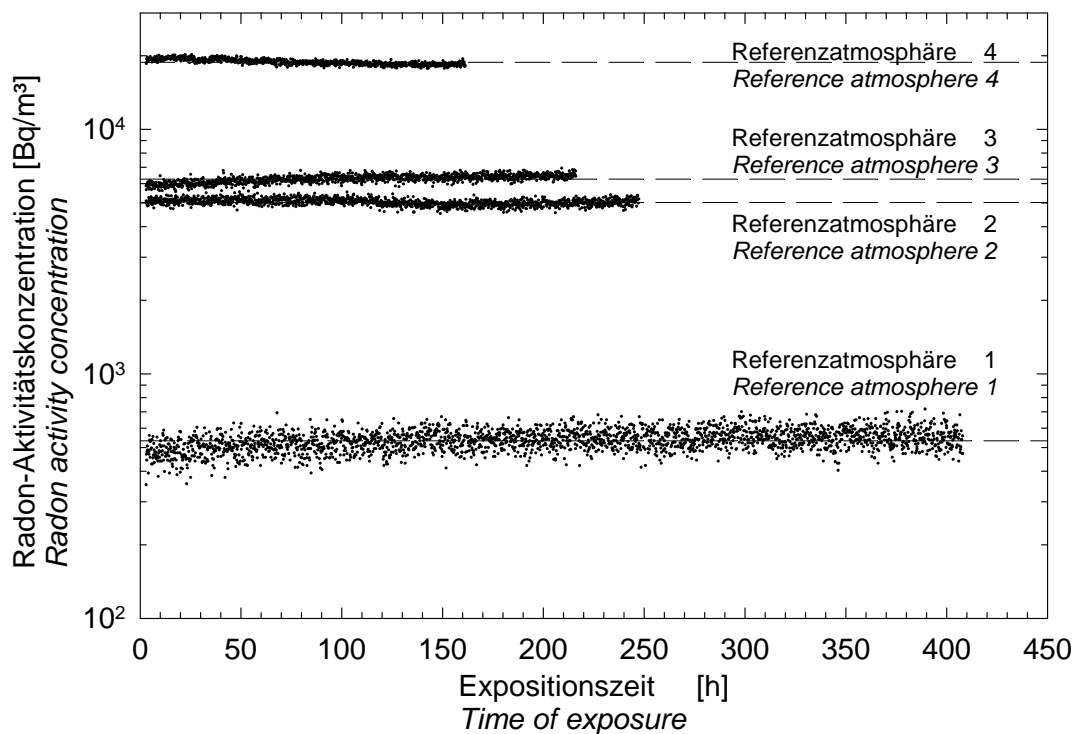


Abbildung A.4-2: Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen

Figure A.4-2: Radon activity concentrations versus time of exposure

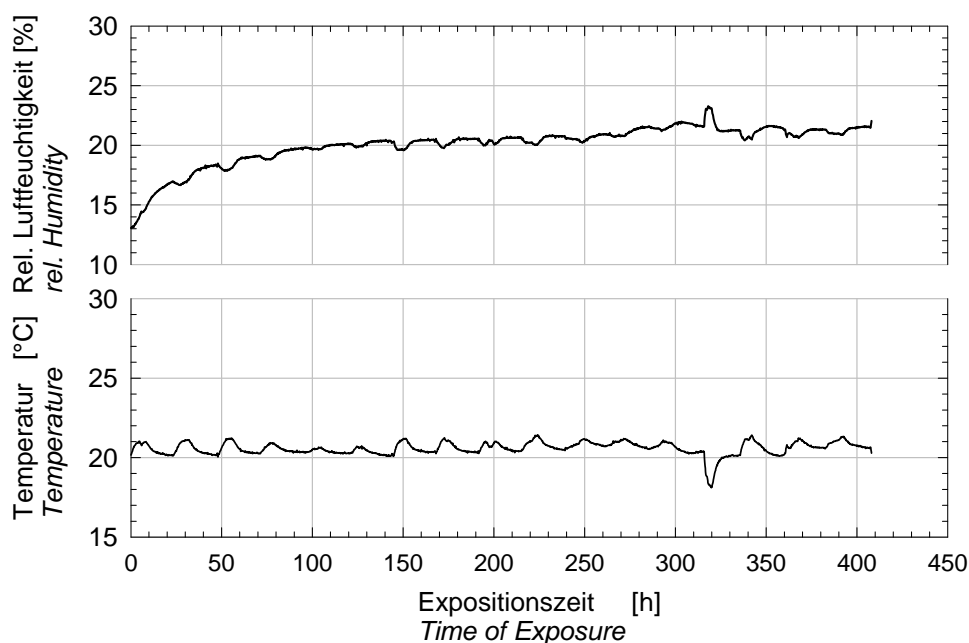


Abbildung A.4-3: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit während der Expositionen  
*Figure A.4-3: Temperature and relative humidity during the exposures*

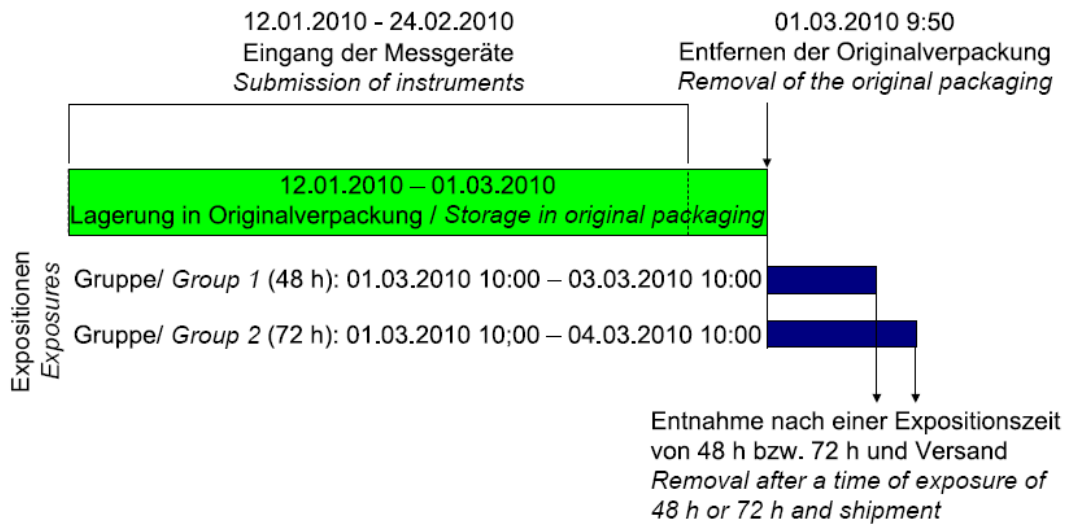
Tabelle A.4-1: Werte der Radon-Referenzatmosphären  
*Table A.4-1: Parameter of the radon reference atmospheres*

No.	Datum/Date	t [h]	$C_{Rn,Ref}$ [Bq·m <sup>-3</sup> ]	$P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	U [%]	r.H. [%]	T [°C]
1	09.03.10 – 26.03.10	408,2	574	234	12	20	20,6
2	09.03.10 – 19.03.10	247,4	4 947	1224	7	13	20,7
3	09.03.10 – 18.03.10	216,2	6 154	1330	7	10	20,6
4	22.03.10 – 29.03.10	161,7	18 694	3023	7	21	20,9

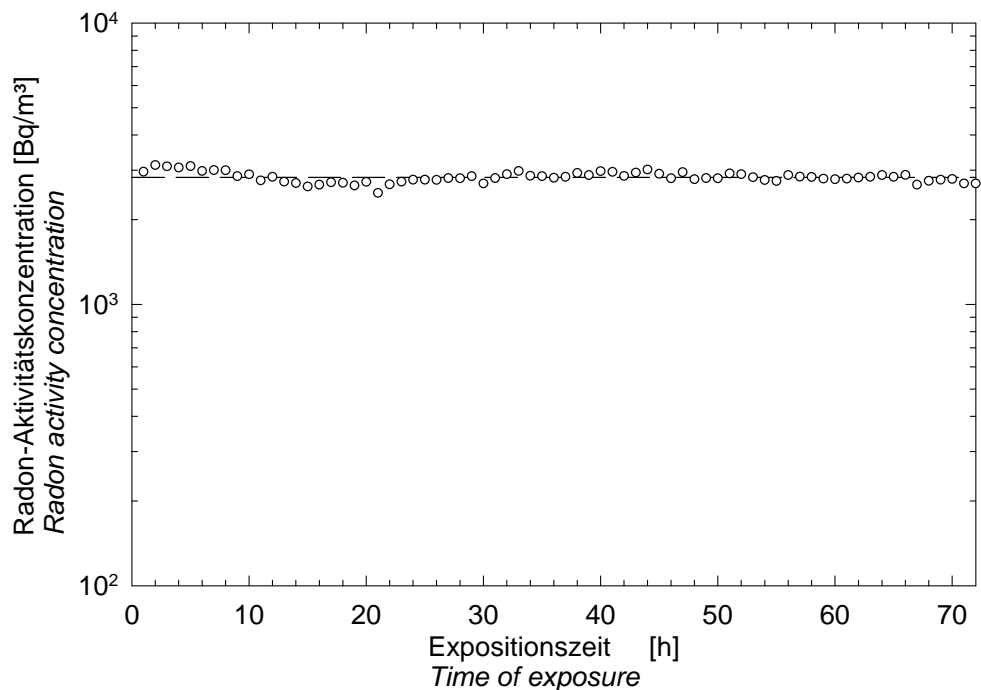
Die Spalte No. gibt die Nummer der Expositionsgruppe bzw. der Radon-Referenzatmosphäre an und das Datum den Zeitraum, in dem die Messgeräte in den Referenzatmosphären exponiert wurden. Der Parameter  $C_{Rn,Ref}$  ist der Mittelwert der Radon-Aktivitätskonzentration während der Expositionszeit  $t$  und  $P_{Rn,Ref}$  die Radonexposition, 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 DKD-3 [8] und GUM [9] ermittelt. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphären sind außerdem die Klimabedingungen angegeben: Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit  $r.H.$  mit einer erweiterten Messunsicherheit von 8 % ( $k=2$ ) und Mittelwert der Temperatur  $T$  mit einer erweiterten Messunsicherheit von 0,6 K ( $k=2$ ).

*In the No. column the number of the exposure group or reference atmosphere and in the Date column the exposure interval are given.  $C_{Rn,Ref}$  is the mean activity concentration of radon-222 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-222 activity concentration resulting from standard uncertainty of the measurement multiplied by a factor  $k = 2$  (95% confidence interval). The expanded relative uncertainty has been acquired in accordance to DKD-3 [8] and GUM [9]. To characterize the climatic conditions the mean value of relative humidity ( $r.H.$ ) with an expanded relative uncertainty of 8 % ( $k=2$ ) and the mean value of temperature ( $T$ ) with an expanded relative uncertainty of 0.6 K ( $k=2$ ) are given in the table.*

**A.5 Vergleichsprüfung für Messgeräte mit Aktivkohle**  
*Intercomparison for measuring instruments using activated charcoal*



*Abbildung A.5-1: Ablaufschema*  
*Figure A.5-1: Time course*



*Abbildung A.5-2: Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen*  
*Figure A.5-2: Time variation of radon activity concentrations*

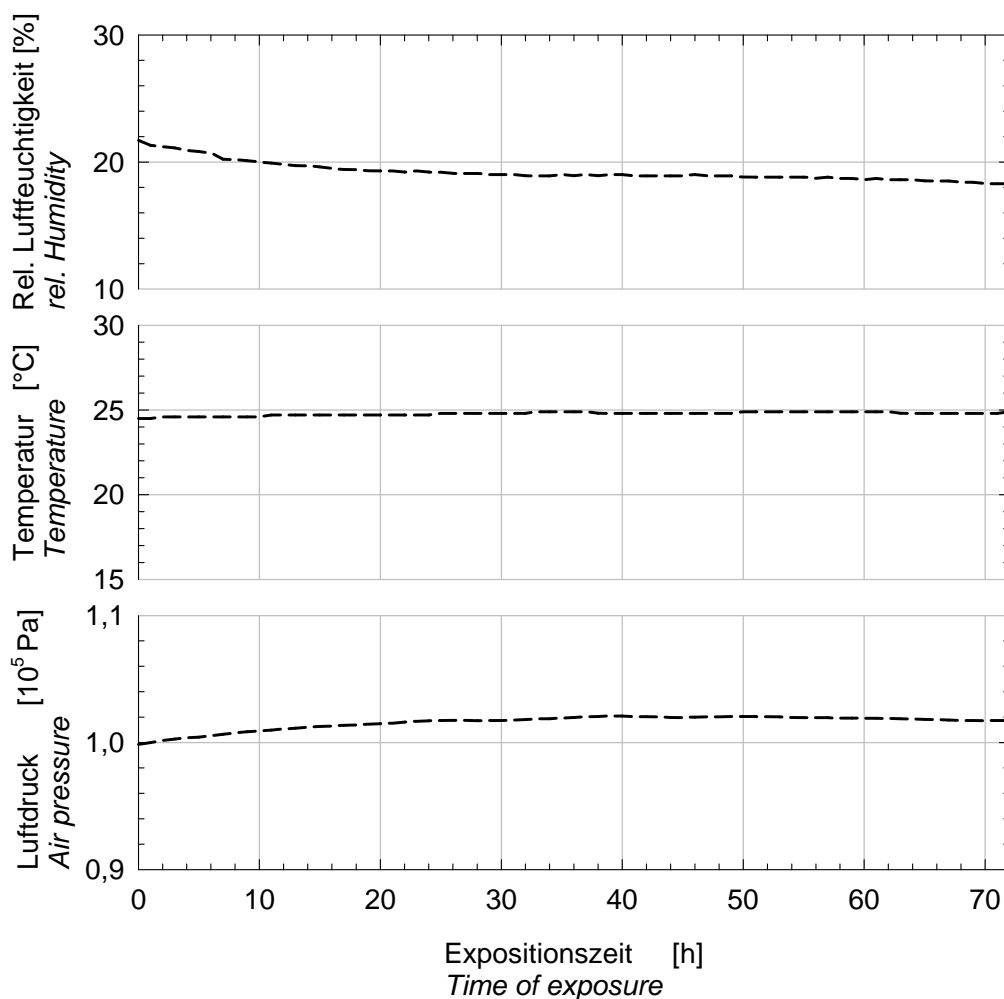


Abbildung A.5-3: Zeitlicher Verlauf der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und des Luftdruckes

Figure A.5-3: Time variation of temperature, relative humidity and air pressure

Tabelle A.5-1: Werte der Radon-Referenzatmosphären

Table A.5-1: Parameter of the radon reference atmospheres

No.	Datum/Date	t [h]	$C_{Rn,Ref}$ [Bq·m <sup>-3</sup> ]	U [%]	r.H. [%]	T [°C]	p [hPa]	F	$f_p$
1	01.03. – 03.03.2010	48	2817	7	20	25	1014	0,6	0,08
2	01.03. – 04.03.2010	72	2770	7	19	25	1016	0,6	0,08

Die Spalte No. gibt die Radon-Referenzatmosphäre an. 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-Aktivitätskonzentration während der Expositionszeit t. U ist die erweiterte relative Messunsicherheit, 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. Sie wurde gemäß DKD-3 [8] und GUM [9] ermittelt. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphären sind die Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit r.H., der Temperatur T, des Luftdruckes p, des Gleichgewichtsfaktors von Radon bezüglich seiner kurzlebigen Radon-Zerfallsprodukte F und der nicht an Aerosole angelagerte Anteil der kurzlebigen

Radon-Zerfallsprodukte (freie Anteil)  $f_p$  angegeben. Für alle Expositionen von Messgeräten mit Aktivkohle betrug die mittlere Strömungsgeschwindigkeit während der Prüfungen ca.  $12 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  und der Turbulenzgrad 0,8.

*The No. row indicates the reference atmosphere. In the Date row the exposure interval is given.  $C_{Rn,Ref}$  is the mean activity concentration of radon-222 during the exposure time  $t$ .  $U$  is the expanded relative uncertainty of radon-222 activity concentration resulting from standard uncertainty of the measurement multiplied by a factor  $k = 2$  (95% confidence interval). The expanded relative uncertainty has been acquired in accordance to DKD-3 [8] and GUM [9]. Additionally mean values of relative humidity (r.H.), temperature (T), air pressure (p), equilibrium factor (F) of radon to its short-lived decay products and the unattached fraction of the short-lived decay products ( $f_p$ ) are given. During all tests of measuring instruments using activated charcoal the air flow velocities have been in the range of  $12 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  and the turbulence rates in the range of 0.8.*

**A.6 Ergebnisse der Vergleichsprüfung: Anzeigewerte der nichtexponierten Messgeräte mit Festkörperspur- und Elektretdetektoren (Transport- und Lagerungseffekte)**  
*Results of the intercomparison: Indication of non-exposed instruments using solid state nuclear track detectors and electrets (influences of transfer and storage)*

		<b>Messwert</b> <i>Indication of instrument</i>		Bemerkung <i>Remarks</i>
Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräteanzahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	Standardabweichung <i>Standard deviation</i> [%]	
A2-1	7	12,3	48,3	
A2-2	7	15,1	57,0	
A6	7	68,7	53,2	
B1	7	14,0	67,6	
B2	7	4,9	148,7	
B4	7	22,2	17,3	
B5	7	52,2	62,8	
C1	7	39,9	264,6	
D1	7	21,0	100,9	
G1	6	29,0	177,1	
G2	6	754,3	196,5	
G5	6	268,3	33,6	
G6	6	14,3	5,7	
L1	7	21,7	29,3	
N1	7	23,4	33,0	
N3-1	7	13,0	49,9	
N3-2	7	9,0	48,9	
O1	7	16,7	42,7	
P1	7	7,0	28,6	
R2	7	74,4	11,0	
S1	7	50,4	216,2	
T1	7	10,3	60,3	



		<b>Messwert</b> <i>Indication of instrument</i>		
Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräteanzahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	Standardabweichung <i>Standard deviation</i> [%]	
U1	7	99,4	6,1	
V1	7	69,9	24,3	
V2	7	45,9	19,4	
W1	7	5,1	74,8	
X1	7	55,9	5,1	

Erläuterungen zu A.6:

Die Messwerte der Radonmessgeräte wurden der jeweiligen Transitgruppe zugeordnet. Die Transitgruppe umfasst die Messgeräte, welche den gleichen Transport- und Lagerungsbedingungen ausgesetzt waren wie die Messgeräte der Expositionsgruppen, jedoch nicht in den Referenzatmosphären exponiert wurden. Für jede Transitgruppe wurden Mittelwert und Standardabweichung der von den Messstellen ermittelten Radonexpositionen berechnet und gerundet angegeben.

Remarks to A.6:

The indications of the tested radon instruments have been assigned to the transit group. The transit group comprises instruments which have been transported and stored under the same conditions as all others, but not exposed in reference atmospheres. For each group mean value and standard deviation were calculated and indicated rounded.

**A.7 Ergebnisse der Vergleichsprüfung: Messgeräte mit Festkörperspur- und Elektretdetektoren**  
*Results of the intercomparison: Measuring instruments using solid state nuclear track detectors and electrets*

			<b>Messwert</b> <i>Indication of instrument</i>		<b>Vergleich mit Referenzwerten</b> <i>Comparison to reference values</i>			
Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgerätezahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert	Standardabweichung	Nettoexposition <i>Net exposure</i> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	Referenzwert <i>Reference value</i> <b>P<sub>Rn,Ref</sub></b> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	rel. Messabweichung <i>Relative error</i> [%]	
			<i>Mean value</i> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	<i>Standard deviation</i> [%]				
1	A2-1	7	257,3	16,3	245,0	<b>234</b>	4,7	
	A2-2	7	259,3	16,4	244,1		4,3	
	A6	7	287,4	8,4	218,7		-6,5	
	B1	7	214,1	9,9	200,1		-14,5	
	B2	7	231,4	5,6	226,6		-3,2	
	B4	7	251,9	10,3	229,7		-1,8	
	B5	7	280,8	19,2	228,6		-2,3	
	C1	7	270,9	8,0	231,0		-1,3	
	D1	7	227,9	10,0	206,9		-11,6	
	G1	6	291,7	6,8	262,7		12,3	
	G2	6	562,8	77,1	-191,5		-181,8	
	G5	6	617,0	27,8	348,7		49,0	
	G6	6	240,5	3,5	226,2		-3,3	
	L1	7	249,9	8,0	228,1		-2,5	
	N1	7	257,4	8,2	234,0		0,0	
	N3-1	0	nicht exponiert / <i>not exposed</i>					
	N3-2	0	nicht exponiert / <i>not exposed</i>					
	O1	7	207,6	9,5	190,9		-18,4	
	P1	7	175,6	3,6	168,6		-28,0	
	R2	7	305,4	14,8	231,0		-1,3	
S1	7	248,4	44,6	198,0	-15,4			
T1	7	222,6	6,2	212,3	-9,3			
U1	7	331,7	2,5	232,3	-0,7			

			<b>Messwert</b> <i>Indication of instrument</i>		<b>Vergleich mit Referenzwerten</b> <i>Comparison to reference values</i>			
Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgerätezahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert	Standardabweichung	Nettoexposition <i>Net exposure</i> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	Referenzwert <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	rel. Messabweichung <i>Relative error</i> [%]	
			<i>Mean value</i> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	<i>Standard deviation</i> [%]				
1	V1	7	365,1	15,0	295,3	234	26,2	
	V2	7	283,7	12,2	237,9		1,6	
	W1	7	254,9	11,5	249,7		6,7	
	X1	7	322,0	8,3	266,1		13,7	
2	A2-1	7	1260,3	12,6	1248	1224	2,0	
	A2-2	7	1192,3	7,2	1177,1		-3,8	
	A6	7	1130,7	6,8	1062,0		-13,2	
	B1	7	1179,3	3,2	1165,3		-4,8	
	B2	7	1268,3	5,1	1263,4		3,2	
	B4	7	1216,5	5,2	1194,2		-2,4	
	B5	7	1281,6	5,4	1229,4		0,4	
	C1	7	1171,3	11,3	1131,4		-7,6	
	D1	7	1254,3	3,0	1233,3		0,8	
	G1	0	nicht exponiert / <i>not exposed</i>					
	G2	0	nicht exponiert / <i>not exposed</i>					
	G5	0	nicht exponiert / <i>not exposed</i>					
	G6	0	nicht exponiert / <i>not exposed</i>					
	L1	7	1256,3	7,7	1234,6		0,9	
	N1	7	1323,4	3,8	1300,0		6,2	
	N3-1	0	nicht exponiert / <i>not exposed</i>					
	N3-2	0	nicht exponiert / <i>not exposed</i>					
	O1	7	1078,0	11,0	1061,3		-13,3	
	P1	7	922,3	1,1	915,3		-25,2	
	R2	7	1374,9	6,5	1300,4		6,2	
S1	7	1431,6	12,9	1381,1	12,8			
T1	7	1185,9	3,2	1175,6	-4,0			

			<b>Messwert</b> <i>Indication of instrument</i>		<b>Vergleich mit Referenzwerten</b> <i>Comparison to reference values</i>		
Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgerätezahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert	Standardabweichung	Nettoexposition <i>Net exposure</i> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	Referenzwert <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	rel. Messabweichung <i>Relative error</i> [%]
			<i>Mean value</i> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	<i>Standard deviation</i> [%]			
2	U1	7	1333,1	1,4	1233,7	1224	0,8
	V1	7	1332,6	14,6	1262,7		3,2
	V2	7	1342,9	6,9	1297,0		6,0
	W1	7	1501,6	15,9	1496,4		22,3
	X1	7	1244,6	9,0	1188,7		-2,9
3	A2-1	7	1305,6	9,7	1293,3	1330	-2,8
	A2-2	7	1446,4	14,0	1431,3		7,6
	A6	7	1309,0	4,6	1240,3		-6,7
	B1	7	1312,0	2,9	1298,0		-2,4
	B2	7	1372,4	6,0	1367,6		2,8
	B4	7	1386,7	9,9	1364,5		2,6
	B5	7	1359,3	5,9	1307,0		-1,7
	C1	7	1313,7	13,7	1273,9		-4,2
	D1	7	1341,4	1,9	1320,4		-0,7
	G1	6	1496,7	5,4	1467,7		10,4
	G2	6	1684,5	19,4	930,2		-30,1
	G5	6	1595,0	15,3	1326,7		-0,3
	G6	0	nicht exponiert / <i>not exposed</i>				
	L1	7	1386,6	7,1	1364,9		2,6
	N1	7	1397,0	4,0	1373,6		3,3
	N3-1	0	nicht exponiert / <i>not exposed</i>				
	N3-2	0	nicht exponiert / <i>not exposed</i>				
	O1	7	1227,0	8,1	1210,3		-9,0
	P1	7	996,3	2,6	989,3		-25,6
	R2	7	1437,3	3,9	1362,9		2,5
S1	7	1423,0	1,5	1327,6	3,2		

			<b>Messwert</b> <i>Indication of instrument</i>		<b>Vergleich mit Referenzwerten</b> <i>Comparison to reference values</i>			
Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgerätezahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert	Standardabweichung	Nettoexposition <i>Net exposure</i> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	Referenzwert <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	rel. Messabweichung <i>Relative error</i> [%]	
			<i>Mean value</i> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	<i>Standard deviation</i> [%]				
3	T1	7	1248,7	2,2	1238,4	1330	-6,9	
	U1	7	1431,6	2,4	1332,1		0,2	
	V1	7	1483,6	6,8	1413,7		6,3	
	V2	7	1441,0	10,1	1395,1		4,9	
	W1	7	1724,1	6,8	1719,0		29,2	
	X1	7	1337,3	8,1	1281,4		-3,7	
4	A2-1	7	2708,7	6,3	2696,4	3023	-10,8	
	A2-2	7	3085,3	12,4	3070,1		1,6	
	A6	7	2370,6	6,6	2301,9		-23,9	
	B1	7	3133,3	2,0	3119,3		3,2	
	B2	7	3240,0	2,7	3235,1		7,0	
	B4	7	3373,7	14,7	3351,4		10,9	
	B5	7	3382,0	3,2	3329,8		10,1	
	C1	7	2560,3	8,0	2520,4		-16,6	
	D1	7	2931,0	1,7	2910,0		-3,7	
	G1	6	3273,2	5,3	3244,2		7,3	
	G2	6	3306,5	3,8	2552,2		-15,6	
	G5	6	3314,0	7,6	3045,7		0,7	
	G6	0	nicht exponiert / <i>not exposed</i>					
	L1	7	2989,6	4,6	2967,9		-1,8	
	N1	7	3134,1	4,4	3110,7		2,9	
	N3-1	7	2502,0	6,4	2489,0		-17,7	
	N3-2	7	2484,1	5,3	2475,1		-18,1	
	O1	7	2822,0	8,7	2805,3		-7,2	
P1	7	2528,6	1,7	2521,6	-16,6			
R2	7	3138,9	8,1	3064,4	1,4			

			<b>Messwert</b> <i>Indication of instrument</i>		<b>Vergleich mit Referenzwerten</b> <i>Comparison to reference values</i>		
Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgerätezahl <i>Number of instruments</i>	Mittelwert	Standardabweichung	Nettoexposition <i>Net exposure</i> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	Referenzwert <i>Reference value</i> $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	rel. Messabweichung <i>Relative error</i> [%]
			<i>Mean value</i> [kBq·h·m <sup>-3</sup> ]	<i>Standard deviation</i> [%]			
4	S1	7	3371,4	4,1	3321,0	3023	9,9
	T1	7	2852,1	2,2	2841,9		-6,0
	U1	7	3183,4	1,0	3084,0		2,0
	V1	7	3174,9	4,9	3105,0		2,7
	V2	7	3234,7	4,1	3188,9		5,5
	W1	7	3632,0	8,4	3626,9		20,0
	X1	7	3055,1	2,4	2999,3		-0,8

Erläuterungen zu A.7:

Die Messwerte der Radonmessgeräte wurden den jeweiligen Expositionsgruppen zugeordnet. Für jede Expositionsgruppe wurden Mittelwert und Standardabweichung der von den Messstellen ermittelten Radonexpositionen (Messgeräteanzeigen) berechnet und angegeben. Die Nettoexposition ist die Differenz aus dem Mittelwert der Messwerte der jeweiligen Expositionsgruppe und dem Mittelwert der Transitgruppe. Die Referenzexposition ist die Radonexposition, der die Radonmessgeräte in der Referenzatmosphäre ausgesetzt waren. Sie ist auf das nationale Normal zurückgeführt und wird als der richtige Wert der Radonexposition betrachtet. Die relative Messabweichung ist die Differenz aus der Nettoexposition und der Referenzexposition bezogen auf die Referenzexposition (Angabe in Prozent). Mittelwert, Standardabweichung, Nettoexposition und relative Messabweichung werden gerundet angegeben.

Remarks to A.7:

The indications of the radon instruments tested, have been assigned to the exposure groups. For each group mean value and standard deviation were calculated. The net exposure is the difference between the mean values of the exposure group and the transit group. The reference exposure is the exposure to radon which instruments have received. The reference exposure is traced back to national standard and is considered as the conventionally true value used for the exposure group. The relative error is the difference between net exposure and reference exposure related to reference exposure (given in percent). Mean value, standard deviation, net exposure, and relative error are indicated rounded.

**A.8 Ergebnisse der Vergleichsprüfung: Messgeräte mit Aktivkohle**  
*Results of intercomparison: Measuring instruments using activated charcoal*

				<b>Messgeräteanzeige</b> <i>Indication of instrument</i>		<b>Vergleich mit Referenzwerten</b> <i>Comparison to reference values</i>	
Expositionszeit <i>Time of exposure</i>	Expositionsgruppe <i>Exposure group</i>	Prüfcode <i>Test code</i>	Messgeräte <i>Instruments</i>	Mittelwert <i>Mean value</i> [Bq·m <sup>-3</sup> ]	Standard- abweichung <i>Standard deviation</i> [%]	Referenzwert <i>Reference value</i> <b>C<sub>Rn,Ref</sub></b> [Bq·m <sup>-3</sup> ]	rel. Mess- abweichung <i>Relative error</i> [%]
48 h	1	cA1	8	143	12,8	<b>2817</b>	-94,9
		cB2	8	2489	2,2		-11,6
		cB3	8	2536	3,6		-10,0
72 h	2	cA2	8	2549	7,9	<b>2770</b>	-8,0
		cB4	8	2975	1,6		7,4
		cB5	8	2483	1,9		-10,4

Erläuterungen zu A.8:

Die Anzeigewerte der Radonmessgeräte wurden den jeweiligen Expositionsgruppen zugeordnet. Für jede Expositionsgruppe wurden Mittelwert und Standardabweichung der von den Messstellen ermittelten Radon-222-Aktivitätskonzentrationen (Messgeräteanzeigen) berechnet und angegeben. Der Referenzwert der Radon-222-Aktivitätskonzentrationen ist die mittlere Radon-222-Aktivitätskonzentration, der die Radonmessgeräte in der Referenzatmosphäre ausgesetzt waren. Sie ist auf das nationale Normal zurückgeführt und wird als der richtige Wert der Radon-222-Aktivitätskonzentration betrachtet. Die relative Messabweichung ist die Differenz aus dem Mittelwert der Messgeräteanzeige der Expositionsgruppe und dem Referenzwert bezogen auf den Referenzwert (Angabe in Prozent). Mittelwert, Standardabweichung und relative Messabweichung werden gerundet angegeben,

Remarks to A.8:

The indications of the radon instruments tested, have been assigned to the exposure groups. For each group mean value and standard deviation were calculated. The reference value of the radon activity concentration is the mean value during the time of exposure. The radon activity concentration is traced back to 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 value related to reference value (given in percent). Mean value, standard deviation, and relative error are indicated rounded.





## **Bisher erschienene BfS-SW-Berichte**

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

### **BfS-IAR-1/90**

*Zähringer, M.; Bieringer, P.; Kromer, B.; Sartorius, H.; Weiss, W.*  
Entwicklung, Erprobung und Einsatz von Schnellmeßmethoden zur nuklidspezifischen Bestimmung atmosphärischer Kontaminationen.  
Freiburg, August 1990

### **BfS-IAR-2/97**

*Zähringer, M.; Sempau, J.*  
Calibration Factors for Dose Rate Probes in Environmental Monitoring Networks Obtained from Monte-Carlo-Simulations  
Freiburg, Februar 1997

### **BfS-IAR-3/98**

*Weiss, W.; Kelly, G.N.; French, S.*  
Decision Support for Emergency Response - How Best Can it be Improved?  
Proceedings of a BfS/EC Workshop Freiburg, Germany, December 8-10, 1997.  
Freiburg, September 1998

### **BfS-AR-1/01**

*Bieringer, J. u. P.*  
Abschlussbericht. In-situ Übung 2000. 16. und 17. Mai 2000.  
Länder / BfS in Augsburg und die DWD-Stationen.  
Freiburg, März 2001

### **BfS-ST-1/92**

Die Auswirkungen des Unfalls im sowjetischen Kernkraftwerk Tschernobyl auf das Territorium der ehemaligen DDR im Jahre 1989.  
Berlin, August 1992

### **BfS-ST-2/92**

Umweltradioaktivität in den ostdeutschen Ländern.  
Jahresbericht 1990.  
Berlin, September 1992

### **BfS-ST-3/92**

2. Biophysikalische Arbeitstagung. Schlema, 11. bis 13. September 1991.  
Berlin, November 1992

### **BfS-ST-4/93**

*Teil 1: M. Beyermann, B. Höfs, Teil 2: I. Gans, M. Beyermann, M. Lönnig*  
Teil 1: Radonmessungen in Gebäuden mit Aktivkohledetektoren und Flüssigszintillations-Spektrometrie Teil 2: Verfahren zur Schnellbestimmung der Aktivitätskonzentration von Radon-222 in der Luft von Gebäuden - Screeningmessung 1993  
Berlin, Juli 1993

### **BfS-ST-5/93**

*Sarenio, O.; Will, W.*  
Qualitätssicherung der Dosisleistungsmessungen im Grundpegelbereich.  
Berlin, September 1993

### **BfS-ST-6/95**

*Schmidt, V.; Feddersen, Ch.; Ullmann, W.*  
Untersuchungen zur Aussagefähigkeit von passiven Meßsystemen zur Bestimmung der Strahlenexposition durch Radon und kurzlebige Radonfolgeprodukte.  
Berlin, Juni 1995

## **Bisher erschienene BfS-SW-Berichte**

**(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)**

### **BfS-ST-7/95**

*Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.*

Materialienband 1993 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1993 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, August 1995

### **BfS-ST-8/96**

*Kraus, W.*

Strahlenexposition und Strahlenschutzdosimetrie

Berlin, April 1996

### **BfS-St-9/96**

Umweltradioaktivität im Ostthüringer Bergbaugesamt.

Berlin, Juli 1996

### **BfS-ST-10/96**

*Hamel, P.; Lehmann, R.; Kube, G.; Couball, B.; Leißring, B.*

Modellhafte Sanierung radonbelasteter Wohnungen in Schneeberg.

Berlin, Oktober 1996

### **BfS-ST-11/97**

*Beyermann, M.; Naumann, M.; Sarenio, O.; Schkade U.-K.; Will, W.*

Erfahrungen zur Qualitätsüberwachung bei der Ermittlung der Umweltradioaktivität im Rahmen der Meßprogramme zum Projekt "Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkaster)".

Berlin, Februar 1997

### **BfS-ST-12/97**

*Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.*

Materialienband 1994 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen. Ergänzung zum Jahresbericht 1994 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, Februar 1997

### **BfS-ST-13/97**

*Will, W.; Borsdorf, K.-H.; Mielcarek, J.; Malinowski, D.; Sarenio, O.*

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in den östlichen Bundesländern

Deutschlands. Berlin, August 1997

### **BfS-ST-14/97**

*Will, W.; Borsdorf, K.-H.*

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in Deutschland.

*Lehmann, R.; Kemski, J.; Siehl, A.*

Radonkonzentration in Wohngebäuden der Bundesrepublik Deutschland.

Berlin, November 1997

### **BfS-ST-15/98**

*Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.*

Materialienband 1995 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1995 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, März 1998

## **Bisher erschienene BfS-SW-Berichte**

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

### **BfS-ST-16/99**

*Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.*

Materialienband 1996 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1996 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, März 1999

### **BfS-AS-1/00**

*Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.*

Materialienband 1997 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1997 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, Februar 2000

### **BfS-AS-2/00**

*Jun, J.-S.<sup>1)</sup>; Guggenberger, R.; Dalheimer, A.*

<sup>1)</sup> *Department of Physics, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea*

A Comparative Study on the CL Dosimetric Characteristics of German and Korean Sugar and Sorbite.

Berlin, Oktober 2000

## **Ab 1. Februar 2003 SW**

### **BfS-SW-01/03**

*Will, W.; Mielcarek, J.; Schkade, U.-K.*

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in ausgewählten Regionen Deutschlands.

Salzgitter, Juni 2003

### **BfS-SW-02/03**

*Bittner, S.; Braun, H.; H.-W. Dusemund, H.-W.;*

*Gregor, J.; Raguse, R.; Voß, W.*

Einsatz des Entscheidungshilfesystems RODOS in Deutschland

Salzgitter, Juli 2003

### **BfS-SW-03/06**

*Beck, Thomas; Ettenhuber, E.*

Überwachung von Strahlenexpositionen bei Arbeiten

Leitfaden für die Umsetzung der Regelung nach Teil 3 Kapitel 1 und 2 StrlSchV

Salzgitter, März 2006

### **BfS-SW-04/09**

urn:nbn:de:0221-2009042344

*Beck, Thomas*

Spezielle Anforderungen an Geräte zur Bestimmung der Strahlenexposition durch Radon- und

Radonzerfallsprodukte

Salzgitter, April 2009

### **BfS-SW-05/09**

urn:nbn:de:0221-2009120417

*Dushe, C.; Gehrcke, K.; Kümmel, M.; Müller, S.*

Ergebnisse der Radonmessungen in der bodennahen Luft der Bergbauggebiete

Salzgitter, Dezember 2009

### **BfS-SW-06/09**

urn:nbn:de:0221-20100319945

*Beyermann, M.; Bünger, T.; Gehrcke, K.; Obrikat, D.*

Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland

Salzgitter, Dezember 2009

## **Bisher erschienene BfS-SW-Berichte**

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST-und BfS-AS-Berichte)

### **BfS-SW-07/10**

urn:nbn:de:0221-20100329966

Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter  
Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen - Bergbau)  
Salzgitter, März 2010

### **BfS-SW-08/10**

urn:nbn:de:0221-201008113016

*Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Foerster, E.; Schmidt, V.*

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition –  
Vergleichsprüfung 2010  
Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory  
Comparison 2010  
Salzgitter, November 2010



# | Verantwortung für Mensch und Umwelt |

**Kontakt:**

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333-0

Telefax: + 49 30 18333-1885

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