Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2012

Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2012

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Elisabeth Foerster

Thomas Beck

Helmut Buchröder

Joachim Döring

Volkmar Schmidt

Bundesamt für Strahlenschutz

BfS-SW-13/12

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

urn:nbn:de:0221-201209149412

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, September 2012

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2012

Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2012

Fachbereich
Strahlenschutz und Umwelt

Elisabeth Foerster

Thomas Beck

Helmut Buchröder

Joachim Döring

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[1] 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 organisational 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 website www.bfs.de/de/ion/radon/fachinfo_messung/vergleichspruefungen.html and 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 transit devices. Transit 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 concentration. In order to prepare the tests, the devices are randomly selected and grouped to exposure groups of identical size. In case of determining effects during storage and delivery, an additional group (transit group) is arranged, which will not be exposed to radon. After unpacking and preparing, the radon devices are stored in an air-conditioned room with low radon concentration (storage room) until start of the exposures. Devices of the transit group remain in the storage room for the whole time. Exposures during the storage 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.).

[1] The term "passive" means in this case that the sensor consisting of a detector housed in a chamber has 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 air-conditioned storage room 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 Radon Calibration Service Laboratory at BfS is accredited by the German Accreditation Body *Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS)* according to EN ISO/IEC 17025 for the measurands radon-222 activity concentration and potential alpha energy concentration of short-lived radon-222 decay products.

The equipment of the Radon Calibration Service Laboratory consists of two walk-in chambers (30 m³ and 11 m³) and five 0.4-m³-containers all made of stainless steel, and of supplementary technical devices (Paragraph 3.1, Figure 1). Each unit, i.e. the chambers 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/m³.

External recalibrations are carried out on the basis of standards, which can be traced back to the national standards of the German 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-m³-chamber. Measures for quality assurance are analogous to those described for the 0.4-m³-containers.

Radon activity concentration and climatic parameters 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 minimise uncertainties caused by taking radon devices in and out of the atmosphere.

Results

The results of the interlaboratory comparison are given in the attachment. Figures 2 to 5 (Paragraph 4) show 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 Raum zur Lagerung der Messgeräte 10

3.3 Exposition von Messgeräten in Radon-Referenzatmosphären 11

4 ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNGEN 12

5 LITERATUR 17

ANHANG: TABELLEN UND ABBILDUNGEN ZUR VERGLEICHSPRÜFUNG 2012
ATTACHMENT: TABLES AND FIGURES OF THE INTERLABORATORY COMPARISON 2012

A.1 MESSSTELLEN, DIE AN DEN VERGLEICHSPRÜFUNGEN 2012 TEILGENOMMEN HABEN *RADON SERVICES, PARTICIPATED IN THE INTERCOMPARISON 2012* 19

A.2 MESSGERÄTETYPEN *INSTRUMENT TYPES* 22

A.3 PARAMETER DER ATMOSPHÄRE IM LAGERRAUM *PARAMETER OF THE ATMOSPHERE IN THE STORAGE ROOM* 28

A.4 VERGLEICHSPRÜFUNG FÜR MESSGERÄTE MIT FESTKÖRPERSPUR- UND ELEKTRETDETEKTOREN *INTERCOMPARISON FOR MEASURING INSTRUMENTS USING SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTORS AND ELECTRETS* 29

A.5 VERGLEICHSPRÜFUNG FÜR MESSGERÄTE MIT AKTIVKOHLE *INTERCOMPARISON FOR MEASURING INSTRUMENTS USING ACTIVATED CHARCOAL* 31

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 TRANSIT AND STORAGE)* 34

A.7 ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNG: MESSGERÄTE MIT FESTKÖRPERSPUR- UND ELEKTRETDETEKTOREN *RESULTS OF THE INTERCOMPARISON: MEASURING INSTRUMENTS USING SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTORS AND ELECTRETS* 37

A.8 ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNG: MESSGERÄTE MIT AKTIVKOHLE *RESULTS OF INTERCOMPARISON: MEASURING INSTRUMENTS USING ACTIVATED CHARCOAL* 47

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 vor den 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[2].

1.2 Zweck der Vergleichsprüfungen

Die Vergleichsprüfungen umfassen die Organisation, Durchführung und Bewertung von Messungen der Messgrößen Radon-Aktivitätskonzentration oder Radonexposition[3], 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 Fragen der Radioaktivitätsüberwachung bei erhöhter natürlicher Radioaktivität des Bundesamtes für

---

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

[3] 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.

Strahlenschutz durchgeführt. 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 der DIN EN ISO/IEC 17043 sowie an Veröffentlichungen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) 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 bei der DAkkS unter der Nummer D-K-15063-01-00 für die Kalibrierung von Geräten zur Messung der Aktivitätskonzentration von Radon-222 und der potentiellen Alphaenergie-Konzentration 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

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

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.

Interessierte Messstellen melden sich bis zu dem in der Ankündigung genannten Termin unter Angabe des Messgerätetyps beim Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Dosimetrie und Messmethodik (SW 1.3) an. Für jeden Messgerätetyp muss eine entsprechend Tabelle 1 bestimmte Anzahl nach Vorgaben des BfS gekennzeichneter Messgeräte eingesendet werden.

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 Umgebungsäquivalentdosisleistung, 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 an die Messstelle erfolgt, wenn defekte Messgeräte festgestellt werden oder die Messgerätelieferung 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 per Zufallsprinzip 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, Versetzen in Messbereitschaft) erfolgt die kontrollierte Lagerung der Geräte in einem klimatisierten

Lagerraum mit geringer Radon-222-Aktivitätskonzentration. Die Messgeräte der Transitgruppe verbleiben bis zum Versand in diesem Lagerraum.

Für die Prüfungen werden die Messgeräte der Expositionsgruppen aus dem Lagerraum 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 kontrolliert im Lagerraum 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-Referenz-atmosphäre fest verschlossen, und den Messstellen umgehend zurückgesendet.

Vor der Auswertung durch die Messstellen, erhalten die Teilnehmer weder Informationen über die Referenzwerte der Radon-Aktivitätskonzentration bzw. Exposition noch über die Zugehörigkeit der einzelnen Geräte zu den Expositionsgruppen. Lediglich die Identifikationsnummern der Geräte der Transitgruppe werden mitgeteilt.

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 Kalibrierlaboratorium für Radon- und Radonzerfallsprodukt-Messgeräte des Bundesamtes für Strahlenschutz großvolumige Behälter aus Edelstahl mit Volumina von 0,4 m³, 11 m³ und 30 m³ zur Verfügung. Die hergestellten Referenzatmosphären sind durch ihre Radon-Aktivitätskonzentrationen sowie durch die klimatischen Parameter Temperatur, Druck und relative Luftfeuchte gekennzeichnet. In den 11 m³- und 30 m³ - Behältern können die Klimaparameter eingestellt und geregelt werden. Der 30 m³-Behälter verfügt zusätzlich über Einrichtungen zur Einstellung der Luftturbulenz und der Aerosolparameter.

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

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 Raum zur Lagerung der Messgeräte

Für die Lagerung der zu prüfenden Messgeräte vor und nach der Exposition wird ein klimatisierter Lagerraum genutzt. Die Raumluft wird im 24-Stundenbetrieb ständig durch Außenluft ersetzt. Die Überwachung der Radon-Aktivitätskonzentration sowie der klimatischen

Parameter erfolgt mittels eines Gebrauchsnormals vom Typ Alphaguard®. Zusätzlich wird 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 Lagerraums 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, die Lufttemperatur und der Luftdruck aufgeführt.

Passive Messgeräte mit Festkörperspurdetektoren oder mit Elektretdetektoren sind integrierende Messgeräte der Radon-Aktivitätskonzentration über die Expositionszeit. Ihr Anzeigewert ist direkt proportional zur 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 $kBq \cdot h \cdot m^{-3}$ und 3500 $kBq \cdot h \cdot m^{-3}$.

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 dieselben 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. 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 m^3 - Behälter durchgeführt. Damit kann die Reduzierung der Radon-Aktivitätskonzentration auf maximal 20 % begrenzt werden und die Prüfbedingungen können ausreichend stabil gehalten werden.

Die erweiterte relative Messunsicherheit ist durch die Rückführung der Radon-Aktivitätskonzentration auf das nationale Normal bestimmt und wird durch die *Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH* im Rahmen der Akkreditierung als Kalibrierlaboratorium für Radonmessgeräte vorgegeben [6], [7]. Innerhalb eines Bereiches der Radon-Aktivitätskonzentration von 50 - 1000 $Bq \cdot m^{-3}$ beträgt die erweiterte relative Messunsicherheit 12 %,oberhalb von 1000 $Bq \cdot m^{-3}$ 7 % und oberhalb von 10000 $Bq \cdot m^{-3}$ 6 %. Diese Werte der erweiterten relativen Messunsicherheit werden auch für die Radonexposition verwendet, da die Messunsicherheiten der Expositionszeiten vernachlässigbar sind.

4 ERGEBNISSE DER VERGLEICHSPRÜFUNGEN

An der Vergleichsprüfung nahmen 40 Messstellen mit insgesamt 48 Messgerätesystemen teil. Die Teilnehmer und die Spezifikationen der Messsysteme und Prüfcodes sind im Anhang in den Tabellen A1 und A2 aufgelistet. Die Messwerte wurden für jedes Messgerätesystem pro Expositionsgruppe ausgewertet. Für jede Expositionsgruppe wurden jeweils arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung und relative Messabweichung berechnet. Die relative Messabweichung ist die Differenz aus dem Mittelwert der Einzelmesswerte des Messgerätesystems und dem Referenzwert bezogen auf den Referenzwert (Angabe in Prozent). Die Ergebnisse werden für jedes Messgerätesystem im Anhang tabellarisch dargestellt. Für Messgerätesysteme, die Kernspurdetektoren oder Elektretdetektoren zum Strahlungsnachweis enthalten, sind die Ergebnisse in den Abbildungen 2 bis 5 mittels Boxplots grafisch dargestellt.

Bei Beherrschung der messtechnischen Prozesse und Anwendung eines angemessenen Qualitätsmanagementsystems durch die Messstelle kann davon ausgegangen werden, dass der richtige Wert der Radon-Exposition durch eine Einzelmessung mit passiven Messgeräten oberhalb von 3000 $kBq \cdot h \cdot m^{-3}$ um weniger als 20 % und unterhalb von 650 $kBq \cdot h \cdot m^{-3}$ um weniger als das 1,5-fache über- bzw. unterschätzt wird.

Wenn mehr als ein Einzelmesswert der Messgeräte eines Prüfcodes diese Kriterien nicht erfüllt, sollten die jeweiligen Messstellen 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 bezüglich der Referenzexposition der Expositionsgruppe 1, dargestellt als Boxplots [8], Prüfcode siehe Anhang; Innerhalb der Boxen liegen 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an.

Figure 2: Indication of the instruments using nuclear track detectors or electrets relative to the reference exposure of exposure group 1, given as box plots* [8]*, Test code see attachment; Within the boxes are 50% of the results. The black line within the box indicates the median value.

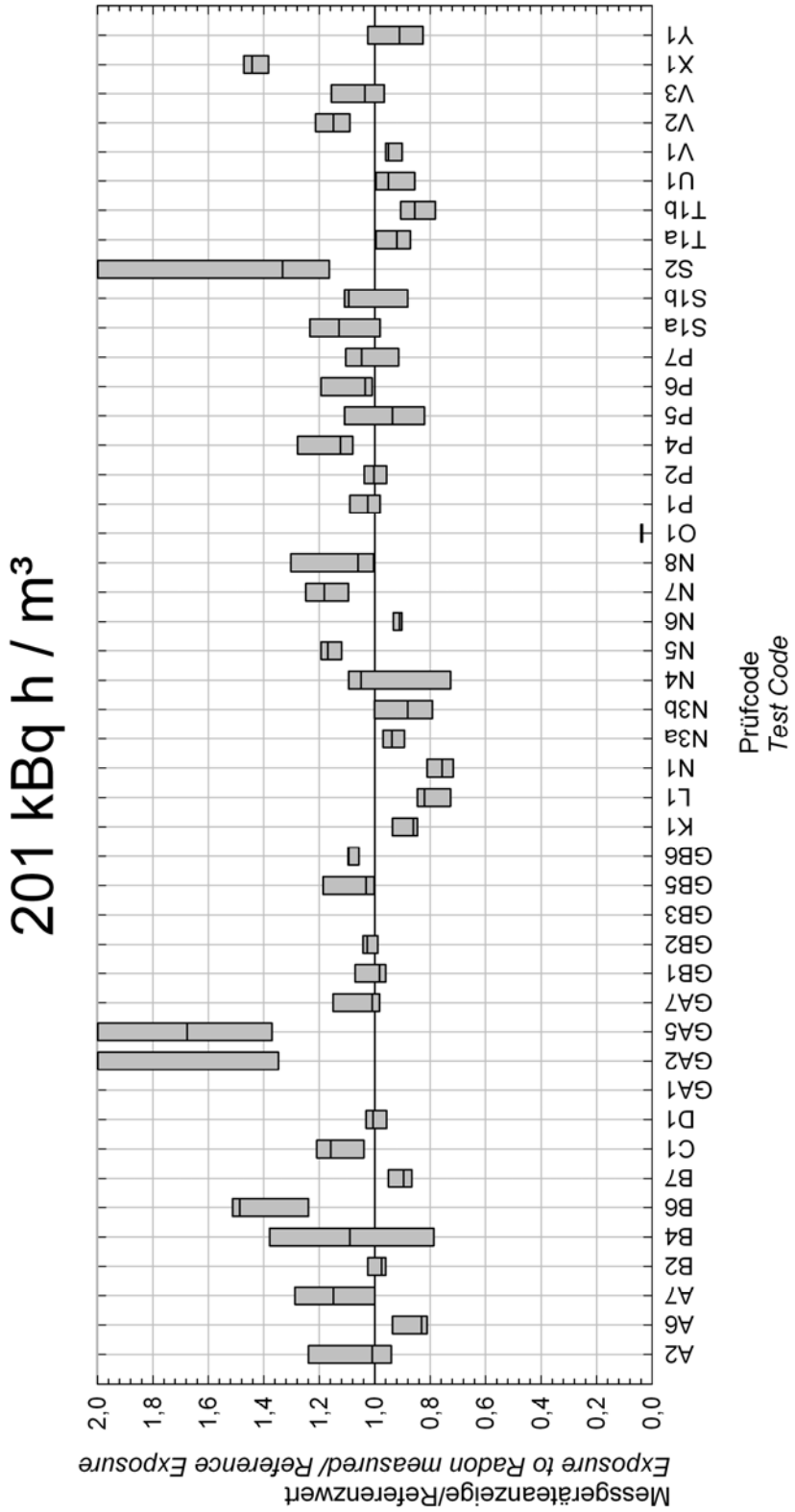


Abbildung 3: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren bzw. Elektretdetektoren bezüglich der Referenzexposition der Expositionsgruppe 2, dargestellt als Boxplots [8], Prüfcode siehe Anhang; Innerhalb der Boxen liegen 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an.

Figure 3: Indication of the instruments using nuclear track detectors or electrets relative to the reference exposure of exposure group 2, given as box plots [8]***, Test code see attachment; Within the boxes are 50% of the results. The black line within the box indicates the median value***

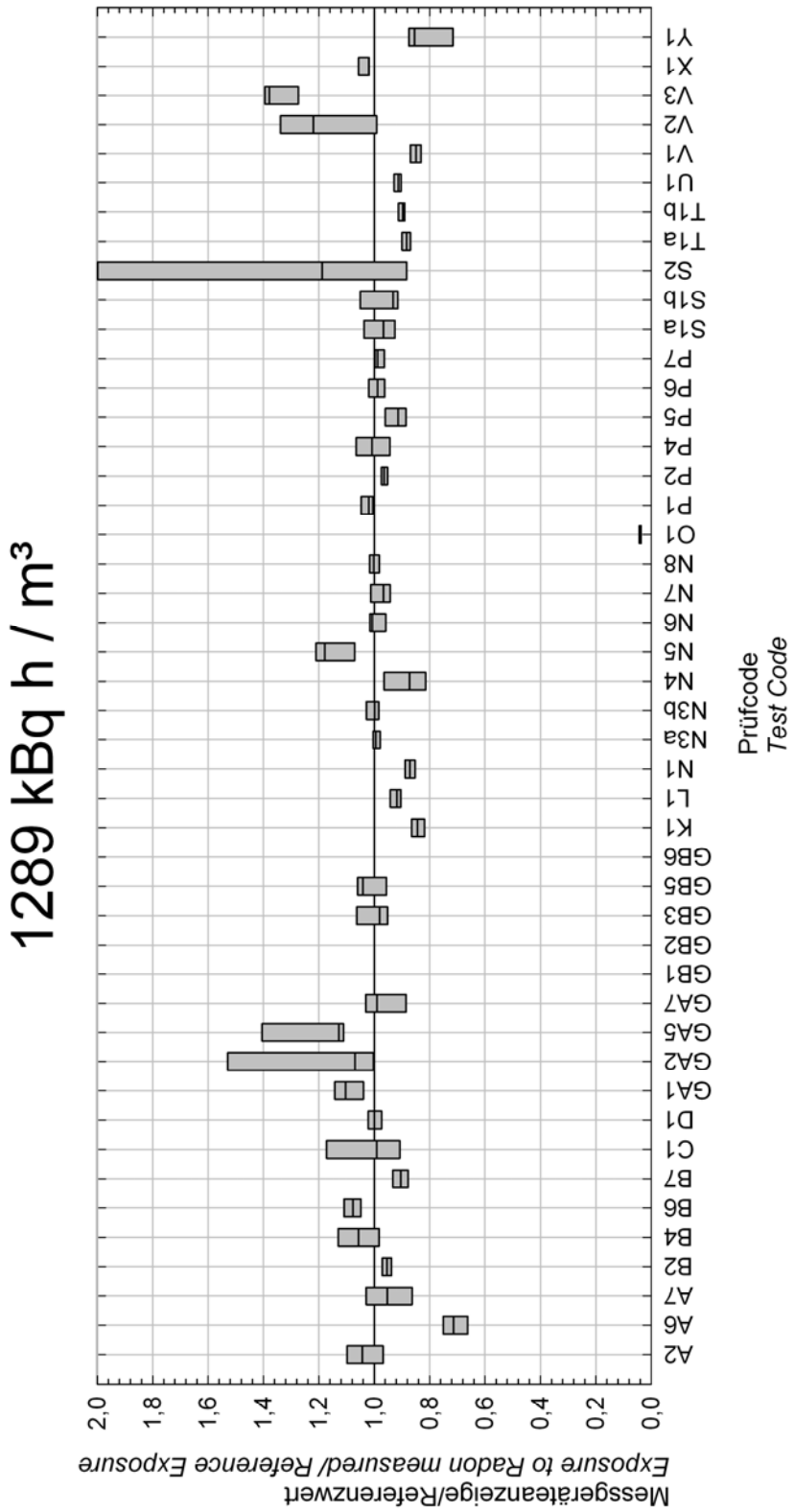


Abbildung 4: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren bzw. Elektretdetektoren bezüglich der Referenzexposition der Expositionsgruppe 3, dargestellt als Boxplots [8], Prüfcode siehe Anhang; Innerhalb der Boxen liegen 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an.

Figure 4: Indication of the instruments using nuclear track detectors or electrets relative to the reference exposure of exposure group 3, given as box plots [8]***, Test code see attachment; Within the boxes are 50% of the results. The black line within the box indicates the median value***

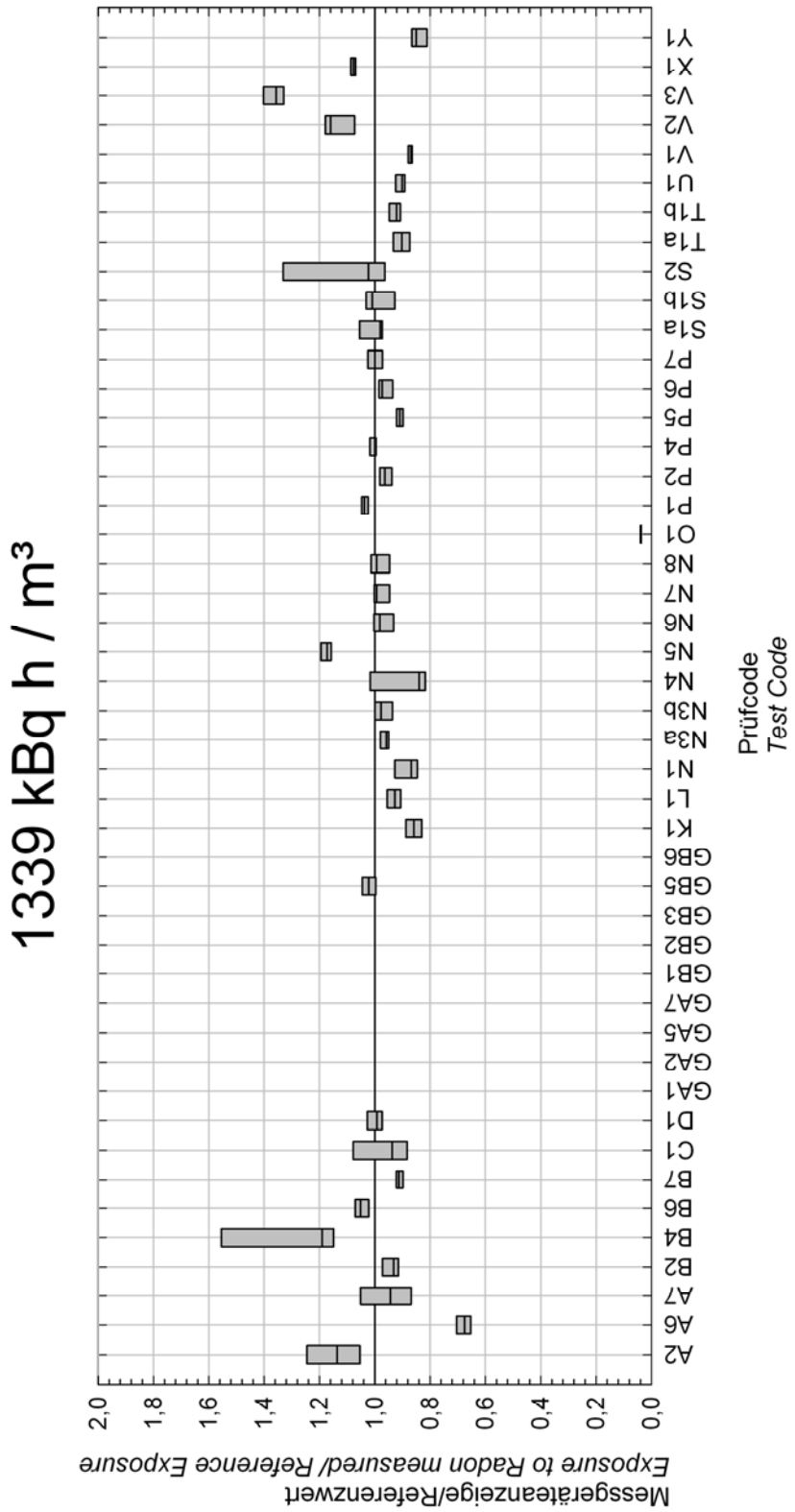
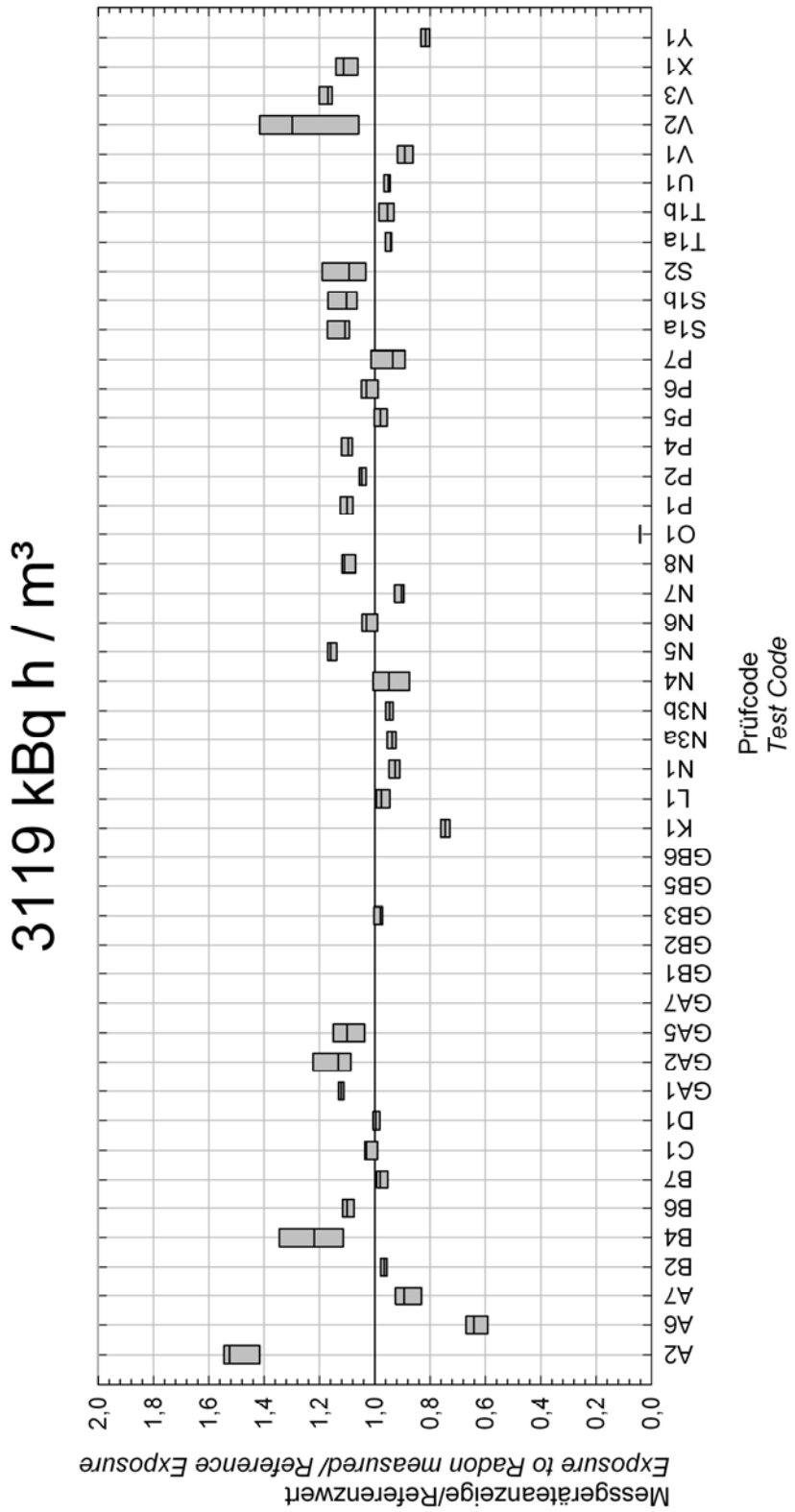


Abbildung 5: Relative Messabweichung der Messgeräte mit Kernspurdetektoren bzw. Elektretdetektoren bezüglich der Referenzexposition der Expositionsgruppe 4, dargestellt als Boxplots [8], Prüfcode siehe Anhang; Innerhalb der Boxen liegen 50 % der Ergebnisse. Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Medianwert an.

Figure 5: Indication of the instruments using nuclear track detectors or electrets relative to the reference exposure of exposure group 4, given as box plots [8]***, Test code see attachment; Within the boxes are 50% of the results. The black line within the box indicates the median value***



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 (BGBl. III 751-1-8) zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 7 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)

[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 Dosimetrie und Messmethodik

[7] DAkkS-DKD-3: Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen. Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH, Braunschweig 2010 (*deutsche Übersetzung der Publikation EAL-R2 „Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration“)*

[8] Hartung, J.: Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. R. Oldenburg Verlag GmbH, München 1986

ANHANG: TABELLEN UND ABBILDUNGEN ZUR VERGLEICHSPRÜFUNG 2012

ATTACHMENT: TABLES AND FIGURES OF THE INTERLABORATORY COMPARISON 2012

A.1 Messstellen, die an den Vergleichsprüfungen 2012 teilgenommen haben
Radon Services, participated in the intercomparison 2012

Messstelle *Radon service*	**Land** *Country*	**Adresse** *Address*
A.R.P.A.CAL. Dipartimento Provinciale di Catanzaro Laboratorio Fisico "Ettore Majorana"	Italien *Italy*	Via Lungomare Giovino 88063 Catanzaro
ALTRAC Radon-Messtechnik	Deutschland *Germany*	Dorothea-Viehmann-Straße 28 12524 Berlin
ARPA Lombardia Dipartimento Bergamo	Italien *Italy*	Via Clara Maffei, 4 24121 Bergamo
ARPA Lombardia Dipartimento di Milano	Italien *Italy*	Via Juvara, 22 20129 Milano (MI)
ARPA Piemonte Dipartimento Radiazioni	Italien *Italy*	Via Jervis, 30 10015 Ivrea (TO)
ARPA Valle di Aosta A.O. Radioattività Ambientale	Italien *Italy*	Loc. Grande Charrière, 44 11020 Saint-Christophe (Aosta)
ARPAT Environmental Protection Agency Tuscani Region	Italien *Italy*	Via Ponte Allemosse, 211 50144 Firenza
Asse GmbH	Deutschland *Germany*	Am Walde 2 38319 Remmlingen
Bundesamt für Strahlenschutz	Deutschland *Germany*	Köpenicker Allee 120-130 10318 Berlin
Ministère de la Santé Direction de la Santé Division de la Radioprotection	Luxemburg *Luxembourg*	Villa Louvigny, Allée Marconi 2120 Luxembourg
ENEA IRP-DOS Servizio Valutazione Radon	Italien *Italy*	Via dei Colli, 16 40136 Bologna
FGM Ambiente	Italien *Italy*	Via Torino 3 26831 Casalmaiocco (LODI)
Health Protection Agency CRCE	Großbritannien *United Kingdom*	Chilton, Didcot OX11ORQ Oxfordshire
Helmholtz Zentrum München Auswertungsstelle	Deutschland *Germany*	Otto-Hahn-Ring 6 81739 München

Messstelle *Radon service*	**Land** *Country*	**Adresse** *Address*
Helmholtz Zentrum München Institut für Strahlenschutz AG Experimentelle Radioökologie	Deutschland *Germany*	Ingolstädter Landstraße 1 85764 Neuherberg
Independia Control AB	Schweden *Sweden*	Sisjö Kullegata 8 42132 Västra Frölunda
Institut za Medicinu Rada Srbije “Dr. Dragomir Karajović“ (Serbian Institute of Occupational Health)	Serbien *Serbia*	Deligradska 29 11000 Beograd
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Sicherheitsmanagement Radonlabor	Deutschland *Germany*	Hermann-von-Helmholtz-Platz 1 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Keskkonnaamet Environmental Board Radiation Safety Department	Estland *Estonia*	Kopli 76 10146 Tallinn
L.B. Servizi per le Aziende SRL	Italien *Italy*	Corso Dante Aligheri, 59 70038 Terlizzi (BA)
Laboratorio Radiazioni Ionizzanti Radioattivitá Naturale (INAIL)	Italien *Italy*	Via Fontana Candida, 1 00040 Monteporzio Catone (RM)
Laborad SRL	Italien *Italy*	Via Etiopia, 15Via Etiopia, 1500044 Frascati (RM)
Dipartimento di Scienze Ambientali Seconda Università degli studi di Napoli	Italien *Italy*	Via Vivaldi 43 81100 Caserta
LABTOX SA	Schweiz *Switzerland*	Rue des Prés 90 2503 Biel / Bienne
Landauer Nordic AB	Schweden *Sweden*	P.O.Box 6522 75138 Uppsala Vertriebspartner für Deutschland: Radon Analytics Alte Heerstraße 1 53121 Bonn Deutschland
Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz	Deutschland *Germany*	Kaiser-Friedrich-Straße 7 55116 Mainz
Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen	Deutschland *Germany*	Marsbruchstraße 186 44287 Dortmund
MI.AM SRL	Italien *Italy*	Via de Amicis, 5 29029 Fabiano di Rivergaro (PC)

Messstelle *Radon service*	**Land** *Country*	**Adresse** *Address*
PASELA miljösupport ab	Schweden *Sweden*	Box 5093 42605 Västra Frölunda
Radosys Kft.	Ungarn *Hungary*	Vegyesz u. 17-25 1116 Budapest
Radiological Protection Institute of Ireland (RPI)	Irland *Ireland*	3 Clonskeagh Square Clonskeagh Road Dublin 14
TÜV SÜD Industrie Service GmbH Strahlenmesslabor	Deutschland *Germany*	Westendstraße 199 80686 München
Unitat de Física de les Radiacions Departament de Física, Edifici Cc Universitat Autonòma de Barcelona	Spanien *Spain*	08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès)
Universidad de Cantabria Facultad de Medicina LaRUC Grupo Radon	Spanien *Spain*	c/ Av. Cardenal Herrera Oria, s/n 39011 Santander (Cantabria)
Universidade de Coimbra Laboratorio de Radioactividade Natural Departamento de Ciencias da Terra	Portugal *Portugal*	Largo Marques de Pombal 30000-272 Coimbra
Università degli studi di Napoli Dipartimento di Scienze Fisiche	Italien *Italy*	Edificio 6, Via Cintia 80126 Napoli
University of Novi Sad Department of Physics Laboratory for Radioactivity and Radiation Dose Measurement	Serbien Serbia	Trg Dositeja Obradovića 4 21000 Novi Sad
U-SERIES SRL	Italien *Italy*	Via Ferrarese, 131 40128 Bologna
Veterinary Faculty of Sarajevo Center for Control of Food, Feed and Environmental Protection Laboratory for Radioactivity Control	Bosnien Herzegowina *Bosnia-Herzegovina*	Zmaja od bosne 90 71000 Sarajevo
ZVD d.d. Zavod za varstvo pri delu Institute of Occupational Safety	Slowenien *Slovenia*	Chengdujska cesta 25 1260 Ljubljana Polje

A.2 Messgerätetypen
Instrument types

Tabelle A.2-1: Messgeräte mit Kernspurdetektoren oder Elektretdetektoren (k.A.: keine Angabe, n.z.: nicht zutreffend)

Table A.2-1: Measuring instruments using nuclear track detectors or electrets (n.s.: not specified, n.a.: not applicable)

Bauform / *Design*	**Messgerätetyp** (nicht maßstabsgerecht) *Intrument type* *(no accurate scale)*	**Detektor** / *Detector*	**Detektordicke** *Detector thickness*	**Gesamt-Detektorfläche** *Total detector area*	**Ausgewertete Detektorfläche** *Analyzed detector area*	**Umschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere)/** *Closed detector (with diffusion barrier)*	**Expositions-bereich** *Range of exposure*	**Prüfcode** / *Test code*
A		Makrofol	0,3 mm	134 mm²	127 mm²	Ja / *Yes*	20 – 5 000 kBq·h·m^{-3}	A2
			0,3 mm	350 mm²	95 mm²	Ja / *Yes*	200 – 2 000 kBq·h·m^{-3}	A6
			0,5 mm	346 mm²	53 mm²	Ja / *Yes*	50 – 1 500 kBq·h·m^{-3}	A7
B		CR-39	1,5 mm	300 mm²	140 mm²	Ja / *Yes*	20 – 50 000 kBq·h·m^{-3}	B2
			0,5 mm	1053 mm²	176 mm²	Ja / *Yes*	20 – 3 500 kBq·h·m^{-3}	B4
			1 mm	480 mm²	120 mm²	Ja / *Yes*	1 – 20 000 kBq·h·m^{-3}	B6
			1,5 mm	481 mm²	100 mm²	Ja / *Yes*	1 – 25 000 kBq·h·m^{-3}	B7
C		CR-39	1 mm	100 mm²	10 mm²	Ja / *Yes*	32 – 99 100 kBq·h·m^{-3}	C1

Bauform / *Design*	**Messgerätetyp** (nicht maßstabsgerecht) *Intrument type* *(no accurate scale)*	**Detektor** / *Detector*	**Detektordicke** *Detector thickness*	**Gesamt-Detektorfläche** *Total detector area*	**Ausgewertete Detektorfläche** *Analyzed detector area*	**Umschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere)/** *Closed detector (with diffusion barrier)*	**Expositions-bereich** *Range of exposure*	**Prüfcode** / *Test code*
D		Makrofol	0,3 mm	1020 mm²	240 mm²	Ja / *Yes*	50 – 10 000 kBq·h·m^{-3}	D1
GA		Elektret (Teflon)	n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	Ja / *Yes*	300 – 18 000 kBq·h·m^{-3}	GA 1
			n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	Ja / *Yes*	86 – 43 000 kBq·h·m^{-3}	GA 2
			n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	Ja / *Yes*	86,4 – 43 000 kBq·h·m^{-3}	GA 5
			n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	Ja / *Yes*	49 – 1 300 kBq·h·m^{-3}	GA 7
GB		Elektret (Teflon)	n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	Ja / *Yes*	40 – 3 000 kBq·h·m^{-3}	GB 1
			n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	Ja / *Yes*	220 kBq·h·m^{-3}	GB 2
			n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	Ja / *Yes*	3 000 kBq·h·m^{-3}	GB 3
			n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	Ja / *Yes*	100 – 2 500 kBq·h·m^{-3}	GB 5
			n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	n.z./ *n.a.*	Ja / *Yes*	240 kBq·h·m^{-3}	GB 6

Bauform / *Design*	**Messgerätetyp** (nicht maßstabsgerecht) *Intrument type* *(no accurate scale)*	**Detektor** / *Detector*	**Detektordicke** *Detector thickness*	**Gesamt-Detektorfläche** *Total detector area*	**Ausgewertete Detektorfläche** *Analyzed detector area*	**Umschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere)/** *Closed detector (with diffusion barrier)*	**Expositions-bereich** *Range of exposure*	**Prüfcode** / *Test code*
K		CR-39	1 mm	100 mm²	50 mm²	Ja / *Yes*	40 – 12 000 kBq·h·m^{-3}	K1
L		CR-39	1 mm	520 mm²	355 mm²	Ja / *Yes*	40 – 10 000 kBq·h·m^{-3}	L1
N		CR-39	1 mm	100 mm²	50 mm²	Ja / *Yes*	40 – 8 000 kBq·h·m^{-3}	N1
			1 mm	100 mm²	50 mm²	Ja / *Yes*	90 – 2 890 kBq·h·m^{-3}	N3
			1 mm	100 mm²	46,8 mm²	Ja / *Yes*	50 – 15 000 kBq·h·m^{-3}	N4
			1 mm	100 mm²	46,8 mm²	Ja / *Yes*	40 – 12 000 kBq·h·m^{-3}	N5
			2 mm	100 mm²	80 mm²	Ja / *Yes*	12 000 kBq·h·m^{-3}	N6
			k.A./ *n.s.*	k.A./ *n.s.*	k.A./ *n.s.*	Ja / *Yes*	k.A./ *n.s.*	N7
			1 mm	100 mm²	46,8 mm²	Ja / *Yes*	40 – 12 000 kBq·h·m^{-3}	N8

Bauform / *Design*	**Messgerätetyp** (nicht maßstabsgerecht) *Intrument type* *(no accurate scale)*	**Detektor** / *Detector*	**Detektordicke** *Detector thickness*	**Gesamt-Detektorfläche** *Total detector area*	**Ausgewertete Detektorfläche** *Analyzed detector area*	**Umschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere)/** *Closed detector (with diffusion barrier)*	**Expositions-bereich** *Range of exposure*	**Prüfcode** / *Test code*
O		LR 115	12 µm	290 mm²	200 mm²	Ja / *Yes*	0 – 7 000 kBq·h·m^{-3}	O1
P		CR-39	1,5 mm	625 mm²	100 mm²	Ja / *Yes*	24 – 50 000 kBq·h·m^{-3}	P1
			1,5 mm	625 mm²	100 mm²	Ja / *Yes*	30 – 2 500 kBq·h·m^{-3}	P2
			1,5 mm	k.A./ *n.s.*	1 mm²	Ja / *Yes*	50 – 10 000 kBq·h·m^{-3}	P4
			1 mm	200 mm²	100 mm²	Ja / *Yes*	200 – 4 000 kBq·h·m^{-3}	P5
			1 mm	200 mm²	100 mm²	Ja / *Yes*	200 – 4 000 kBq·h·m^{-3}	P6
			1,2 mm	625 mm²	120 mm²	Ja / *Yes*	0 – 20 000 kBq·h·m^{-3}	P7
S		LR-115	0,012 mm	850 mm²	100 mm²	Ja / *Yes*	300 – 5 000 kBq·h·m^{-3}	S1
			0,012 mm	850 mm²	100 mm²	Ja / *Yes*	100 – 5 000 kBq·h·m^{-3}	S2

Bauform / *Design*	**Messgerätetyp** (nicht maßstabsgerecht) *Intrument type* *(no accurate scale)*	**Detektor** / *Detector*	**Detektordicke** *Detector thickness*	**Gesamt-Detektorfläche** *Total detector area*	**Ausgewertete Detektorfläche** *Analyzed detector area*	**Umschlossener Detektor (mit Diffusionsbarriere)/** *Closed detector (with diffusion barrier)*	**Expositions-bereich** *Range of exposure*	**Prüfcode** / *Test code*
T		CR-39	(1,45 ± 0,05) mm	900 mm²	0,45 mm²	Ja / *Yes*	10 – 20 000 kBq·h·m^{-3}	T1
U		CR-39	1,5 mm	625 mm²	100 mm²	Ja / *Yes*	20 – 40 000 kBq·h·m^{-3}	U1
V		CR-39	1,5 mm	625 mm²	100 mm²	Ja / *Yes*	50 – 8 000 kBq·h·m^{-3}	V1
		LR-115	0,012 mm	704 mm²	100 mm²	Ja / *Yes*	40 – 4 000 kBq·h·m^{-3}	V2
			0,012 mm	704 mm²	100 mm²	Ja / *Yes*	k.A./ *n.s*	V3
X		CR-39	1 mm	980 mm²	120 mm²	Ja / *Yes*	1 – 20 000 kBq·h·m^{-3}	X1
Y		CR-39	1 mm	100 mm²	64 mm²	Ja / *Yes*	36 – 10 000 kBq·h·m^{-3}	Y1

Tabelle A.2-2: Messgeräte mit Aktivkohle

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

Bauform / *Design*	**Messgerätetyp** (nicht maßstabsgerecht) *Intrument type* *(no accurate scale)*	**Aktivkohlemasse** *Mass of activated charcoal*	**Expositionszeit** *Time of exposure*	**Messbereich** *Measuring range*	**Auswertung** *Measurement*	**Prüfcode** / *Test code*
cB		70 g	48 h	10 – 20 000 $Bq \cdot m^{-3}$	Gamma-spektrometrie *gamma-ray spectrometry*	cB2a
		70 g	72 h	10 – 20 000 $Bq \cdot m^{-3}$		cB2b
		70 g	48 h	50 – 5 000 $Bq \cdot m^{-3}$		cB3
		162,3 g	48 h	10 000 $Bq \cdot m^{-3}$		cB6
		75 g	48 h	2 – 10 000 $Bq \cdot m^{-3}$		cB7
		70 g	72 h	k.A./ *n.s.*		cB8

A.3 Parameter der Atmosphäre im Lagerraum
Parameter of the atmosphere in the storage room

C_{Rn} [Bq·m^{-3}]	$C_{Rn,EG}$ [Bq·m^{-3}]	*r.H.* [%]	$U_{r.H.}$ [%]	T [°C]	U_T [K]	$\dot{H}*(10)$ [nSv·h^{-1}]	$U_{\dot{H}*(10)}$ [nSv·h^{-1}]
5,3	5	24	8	22,1	0,6	46,3	2,4

Der Parameter C_{Rn} ist die mittlere Radon-222-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).

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 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.

The parameter $\dot{H}*(10)$ is the mean ambient dose rate with the expanded relative uncertainty $U_{\dot{H}*(10)}$ (k=2).

A.4 Vergleichsprüfung für Messgeräte mit Festkörperspur- und Elektretdetektoren

Intercomparison for measuring instruments using solid state nuclear track detectors and electrets

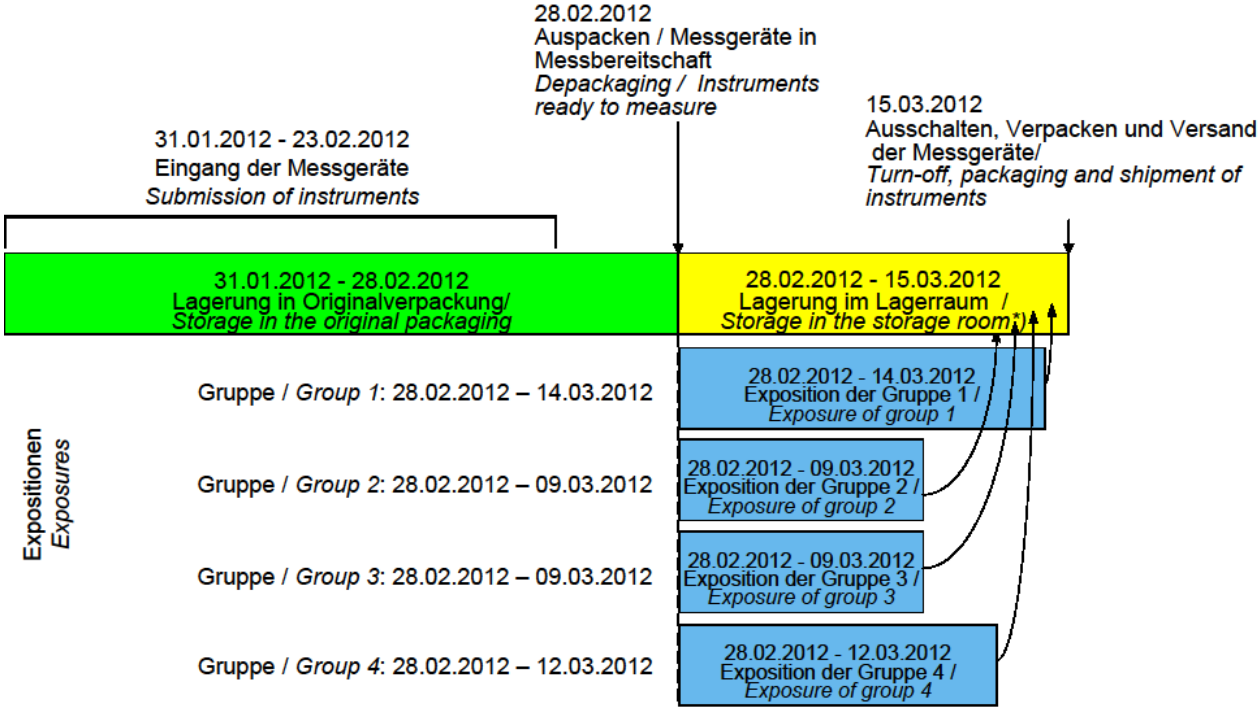


Abbildung A.4-1: Ablaufschema

Figure A.4-1: Time course

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

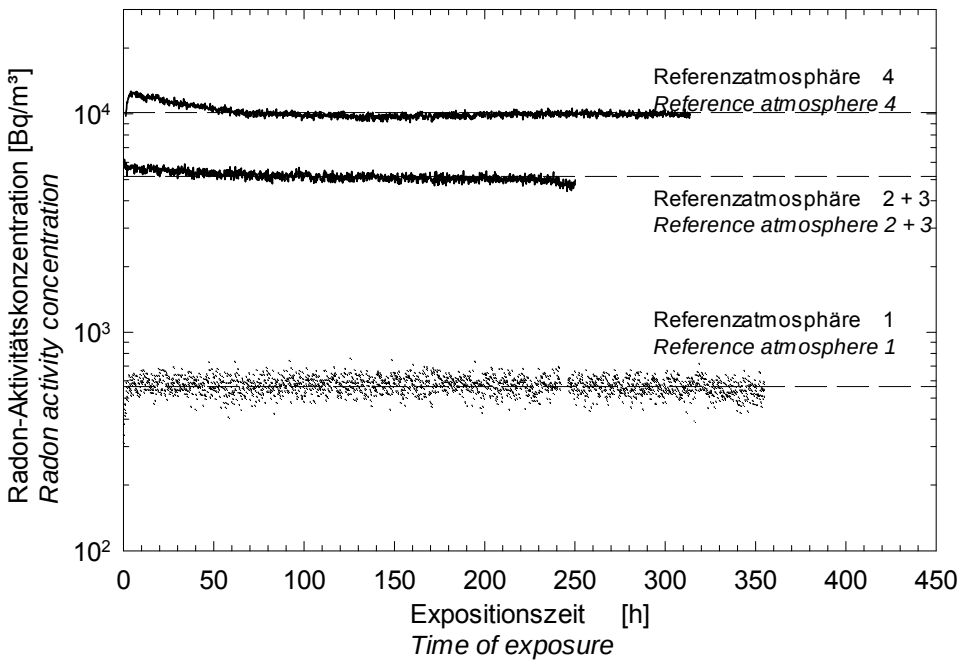


Abbildung A.4-2: Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentrationen der Referenzatmosphären

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

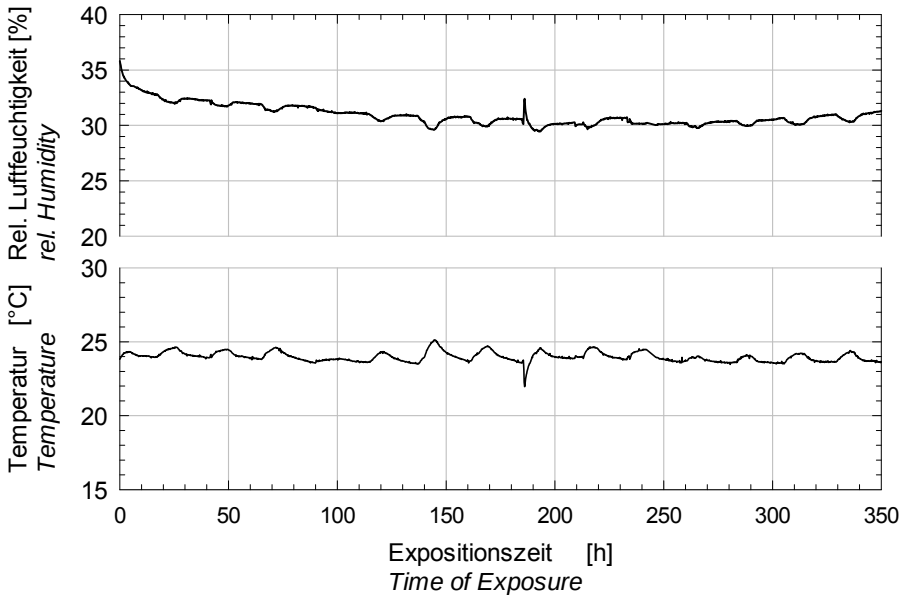


Abbildung A.4-3: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit während der Expositionen

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^{-3}]	$P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m^{-3}]	U [%]	T [°C]	$r.H.$ [%]	p [hPa]
1	28.02. – 14.03.2012	355,3	566	201	12	24	31	1023
2	28.02. – 09.03.2012	240,7	5356	1289	7			
3	28.02. – 09.03.2012	250,3	5351	1339	7			
4	28.02. – 12.03.2012	314,2	9926	3119	7			

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-222-Aktivitätskonzentration während der Expositionszeit t und $P_{Rn,Ref}$ die Radon-222-Exposition, die sich aus dem Produkt von $C_{Rn,Ref}$ und t ergibt. U ist die erweiterte relative Messunsicherheit der Radon-222-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 [7] ermittelt. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphären sind außerdem 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).

In the No. column the number of the exposure group or reference atmosphere is indicated and in the Date column the exposure interval is 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-222 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 DAkkS-DKD-3 [7]. To characterize the climatic conditions, the mean value of temperature (T) with an expanded relative uncertainty of 0.6 °C (k=2), the mean value of relative humidity ($r.H.$) with an expanded relative uncertainty of 8% (k=2) and the mean value of air pressure (p) with an expanded relative uncertainty of 1 hPa (k=2) are given in the table.

A.5 Vergleichsprüfung für Messgeräte mit Aktivkohle

Intercomparison for measuring instruments using activated charcoal

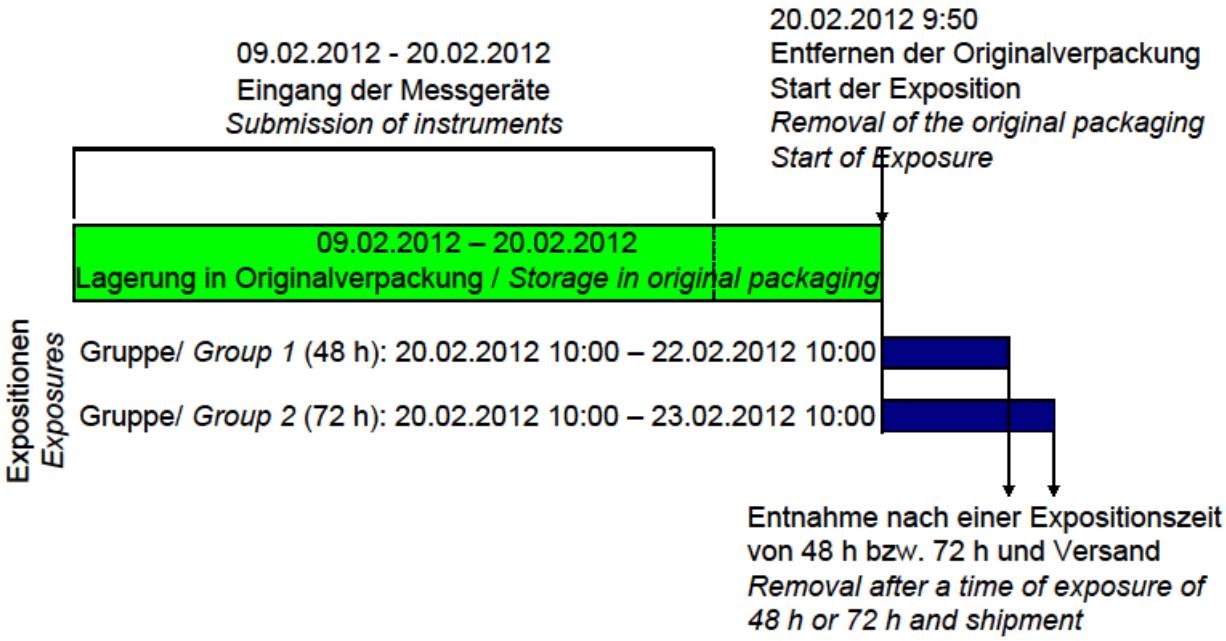


Abbildung A.5-1: Ablaufschema

Figure A.5-1: Time course

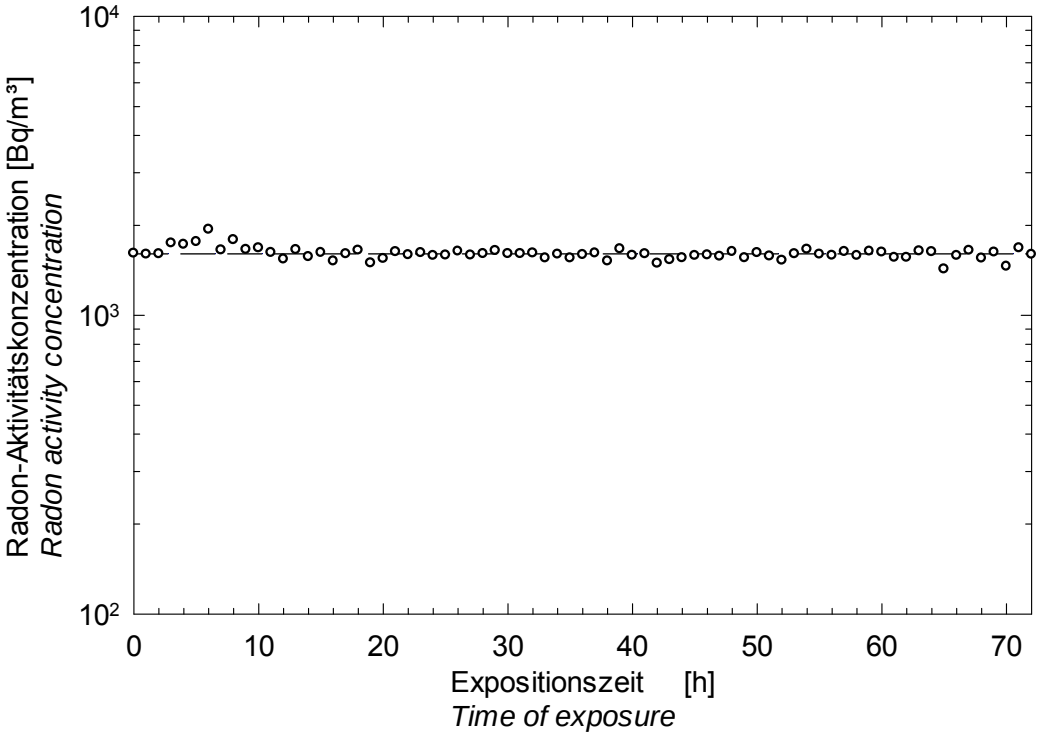


Abbildung A.5-2: Zeitlicher Verlauf der Radon-Aktivitätskonzentration

Figure A.5-2: Time variation of radon activity concentration

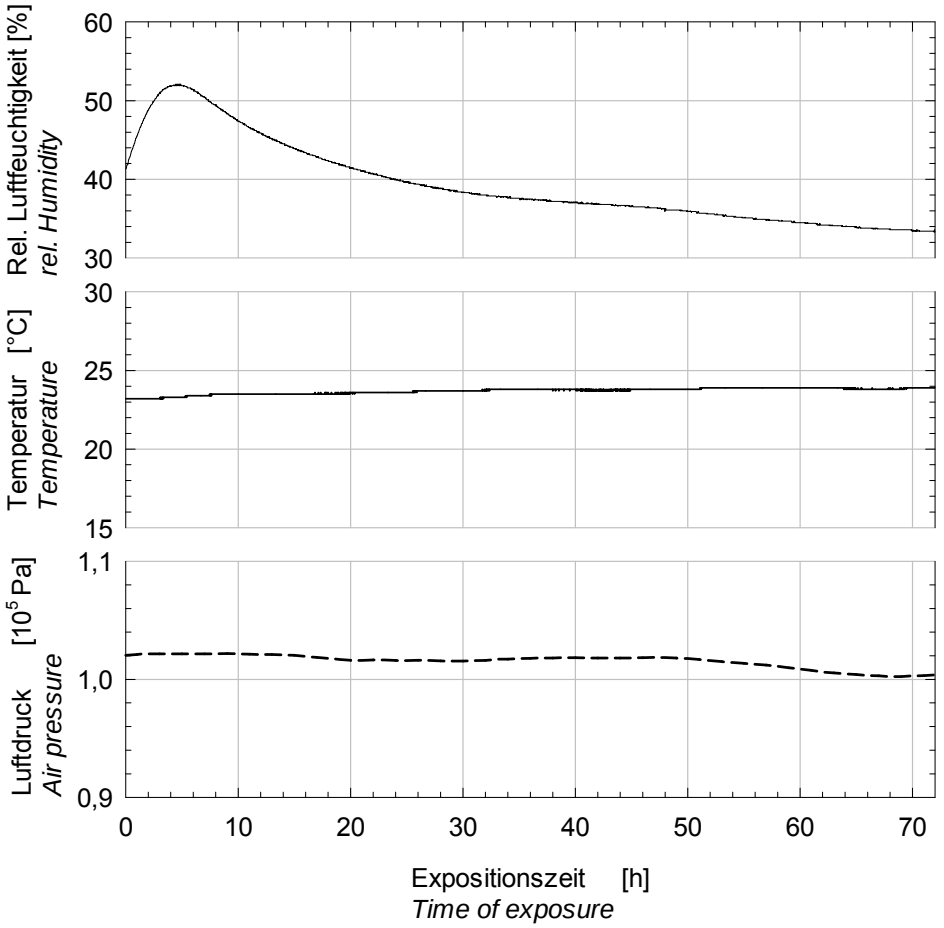


Abbildung A.5-3: Zeitlicher Verlauf der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und des Luftdruckes

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^{-3}]	*U* [%]	*T* [°C]	*r.H.* [%]	*p* [hPa]
1	20.02. – 22.02.2012	48	1736	7	24	42	1029
2	20.02. – 23.02.2012	72	1727	7	24	39	1026

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-222-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 DAkkS-DKD-3 [7] ermittelt. Zur Charakterisierung der Referenzatmosphären sind außerdem 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).

The No. column indicates the reference atmosphere. In the Date column 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 DAkkS-DKD-3 [7]. To characterize the climatic conditions, the mean value of temperature (T) with an expanded relative uncertainty of 0.6 °C (k=2), the mean value of relative humidity (r.H.) with an expanded relative uncertainty of 8% (k=2) *and the mean value of air pressure (p) with an expanded relative uncertainty of 1 hPa (k=2) are given in the table.*

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 transit and storage)

		Messwert *Indication of instrument*		
Prüfcode *Test code*	Messgeräteanzahl *Number of instruments*	Mittelwert *Mean value* [kBq·h·m^{-3}]	Standardabweichung *Standard deviation* [%]	Transit-Effekt berücksichtigt *) / *Transit effect taken into account *)*
A2	7	13,1	38,4	Ja / *Yes*
A6	7	21,4	40,5	Nein / *No*
A7	7	19,6	54,9	Nein / *No*
B2	7	0,1	264,6	Nein / *No*
B4	7	0		Ja / *Yes*
B6	7	73,3	21,2	Nein / *No*
B7	7	Anzeigewerte nicht angegeben / *Indication values not given*		Ja / *Yes*
C1	7	0		Nein / *No*
D1	7	1,7	129,2	Ja / *Yes*
GA1	0	keine Transit-Messgeräte verwendet / *no transit instruments used*		Ja / *Yes*
GA2	6	66,8	19,4	Ja / *Yes*
GA5	6	121,3	27,7	Nein / *No*
GA7	6	53,8	10,5	Ja / *Yes*
GB1	6	35,2	40,2	Ja / *Yes*
GB2	6	25,9	53,8	Ja / *Yes*
GB3	0	keine Transit-Messgeräte verwendet / *no transit instruments used*		Ja / *Yes*
GB5	6	Anzeigewerte nicht angegeben / *Indication values not given*		Ja / *Yes*
GB6	6	21,2	45,8	Nein / *No*

		Messwert *Indication of instrument*		
Prüfcode *Test code*	Messgeräteanzahl *Number of instruments*	Mittelwert *Mean value* [kBq·h·m^{-3}]	Standardabweichung *Standard deviation* [%]	Transit-Effekt berücksichtigt *) / *Transit effect taken into account *)*
K1	7	24,6	24,1	Ja / *Yes*
L1	7	0		Ja / *Yes*
N1	7	0		Ja / *Yes*
N3a	7	0		Ja / *Yes*
N3b	7	0		Ja / *Yes*
N4	7	21,6	108,1	Nein / *No*
N5	7	42,5	21,6	Ja / *Yes*
N6	7	55,0	78,0	Ja / *Yes*
N7	7	30,9	16,8	Nein / *No*
N8	7	nicht angebbar **) / *not assignable **)*		Ja / *Yes*
O1	7	0,6	93,5	Nein / *No*
P1	7	34,6	18,2	Ja / *Yes*
P2	7	19,1	29,0	Nein / *No*
P4	7	7,0	23,3	Nein / *No*
P5	7	69,7	42,1	Ja / *Yes*
P6	7	32,1	23,8	Ja / *Yes*
P7	7	12,8	53,3	Ja / *Yes*
S1a	7	39,1	29,8	Ja / *Yes*
S1b	7	44,6	31,1	Ja / *Yes*
S2	7	366,4	100,3	Nein / *No*
T1a	7	8,1	67,1	Nein / *No*
T1b	7	19,3	50,1	Nein / *No*
U1	7	15,6	33,5	Ja / *Yes*

		Messwert *Indication of instrument*		
Prüfcode *Test code*	Messgeräteanzahl *Number of instruments*	Mittelwert *Mean value* [kBq·h·m^{-3}]	Standardabweichung *Standard deviation* [%]	Transit-Effekt berücksichtigt *) / *Transit effect taken into account *)*
V1	7	14,9	57,0	Ja / *Yes*
V2	7	44,7	23,9	Ja / *Yes*
V3	7	Anzeigewerte nicht angegeben / *Indication values not given*		Ja / *Yes*
X1	7	105,6	15,7	Nein / *No*
Y1	7	3,3	169,2	Ja / *Yes*

Erläuterungen zu A.6:
In dieser Tabelle sind die Messwerte der Messgeräte der Transitgruppe angegeben. 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. Jede Messstelle erhielt eine Information darüber, welche Messgeräte der Transitgruppe angehören. Für jede Transitgruppe wurden Mittelwert und Standardabweichung der von den Messstellen ermittelten Radonexpositionen berechnet und gerundet angegeben.
*) Der Mittelwert der Radon-222-Exposition der Transitgruppe ist ein Maß für die Transport- und Lagerungseffekte, denen alle eingesandten Geräte ausgesetzt waren („Transit-Nulleffekt“). Es lag in der Verantwortung der Teilnehmer, den Transit-Nulleffekt bei der Auswertung in geeigneter Weise zu berücksichtigen.
**) 7 von 7 Anzeigewerten kleiner als die Nachweisgrenze (20 kBq·h·m^{-3})

Remarks to A.6:
In this table the indications of the transit group instruments are given. The transit group comprises instruments which have been transported and stored under the same conditions as all others, but not exposed in reference atmospheres. Each participating laboratory was informed, which instruments belong to the transit goup. For each group mean value and standard deviation were calculated and rounded as indicated.
**) The mean exposure value of the transit group is a measure of the effects of transportation and storage, which all submitted measurement devices were exposed to (“transit background”, sometimes named “field background”). The participants were responsible to take account of the transit background.*
***) 7 of 7 indication values lower than detection limit (20 kBq·h·m^{-3})*

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

			Messwert *Indication of instrument*		**Vergleich mit Referenzwerten** *Comparison to reference values*	
Expositionsgruppe *Exposure group*	Prüfcode *Test code*	Messgerätezahl *Number of instruments*	Mittelwert *Mean value* [kBq·h·m^{-3}]	Standard-abweichung *Standard deviation* [%]	**Referenzwert *Reference value* $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m^{-3}]**	rel. Mess-abweichung *Relative error* [%]
1	A2	7	217,9	14,7	201	8,4
	A6	7	172,1	7,5		-14,4
	A7	7	234,4	13,6		16,6
	B2	7	199,3	3,7		-0,9
	B4	7	228,9	31,4		13,9
	B6	7	284,7	10,0		41,6
	B7	7	179,0	8,5		-10,9
	C1	7	225,4	8,2		12,2
	D1	7	200,6	3,9		-0,2
	GA1	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	GA2	6	767,0	107,7		281,6
	GA5	6	533,5	100,8		165,4
	GA7	6	210,8	8,1		4,9
	GB1	6	207,0	12,9		3,0
	GB2	6	204,9	2,7		1,9
	GB3	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	GB5	6	221,5	15,7		10,2
	GB6	6	216,0	4,6		7,5

			Messwert *Indication of instrument*		**Vergleich mit Referenzwerten** *Comparison to reference values*	
Expositionsgruppe *Exposure group*	Prüfcode *Test code*	Messgerätezahl *Number of instruments*	Mittelwert *Mean value* [kBq·h·m^{-3}]	Standard-abweichung *Standard deviation* [%]	**Referenzwert *Reference value* $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m^{-3}]**	rel. Mess-abweichung *Relative error* [%]
1	K1	7	179,7	6,1	201	-10,6
	L1	7	159,9	8,9		-20,5
	N1	7	150,4	11,1		-25,2
	N3a	7	198,3	16,2		-1,3
	N3b	7	179,4	10,5		-10,8
	N4	7	196,1	18,1		-2,4
	N5	7	245,7	16,4		22,2
	N6	7	187,1	5,1		-6,9
	N7	7	236,1	8,2		17,5
	N8	7	227,7	17,2		13,3
	O1	7	7,9	8,8		-96,1
	P1	7	207,0	5,1		3,0
	P2	7	197,2	7,4		-1,9
	P4	7	235,1	10,0		17,0
	P5	7	198,0	17,6		-1,5
	P6	7	214,9	8,5		6,9
	P7	7	204,7	9,8		1,9
	S1a	7	222,3	13,9		10,6
	S1b	7	211,4	16,4		5,2
	S2	7	522,3	86,8		159,8
	T1a	7	184,7	6,6		-8,1

			Messwert *Indication of instrument*		**Vergleich mit Referenzwerten** *Comparison to reference values*	
Expositionsgruppe *Exposure group*	Prüfcode *Test code*	Messgerätezahl *Number of instruments*	Mittelwert *Mean value* [kBq·h·m^{-3}]	Standard-abweichung *Standard deviation* [%]	**Referenzwert *Reference value* $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m^{-3}]**	rel. Mess-abweichung *Relative error* [%]
1	T1b	7	172,3	9,2	201	-14,3
	U1	7	188,3	7,9		-6,3
	V1	7	189,1	4,8		-5,9
	V2	7	234,0	9,3		16,4
	V3	7	215,8	11,2		7,3
	X1	7	285,1	6,4		41,9
	Y1	7	315,6	113,8		57,0
2	A2	7	1376,9	13,1	1289	6,8
	A6	7	899,4	7,8		-30,2
	A7	7	1241,3	10,9		-3,7
	B2	7	1230,4	2,5		-4,5
	B4	7	1385,9	15,4		7,5
	B6	7	1390,3	3,6		7,9
	B7	7	1171,4	3,0		-9,1
	C1	7	1325,0	13,1		2,8
	D1	7	1290,4	2,3		0,1
	GA1	6	1408,7	6,2		9,3
	GA2	6	1668,8	41,9		29,5
	GA5	6	1674,8	32,8		29,9
	GA7	6	1249,5	7,3		-3,1
	GB1	Nicht exponiert / *Not exposed*				

			Messwert *Indication of instrument*		**Vergleich mit Referenzwerten** *Comparison to reference values*	
Expositionsgruppe *Exposure group*	Prüfcode *Test code*	Messgerätezahl *Number of instruments*	Mittelwert *Mean value* [kBq·h·m^{-3}]	Standard-abweichung *Standard deviation* [%]	**Referenzwert *Reference value* $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m^{-3}]**	rel. Mess-abweichung *Relative error* [%]
2	GB2	Nicht exponiert / *Not exposed*			1289	
	GB3	6	1293,1	7,7		0,3
	GB5	6	1315,0	5,7		2,0
	GB6	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	K1	7	1088,4	3,3		-15,6
	L1	7	1194,7	3,1		-7,3
	N1	7	1121,7	2,1		-13,0
	N3a	7	1279,4	1,6		-0,7
	N3b	7	1295,6	2,3		0,5
	N4	7	1132,0	9,8		-12,2
	N5	7	1490,0	6,5		15,6
	N6	7	1270,0	3,9		-1,5
	N7	7	1247,4	4,9		-3,2
	N8	7	1294,0	2,7		0,4
	O1	7	47,4	28,2		-96,3
	P1	7	1321,6	2,1		2,5
	P2	7	1244,0	1,8		-3,5
	P4	7	1308,3	5,9		1,5
	P5	7	1184,3	4,3		-8,1
	P6	7	1269,0	4,0		-1,6
	P7	7	1249,8	5,0		-3,0

			Messwert *Indication of instrument*		**Vergleich mit Referenzwerten** *Comparison to reference values*	
Expositionsgruppe *Exposure group*	Prüfcode *Test code*	Messgerätezahl *Number of instruments*	Mittelwert *Mean value* [kBq·h·m^{-3}]	Standard-abweichung *Standard deviation* [%]	**Referenzwert *Reference value* $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m^{-3}]**	rel. Mess-abweichung *Relative error* [%]
2	S1a	7	1249,7	6,7	1289	-3,0
	S1b	7	1241,6	7,4		-3,7
	S2	7	1597,0	49,9		23,9
	T1a	7	1144,9	2,8		-11,2
	T1b	7	1168,6	2,7		-9,3
	U1	7	1178,6	1,7		-8,6
	V1	7	1096,1	2,4		-15,0
	V2	7	1535,9	14,6		19,2
	V3	7	1739,5	7,0		34,9
	X1	7	1335,7	2,5		3,6
	Y1	7	956,7	36,6		-25,8
3	A2	7	1529,1	8,9	1339	14,2
	A6	7	907,4	4,1		-32,2
	A7	7	1295,3	12,9		-3,3
	B2	7	1258,6	3,1		-6,0
	B4	7	1801,6	29,8		34,6
	B6	7	1404,9	2,5		4,9
	B7	7	1222,6	2,6		-8,7
	C1	7	1303,6	12,0		-2,6
	D1	7	1341,3	2,8		0,2
	GA1	Nicht exponiert / *Not exposed*				

			Messwert *Indication of instrument*		**Vergleich mit Referenzwerten** *Comparison to reference values*	
Expositionsgruppe *Exposure group*	Prüfcode *Test code*	Messgerätezahl *Number of instruments*	Mittelwert *Mean value* [kBq·h·m^{-3}]	Standard-abweichung *Standard deviation* [%]	**Referenzwert *Reference value* $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m^{-3}]**	rel. Mess-abweichung *Relative error* [%]
3	GA2	Nicht exponiert / *Not exposed*			1339	
	GA5	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	GA7	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	GB1	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	GB2	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	GB3	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	GB5	6	1370,2	3,0		2,3
	GB6	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	K1	7	1148,6	2,9		-14,2
	L1	7	1243,6	2,5		-7,1
	N1	7	1182,0	4,4		-11,7
	N3a	7	1292,5	1,8		-3,5
	N3b	7	1304,1	3,5		-2,6
	N4	7	1200,0	12,8		-10,4
	N5	7	1572,9	2,8		17,5
	N6	7	1309,4	3,7		-2,2
	N7	7	1307,4	4,0		-2,4
	N8	7	1322,9	3,7		-1,2
	O1	7	51,1	3,6		-96,2
	P1	7	1388,4	1,4		3,7
	P2	7	1286,4	2,0		-3,9

			Messwert *Indication of instrument*		**Vergleich mit Referenzwerten** *Comparison to reference values*	
Expositionsgruppe *Exposure group*	Prüfcode *Test code*	Messgerätezahl *Number of instruments*	Mittelwert *Mean value* [kBq·h·m^{-3}]	Standard-abweichung *Standard deviation* [%]	**Referenzwert *Reference value* $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m^{-3}]**	rel. Mess-abweichung *Relative error* [%]
3	P4	7	1345,6	3,2	1339	0,5
	P5	7	1226,3	4,6		-8,4
	P6	7	1292,3	3,6		-3,5
	P7	7	1334,9	3,5		-0,3
	S1a	7	1350,0	4,2		0,8
	S1b	7	1342,7	6,2		0,3
	S2	7	1443,9	50,7		7,8
	T1a	7	1208,3	2,9		-9,8
	T1b	7	1238,1	2,1		-7,5
	U1	7	1210,7	1,6		-9,6
	V1	7	1158,6	5,8		-13,5
	V2	7	1534,7	5,9		14,6
	V3	7	1814,7	4,5		35,5
	X1	7	1442,1	2,4		7,7
	Y1	7	1116,4	5,3		-16,6
4	A2	7	4616,3	5,5	3119	48,0
	A6 *)	7	1990,3	6,4		-36,2
	A7 *)	7	2786,7	8,5		-10,7
	B2	7	3014,9	1,7		-3,3
	B4	7	3718,5	17,5		19,2
	B6	7	3431,0	1,8		10,0

			Messwert *Indication of instrument*		**Vergleich mit Referenzwerten** *Comparison to reference values*	
Expositionsgruppe *Exposure group*	Prüfcode *Test code*	Messgerätezahl *Number of instruments*	Mittelwert *Mean value* [kBq·h·m^{-3}]	Standard-abweichung *Standard deviation* [%]	**Referenzwert *Reference value* $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m^{-3}]**	rel. Mess-abweichung *Relative error* [%]
4	B7	7	3040,0	2,0	3119	-2,5
	C1	7	3168,0	3,5		1,6
	D1	7	3097,7	1,8		-0,7
	GA1	6	3502,7	1,4		12,3
	GA2	6	3584,8	5,9		14,9
	GA5	6	3415,2	5,0		9,5
	GA7	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	GB1	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	GB2	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	GB3 *)	6	3077,9	2,1		-1,3
	GB5	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	GB6	Nicht exponiert / *Not exposed*				
	K1	7	2318,3	2,5		-25,7
	L1	7	3043,3	3,5		-2,4
	N1	7	2893,3	2,5		-7,2
	N3a *)	7	2924,9	2,0		-6,2
	N3b *)	7	2951,9	2,0		-5,4
	N4	7	2885,1	10,5		-7,5
	N5	7	3622,9	2,3		16,2
	N6	7	3192,8	2,7		2,4
	N7	7	2838,3	1,8		-9,0

			Messwert *Indication of instrument*		**Vergleich mit Referenzwerten** *Comparison to reference values*	
Expositionsgruppe *Exposure group*	Prüfcode *Test code*	Messgerätezahl *Number of instruments*	Mittelwert *Mean value* [kBq·h·m^{-3}]	Standard-abweichung *Standard deviation* [%]	**Referenzwert *Reference value* $P_{Rn,Ref}$ [kBq·h·m^{-3}]**	rel. Mess-abweichung *Relative error* [%]
4	N8	7	3398,9	3,8	3119	9,0
	O1	7	120,4	17,9		-96,1
	P1	7	3452,3	3,7		10,7
	P2	7	3417,3	12,9		9,6
	P4	7	3422,4	3,0		9,7
	P5	7	3046,0	2,7		-2,3
	P6	7	3175,3	3,8		1,8
	P7	7	2934,2	6,0		-5,9
	S1a	7	3499,4	3,7		12,2
	S1b	7	3468,3	4,3		11,2
	S2	7	3606,6	16,5		15,6
	T1a	7	2963,7	2,2		-5,0
	T1b	7	2982,3	2,8		-4,4
	U1	7	2971,9	1,2		-4,7
	V1	7	2792,6	4,2		-10,5
	V2	7	3934,7	16,0		26,2
	V3	7	3685,7	3,4		18,2
	X1	7	3436,7	4,1		10,2
	Y1	7	2543,1	2,4		-18,5

Erläuterungen zu A.7:
Die Messwerte der Radonmessgeräte wurden den jeweiligen Expositionsgruppen zugeordnet. Es lag in der Verantwortung der teilnehmenden Messstelle, bei der Angabe der Messwerte der exponierten Messgeräte die Messwerte der Transitgruppe, d.h. den Transit-Nulleffekt, in geeigneter Weise zu berücksichtigen. Für jede

Expositionsgruppe wurden Mittelwert und Standardabweichung der von den Messstellen ermittelten Radonexpositionen (Messgeräteanzeigen) 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 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 dem Mittelwert und der Referenzexposition bezogen auf die Referenzexposition (Angabe in Prozent). Mittelwert, Standardabweichung und relative Messabweichung werden gerundet angegeben.

*) Der Referenzwert der Exposition überschreitet den Messbereich dieses Gerätetyps.

Remarks to A.7:
The indications of the radon instruments tested were assigned to the exposure groups. It was the responsibility of each participating measuring service, to take account of the indications of the transit group instruments for the deduction of the net exposure of the exposed instruments. The net exposure (difference between the mean values of the exposure group and the transit group) was not calculated by the organisers. For each group mean value and standard deviation were calculated. The reference exposure is the exposure to radon which instruments have received. 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.

*) The reference exposure value exceeds the measurement range of this instrument type.

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

				Messgeräteanzeige *Indication of instrument*		**Vergleich mit Referenzwerten** *Comparison to reference values*	
Expositionszeit *Time of exposure*	Expositionsgruppe *Exposure group*	Prüfcode *Test code*	Messgeräte *Instruments*	Mittelwert *Mean value* [Bq·m^{-3}]	Standard-abweichung *Standard deviation* [%]	**Referenzwert *Reference value* $C_{Rn,Ref}$ [Bq·m^{-3}]**	rel. Mess-abweichung *Relative error* [%]
48 h	1	cB2a	4	1700	2,4	**1736**	-2,1
		cB3	8	1624	3,5		-6,4
		cB6	8	1877	1,3		8,1
		cB7	8	1626	3,1		-6,3
72 h	2	cB2b	4	1732	1,7	**1727**	0,3
		cB8	8	1214	14,5		-29,7

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 were 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 the reference value (given in percent). Mean value, standard deviation, and relative error are rounded as indicated.

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 Bergbaugebiet.
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.[*)]; Guggenberger, R.; Dalheimer, A.
[*)] 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 Bergbaugebiete
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

BfS-SW-09/11
urn:nbn:de:0221-201109056212
Calculation Guide Mining
Calculation Guide for the Determination of Radiation Exposure due to Environmental Radioactivity Resulting from Mining
Department Radiation Protection and Environment
Salzgitter, September 2011

BfS-SW-10/11
urn:nbn:de:0221-201109216413
Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.
Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2011
Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2011
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, Oktober 2011

BfS-SW-11/12
urn:nbn:de:0221-201204128010
Gering, F.; Gerich, B.; Wirth, E.; Kirchner, G.
Analyse der Vorkehrungen für den anlagenexternen Notfallschutz für deutsche Kernkraftwerke basierend auf den Erfahrungen aus dem Unfall in Fukushima
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, April 2012

BfS-SW-12/12
urn:nbn:de:0221-201204168021
Kümmel, M.
Erläuterungen zur Berechnung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität mit den Berechnungsgrundlagen-Bergbau
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, April 2012

BfS-SW-13/12
urn:nbn:de:0221-201209149412
Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.
Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2012
Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2012
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, September 2012

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:
Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter
Telefon: + 49 03018 333-0
Telefax: + 49 03018 333-1885
Internet: www.bfs.de
E-Mail: ePost@bfs.de
Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.

Bundesamt für Strahlenschutz