



Bericht über die Vergleichsmessung 2018 für Radonmessmittel

Christian Kottler, Maria Trachsel, Kai-Uwe Lauterbach



Eidgenössisches Institut für Metrologie (METAS)
Labor Ionisierende Strahlung
Lindenweg 50
CH-3003 Bern-Wabern

März 2019

Inhalt

1	Einleitung.....	3
1.1	Gegenstand und Zweck.....	3
1.2	Gesetzliche Regelung der Radonmessmittel in der Schweiz	3
1.3	Weitere Radonmessmittel.....	3
2	Organisation und Ablauf der Vergleichsmessung.....	4
2.1	Ablauf	4
2.2	Zeitplan.....	5
2.3	Teilnehmer	5
2.4	Prüflinge	5
2.4.1	Radonmessgeräte (Gruppe I)	5
2.4.2	Passive Radondosimeter (Gruppe II).....	5
2.4.3	Elektronische Radondosimeter (Gruppe III)	5
3	Radonexposition	5
3.1	Referenzlabor	5
3.2	Expositionsparameter	6
3.2.1	Radonmessgeräte (Gruppe I)	6
3.2.2	Passive Radondosimeter (Gruppe II).....	6
3.2.3	Elektronische Radondosimeter (Gruppe III)	7
4	Ergebnisse und Beurteilung	7
4.1	Meldung der Messwerte.....	7
4.2	Resultate	7
4.2.1	Radonmessgeräte (Gruppe I)	8
4.2.2	Passive Radondosimeter (Gruppe II).....	9
4.2.3	Elektronische Radondosimeter (Gruppe III)	10
4.3	Nachträgliche Untersuchung (zu Prüfling Code 204 und 212).....	12
4.3.1	Ausgangslage.....	12
4.3.2	Wiederholung der Prüfung.....	12
4.3.3	Ergebnis	13
4.3.4	Fazit und weiteres Vorgehen	14
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	15
	Referenzen	16
	Anhang 1: Teilnehmer Radonvergleichsmessung 2018	17
	Anhang 2: Prüflinge	18
	Anhang 3: Messwerte und Ergebnisse.....	20
	Anhang 4: Messwerte und Ergebnisse der zusätzlichen Prüfung.....	23
	Anhang 5: Übersicht Zulassungen Radonmessmittel	24

1 Einleitung

1.1 Gegenstand und Zweck

Die Strahlenschutzverordnung (StSV, [1]) schreibt vor, dass Radonmessungen in der Schweiz durch anerkannte Radonmessstellen durchgeführt werden müssen. Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) kann eine Radonmessstelle anerkennen, falls die von der StSV geforderten Voraussetzungen dafür gegeben sind. Hinsichtlich der von den Radonmessstellen zu verwendenden Messmittel schreibt Art. 159, Abs. 4 StSV vor, dass diese den Anforderungen gemäss der Messmittelverordnung (MessMV, [2]) sowie der Verordnung des EJPD über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV, [3]) zu genügen haben.

Auf Grundlage der StMmV müssen Radonmessmittel periodisch auf Ihre Messbeständigkeit geprüft werden. Zu diesem Zweck findet alle zwei Jahre eine Radonvergleichsmessung statt. Durch die erfolgreiche Teilnahme an dieser Vergleichsmessung können die Messstellen den Nachweis erbringen, dass die von ihnen eingesetzten Radonmessmittel die von der StMmV geforderten Toleranzen einhalten.

Die Radonvergleichsmessung wurde in der Vergangenheit von der ermächtigten Eichstelle am Paul Scherrer Instituts (PSI) durchgeführt. Da das PSI diese Dienstleistung eingestellt hat, übernimmt das Eidgenössische Institut für Metrologie (METAS) diese Aufgabe. Aus diesem Grund führte das METAS die Radonvergleichsmessung 2018 durch.

1.2 Gesetzliche Regelung der Radonmessmittel in der Schweiz

Die bereits erwähnte Verordnung über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV, [3]) regelt die messtechnischen Anforderungen an die Radonmessmittel im Detail. Diese Regelung geschieht grundsätzlich auf zwei Ebenen: (i) Im Rahmen einer Zulassung ist für einen bestimmten Messmitteltyp nachzuweisen, dass die entsprechende Bauart die grundlegenden Anforderungen erfüllt. (ii) Wird ein Messmittel einer zugelassenen Bauart in Verkehr gebracht und verwendet, so muss dieses in vorgegebenen Zeitintervallen auf die Einhaltung der messtechnischen Toleranzen geprüft werden. Durch die erfolgreiche Teilnahme an der im Zweijahresrhythmus durchgeführten Radonvergleichsmessung können die Verwender diesen Nachweis erbringen.

Die StMmV [3] unterscheidet grundsätzlich zwei Gruppen von Radonmessmitteln:

Radonmessgeräte (nach Art. 2, Bst. g StMmV):

Dies sind Messmittel mit hoher Empfindlichkeit und integrierter Messwertanzeige. Ein Radonmessgerät zeigt den über ein Intervall von einer Stunde (oder kürzer) gemittelten Messwert der Radonaktivitätskonzentration an.

Radondosimeter (nach Art. 2, Bst. h StMmV):

Passive Radondosimeter oder ebenso elektronische Radondosimeter mit integrierter Messwertanzeige und/oder Messdatenspeicher zeigen den Messwert der Radonexposition an, d.h. die über einen Zeitraum von einem Monat bis ein Jahr integrierte Radonaktivitätskonzentration.

Die Zulassungszertifikate der vom METAS zugelassenen Bauarten werden in der Datenbank "certsearch" [4] publiziert. Die zugelassenen Bauarten der *Radonmessgeräte* und *Radondosimeter* können in dieser Datenbank unter der entsprechenden Rubrik eingesehen werden. Eine Übersicht der zum Zeitpunkt dieser Vergleichsmessung zugelassenen Bauarten von Radonmessmitteln findet sich im Anhang 5.

1.3 Weitere Radonmessmittel

Sowohl die anerkannten Radonmessstellen als auch weitere Anwender verwenden z.T. Radonmessmittel, welche nicht auf der Grundlage der Strahlenschutzverordnung verwendet werden, sondern beispielsweise im Rahmen weiterführender Untersuchungen und Analysen

eingesetzt werden. Oftmals werden hierbei auch nicht zugelassene Messmittel verwendet. Bei diesen Messmitteln handelt es sich i.A. um elektronische Geräte, für welche keine Zulassung vorliegt, welche aber gemäss den Herstellerspezifikationen vergleichbar wie die elektronischen Radondosimeter (s. Kap. 1.2) dafür vorgesehen sind, die Radonexposition über eine Zeitdauer von mehreren Wochen zu messen. Da diese Art der Verwendung folglich nicht der gesetzlichen Regelung gemäss Kap. 1.2. untersteht, müssen diese Messmittel nicht der Vergleichsmessung unterzogen werden. Dennoch steht es den Verwendern dieser Messmittel offen, an der Radonvergleichsmessung teilzunehmen, um damit die Funktionsfähigkeit ihres Messmittels zu prüfen.

2 Organisation und Ablauf der Vergleichsmessung

Den früheren Radonvergleichsmessungen des PSI folgend wurde auch bei dieser Vergleichsmessung ein möglichst praxisnahes Vorgehen gewählt. Das bedeutet, dass die teilnehmenden Messmittel, nachfolgend als Prüflinge bezeichnet, möglichst identisch wie im regulären Einsatz behandelt werden, mit dem Unterschied, dass die Prüflinge nicht an einem realen Messort aufgestellt werden sondern in einer Referenzatmosphäre von Radon in Luft (Radonkammer). So müssen beispielsweise auch die Teilnehmer¹ mit Radonmessgeräten und elektronischen Radondosimetern nach der erfolgten Exposition in der Radonkammer den für die Radonvergleichsmessung massgeblichen Messwert sowie die Messunsicherheit ihres Prüflings bzw. ihrer Prüflinge selber bestimmen.

Im Sinne einer Übergangslösung und da das METAS zum Zeitpunkt der Radonvergleichsmessung 2018 über keine eigene Radonkammer verfügte, wurde das Radon-Kalibrierlabor des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) in Berlin mit der Radonexposition der Prüflinge beauftragt. Dieses Labor ist für die Kalibrierung von Radonmessmitteln akkreditiert und veranstaltet selber sowohl in Deutschland als auch europaweit Vergleichsprüfungen von Radonmessmitteln [5], [6].

2.1 Ablauf

Die anerkannten Radonmessstellen sowie die zuständigen kantonalen Behörden wurden in einem Informationsschreiben im April 2018 über den Ablauf der Radonvergleichsmessung 2018 informiert. Ebenso wurde dieses Informationsschreiben an weitere Institutionen und Personen versandt, welche vorgängig oder bei früheren Radonvergleichsmessungen ihr Interesse zur Teilnahme bekundet hatten.

Die Teilnehmer mussten die der Vergleichsprüfung zu unterziehenden Radonmessmittel beim METAS vorgängig anmelden. Für die passiven Radondosimeter wurde vom BAG für jeden Typ je eine anerkannte Radonmessstelle bezeichnet, welche an der Vergleichsmessung teilzunehmen hatte, stellvertretend für alle anderen Radonmessstellen, welche dieselben passiven Radondosimeter verwenden.

Die Teilnehmer hatten Ihre Messmittel bis zum vereinbarten Termin beim METAS in Bern-Wabern abzugeben. Von dort aus wurden die Messmittel gesammelt nach Berlin zum Radon-Kalibrierlabor des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) versandt. Nach der erfolgten Exposition in der Radonkammer wurden die Messmittel wieder zurück ans METAS gebracht, von wo aus sie den Teilnehmern übergeben wurden.

Zusammen mit dem jeweiligen Prüfling erhielten die Teilnehmer die für die Meldung der Messwerte erforderlichen Informationen. Nachdem die Messwertmeldungen sämtlicher Prüflinge beim METAS eingegangen sind, wurden die Teilnehmer in Form eines Prüf- bzw. Eichzertifikats über das Ergebnis ihrer Prüflinge informiert.

¹ Im vorliegenden Bericht wird aus Gründen der Übersichtlichkeit jeweils die männliche Sprachbezeichnung verwendet. Dieser Sprachgebrauch ist selbstverständlich als geschlechtsneutral zu verstehen und hat auch für weibliche Personen Geltung.

2.2 Zeitplan

Die Radonvergleichsmessung 2018 wurde nach dem folgenden Zeitplan durchgeführt:

- | | |
|---|--------------------|
| • Versand Informationsschreiben | 19. April 2018 |
| • Anmeldeschluss: | 1. Juni 2018 |
| • Einsendeschluss Messmittel (am METAS): | 20. Juli 2018 |
| • Prüflinge am Radon-Kalibrierlabor (BfS, Berlin) | 13. August 2018 |
| • Geräte abholbereit (am METAS): | 10. September 2018 |
| • Termin Messwertmeldung durch Teilnehmer | 30. September 2018 |
| • Messwertmeldungen erfolgt | 25. Oktober 2018 |
| • Kommunikation der Ergebnisse | 1. November 2018 |

2.3 Teilnehmer

Die in der Tabelle im Anhang 1 aufgeführten Institutionen haben mit jeweils einem oder mehreren Prüflingen an der Radonvergleichsmessung 2018 teilgenommen. Darunter finden sich insbesondere auch jene Radonmessstellen, welche stellvertretend für die Teilnahme mit einem passiven Radondosimeter bezeichnet wurden (s. Kap. 2.1).

2.4 Prüflinge

Die der Radonvergleichsmessung 2018 unterzogenen Messmittel wurden, wie nachfolgend erläutert, in drei Gruppen eingeteilt, welche je separat in der Radonkammer exponiert wurden (s. Kap. 3). Ebenso werden die Ergebnisse entsprechend dieser Gruppierung dargestellt (s. Kap. 4). Die Zusammenstellung sämtlicher Prüflinge der Radonvergleichsmessung 2018 findet sich im Anhang 2.

2.4.1 Radonmessgeräte (Gruppe I)

Dies sind Radonmessgeräte, welche auf Grundlage der StMmV zugelassen sind (Art. 2, Bst. g StMmV) sowie ein weiterer Prüfling eines Modells, für welches zum Zeitpunkt der Vergleichsmessung keine Zulassung vorlag.

2.4.2 Passive Radondosimeter (Gruppe II)

Dies sind Radondosimeter, welche auf Grundlage der StMmV zugelassen sind (Art. 2, Bst. h StMmV) sowie zwei weitere Typen passiver Radondosimeter, für welche zum Zeitpunkt der Vergleichsmessung keine Zulassung vorlag. Für diese Gruppe von Prüflingen wurden je 5 Exemplare in der Radonkammer exponiert. Zudem mussten die Teilnehmer je zwei weitere Exemplare einsenden, welche als sogenannte Transportdosimeter dienten. Diese Transportdosimeter wurden zwar nicht in der Radonkammer exponiert, jedoch ansonsten über den gesamten Ablauf absolut identisch behandelt wie die eigentlichen Prüflinge. Auf diese Weise könnte eine unerwünschte, zusätzliche Exposition der Prüflinge, beispielsweise beim Versand, festgestellt werden.

2.4.3 Elektronische Radondosimeter (Gruppe III)

Dies sind elektronische Radondosimeter, welche auf Grundlage der StMmV zugelassen sind (Art. 2, Bst. h StMmV) sowie weitere Modelle elektronischer Radonmessmittel ohne Zulassung, welche über einen Messdatenspeicher und/oder eine Messwertanzeige verfügen und mit welchen gemäss den Herstellerangaben die Radonexposition über eine Zeitdauer von mehreren Wochen gemessen werden kann (s. Kap. 1.3).

3 Radonexposition

3.1 Referenzlabor

Die Exposition der Prüflinge in der Referenzatmosphäre für die Radonaktivitätskonzentration in der Luft (Radonkammer) wurde am Radon-Kalibrierlabor des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS), in Berlin, durchgeführt. Das Labor ist bei der Deutschen Akkreditierungsstelle

GmbH (DAkKS) gemäss DIN EN ISO/IEC 17025 unter der Nummer D-K-15063-01-00 für die Kalibrierung von Geräten zur Messung der Aktivitätskonzentration von Radon in Luft und der potenziellen Alphaenergie-Konzentration der kurzlebigen Radon-Zerfallsprodukte (PAEC) akkreditiert ([5], [6]).

Zur Durchführung der Exposition wurden die Prüflinge in einen Kalibrierbehälter aus Edelstahl gebracht, in welchem über die Expositionsdauer eine annähernd konstante Atmosphäre der Radonaktivitätskonzentration herrschte. Der Referenzwert der Radonaktivitätskonzentration im Kalibrierbehälter wurde mit einem Gebrauchsnormale vom Typ AlphaGUARD bestimmt, dessen Messgrösse auf ein nationales Normal der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) rückführbar ist.

Zu jedem Prüfling wurde dem BfS eine Anleitung zur Handhabung übergeben. Darin fanden sich nebst den Instruktionen zur allgemeinen Handhabung des entsprechenden Prüflings ebenso die Angaben zur Stromversorgung, zum Ein- und Ausschalten sowie zum Einstellen allfälliger Betriebsparameter der elektronischen Messmittel.

Die zu den Prüflingen der Gruppe II (passiven Radondosimeter) gehörenden Transportdosimeter (s. Kap. 2.4.2) wurden im Zeitraum der Radonexposition in einem Raum gelagert, in welchem eine Radonaktivitätskonzentration von weniger als 12 Bq/m^3 herrschte.

Nach erfolgter Radonexposition wurden sämtliche Prüflinge während mindestens 24 Stunden in dem erwähnten Raum (Radonaktivitätskonzentration $< 12 \text{ Bq/m}^3$) gelagert. Anschliessend wurden die Prüflinge wieder verpackt und ans METAS zurücktransportiert. Insbesondere wurden dazu die passiven Radondosimeter (Gruppe II) sowie die zugehörigen Transportdosimeter wieder einzeln und luftdicht verschlossen in den originalen Plastikbeuteln verpackt.

3.2 Expositionsparameter

Die drei Gruppen von Prüflingen (s. Kap. 2.4) wurden je in separaten Durchgängen in der Radonkammer exponiert. Die Zielwerte der Expositionsparameter wurden vorgängig mit dem Radon-Kalibrierlabor des BfS vereinbart. Im Nachfolgenden werden für jeden der Expositionsdurchgänge die Parameter aufgeführt.

3.2.1 Radonmessgeräte (Gruppe I)

Referenzwert Radonaktivitätskonzentration C_{Ref}	1144 Bq/m^3
Unsicherheit U_{95} des Referenzwertes	6.2 %
Expositionszeitraum	16.08.2018, 11:00 – 17.08.2018, 14:10
Referenzzeitraum	17.08.2018, 09:20 – 17.08.2018, 13:20
Expositionsdauer t_M :	4.0 h
Volumen der Referenzatmosphäre:	30 m^3
Luftdruck:	$1010 \pm 3 \text{ hPa}$
Lufttemperatur:	$28 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$
Relative Luftfeuchtigkeit:	$41 \pm 8 \text{ %}$

3.2.2 Passive Radondosimeter (Gruppe II)

Referenzwert Radonaktivitätskonzentration C_{Ref}	1330 Bq/m^3
Referenzwert Radonexposition E_{Ref}	$253 \text{ kBq}\cdot\text{h/m}^3$
Unsicherheit U_{95} des Referenzwertes	5.3 %
Expositionszeitraum	13.08.2018, 17:17 – 21.08.2018, 11:27
Referenzzeitraum	13.08.2018, 17:17 – 21.08.2018, 11:27
Expositionsdauer t_M :	190.2 h
Volumen der Referenzatmosphäre:	0.4 m^3
Luftdruck:	$1012 \pm 3 \text{ hPa}$
Lufttemperatur:	$25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$
Relative Luftfeuchtigkeit:	$45 \pm 8 \text{ %}$

3.2.3 Elektronische Radondosimeter (Gruppe III)

Referenzwert Radonaktivitätskonzentration C_{Ref}	1138 Bq/m ³
Unsicherheit U_{95} des Referenzwertes	4.0 %
Expositionszeitraum	14.08.2018, 15:10 – 22.08.2018, 15:21
Referenzzeitraum	14.08.2018, 18:20 – 22.08.2018, 15:20
Expositionsdauer t_M :	189.0 h
Volumen der Referenzatmosphäre:	11 m ³
Luftdruck:	1014 ± 3 hPa
Lufttemperatur:	25 ± 1 °C
Relative Luftfeuchtigkeit:	48 ± 8 %

4 Ergebnisse und Beurteilung

4.1 Meldung der Messwerte

Nachdem die Prüflinge wieder beim METAS eingetroffen sind, wurden diese den Teilnehmern zugesandt oder von den Teilnehmern selbst vor Ort abgeholt. Zusammen mit den Prüflingen erhielten die Teilnehmer ein Informationsschreiben mit den benötigten Angaben für die Meldung der Messwerte.

Für die Prüflinge der Gruppe I (Radonmessgeräte) sowie der Gruppe III (elektronische Radondosimeter) erhielten die Teilnehmer in diesem Schreiben die Angabe des Referenzzeitraums der entsprechenden Exposition. Die Teilnehmer wurden angewiesen, den Messwert der Radonaktivitätskonzentration des Prüflings (in Bq/m³) zusammen mit der Angabe der kombinierten Unsicherheit (Vertrauensintervall von 95 %, $k=2$) dem METAS zu melden.

Für die Prüflinge der Gruppe II (passive Radondosimeter) wurden die Teilnehmer angewiesen, den Messwert der Radonexposition (in kBq·h/m³) zusammen mit der Angabe der kombinierten Unsicherheit (Vertrauensintervall von 95 %, $k=2$) dem METAS zu melden.

4.2 Resultate

Die vollständige Zusammenstellung der Resultate für alle drei Gruppen von Prüflingen findet sich in den entsprechenden Tabellen im Anhang 3. Die in den jeweiligen Tabellen aufgeführten Werte bzw. Kolonnen haben die folgende Bedeutung:

<i>Code:</i>	Nummer zur Identifikation der Prüflinge.
<i>Messwert:</i>	Der vom Teilnehmer ermittelte und dem METAS gemeldete Messwert der Radonaktivitätskonzentration (Gruppe I und Gruppe III) bzw. Radonexposition (Gruppe II) für den jeweiligen Prüfling.
U_{95} :	Die vom Teilnehmer ermittelte und dem METAS gemeldete kombinierte Unsicherheit. Im erwähnten Informationsschreiben (s. Kap. 4.1) wurden die Teilnehmer angehalten, den Wert der kombinierten Unsicherheit bei einem Vertrauensintervall von 95 % ($k=2$) zu ermitteln.
<i>Relativer Messwert:</i>	Das Verhältnis des Messwertes zum Referenzwert für die Radonaktivitätskonzentration (Gruppe I und Gruppe III) bzw. Radonexposition (Gruppe II).
U_{95} <i>relativ:</i>	Das Verhältnis der vom Teilnehmer gemeldeten Messunsicherheit U_{95} zum gemeldeten Messwert des jeweiligen Prüflings.
< <i>Relativer Messwert</i> >:	Der Mittelwert der relativen Messwerte sämtlicher Prüflinge desselben Typs bzw. derselben Bauart.
<i>Standardabweichung:</i>	Die Standardabweichung der relativen Messwerte sämtlicher Prüflinge desselben Typs bzw. derselben Bauart.

Innerhalb der Tabellen in Anhang 3 (den einzelnen Gruppen I, II und III entsprechend) sind die Prüflinge nach den verschiedenen Bauarten gruppiert, jeweils zuerst die zugelassenen Bauarten und danach die weiteren Messmittel. Ansonsten ist die Reihenfolge der Aufführung der einzelnen Prüflinge zufällig.

4.2.1 Radonmessgeräte (Gruppe I)

Im Diagramm in Abbildung 1 sind die Ergebnisse der Radonmessgeräte (Gruppe I) dargestellt. Das Diagramm zeigt für jeden Prüfling den relativen Messwert zusammen mit der von den Teilnehmern für den jeweiligen Prüfling gemeldeten kombinierten Messunsicherheit (Vertrauensintervall von 95%, $k=2$). Zudem sind im Diagramm mit einer grünen bzw. blauen Linie die Mittelwerte der relativen Messwerte für die Prüflinge derselben Bauart dargestellt.

Für die Radonmessgeräte auf Grundlage von Art. 2, Bst. g StMmV [3] wird eine Eichfehlergrenze von 20% vorgeschrieben. Das bedeutet, dass die relative Abweichung des Messwertes vom Referenzwert die maximal zulässige Toleranz von 20 % nicht überschreiten darf. Die gestrichelten Linien im Diagramm in der Abbildung 1 stellen diesen Toleranzbereich dar. Demnach liegen die Messwerte sämtlicher Prüflinge innerhalb der geforderten Toleranz.

Beim Prüfling mit Code 129 handelt es sich um ein Radonmessgerät, für welches zum Zeitpunkt dieser Vergleichsmessung keine Zulassung vorlag. Folglich kommt der Beurteilung anhand der Eichfehlergrenzen eine rein informative Bedeutung zu. Dennoch erfüllt auch dieser Prüfling die für Radonmessgeräte nach der StMmV geforderte Toleranz von 20 %.

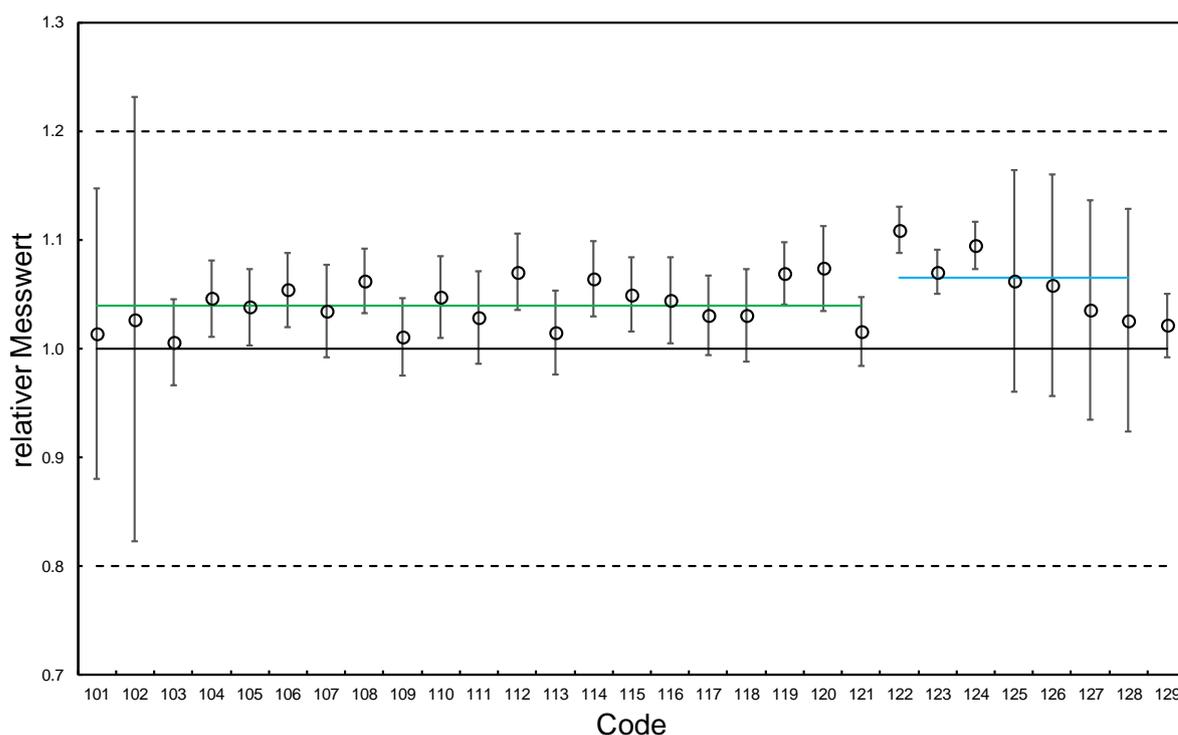


Abbildung 1: Übersicht der relativen Messwerte der Radonmessgeräte (Gruppe I, Code 101 - 129). Die dargestellte Unsicherheit entspricht der vom jeweiligen Teilnehmer dem METAS gemeldeten Angabe der kombinierten Unsicherheit, welche gemäss dem erwähnten Informationsschreiben (s. Kap. 4.1) bei einem Vertrauensintervall von 95 % ($k=2$) zu ermitteln war. Die grüne bzw. die blaue Linie stellt den Mittelwert der relativen Messwerte für die Prüflinge derselben Bauart dar.

4.2.2 Passive Radondosimeter (Gruppe II)

Im Diagramm der Abbildung 2 sind die Ergebnisse der passiven Radondosimeter (Gruppe I) dargestellt. Das Diagramm zeigt für jeden Radondosimeter-Typ die 5 gemeldeten Einzelmesswerte. Für jede Gruppe von 5 solcher Einzelmesswerte ist im Diagramm zudem deren Mittelwert sowie die relative Standardabweichung dargestellt.

Für passive Radondosimeter auf Grundlage von Art. 2, Bst. h StMmV [3] wird eine Toleranz für Linearität und Reproduzierbarkeit von Einzelmessungen vorgeschrieben. Daraus leiten sich die folgenden beiden kumulativ anzuwendenden Beurteilungskriterien ab, welche so auch in den früheren Radonvergleichsmessungen angewendet wurden:

- i. *Abweichung des Mittelwertes der Einzelmessungen < 20 %*: Der Mittelwert von Einzelmessungen mit identisch exponierten Exemplaren von Radondosimetern darf die Toleranzgrenze von 20% nicht überschreiten.
- ii. *Standardabweichung der Einzelmessungen < 20 %*: Kumulativ zum Kriterium i) wird für die Streuung der Einzelmesswerte gefordert, dass deren Standardabweichung relativ zum Mittelwert die Toleranzgrenze von 20 % nicht überschreiten darf.

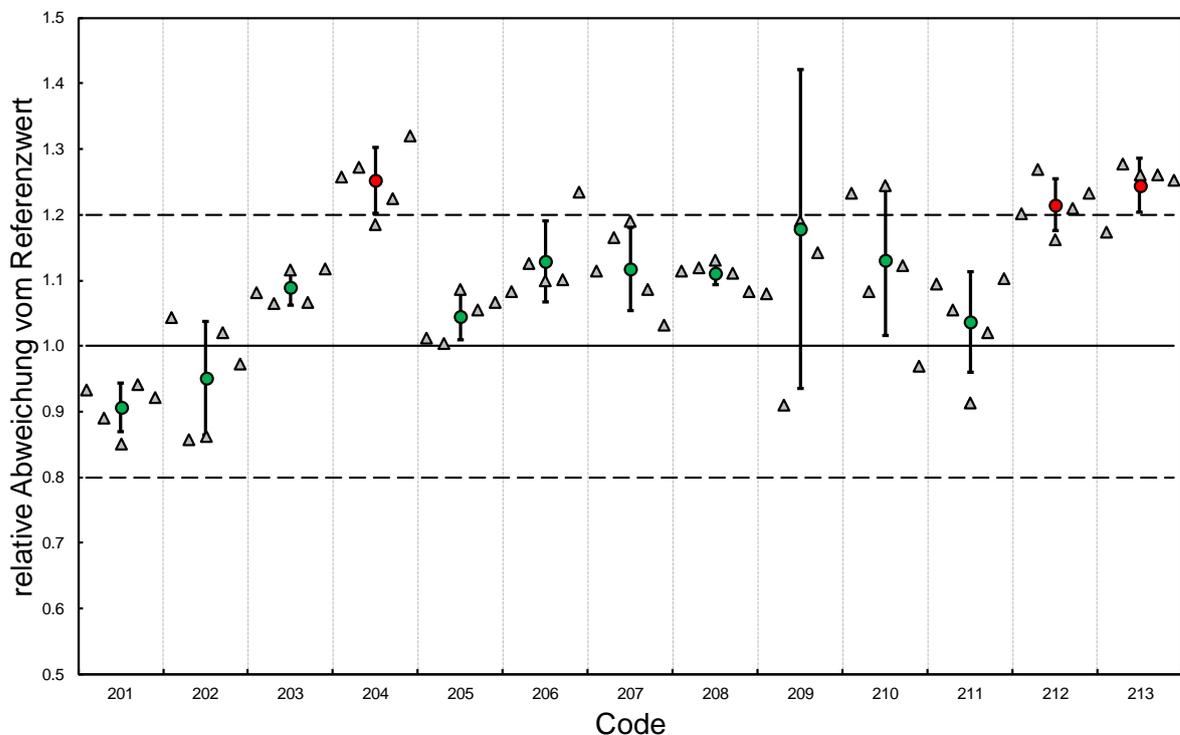


Abbildung 2: Übersicht der relativen Messwerte der passiven Radondosimeter (Gruppe II, Code 201 - 213). Darin entsprechen die Datenpunkte (Δ) den relativen Messwerten der 5 Exemplare, welche je Radondosimeter-Typ exponierten wurden. Die grünen (\bullet) bzw. roten Datenpunkte (\bullet) entsprechen dem Mittelwert der 5 Einzelmessungen, für welche dieser innerhalb bzw. über der vorgegebenen Toleranz von 20 % liegt. Die dargestellte Unsicherheit entspricht der relativen Standardabweichung der 5 Einzelmesswerte.

Im Diagramm der Abbildung 3 wurde für die Beurteilung der Erfüllung der beiden erwähnten Kriterien i) und ii) für jeden Prüfling der Mittelwert der relativen Abweichung vom Referenzwert (horizontale Achse) sowie die dazugehörige relative Standardabweichung (vertikale Achse) dargestellt. Die kumulative Erfüllung der beiden Kriterien i) und ii) ist dann gegeben, wenn der jeweilige Punkt innerhalb des 20 %-Halbkreises liegt.

Mit Ausnahme der nachfolgend aufgeführten Fälle erfüllen sämtliche Prüflinge bzw. Typen passiver Radondosimeter die beiden Kriterien.

Code 204

Der Prüfling erfüllt zwar das Kriterium ii), jedoch liegt der Mittelwert der 5 Einzelmessungen 25.2 % über dem Referenzwert und damit ausserhalb der geforderten Toleranzgrenze. Dabei handelt es sich um einen zugelassenen Radondosimeter-Typ, welcher von zahlreichen Radonmessstellen in der Schweiz verwendet wird und welcher insbesondere auch bei vielen früheren Vergleichsmessungen sehr gute Ergebnisse erzielt hatte. Aus diesem Grund untersuchte das METAS zusammen mit dem entsprechenden Teilnehmer die Ursache der Abweichung. Weiterführende Erläuterungen dazu werden in Kap. 4.3 gegeben.

Code 212

Der Prüfling erfüllt zwar das Kriterium ii), jedoch liegt der Mittelwert der 5 Einzelmessungen 21.5 % über dem Referenzwert. Hierbei handelt es sich um einen Typ eines passiven Radondosimeters, für welches zum Zeitpunkt der Vergleichsmessung keine Zulassung vorlag. Folglich stellt die Beurteilung anhand der beiden Kriterien eine informative Rückmeldung an den Teilnehmer dar. Da es sich dabei aber um denselben Teilnehmer handelt wie beim Prüfling mit Code 204 wurde die mögliche Ursache gemeinsam mit diesem abgeklärt (s. Kap. 4.3).

Code 209

Der Mittelwert der 5 Einzelmessungen liegt zwar innerhalb der vorgegebenen Toleranz gemäss Kriterium i), jedoch ist das Kriterium ii) wegen der zu starken Streuung der Einzelmessungen nicht erfüllt. Bei dem Prüfling handelt es sich um ein passives Radondosimeter vom Typ Rad Elec Inc., E-PERM Elektret LLT, welches nicht für den Messbereich vorgesehen ist, in welchem der Referenzwert dieser Vergleichsprüfung lag. Aus diesem Grund werden die Radondosimeter von diesem Typ in der Anwendung stets gemeinsam mit einem zweiten Radondosimeter vom Typ Rad Elec Inc., E-PERM Elektret LST verwendet, sodass der gesamte Messbereich abgedeckt werden kann. Für diesen zweiten Typ (Prüfling Code 210) sind die beiden Kriterien i) und ii) erfüllt. Demnach gilt die Prüfung für diese passiven Radondosimeter als bestanden.

Code 213

Der Prüfling erfüllt zwar das Kriterium ii), jedoch liegt der Mittelwert der 5 Einzelmessungen 24.5 % über dem Referenzwert und damit ausserhalb der geforderten Toleranz. Bei dieser zugelassenen Bauart handelt es sich um einen Radondosimeter-Typ, welcher aktuell von keiner Radonmessstelle in der Schweiz verwendet wird.

4.2.3 Elektronische Radondosimeter (Gruppe III)

Im Diagramm der Abbildung 4 sind die Ergebnisse der elektronischen Radondosimeter (Gruppe III) dargestellt. Das Diagramm zeigt für jeden Prüfling den relativen Messwert zusammen mit der von den Teilnehmern für den jeweiligen Prüfling gemeldeten kombinierten Messunsicherheit (Vertrauensintervall von 95 %, $k=2$). Zudem sind im Diagramm mit einer grünen bzw. blauen Linie die Mittelwerte der relativen Messwerte für die Prüflinge derselben Bauart dargestellt.

Für die elektronischen Radondosimeter auf Grundlage von Art. 2, Bst. h StMmV [3] gilt eine Toleranzgrenze von 20 %. Der entsprechende Toleranzbereich ist im Diagramm durch die gestrichelten Linien dargestellt.

Die Prüflinge mit dem Code 304, 307 und 308 liegen ausserhalb dieser Toleranz und dürfen deshalb nicht mehr im Rahmen der gesetzlich geregelten Radonmessungen eingesetzt werden (S. Kap. 1). Die Messwerte aller anderen Prüflinge dieser Gruppe liegen innerhalb der geforderten Toleranz.

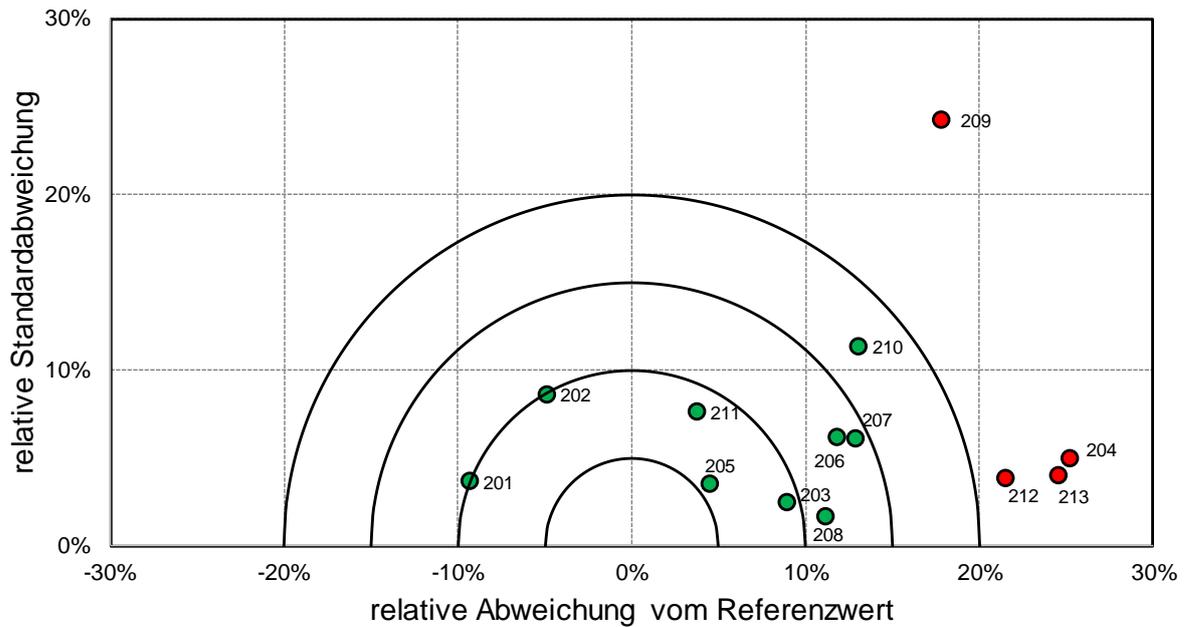


Abbildung 3: Diagramm zur Beurteilung der passiven Radondosimeter (Gruppe I, Code 201 – 213) anhand der Beurteilungskriterien *i*) (Abweichung des Mittelwertes der Einzelmessungen < 20%) und *ii*) (Standardabweichung der Einzelmessungen < 20%).

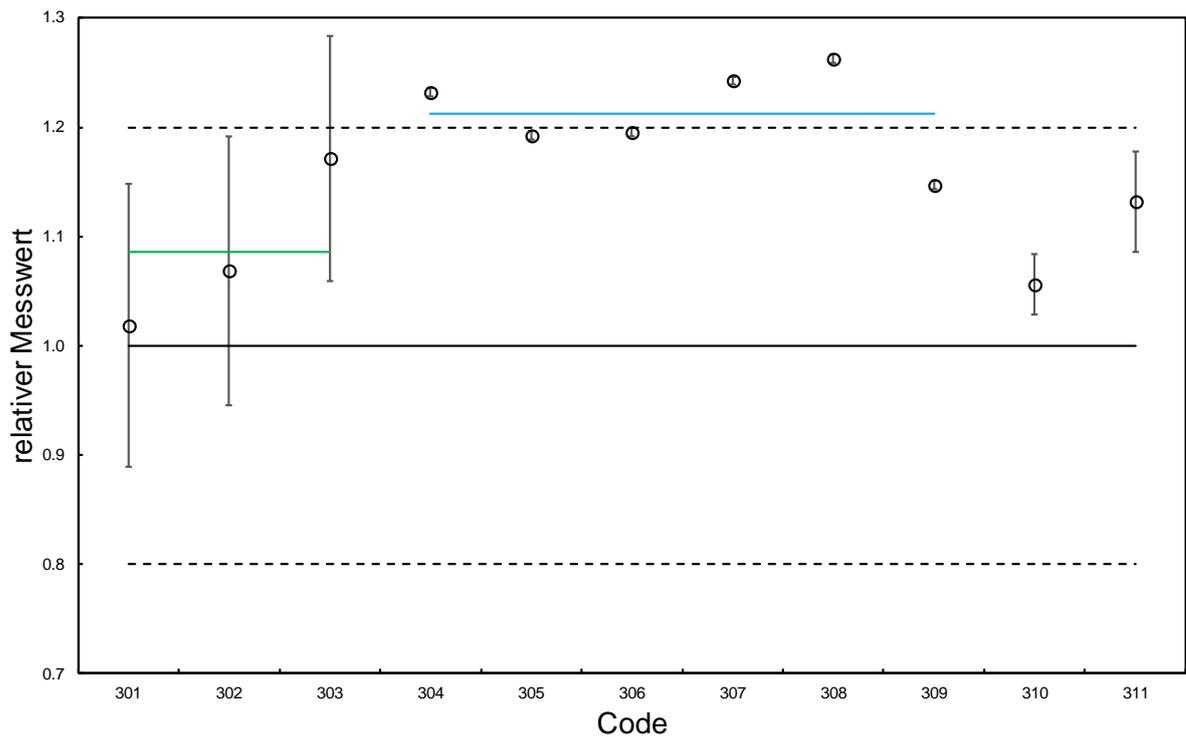


Abbildung 4: Übersicht der relativen Messwerte der elektronischen Radondosimeter (Gruppe III, Code 301 - 311). Die dargestellte Unsicherheit entspricht der vom jeweiligen Teilnehmer dem METAS gemeldeten Angabe der kombinierten Unsicherheit, welche gemäss dem erwähnten Informationsschreiben (s. Kap. 4.1) bei einem Vertrauensintervall von 95 % ($k=2$) zu ermitteln war. Die grüne bzw. die blaue Linie stellt den Mittelwert der relativen Messwerte für die Prüflinge derselben Bauart bzw. desselben Modells dar.

4.3 Nachträgliche Untersuchung (zu Prüfling Code 204 und 212)

4.3.1 Ausgangslage

Beim Teilnehmer der Prüflinge mit Code 204 und 212, Radonova Laboratories AB, handelt es sich um einen Anbieter passiver Radondosimeter, welcher seit vielen Jahren zahlreiche der Schweizerischen Radonmessstellen mit seinem Radondosimetrie Service bedient. Ebenso fielen die Ergebnisse von früheren Teilnahmen an Vergleichsprüfungen dieser Radondosimeter stets erfolgreich aus. Entsprechend erstaunte es, dass diese Prüflinge bei der Vergleichsmessung 2018 die geforderten Kriterien nicht erfüllen konnten (s. Kap. 4.2.2).

Als mögliche Ursache für die gegenüber dem Referenzwert deutlich zu hoch ausgefallenen Messwerte der Radonexposition wurde von Radonova die Vermutung aufgebracht, dass dies im Zusammenhang mit einem bereits früher beobachteten Absorptionseffekt im Material des Plastikgehäuses [7] und dem Umstand der Art und Weise der luftdichten Verpackung bei dieser Vergleichsmessung stehen könnte. Der dahingehende Erklärungsansatz beruht demnach darauf, dass das Material des Plastikgehäuses während der Exposition in der Radonkammer Radon absorbiert, welches zu einem späteren Zeitpunkt wieder in die Umgebung abgegeben wird. Die Radondosimeter wurden bei dieser Vergleichsmessung nach erfolgter Exposition zwar für ca. 24 Stunden in einem Raum mit geringer Radonaktivitätskonzentration gelagert (s. Kap. 3.1), doch verweilten sie anschliessend während insgesamt ca. drei Wochen in den originalen, luftdicht verpackten Plastikbeuteln, bevor sie ausgewertet wurden. Falls also das im Material der Plastikgehäuse absorbierte Radon nicht bereits innerhalb der ersten 24 Stunden an die Umgebung abgegeben wurde, so könnte über die Verweildauer in der luftdichten Verpackung eine zusätzliche Exposition des Detektormaterials erfolgt sein.

4.3.2 Wiederholung der Prüfung

Zur Untersuchung dieser Vermutung bot das METAS in der Folge Radonova die Exposition einer zusätzlichen Serie von Prüflingen (Code 204-R und Code 212-R) an. Dies war möglich, da zwischenzeitlich die Radonkammer am METAS fertiggestellt wurde und für diese Untersuchung eingesetzt werden konnte.

Der Ablauf des Wiederholungsdurchgangs war mit dem Vorgehen bei der Vergleichsmessung identisch, ausser dass die Radonexposition am METAS durchgeführt wurde und dass die Prüflinge für den Versand gemäss den Anweisungen von Radonova nicht luftdicht verpackt wurden. Zusätzlich wurden zum Feststellen einer unerwünschten, zusätzlichen Exposition der Prüflinge unterwegs entsprechende Transportdosimeter verwendet.

Folgende Prüflinge wurden in der Radonkammer exponiert:

Prüfling Typ "Radtrak2"	Code 204-R/1 - /5 (5 Stück)
Prüfling Typ "Duotrak"	Code 212-R/1 - /5 (5 Stück)

Die Parameter für die Radonexposition wurden so festgelegt, dass diese mit der Exposition der Gruppe II (s. Kap. 3.2.2) vergleichbar, aber nicht identisch sind:

Referenzwert Radonaktivitätskonzentration C_{Ref}	1450 Bq/m ³
Referenzwert Radonexposition E_{Ref}	279 kBq*h/m ³
Unsicherheit U_{95} des Referenzwertes	4.8 %
Expositionszeitraum	04.12.2018, 14:01 – 12.12.2018, 12:13
Referenzzeitraum	04.12.2018, 14:01 – 12.12.2018, 12:13
Expositionsdauer t_M :	190.2 h
Volumen der Referenzatmosphäre:	0.028 m ³
Luftdruck:	957 ± 12 hPa
Lufttemperatur:	21 ± 1 °C
Relative Luftfeuchtigkeit:	46 ± 13 %

4.3.3 Ergebnis

Die Diagramme in der Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen die entsprechenden Diagramme aus Abbildung 3 bzw. Abbildung 4 ergänzt mit den Ergebnissen aus der Wiederholung für diese Prüflinge (Code 204-R und Code 212-R). Wie darin zu sehen ist, erfüllen die Resultate der beiden Prüflinge die geforderten Kriterien *i)* und *ii)*.

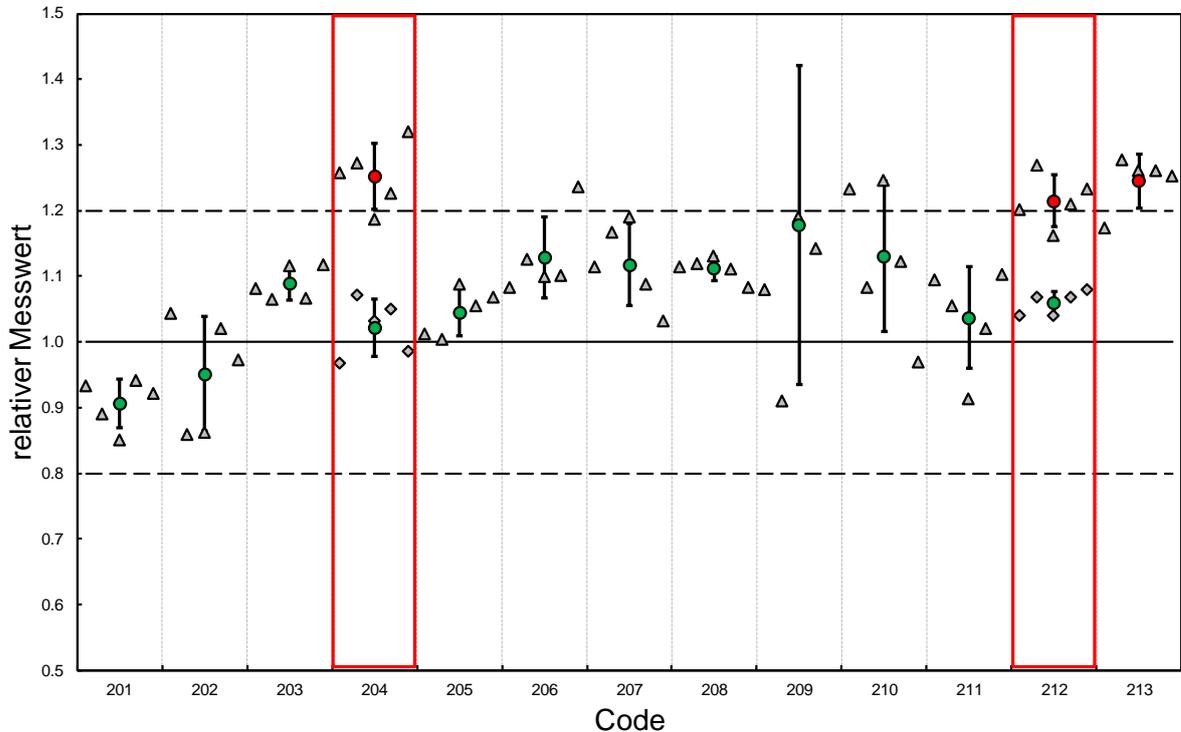


Abbildung 5: Übersicht der relativen Messwerte der passiven Radondosimeter (Gruppe II, Code 201 - 213), ergänzt mit den Messwerten der Wiederholung (Prüflinge Code 204-R und 212-R).

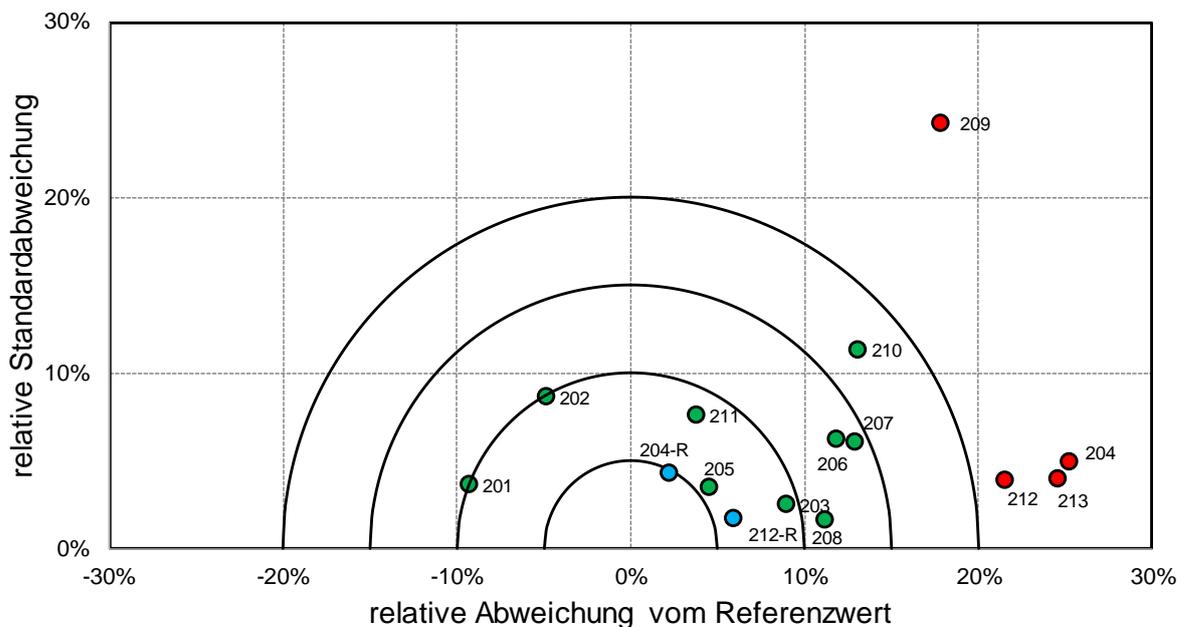


Abbildung 6: Diagramm zur Beurteilung der passiven Radondosimeter (Gruppe I, Code 201 – 213) ergänzt mit den Werten der entsprechenden Prüflinge (Code 204-R und 212-R, ●) aus der Wiederholung der Prüfung.

4.3.4 Fazit und weiteres Vorgehen

Obschon die Wiederholung der Prüfung ein positives Ergebnis geliefert hat, muss die genaue Ursache für diesen Effekt weiter untersucht werden, da sich die Frage stellt, ob und inwiefern dieser Effekt die Ergebnisse von Messungen in der Praxis beeinflussen kann. Offenbar steht dieser Effekt mit der Art der Verpackung im Zusammenhang und ebenso mit der Dauer, während der sich das Radondosimeter darin befindet, bevor es ausgewertet wird. Im Weiteren stellt sich die Frage, weshalb dieser Effekt offenbar die anderen an der Vergleichsmessung teilnehmenden passiven Radondosimeter nicht betraf. Für die Klärung dieser Fragen führt das METAS zusammen mit dem Teilnehmer zurzeit eine Versuchsreihe durch, in welcher dieser Effekt auf systematische Art und Weise untersucht wird.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Durchführung der in der Vergangenheit im Zweijahresrhythmus erfolgten Vergleichsmessung für Radonmessmittel wurde im Jahr 2018 vom Paul Scherrer Institut (PSI) dem Eidgenössischen Institut für Metrologie (METAS) übergeben. So stand die erstmals vom METAS durchgeführte Radonvergleichsmessung 2018 im Zeichen dieser Übergabe. Die der Vergleichsprüfung zu unterziehenden Messmittel wurden für die Exposition in der Referenzatmosphäre der Radonaktivitätskonzentration (Radonkammer) an das Radon-Kkalibrierlabor des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) in Berlin gesandt. Dies stellte für die Radonvergleichsmessung 2018 eine Übergangslösung dar, da in Zukunft am METAS eine Radonkammer zur Verfügung stehen wird.

Die Referenzwerte der Radonaktivitätskonzentration sowie der Radonexposition wurden wie bereits bei der Radonvergleichsmessung 2016 [8] tief gewählt. Damit wurde bezweckt, dass die Radonmessmittel in einem Messbereich geprüft wurden, welcher für den durch das Inkrafttreten der revidierten Strahlenschutzverordnung (StSV, [1]) neu eingeführten Referenzwert der Radonaktivitätskonzentration von 300 Bq/m^3 repräsentativ ist.

Die Prüflinge wurden in drei Gruppen aufgeteilt, welche je separat in der Radonkammer für eine vorgängig zwischen dem METAS und dem BfS vereinbarten Dauer exponiert wurden. Die für die erfolgreiche Teilnahme an der Vergleichsprüfung geforderten Toleranzen ergeben sich aus der Verordnung über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV, [3]).

Gruppe I: Radonmessgeräte

Die Abweichung des Messwertes vom Referenzwert lag bei sämtlichen der insgesamt 29 Prüflinge innerhalb der geforderten Toleranz von 20 %. Die Teilnehmer selbst bestimmten den Messwert der mittleren Radonaktivitätskonzentration über das Referenzzeitfenster.

Gruppe II: Passive Radondosimeter

Von jedem der insgesamt 13 Typen passiver Radondosimeter wurden je 5 Exemplare in der Radonkammer exponiert. Die Beurteilungskriterien für passive Radondosimeter verlangen eine Toleranz von 20 % sowohl für die relative Abweichung des Mittelwertes vom Referenzwert als auch für die relative Standardabweichung der 5 Einzelmessungen. In drei Fällen waren diese Kriterien nicht erfüllt, wobei ein Fall ein in der Schweiz nicht verwendeter Radondosimeter-Typ betrifft. Bei den anderen beiden Fällen konnte eine mögliche Ursache identifiziert werden und im Moment laufen dahingehend weitere Untersuchungen zur Abklärung des Problems. Jedenfalls konnte unter Berücksichtigung der vermeintlichen Ursache im Rahmen einer nachträglichen Vergleichsprüfung die Einhaltung der geforderten Toleranzen bereits nachgewiesen werden.

Gruppe III: Elektronische Radondosimeter

Von den insgesamt 11 Prüflingen lag die Abweichung des Messwertes vom Referenzwert der Radonaktivitätskonzentration klar unter der geforderten Toleranz von 20 %. Für die restlichen 5 Prüflinge, allesamt sowohl vom selben Typ als auch vom selben Teilnehmer, lag die Abweichung bei zwei Prüflingen knapp darüber und bei drei Prüflingen knapp darunter.

Referenzen

- [1] Strahlenschutzverordnung (StSV), vom 26. April 2017 (Stand am 1. Februar 2019), SR 814.501.
- [2] Messmittelverordnung (MessMV), vom 15. Februar 2006 (Stand am 20. April 2016), SR 941.210.
- [3] Verordnung des EJPD über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV), vom 7. Dezember 2012 (Stand am 1. Januar 2013), SR 941.210.5.
- [4] Datenbank "certsearch": <http://legnet.metas.ch/legnet2/Eichstellen/certsearch>, METAS, Stand 8.2.2019.
- [5] P. Hamel and V. Schmidt: "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) 4, S. 202-205.
- [6] E. Foerster, F. Friedrich, M. Dubslaff, F. Schneider, J. Döring: "Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222-Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition: Vergleichsprüfung 2018, Instruments to measure radon-222 activity concentration or exposure to radon-222: Interlaboratory comparison 2018", Bundesamt für Strahlenschutz, 2019.
- [7] H. Möre and L.M. Hubbard: "Rn-222 absorption in plastic holders for alpha track detectors: a source of error", Radiat. Prot. Dosim. 74, 85-91 (1997)
- [8] G. Butterweck, B. Hofstetter-Boillat, E. Hohmann und S. Mayer, Die Vergleichsmessung 2016 für Radonmessmittel am PSI, PSI Bericht Nr. 16-02, 2018.

Anhang 1: Teilnehmer Radonvergleichsmessung 2018

Böhm Geologie / Hydrologie

Christian Böhm, Obere Gasse 40, CH-7000 Chur

Bundesamt für Gesundheit (BAG), Direktionsbereich Verbraucherschutz

Fabio Barazza, Schwarzenburgstrasse 157, CH-3003 Bern

Chuv - Institut de Radiophysique (IRA)

Jérôme Damet, Rue du Grand-Pré 1, CH-1007 Lausanne

ECONS SA, Servizio di misurazione ufficiale

Mauro Gandolla, Via Stazione 19, CH-6934 Bioggio

HSE Conseils SA, Service Radon

Jérémy Crucy, Rue de la Gare 13, 2074 CH-Marin-Epagnier

Im Rank Engineering

Stefan Miller, Im Rank 1, CH-8104 Weiningen

Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL

Nadia Vogel, Stampfenbachstrasse 12, CH-8090 Zürich

Monitron SA

Florian Genier, Chemin de Montelly 78, CH-1000 Lausanne 20

MI.AM srl, Dosimetry service

Antonio Parravicini, Via Bolzoni 30, IT-29122 Piacenza (Italien)

Radonova Laboratories AB

Tryggve Rönqvist, P.O. Box 6522, SE-75138 Uppsala (Schweden)

SUPSI, CCR - Centro Competenze Radon

Nicolas Ostinelli, Via Trevano, Campus Trevano, CH-6952 Canobbio

Tecnavia S.A., Environmental Division

Roberto Colucci, Via Cadepiano 28, CH-6917 Barbengo

Truffer Ingenieurberatung AG, Bauphysik

Dario Bichsel, Gewerbestrasse 10, CH-3931 Lalden

U-Series SRL

Marta Rossetti, Via Ferrarese 131, IT-40128, Bologna (Italien)

Anhang 2: Prüflinge

Gruppe I: Radonmessgeräte

Code	Hersteller / Lieferant	Bauart / Typ / Modell	Zulassung
101	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
102	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
103	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
104	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
105	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
106	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
107	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
108	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
109	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
110	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
111	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
112	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
113	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
114	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
115	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
116	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
117	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
118	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
119	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
120	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
121	Saphymo GmbH	AlphaGUARD PQ 2000	CH-I-13169-00
122	Tecnavia SA	RadonMapper	CH-I-13005-00
123	Tecnavia SA	RadonMapper	CH-I-13005-00
124	Tecnavia SA	RadonMapper	CH-I-13005-00
125	Tecnavia SA	RadonMapper	CH-I-13005-00
126	Tecnavia SA	RadonMapper	CH-I-13005-00
127	Tecnavia SA	RadonMapper	CH-I-13005-00
128	Tecnavia SA	RadonMapper	CH-I-13005-00
129	Saphymo GmbH	AlphaGUARD DF 2000	-

Fortsetzung Anhang 1: Prüflinge

Gruppe II: Passive Radondosimeter

Code	Hersteller / Lieferant	Bauart / Typ / Modell	Zulassung
201/1 – 201/5	Altrac	Typ LD	CH-I-13249-00
202/1 – 202/5	Altrac	Typ PD	CH-I-13249-00
203/1 – 203/5	Mi.am Srl	Radout	CH-I-13251-00
204/1 – 204/5	Radonova Laboratories AB	Radtrak2	CH-I-13250-00
205/1 – 205/5	IRA	Politrack	CH-I-15208-00
206/1 – 206/5	Mi.am Srl	Radout	CH-I-13251-00
207/1 – 207/5	AGES	Radosys / RSKS	CH-I-13252-00
208/1 – 208/5	Rad Elec Inc.	E-PERM Elektret SLT	CH-I-13254-00
219/1 – 219/5	Rad Elec Inc.	E-PERM Elektret LLT	CH-I-13254-00
210/1 – 210/5	Rad Elec Inc.	E-PERM Elektret LST	CH-I-13254-00
211/1 – 211/5	Altrac	Radosys / RSX	-
212/1 – 212/5	Radonova Laboratories AB	Duotrak	-
213/1 – 213/5	U-series Srl	TASL / Radosure	CH-I-16238-00

Gruppe III: Elektronische Radondosimeter

Code	Hersteller / Lieferant	Bauart / Typ / Modell	Zulassung
Radondosimeter (elektronisch)			
301	GT Analytic	Ramon 2.2	CH-I-13253-00
302	GT Analytic	Ramon 2.2	CH-I-13253-00
303	GT Analytic	Ramon 2.2	CH-I-13253-00
304	Sarad	Radon Scout	CH-I-13255-00
305	Sarad	Radon Scout	CH-I-13255-00
306	Sarad	Radon Scout	CH-I-13255-00
307	Sarad	Radon Scout	CH-I-13255-00
308	Sarad	Radon Scout	CH-I-13255-00
309	Sarad	Radon Scout	CH-I-13255-00
310	Saphymo GmbH	AlphaE	-
311	Airthings	Corentium Pro	-

Anhang 3: Messwerte und Ergebnisse

Gruppe I: Radonmessgeräte

Code	Messwert Bq/m ³	U ₉₅ Bq/m ³	Relativer Messwert	U ₉₅ relativ	< Relativer Messwert >	Standard- abweichung
101	1160	155	1.014	0.134	1.040	0.021
102	1175	240	1.027	0.204		
103	1151	45	1.006	0.039		
104	1197	42	1.046	0.035		
105	1188	42	1.038	0.035		
106	1206	41	1.054	0.034		
107	1184	50	1.035	0.042		
108	1216	36	1.063	0.030		
109	1157	41	1.011	0.035		
110	1199	45	1.048	0.038		
111	1177	50	1.029	0.042		
112	1225	43	1.071	0.035		
113	1161	45	1.015	0.039		
114	1218	42	1.065	0.034		
115	1201	41	1.050	0.034		
116	1195	47	1.045	0.039		
117	1179	43	1.031	0.036		
118	1179	50	1.031	0.042		
119	1223	35	1.069	0.029		
120	1229	48	1.074	0.039		
121	1162	37	1.016	0.032		
122	1269	27	1.109	0.021	1.066	0.030
123	1225	25	1.071	0.020		
124	1253	27	1.095	0.022		
125	1216	124	1.063	0.102		
126	1211	124	1.059	0.102		
127	1185	120	1.036	0.101		
128	1174	120	1.026	0.102		
129	1169	34	1.022	0.029	1.022	-

Fortsetzung Anhang 3: Messwerte und Ergebnisse

Gruppe II: Passive Radonmessdosimeter

Code	Messwert kBq·h/m ³	U ₉₅ kBq·h/m ³	Relativer Messwert	U ₉₅ relativ	< Relativer Messwert >	Standard- abweichung
201/1	236	68	0.933	0.288	0.907	0.037
201/2	225	65	0.889	0.289		
201/3	215	62	0.850	0.288		
201/4	238	69	0.941	0.290		
201/5	233	67	0.921	0.288		
202/1	264	76	1.043	0.288	0.951	0.087
202/2	217	63	0.858	0.290		
202/3	218	63	0.862	0.289		
202/4	258	74	1.020	0.287		
202/5	246	71	0.972	0.289		
203/1	273.5	37	1.081	0.136	1.089	0.026
203/2	269.3	37	1.064	0.137		
203/3	282.2	39	1.115	0.137		
203/4	269.8	38	1.066	0.140		
203/5	282.7	39	1.117	0.136		
204/1	318	42	1.257	0.132	1.252	0.050
204/2	322	44	1.273	0.137		
204/3	300	40	1.186	0.133		
204/4	310	42	1.225	0.135		
204/5	334	44	1.320	0.132		
205/1	256	60	1.012	0.234	1.045	0.036
205/2	254	60	1.004	0.236		
205/3	275	61	1.087	0.222		
205/4	267	60	1.055	0.225		
205/5	270	61	1.067	0.226		
206/1	273.8	38	1.082	0.139	1.129	0.062
206/2	284.9	39	1.126	0.138		
206/3	278.1	38	1.099	0.138		
206/4	278.5	38	1.101	0.136		
206/5	312.5	41	1.235	0.132		
207/1	282	14	1.115	0.050	1.118	0.063
207/2	295	15	1.166	0.051		
207/3	301	15	1.190	0.050		
207/4	275	14	1.087	0.051		
207/5	261	13	1.032	0.050		
208/1	282	42	1.115	0.149	1.111	0.018
208/2	283	42	1.119	0.148		
208/3	286	43	1.130	0.150		
208/4	281	42	1.111	0.149		
208/5	274	41	1.083	0.150		

Fortsetzung Anhang 3: Messwerte und Ergebnisse

Code	Messwert kBq-h/m ³	U ₉₅ kBq-h/m ³	Relativer Messwert	U ₉₅ relativ	< Relativer Messwert >	Standard- abweichung
209/1	273	41	1.079	0.150	1.178	0.243
209/2	230	35	0.909	0.152		
209/3	301	45	1.190	0.150		
209/4	289	43	1.142	0.149		
209/5	397	60	1.569	0.151		
210/1	312	47	1.233	0.151	1.130	0.114
210/2	274	41	1.083	0.150		
210/3	315	47	1.245	0.149		
210/4	284	43	1.123	0.151		
210/5	245	37	0.968	0.151		
211/1	277	80	1.095	0.289	1.037	0.077
211/2	267	77	1.055	0.288		
211/3	231	67	0.913	0.290		
211/4	258	75	1.020	0.291		
211/5	279	80	1.103	0.287		
212/1	304	38	1.202	0.125	1.215	0.039
212/2	321	40	1.269	0.125		
212/3	294	38	1.162	0.129		
212/4	306	38	1.209	0.124		
212/5	312	38	1.233	0.122		
213/1	297	51	1.174	0.172	1.245	0.041
213/2	323	55	1.277	0.170		
213/3	319	54	1.261	0.169		
213/4	319	54	1.261	0.169		
213/5	317	54	1.253	0.170		

Gruppe III: Elektronische Radonmessdosimeter

Code	Messwert Bq/m ³	U ₉₅ Bq/m ³	Relativer Messwert	U ₉₅ relativ	< Relativer Messwert >	Standard- abweichung
301	1159	150	1.018	0.129	1.086	0.078
302	1216	150	1.069	0.123		
303	1333	150	1.171	0.113		
304	1402	5	1.232	0.004	1.212	0.042
305	1357	5	1.192	0.004		
306	1361	5	1.196	0.004		
307	1414	6	1.243	0.004		
308	1437	5	1.263	0.004		
309	1305	5	1.147	0.004		
310	1202	33	1.056	0.027	1.056	-
311	1288	59	1.132	0.046	1.132	-

Anhang 4: Messwerte und Ergebnisse der zusätzlichen Prüfung

Zusätzliche Prüfung: Passive Radonmessdosimeter

Code	Messwert kBq·h/m ³	U ₉₅ kBq·h/m ³	Relativer Messwert	U ₉₅ relativ	< Relativer Messwert >	Standard- abweichung
204/1-R	270	38	0.968	0.141	1.022	0.044
204/2-R	299	42	1.072	0.140		
204/3-R	288	40	1.032	0.139		
204/4-R	293	42	1.050	0.143		
204/5-R	275	40	0.986	0.145		
212/1-R	290	38	1.202	0.131	1.059	0.018
212/2-R	298	38	1.269	0.128		
212/3-R	290	38	1.162	0.131		
212/4-R	298	38	1.209	0.128		
212/5-R	301	38	1.233	0.126		

Anhang 5: Übersicht Zulassungen Radonmessmittel

Radonmessgeräte:

CH-I-13005-00	Tecnavia SA	RadonMapper
CH-I-13169-00	SAPHYMO GmbH	AlphaGUARD PQ 2000
CH-I-13247-00	Durrige Company Inc.	RAD7
CH-I-13248-00	Gammadata Instrument AB	ATMOS 12 DPX

Radondosimeter

CH-I-13249-00	ALTRAC - Messstelle	Typ PD, Typ SD, Typ LD
CH-I-13250-00	Radonova Laboratories AB	Radtrak2
CH-I-13251-00	Mi.am Srl	Radout
CH-I-13252-00	AGES	Radosys / RSKS
CH-I-13253-00	GT-Analytic	Ramon 2.2
CH-I-13254-00	Rad Elec Inc.	E-Perm Elektret LLT, LST, SLT, SST
CH-I-13255-00	Sarad GmbH	Radon Scout
CH-I-13256-00	Landauer Inc.	Radtrak
CH-I-15208-00	IRA	Politrack
CH-I-16238-00	U-series Srl	TASL / Radosure