

Die Vergleichsmessung 2014 für Radonmessmittel am PSI

Gernot Butterweck, Eike Hohmann und Sabine Mayer

Abteilung für Strahlenschutz und Sicherheit
Paul Scherrer Institut, CH-5232 Villigen PSI

August 2014

Zusammenfassung

Kandidaten für die vom 18. bis 24. März 2014 im Auftrag des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) durchgeführte Vergleichsmessung waren vorwiegend Firmen, Institutionen oder Privatpersonen, welche die Anerkennung des BAG als Radonmessstelle besitzen und deshalb nachweisen müssen, dass die Qualität der Messresultate gewährleistet ist. Dem Aufruf des BAG zur Teilnahme folgten zwölf anerkannte Messstellen, beziehungsweise deren Auswertelaboratorien, sowie sieben weitere Messstellen. Acht Messstellen nahmen mit mehreren Messsystemen an der Vergleichsmessung teil.

Sechs verschiedene Dosimeter- oder Messgerätearten waren vertreten. Neben Kernspurdetektoren wurden als Radondosimeter Elektret-Ionisationskammern und elektronische Dosimeter eingesetzt. In diesem Jahr nahmen Messgeräte mit Ionisationskammern, Szintillations- und Halbleiterdetektoren an der Vergleichsmessung teil.

Die Dosimeter und Messgeräte wurden über 143 Stunden einer Exposition von 498 kBq h m^{-3} bei einer durchschnittlichen Radonaktivitätskonzentration von 3486 Bq m^{-3} ausgesetzt.

Die Exposition und die Durchschnittskonzentration lagen bei einem gut messbaren Wert für alle teilnehmenden Messsysteme. Alle von anerkannten Messstellen in der Schweiz eingesetzten Messsysteme erfüllten die Anforderungen.

Abstract

Nineteen radon measurement services or the respective analytical laboratories participated in the 2014 Radon Intercomparison Exercise. The exercise was performed at the Reference Laboratory for Radon Gas Activity Concentration Measurements at the Paul Scherrer Institute (PSI) during March 18th to 24th, 2014 on behalf of the Swiss Federal Office of Public Health (FOPH). Twelve of these laboratories were approved by the FOPH and their participation in the intercomparison exercise was a requirement to warrant quality of measurement. Radon gas dosimeters (track-etch, electronic and electret) and instruments (ionisation chambers, scintillation and solid state detectors) were exposed over 143 hours in the PSI Radon Chamber to a reference atmosphere with an average radon gas concentration of 3486 Bq m⁻³ leading to a radon gas exposure of 498 kBq h m⁻³.

The exposure and average radon gas concentration were placed well in the measuring range of all participating devices. All measuring systems deployed by approved measuring services fulfilled the acceptance criteria.

INHALT

1	Einleitung.....	1
2	Referenz-Messinstrumente	1
2.1	Kalibrierung der Referenz-Messinstrumente für Radongas.....	1
3	Expositionsparameter.....	2
3.1	Dauer von Expositions- und Ausgasungsperiode.....	2
3.2	Umweltbedingungen in den Vorbereitungsräumen.....	2
3.3	Umweltbedingungen in der Prüfkammer	2
3.4	Resultate der Radongas-Referenzmessungen.....	2
4	Verwendete Detektor- und Messinstrumentarten der Teilnehmer	3
5	Resultate der Vergleichsmessung.....	3
6	Diskussion der Resultate der Vergleichsmessung	4
6.1	Radongas-Referenzmessungen.....	4
6.2	Teilnehmerresultate.....	4
6.2.1	Passive Radondosimeter.....	4
6.2.2	Aktive Radondosimeter	4
6.2.3	Messgeräte.....	5
7	Prüfung auf lokale Gradienten.....	5
8	Schlussfolgerung.....	5
9	Literatur	6
10	Bisherige Berichte	6

TABELLEN

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer	8
Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2014	9
Tabelle 3: Expositionsparameter in der Prüfkammer.....	10
Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung.....	10
Tabelle 5: Verwendete Radonmessmittel	11
Tabelle 6: Teilnehmerresultate passive Radondosimeter.....	15
Tabelle 7: Teilnehmerresultate aktive Radondosimeter	17
Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte	18

FIGUREN

Figur 1: Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Prüfkammer	20
Figur 2: Radonkonzentration in der Prüfkammer.....	21
Figur 3: Resultate passive Radondosimeter.....	22
Figur 4: Resultate aktive Radondosimeter	23
Figur 5: Mittelwerte passive Radondosimeter.....	24
Figur 6: Mittelwerte aktive Radondosimeter	25
Figur 7: Resultate Messgeräte	26
Figur 8: Übersicht der Messstellen mit passiven Radondosimetern	27
Figur 8a: Übersicht der Messstellen mit passiven Radondosimetern (Ausschnitt)	28
Figur 9: Übersicht der Messstellen mit aktiven Radondosimetern.....	29
Figur 9a: Übersicht der Messstellen mit aktiven Radondosimetern (Ausschnitt)	30
Figur 10: Geräte in der Prüfkammer (links) und Ortsverteilung des Verhältnisses der Messwerte zum Sollwert (rechts).....	31
Figur 11: Ortsverteilung der Verhältnisse Messwert zu Sollwert der exponierten Dosimeter	32

1 EINLEITUNG

Die Grundlagen für die Vergleichsmessungen ist die „Verordnung des EJPD über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV)“ welche am 7. Dezember 2012 in Kraft trat und die Anerkennung der Radon-Messstellen durch das Bundesamt für für Gesundheit (BAG). Die Vergleichsmessung 2014 für Radongasmessmittel wurde in der Prüfkammer des Referenzlabors für Radongas-Konzentrationsmessungen am PSI vom 18. - 24. März durchgeführt. Es beteiligten sich 19 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen (Tabelle 1) mit total 130 Dosimetern und 59 Messgeräten. Ein Messsystem mit Kernspurdetektoren, welches von mehreren anerkannten Messstellen eingesetzt wird, muss nur mit einem Detektorensemble an der Vergleichsmessung teilnehmen. Eine Liste der anerkannten Messstellen mit den jeweilig verwendeten Messsystemen kann unter „<http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00046/index.html>“ bezogen werden.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Vorgehensweise und die Ergebnisse dieser Vergleichsmessung.

2 REFERENZ-MESSINSTRUMENTE

Als Referenz-Messinstrumente zur punktuellen Bestimmung der Radongas-Aktivitätskonzentration in der Prüfkammer werden Szintillationszellen (Lucaszellen) verwendet (Model 300A, Pylon Electronic Development, Ottawa (CAN)). Eine solche Zelle verbunden mit einem Szintillationszähler bildet ein sogenanntes Transfornormal I. Für die automatisierte Probenahme der Prüfkammer-Atmosphäre kommen am PSI-Referenzlabor drei Transfornormale I zum Einsatz. Für die Punktmessung der Radongas-Konzentration mit diesen Transfornormalen wird eine 20-minütige Füllung der Szintillationszelle eines Transfornormals zeitlich versetzt im Abstandszyklus 100, 100, 120, 100, 100, 120,... Minuten vorgenommen. Auf diese Weise resultierten für die Vergleichsmessung 2014 total 81 Punktmessungen.

Der Radongas-Pegel in der Prüfkammer wird zusätzlich mit zwei Messgeräten mit Ionisationskammer registriert (Alphaguard, Saphymo GmbH, Frankfurt (D)).

2.1 Kalibrierung der Referenz-Messinstrumente für Radongas

Um die Rückverfolgbarkeit der Referenzatmosphäre in der Prüfkammer während der Vergleichsmessung 2014 auf international anerkannte Normale zu gewährleisten, wurden die Szintillationszellen mit einem Radongas-Standard des Institut de Radiophysique (IRA), Lausanne, Schweiz, kalibriert (Schuler 1998). Die Messgeräte mit Ionisationskammer wurden indirekt über Vergleichsmessungen mit den Szintillationszellen kalibriert.

3 EXPOSITIONSPARAMETER

3.1 Dauer von Expositions- und Ausgasungsperiode

Beginn und Ende von Expositions- und Ausgasungsperiode sind in Tabelle 2 festgehalten. Eine Ausgasungsdauer von mindestens 24 Stunden im Anschluss an die Exposition in der Prüfkammer verhindert, dass die exponierten Detektoren nachträglich eine zusätzliche Exposition registrieren, wie das bei Einschuss der Detektoren in die Verpackungsbeutel unmittelbar nach der Exposition der Fall wäre.

3.2 Umweltbedingungen in den Vorbereitungsräumen

Die für die Exposition vorgesehenen Detektoren wurden im Raum OFLD/009 gelagert. Die Vorbereitung für die Exposition (Registrierung der Detektornummer und Kennzeichnung der Platzierungsstelle auf dem Tisch in der Prüfkammer während der Exposition) erfolgte im Raum OFLD/005. Beide Räume liegen in unmittelbarer Nachbarschaft und werden durch das gleiche Lüftungssystem versorgt. Die in Tabelle 2 angegebenen Daten von Radonkonzentrations-, Temperatur- und Feuchtemessungen in Raum OFLD/009 werden aus diesen Gründen auch für die Bedingungen in Raum OFLD/005 verwendet. Die Resultate der für die Korrektur der Messdaten von Elektret-Ionisationskammern notwendigen Messungen der γ -Dosisleistung sind ebenfalls in Tabelle 2 aufgeführt.

3.3 Umweltbedingungen in der Prüfkammer

Tabelle 3 führt die Ergebnisse der Messungen der Umweltparameter in der Prüfkammer während der Exposition auf. Figur 1 zeigt den Temperatur- und Feuchteverlauf während der Exposition. Der Beginn und das Ende der Exposition sind als vertikale grüne Linien eingezeichnet. Die Erhöhung der Luftfeuchte durch das Betreten der Kammer zum Platzieren der Detektoren am 18.3. ist deutlich sichtbar. Anschliessend sinkt die relative Luftfeuchte im Verlauf der Vergleichsmessung. Die regelmässigen kurzfristigen Anstiege der Temperatur mit gleichzeitiger Absenkung der relativen Luftfeuchte werden durch den Abtauvorgang des Klimageräts verursacht.

3.4 Resultate der Radongas-Referenzmessungen

Der Referenzwert für die Radongas-Konzentration in der Prüfkammer während der Vergleichsmessung 2014 (Tabelle 3) basiert auf dem gewichteten Durchschnittswert von 81 Punktbestimmungen mit drei Transfornormalen I (Tabelle 4), welche nach dem in Tabelle 2 angegebenen Füll- und Messschema durchgeführt wurden. Aus dem Radongas-Konzentrationswert wurde der entsprechende Radongas-Expositionswert abgeleitet. Alle berechneten Werte wurden erst nach der Berechnung auf eine sinnvolle Stellenzahl gerundet.

Als Ergänzung sind in Tabelle 3 die Umweltparameter während der Exposition aufgeführt. In Figur 2 sind die Resultate der Radongas-Konzentrationsmessungen während der Exposition dargestellt. Der Beginn und das Ende der Exposition sind als vertikale grüne Linien eingezeichnet.

Die 81 Konzentrationsbestimmungen wurden als unabhängige Einzelbestimmungen betrachtet, welche in einem Durchschnittswert zusammengefasst werden können. Die Unsicherheit dieses Durchschnitts wird dann durch Gausssche Fehlerfortpflanzung der Unsicherheiten der Einzelwerte erhalten (Schuler 1998). Angaben zur Unsicherheitsabschätzung der Resultate der Radongas-Konzentrationsbestimmungen erscheinen in Tabelle 4.

4 VERWENDETE DETEKTOR- UND MESSINSTRUMENTARTEN DER TEILNEHMER

Den 19 Teilnehmern der Vergleichsmessung wurden je nach Anzahl der exponierten Dosimetergruppen oder Messgeräte ein oder mehrere Codes zugeteilt. Diese Codes sowie der verwendete Dosimeter- bzw. Messgerätetyp, Produktname und Hersteller des Messsystems sind in Tabelle 5 aufgeführt. In allen relevanten Tabellen und Figuren werden nur die Namen der Messstellen aufgeführt, welche zum Zeitpunkt der Teilnahme an der Vergleichsmessung vom BAG anerkannt waren (gemäss Auflage 7 der Verfügung für die Anerkennung einer Radongas-Messstelle durch das BAG). Alle anderen Teilnehmer bleiben anonym und werden lediglich durch den ihnen zugewiesenen Code identifiziert. Werden Detektoren für eine oder mehrere anerkannte Messstellen direkt durch das entsprechende Auswertelaborator eingesendet, so wird dessen Name veröffentlicht. Die Zuordnung zwischen Codes und Messstellen wird in den Legendenden der Figuren 3 - 9 wiederholt.

5 RESULTATE DER VERGLEICHSMESSUNG

Die Tabellen 6, 7 und 8 führen die Teilnehmerresultate für passive Radondosimeter, aktive Radondosimeter und Messgeräte auf. In den Tabellen 6 und 7 sind die gemeldeten Einzelresultate nach Dosimeterbezeichnung aufsteigend in alphanumerischer Reihenfolge geordnet angegeben und zusätzlich noch mit einem Detektorcode versehen. Die Tabellen 6, 7 und 8 enthalten auch das Verhältnis Messwert/Referenzwert pro Dosimeter oder Messgerät sowie Mittelwert und Standardabweichung dieser Verhältnisse. In den Figuren 3 und 4 sind die Einzelverhältnismittelwerte und in den Figuren 5, 6 und 7 die Verhältnismittelwerte sowie deren Standardabweichung pro Teilnehmercode dargestellt.

Gemäss Formular „Anerkennung als Radonmessstelle“ des BAG ist die Rückverfolgbarkeit von Messresultaten erfüllt, wenn der Mittelwert der Dosimeterresultate bei Teilnahme an einer Vergleichsmessung in der PSI-Prüfkammer nicht mehr als $\pm 15\%$ vom Referenzwert abweicht. In den Figuren 3 - 7 wurden deshalb zur Illustration dieser Grenzen bei $+ 17\%$ und bei $- 17\%$ Linien eingetragen ($\pm 2\%$ für den 1σ -Bereich der Unsicherheit des Referenzwertes [siehe Tabelle 4] plus $\pm 15\%$).

Als weiteres Kriterium zur Bewertung der anerkannten Messstellen zieht das BAG die quadratische Summe aus der relativen Standardabweichung eines Ensembles von 5 Einzeldosimetern und der relativen Abweichung des Ensemblemittelwerts vom Sollwert heran, deren Wurzel weniger als 20% betragen soll. In

einem Diagramm, dessen x-Achse die relative Abweichung des Ensemblemittels vom Sollwert und dessen y-Achse die relative Standardabweichung des Ensembles darstellt, fällt dieses Kriterium auf einen Halbkreis. Figur 8 zeigt ein derartiges Diagramm für passive Radondosimeter und Figur 9 ein derartiges Diagramm für aktive Radondosimeter der teilnehmenden Messstellen.

6 DISKUSSION DER RESULTATE DER VERGLEICHSMESSUNG

6.1 Radongas-Referenzmessungen

Figur 2 zeigt den Verlauf des Radongas-Konzentrationspegels während der Expositionsperiode. Der Beginn und das Ende der Exposition sind als vertikale grüne Linien eingezeichnet.

6.2 Teilnehmerresultate

6.2.1 Passive Radondosimeter

Die Transportdetektoren von zwei mit passiven Radondosimetern teilnehmenden Auswertelaboratorien aus dem Ausland wiesen messbare zusätzliche Expositionen auf. Diese Zusatzexposition lag bei einem Ensemble von Detektoren (Code 6) in der gleichen Größenordnung wie die Exposition in der Prüfkammer, so dass diese Detektoren nicht weiter berücksichtigt werden. Es handelt sich hier um Elektret-Detektoren, welche eine Empfindlichkeit für Photonenstrahlung aufweisen. Eine mögliche Ursache für die messbare Zusatzexposition wäre daher eine potentielle Durchleuchtung mit Röntgenstrahlen bei der Grenzkontrolle der Rücksendung.

Bei dem zweiten Ensemble dieser Detektoren (Code 9) würde das Verhältnis von Ensemblemittel zum Sollwert bei Berücksichtigung der Zusatzexposition vom angegebenen Wert 1.03 zu 1.00 verändert.

Die gewählte Exposition dieser Vergleichsmessung liegt im Messbereich von E-Perm Elektret Dosimetern sowohl in der LST- als auch in der LLT-Konfiguration. Daher werden die Ergebnisse dieser stets in Kombination eingesetzten Dosimeter für die diesjährige Vergleichsmessung getrennt angegeben (Codes 3 und 4). Lediglich ein Einzelwert aus sämtlichen exponierten Dosimetern (Figur 3) liegt ausserhalb des eingezeichneten Rückverfolgbarkeitskriteriums (Abschnitt 5). In den Darstellungen der Mittelwerte (Figur 5) und des BAG-Kriteriums (Figur 8) liegt alle Ergebnisse innerhalb des Toleranzbereichs. Zur besseren Lesbarkeit wurde zusätzlich ein Ausschnitt dieses Diagramms dargestellt (Figur 8a).

6.2.2 Aktive Radondosimeter

Eine Messstelle mit nicht zeitauflösenden Radondosimetern (Code 61) hatte versäumt, vor Beginn der Vergleichsmessung den Speicher der Dosimeter zu löschen. Dennoch gelang die Rekonstruktion der Durchschnittskonzentration während der Vergleichsmessung. Ein Dosimeter des gleichen Typs einer weiteren Messstelle (Code 65) konnte wegen eines defekten Netzteils nicht in

Betrieb genommen werden. Weil ein solcher Defekt bei einer normalen Messung entdeckt würde, wurde dieses Dosimeter nicht weiter berücksichtigt.

Zwei Messstellen beteiligten sich mit jeweils einem einzigen elektronischen Radondosimeter (Codes 64 und 66). Für diese beiden Einzeldosimeter wurde eine hypothetische Ensemble-Standardabweichung von 10% angenommen. Unter dieser Annahme liegt eines dieser Dosimeter (Code 66) ausserhalb der Toleranzkriterien. Dieses Dosimeter nahm lediglich zu Testzwecken an der Vergleichsmessung teil. Ansonsten erfüllen alle Dosimeter das Rückverfolgbarkeitskriterium (Figur 4).

Bis auf ein Einzeldosimeter (Code 66) erfüllen alle elektronischen Radondosimeter die Anforderungen an den Ensemblemittelwert (Figur 6 und Figur 9). Zur besseren Lesbarkeit wurde zusätzlich ein Ausschnitt der Daten in Figur 9 dargestellt (Figur 9a).

6.2.3 Messgeräte

Die Resultate der Messgeräte erscheinen in Tabelle 8 und Figur 7. Alle Resultate der teilnehmenden Messgeräte liegen innerhalb der Toleranzgrenzen des Rückverfolgbarkeitskriteriums.

Eines der Messgeräte (Code 136) lieferte bei Auslesung durch den Teilnehmer nur einen Teil der Messwerte der Exposition. Es gelang dem Hersteller des Messgeräts, die gesamte Datenreihe zu rekonstruieren. Ein weiteres Messgerät (Code 148) war vom Teilnehmer auf eine Intervallzeit von einer Minute eingestellt. Da dieses Messgerät nur 511 Messwerte speichern kann, wurde so lediglich ein Teil der Exposition vom 23.3.2014 14:51 bis 24.3.2014 13:01 erfasst. Der Sollwert der Durchschnittskonzentration für den von diesem Messgerät erfassten Zeitraum weicht mit $3493 \pm 70 \text{ Bq m}^{-3}$ nur geringfügig vom Gesamtdurchschnitt ab.

7 PRÜFUNG AUF LOKALE GRADIENTEN

Mit 59 Messgeräten ist die Prüfkammer des PSI an ihre Kapazitätsgrenze gelangt (Figur 10 links). Daher wurde die Verteilung der Resultate in Abhängigkeit vom Ort in der Prüfkammer näher untersucht. Weder für die Messgeräte noch für die teilnehmenden Dosimeter konnte ein eindeutiges Muster in Abhängigkeit vom Ort in der Prüfkammer festgestellt werden (Figur 10 rechts und Figur 11). Es kann daher davon ausgegangen werden, dass ein hypothetischer lokaler Gradient zwei Prozent des Sollwerts nicht übersteigt.

8 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Exposition und die Radongas-Durchschnittskonzentration der Vergleichsmessung 2014 lagen in einem für die eingesetzten Messmittel gut messbaren Bereich. Für zwei Teilnehmer kann die Rücksendung der Dosimeter zu einer nicht vernachlässigbaren Zusatzexposition geführt haben, welche in einem Fall möglicherweise durch eine Durchleuchtung beim Grenzübertritt verursacht

wurde. Alle weiteren Messmittel erfüllten die Kriterien, was zeigt, dass die Radongas-Messtechnik in der Schweiz bezüglich Rückverfolgbarkeit ihren hohen Qualitätsstandard beibehalten hat.

9 LITERATUR

Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement
Verordnung des EJPD über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV)
SR 941.210.5.

Schuler, Ch.

Das Referenzlabor für Radongas-Konzentrationsmessungen am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 98-08; 1998.

10 BISHERIGE BERICHTE

Schuler, Ch.

The 1993 Radon Intercomparison Exercise at PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 94-04; 1994.

Schuler, Ch.; Butterweck-Dempewolf, G.

Die Vergleichsmessung 1996 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 97-05; 1997.

Schuler, Ch.; Butterweck-Dempewolf, G.

Die Vergleichsmessung 1997 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 98-05; 1998.

Schuler, Ch.; Butterweck-Dempewolf, G.

Die Vergleichsmessung 1998 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 99-01; 1999.

Schuler, Ch.; Butterweck, G.

Die Vergleichsmessungen 1999 und 2000 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 00-06; 2000.

Butterweck, G.; Schuler, Ch.

Die Vergleichsmessung 2001 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 01-05; 2001.

Butterweck, G.; Schuler, Ch.

Die Vergleichsmessung 2002 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 02-19; 2002.

Butterweck, G.; Schuler, Ch.

Die Vergleichsmessung 2003 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 03-14; 2003.

- Butterweck, G.; Schuler, Ch.
Die Vergleichsmessung 2004 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 04-11; 2004.
- Butterweck, G.; Schuler, Ch.
Die Vergleichsmessung 2005 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 05-05; 2005.
- Butterweck, G.; Schuler, Ch.
Die Vergleichsmessung 2006 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 06-05; 2006.
- Butterweck, G.; Schuler, Ch., Mayer, S.
Die Vergleichsmessung 2008 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 10-06; 2010.
- Butterweck, G.; Schuler, Ch., Mayer, S.
Die Vergleichsmessung 2010 für Radonmessmittel am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 11-01; 2011.
- Butterweck, G.; Schuler, Ch., Hödlmoser, H., Mayer, S.
Die Vergleichsmessung 2012 für Radonmessmittel am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 12-03; 2012.

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer

AGES
Abteilung Radon und Radioökologie
G. Wurm
Wieningerstrasse 8
4020 **Linz**
Österreich

ALTRAC
Dr. A. Guhr
Dorothea-Viehmann-Str. 28
12524 **Berlin**
Deutschland

Beratender Geologe/Hydrogeologe
Ch. Böhm
Obere Gasse 40
7000 **Chur**

BPM MORE
G. Ionescu
Av. Druey 16
1018 **Lausanne**

Bundesamt für Gesundheit
W. Gfeller
Sektion radiologische Risiken
3003 **Bern**

Dosirad Radon Lab
F. Boudet
15 rue de gardon
26700 **Pierrelatte**
Frankreich

Dragan Consultants International
E. Dragan
Bodenacherstr. 58
8121 **Benglen**

Ecole d'ingénieurs et d'architectes de
Fribourg
Prof. Dr. J. Goyette
Pérolles 80
1705 **Fribourg**

ECONS SA
Prof. Dr. M. Gandolla
Via Stazione 19
6934 **Bioggio**

emvu GmbH
A. Nussbaumer
Erlenstrasse 16
6300 **Zug**

Institut de Radiophysique
Dr. J. Damet
Rue du Grand Pré 1
1007 **Lausanne**

Im Rank Engineering
St. Miller
Regensdorferstr./Im Rank
8104 **Weiningen**

inNet Monitoring AG
Dr. Ch. Ruckstuhl
Dätwylerstrasse 15
6460 **Altdorf**

KOMZ Strahlenschutz VBS
M. Zürcher
Austrasse
3700 **Spiez**

Landauer Nordic AB
(ehem. Gammadata Mättechnik)
Dr. T. Rönqvist
Rapsgatan 25
75450 **Uppsala**
Schweden

Service d'Urbanisme et de l'Environnement
Dr. S. Brocero
Rue de Rocher 1
2300 **La Chaux-de-Fonds**

Strahlenschutz Beratung und Planung
Dr. R. Müller
Rebgasse 23
4102 **Binningen**

SUPSI
Centro di Competenza Radon
M. Hoffmann
Campus Trevano
6952 **Canobbio**

Suva
Bereich Physik
Fluhmattstr. 1
6002 **Luzern**

Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2014**Dauer der Expositionsperiode:**

Ende der Vergleichsmessung	24.3.2014 13:03
Start der Vergleichsmessung	18.3.2014 14:08
Expositionsdauer in h	142.9

Dauer der Ausgasperiode:

Ende Ausgasung	26.3.2012 8:10
Start Ausgasung	24.3.2014 13:07
Ausgasdauer in h	43.1

Messungen der Umweltparameter in dem Vorbereitungsraum OFLD/009:

Ort	Start	Ende	Rn-Konz. [Bq m ⁻³]	Temp. [°C]	Feuchte [% rF]	Bem.
OFLD/009	4.3.14 8:52	17.3.14 8:00	29 ± 2	24	28	Lagerung und Vorbereitung

Messungen γ -Dosisleistungen mit Rados RDS200:

Ort	Start	Ende	Dauer [h]	D [nSv]	DL [nSv/h]	Bem.
OFLD/009	4.3.14 8:51	17.3.14 8:05	311.2	33200	107	Lagerung/ Vorbereitung
Prüfkammer	18.3.14 14:17	24.3.14 13:05	142.8	17300	121	Exposition

LC-Füllungen:

Konsequente Füllung einer LC nach dem Schema:	TN #515	Δt (Min) = 0
	TN #539	100
	TN #576	100
	TN #515	120
	TN #539	100
	TN #576	100
	TN #515	120
	usw.	usw.

Tabelle 3: Expositionsparameter in der Prüfkammer 18.3.14 14:08 – 24.3.14 13:03

Rn-Konzentration [Bq m ⁻³]	Rn-Exposition [kBq h m ⁻³]	Temperatur [°C]	Relative Feuchte [%]	γ-Dosisleistung [nSv h ⁻¹]
Referenzwert (Durchschnitt von 81 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)				
3486 ± 65	498 ± 9	20 ± 1	31 ± 3	121

Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung zu den Resultaten der Radongas-Referenzmessungen in Bqm⁻³

Messung mit TransfERNormal:	TN #515	TN #539	TN #576
Durchschnitt der Punktbestimmungen:	3488	3525	3447
„Statistische“ Unsicherheit (u _A):	9	9	9
„Systematische“ Unsicherheit (u _B):	39	40	39
Gesamtunsicherheit (u _C):	40	41	40
Gewichteter Durchschnittswert:	3486		
Gesamtunsicherheit des gew. DW (95%-Vertrauensintervall):	65		
Gesamtunsicherheit in %:	1.9		

Tabelle 5: Verwendete Radonmessmittel

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Anerkannte Messstelle / Auswertelabor
<i>Passive Radondosimeter</i>			
1	Kernspurdetektor	DRF (Dosirad)	
2	Kernspurdetektor	Radtrack (Landauer USA)	Dragan Consultants International
3	Elektret-Ionisationskammer	LST E-Perm (Rad Elec)	Böhm Christian
4	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Böhm Christian
5	Kernspurdetektor	Typ LD (Altrac)	Im Rank Engineering
6	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	
7	Kernspurdetektor	Radout (Mi.am)	Econs SA
8	Elektret-Ionisationskammer	SLT E-Perm (Rad Elec)	
9	Kernspurdetektor	Alpha track (Landauer Nordic AB)	Landauer Nordic AB (ehem. Gammadata)
10	Kernspurdetektor	Typ PD (Altrac)	
11	Kernspurdetektor	Radosys RSKS (AGES)	AGES
<i>Aktive Radondosimeter</i>			
61	Halbleiterdetektor	Ramon 2.2 (GT Analytic)	BPMmore
62	Halbleiterdetektor	Radon Scout (Sarad GmbH)	Dr. Müller Rudolf
63	Halbleiterdetektor	Radon Scout (Sarad GmbH)	
64	Halbleiterdetektor	AlphaE (Saphymo GmbH)	
65	Halbleiterdetektor	Ramon 2.2 (GT Analytic)	
66	Halbleiterdetektor	DOSEMan (Sarad GmbH)	
67	Halbleiterdetektor	Radon Scout (Sarad GmbH)	
68	Halbleiterdetektor	Canary (corentium)	

Fortsetzung Tabelle 5: Verwendete Radonmessmittel

<i>Code</i>	<i>Detektor-/Messgerättyp</i>	<i>Produkt (Hersteller)</i>	<i>Anerkannte Messstelle</i>
<i>Messgeräte</i>			
101	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
102	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
103	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
104	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
105	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
106	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
107	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
108	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
109	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
110	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
111	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
112	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
113	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
114	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
115	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
116	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
117	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
118	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
119	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	

Fortsetzung Tabelle 5: Verwendete Radonmessmittel

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Anerkannte Messstelle
120	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
121	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
122	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
123	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
124	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
125	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
126	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
127	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
128	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
129	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
130	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
131	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
132	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
133	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
134	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
135	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
136	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
137	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
138	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
139	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
140	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	

Fortsetzung Tabelle 5: Verwendete Radonmessmittel

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Anerkannte Messstelle
141	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
142	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
143	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
144	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
145	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
146	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
147	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
148	Elektrostatische Sammlung/ Halbleiterdetektor	RTM 1688-2 (Sarad GmbH)	
149	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
150	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
151	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
152	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
153	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
154	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
155	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
156	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
157	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
158	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
159	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	

Tabelle 6: Teilnehmerresultate passive Radondosimeter

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
1	1	429	0.862	0.981	0.133
	2	594	1.193		
	3	497	0.998		
	4	437	0.878		
	5	485	0.974		
2	1	579	1.163	1.062	0.079
	2	531	1.066		
	3	470	0.943		
	4	524	1.052		
	5	541	1.086		
3	1	516	1.036	1.032	0.074
	2	576	1.156		
	3	479	0.961		
	4	497	0.996		
	5	504	1.012		
4	1	534	1.071	1.077	0.048
	2	544	1.091		
	3	497	0.997		
	4	559	1.123		
	5	550	1.103		
5	1	485	0.975	0.987	0.075
	2	473	0.947		
	3	476	0.947		
	4	555	1.119		
	5	473	0.947		
7	1	499	1.001	0.987	0.034
	2	468	0.940		
	3	504	1.011		
	4	496	0.995		
	5	480	0.963		
	6	519	1.041		
	7	479	0.962		
8	1	503	1.009	0.978	0.031
	2	487	0.977		
	3	492	0.988		
	4	492	0.988		
	5	462	0.927		

Fortsetzung Tabelle 6: Teilnehmerresultate passive Radondosimeter

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
9	1	521	1.052	1.034	0.024
	2	498	1.006		
	3	500	1.010		
	4	516	1.042		
	5	524	1.058		
10	1	453	0.918	0.981	0.085
	2	463	0.918		
	3	560	1.119		
	4	467	0.947		
	5	501	1.004		
11	1	473	0.949	0.995	0.034
	2	494	0.992		
	3	516	1.036		
	4	488	0.980		
	5	509	1.021		

Tabelle 7: Teilnehmerresultate aktive Radondosimeter

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
61	1	509	1.022	1.017	0.023
	2	517	1.038		
	3	494	0.991		
62	1	523	1.050	1.011	0.027
	2	500	1.003		
	3	499	1.001		
	4	493	0.990		
63	1	480	0.964	0.958	0.012
	2	474	0.952		
	3	482	0.967		
	4	467	0.937		
	5	479	0.961		
	6	482	0.968		
64	1	523	1.050	1.050	0.100 ¹⁾
65	1	492	0.987	1.000	0.027
	2	488	0.979		
	3	495	0.993		
	4	518	1.040		
66	1	602	1.208	1.208	0.100 ¹⁾
67	1	504	1.011	1.077	0.046
	2	551	1.106		
	3	509	1.022		
	4	557	1.118		
	5	553	1.110		
	6	563	1.130		
	7	517	1.038		
	8	524	1.052		
	9	552	1.108		
68	1	484	0.971	0.959	0.035
	2	447	0.897		
	3	482	0.967		
	4	489	0.981		
	5	487	0.977		

¹⁾ Vom PSI eingesetzter Wert für die Streuung einzelner Radondosimeter

Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte

Teilnehmercode	Konzentrations- mittelwert [Bq m ⁻³]	Unsicherheit ²⁾ [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Unsicherheit ²⁾
101	3423	199	0.982	0.058
102	3458	200	0.992	0.058
103	3467	201	0.994	0.058
104	3394	197	0.974	0.058
105	3348	234	0.960	0.070
106	3427	206	0.983	0.060
107	3430	291	0.984	0.085
108	3463	193	0.993	0.056
109	3377	203	0.969	0.060
110	3426	206	0.983	0.060
111	3304	198	0.948	0.060
112	3466	208	0.994	0.060
113	3354	201	0.962	0.060
114	3352	201	0.961	0.060
115	3367	195	0.966	0.058
116	3350	191	0.961	0.057
117	3411	205	0.978	0.060
118	3566	197	1.023	0.055
119	3413	205	0.979	0.060
120	3378	203	0.969	0.060
121	3370	202	0.967	0.060
122	3501	194	1.004	0.055
123	3442	207	0.987	0.060
124	3485	196	1.000	0.056
125	3441	200	0.987	0.058
126	3338	200	0.957	0.060
127	3328	200	0.955	0.060
128	3462	208	0.993	0.060
129	3441	206	0.987	0.060
130	3432	283	0.984	0.082
131	3391	192	0.973	0.057
132	3466	208	0.994	0.060
133	3429	201	0.984	0.059
134	3373	193	0.967	0.057
135	3375	199	0.968	0.059
136	3407	188	0.977	0.055
137	3341	200	0.958	0.060
138	3337	200	0.957	0.060
139	3367	202	0.966	0.060
140	3426	206	0.983	0.060
141	3482	204	0.999	0.059

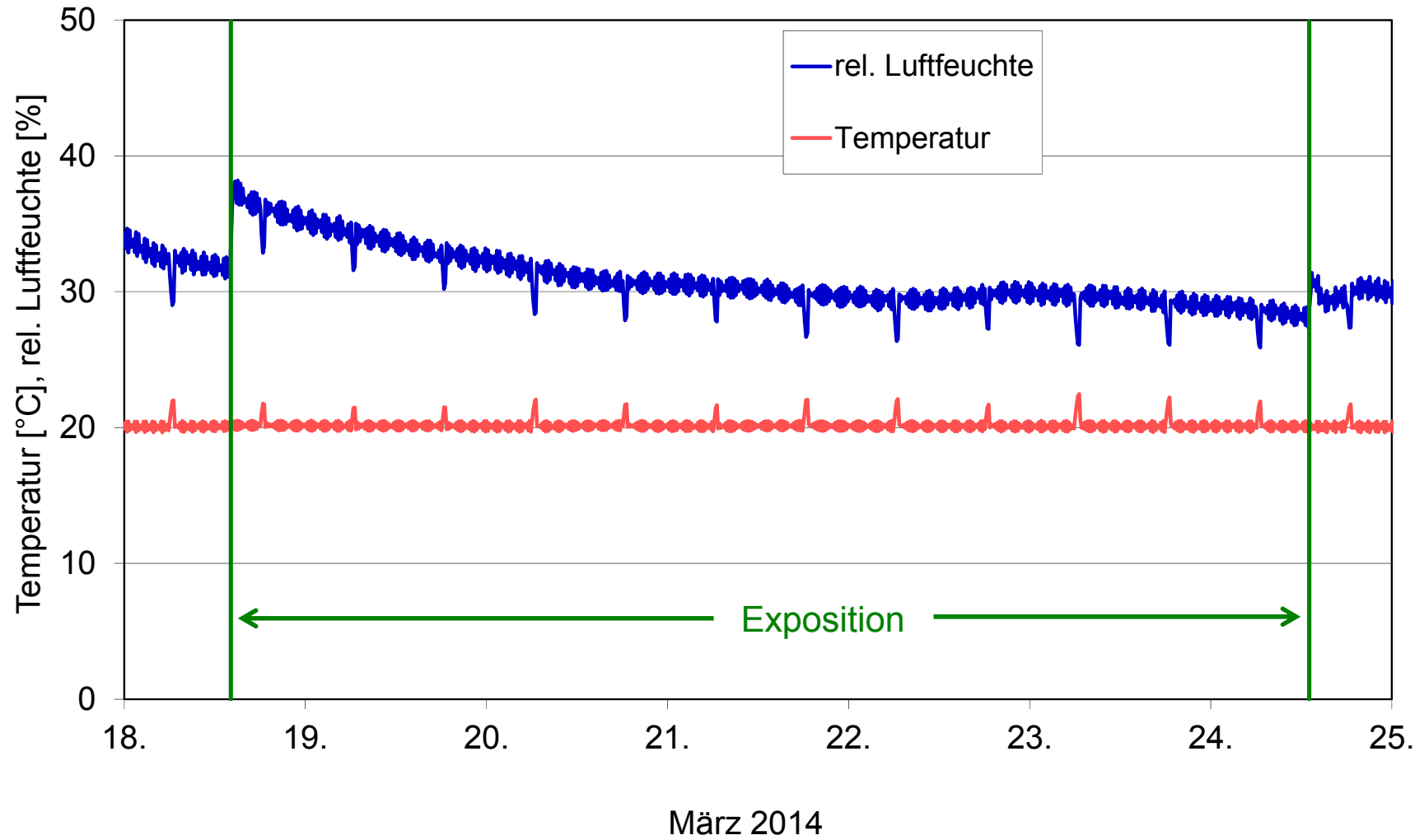
²⁾ Erweiterte (k=2) kombinierte Unsicherheit. Angabe des Teilnehmers oder vom PSI eingesetzter Wert nach Angaben der Hersteller.

Fortsetzung Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte

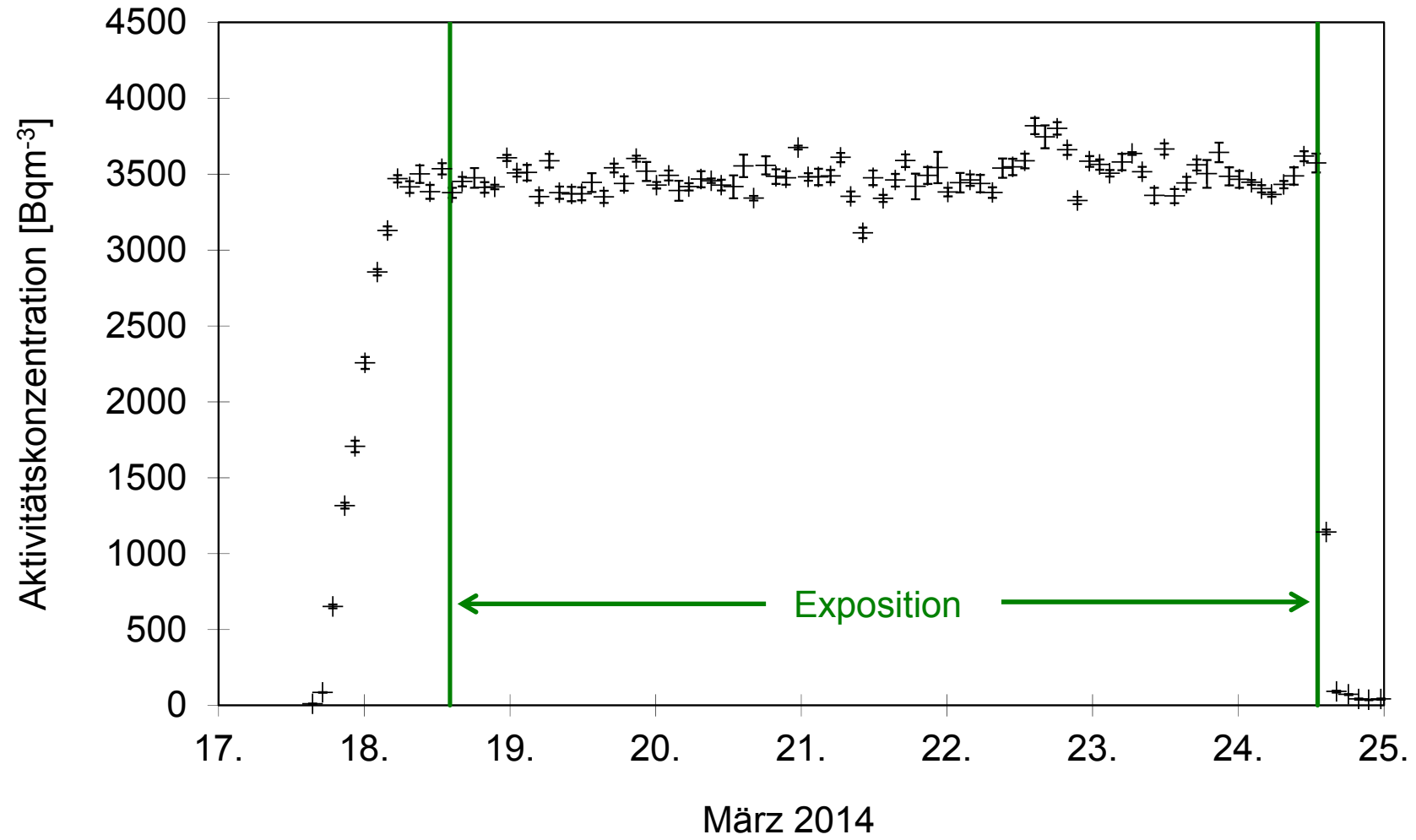
Teilnehmercode	Konzentrations- mittelwert [Bq m ⁻³]	Unsicherheit ²⁾ [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Unsicherheit ²⁾
142	3591	199	1.030	0.055
143	3349	201	0.961	0.060
144	3399	187	0.975	0.055
145	3514	196	1.008	0.056
146	3469	208	0.995	0.060
147	3355	193	0.962	0.058
148	3847	431	1.101	0.112
149	3519	201	1.009	0.057
150	3426	206	0.983	0.060
151	3473	204	0.996	0.059
152	3497	192	1.003	0.055
153	3339	200	0.958	0.060
154	3440	199	0.987	0.058
155	3416	205	0.980	0.060
156	3475	202	0.997	0.058
157	3392	199	0.973	0.059
158	3362	202	0.964	0.060
159	3421	205	0.981	0.060

²⁾ Erweiterte (k=2) kombinierte Unsicherheit. Angabe des Teilnehmers oder vom PSI eingesetzter Wert nach Angaben der Hersteller.

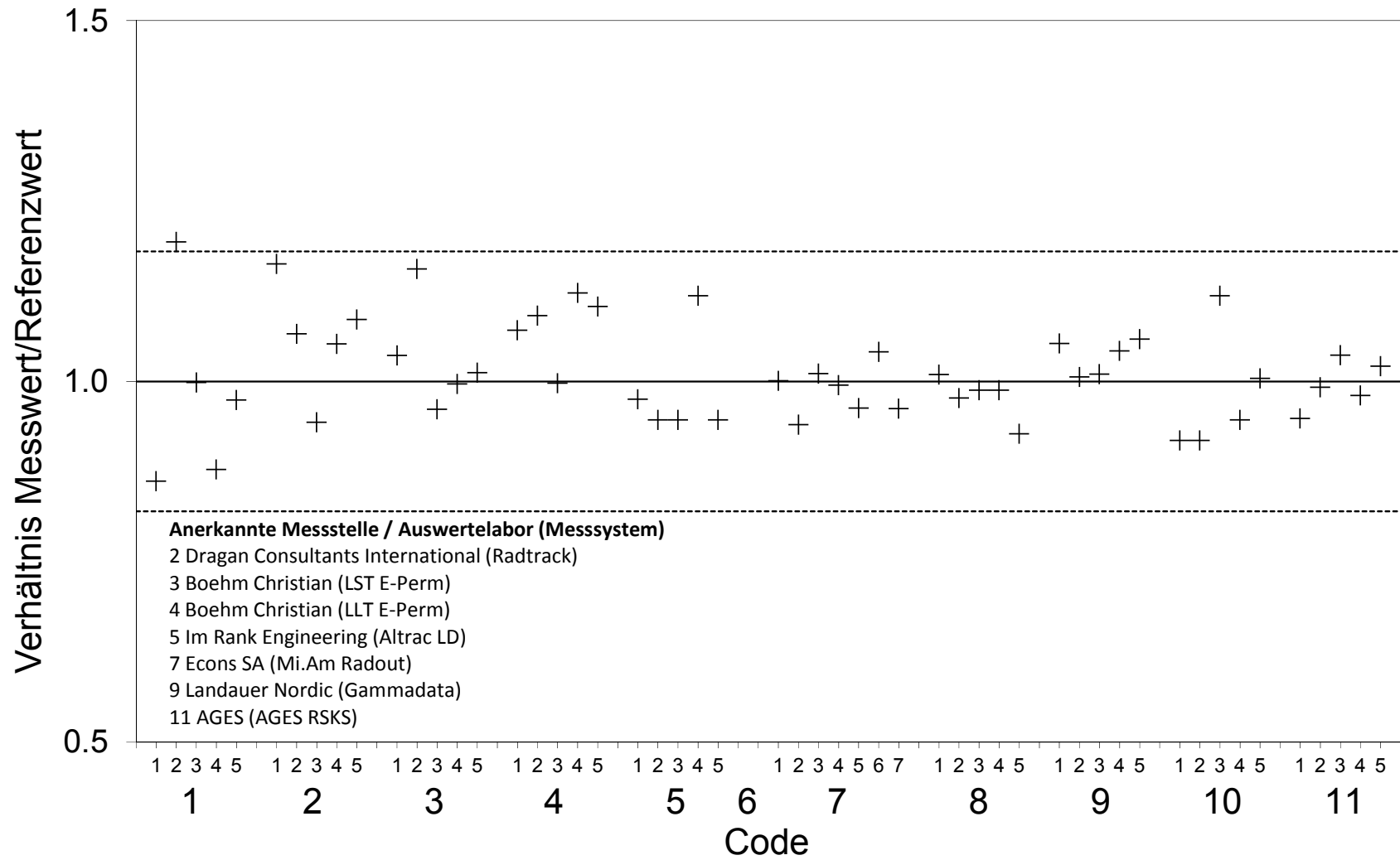
Figur 1: Vergleichsmessung 2014 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Prüfkammer



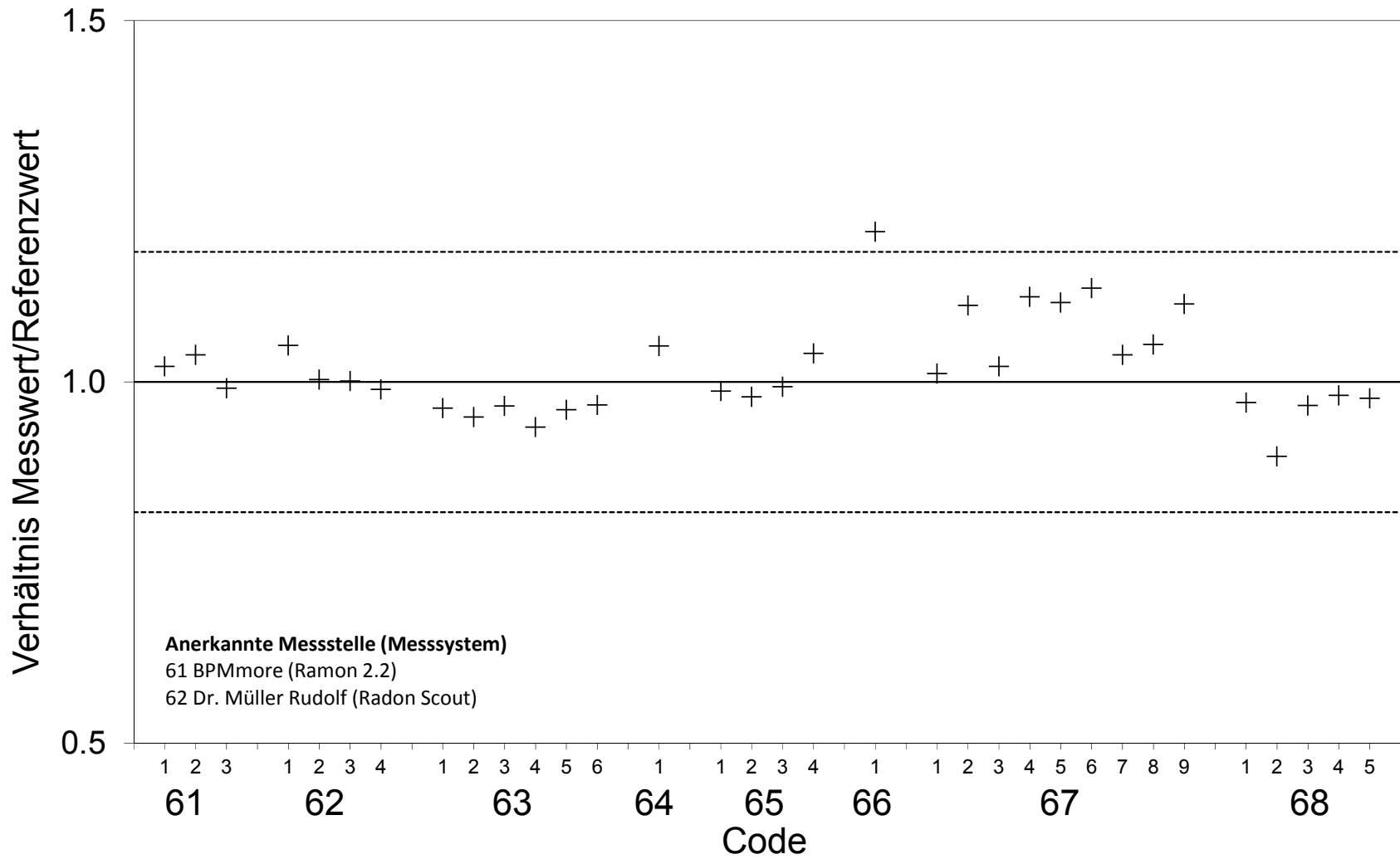
Figur 2: Vergleichsmessung 2014 - Radonkonzentration in der Prüfkammer



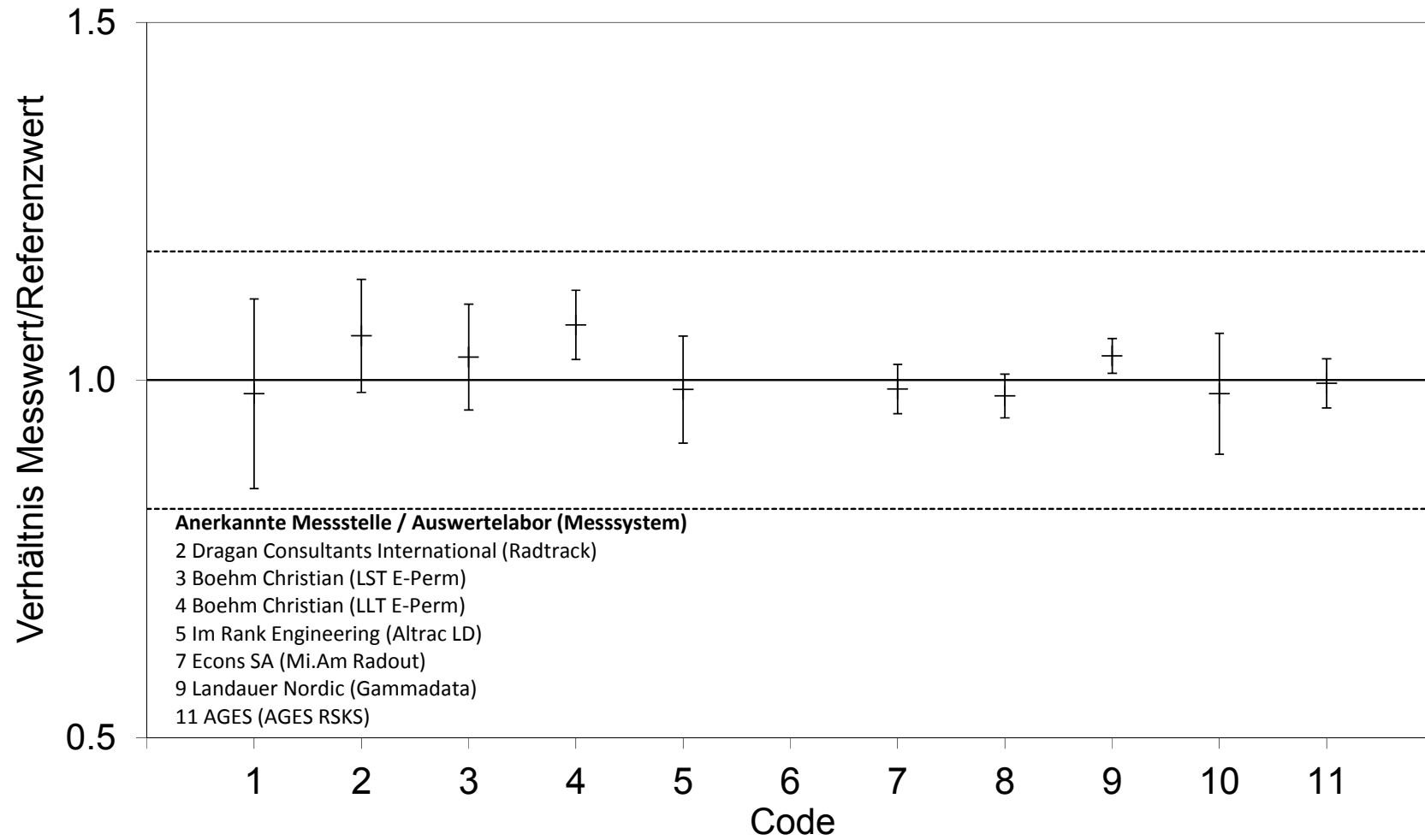
Figur 3: Vergleichsmessung 2014 - Resultate passive Radondosimeter



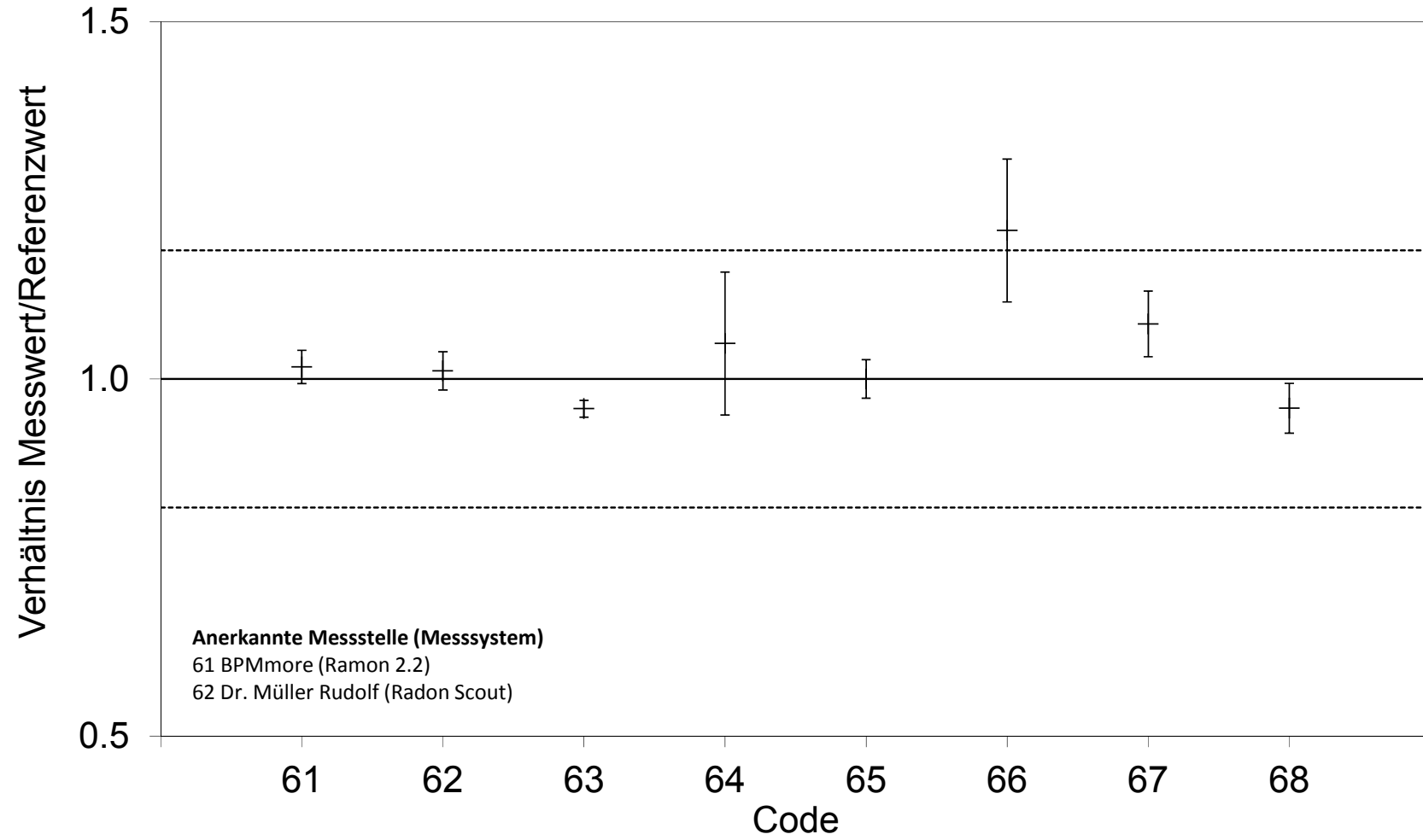
Figur 4: Vergleichsmessung 2014 - Resultate aktive Radondosimeter



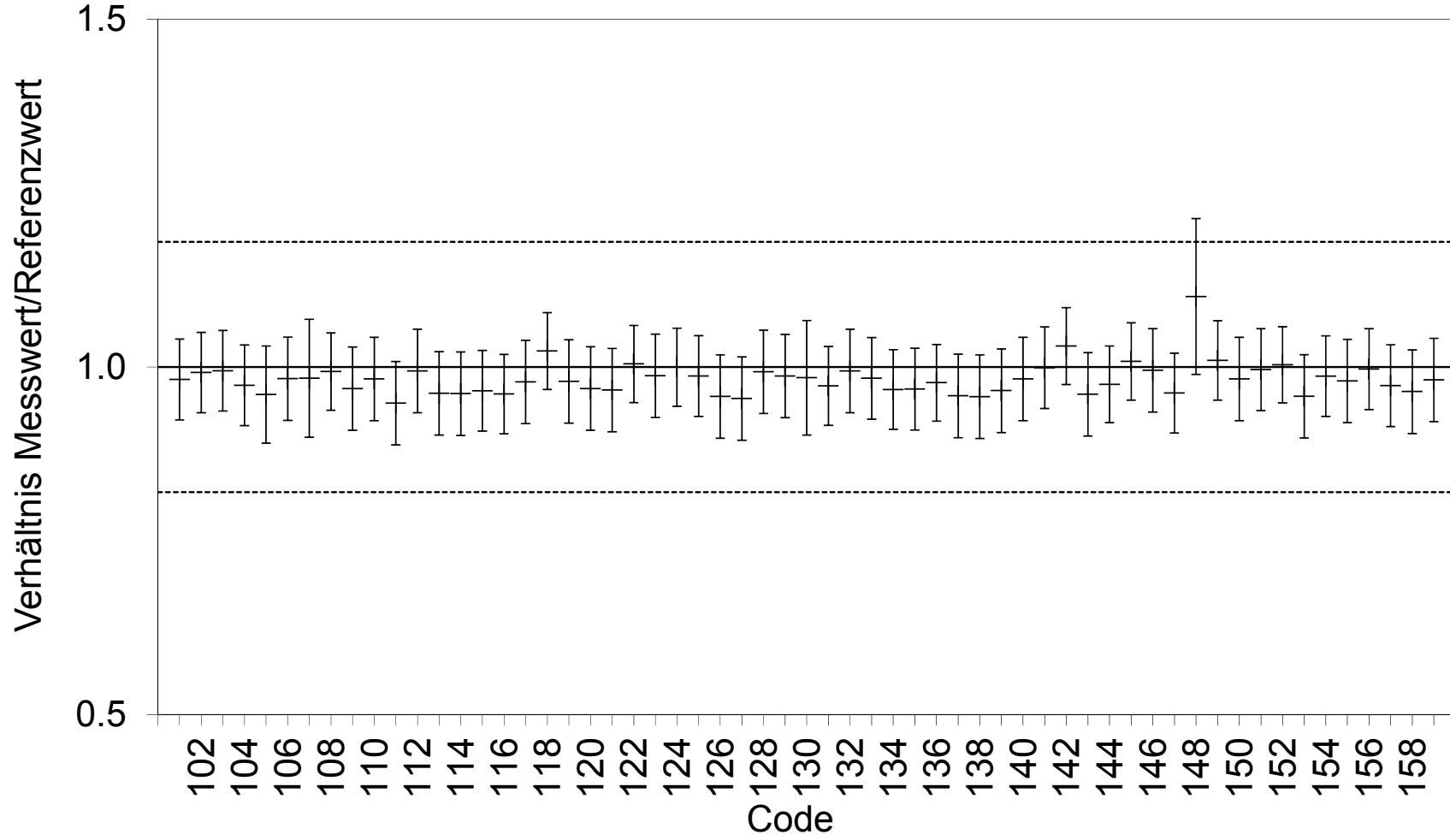
Figur 5: Vergleichsmessung 2014 - Mittelwerte passive Radondosimeter



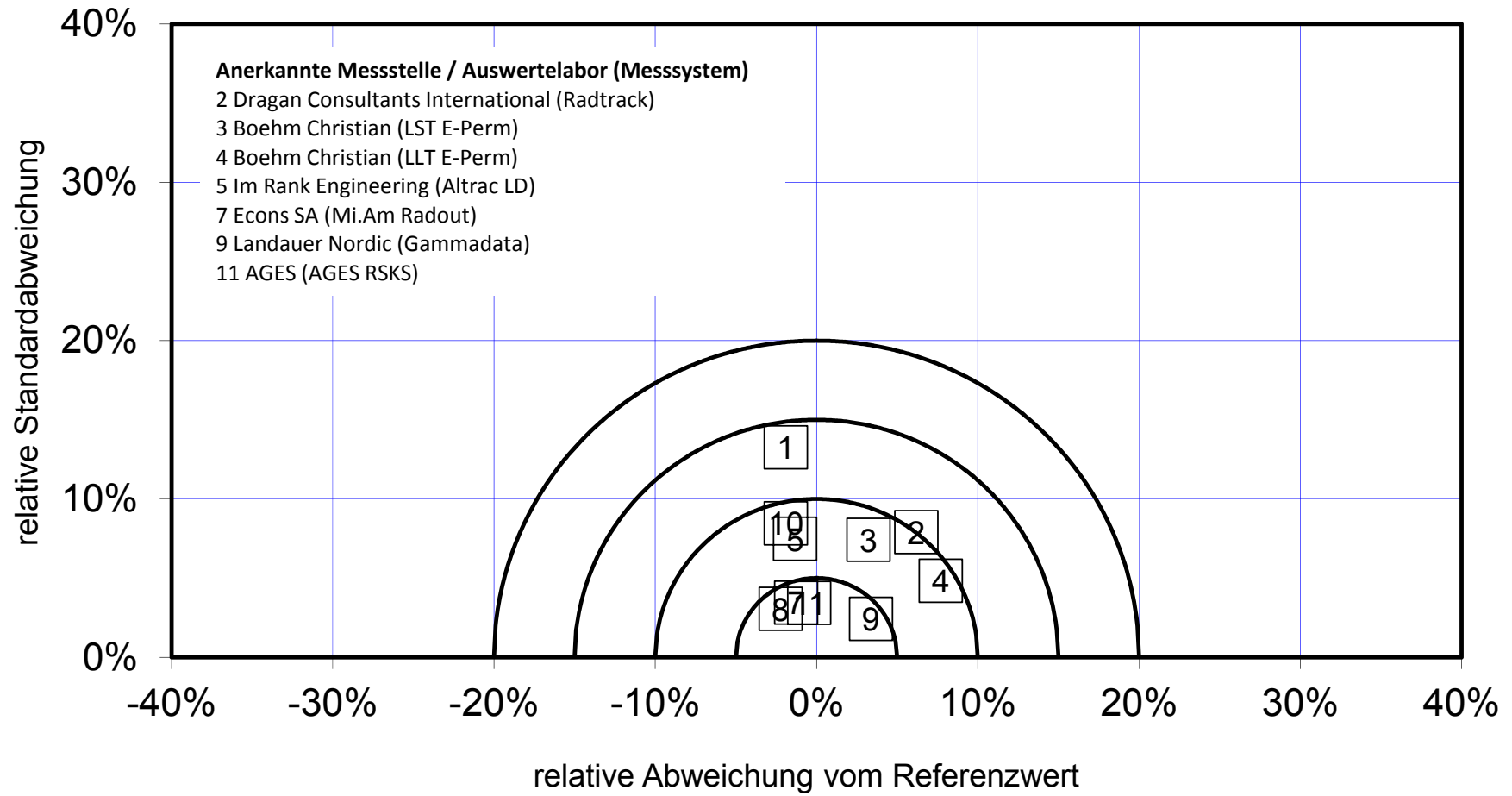
Figur 6: Vergleichsmessung 2014 - Mittelwerte aktive Radondosimeter



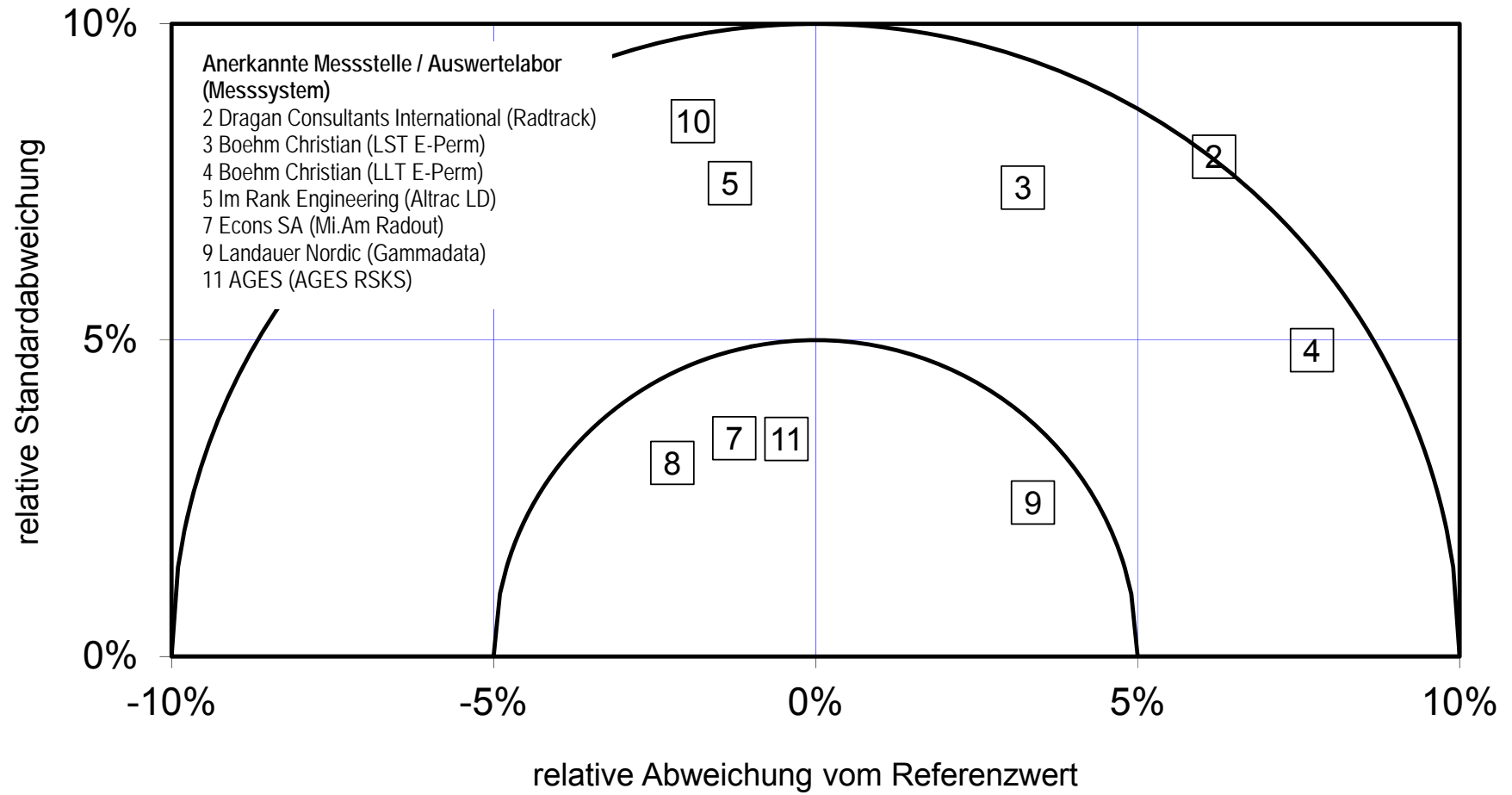
Figur 7: Vergleichsmessung 2014 - Resultate Messgeräte



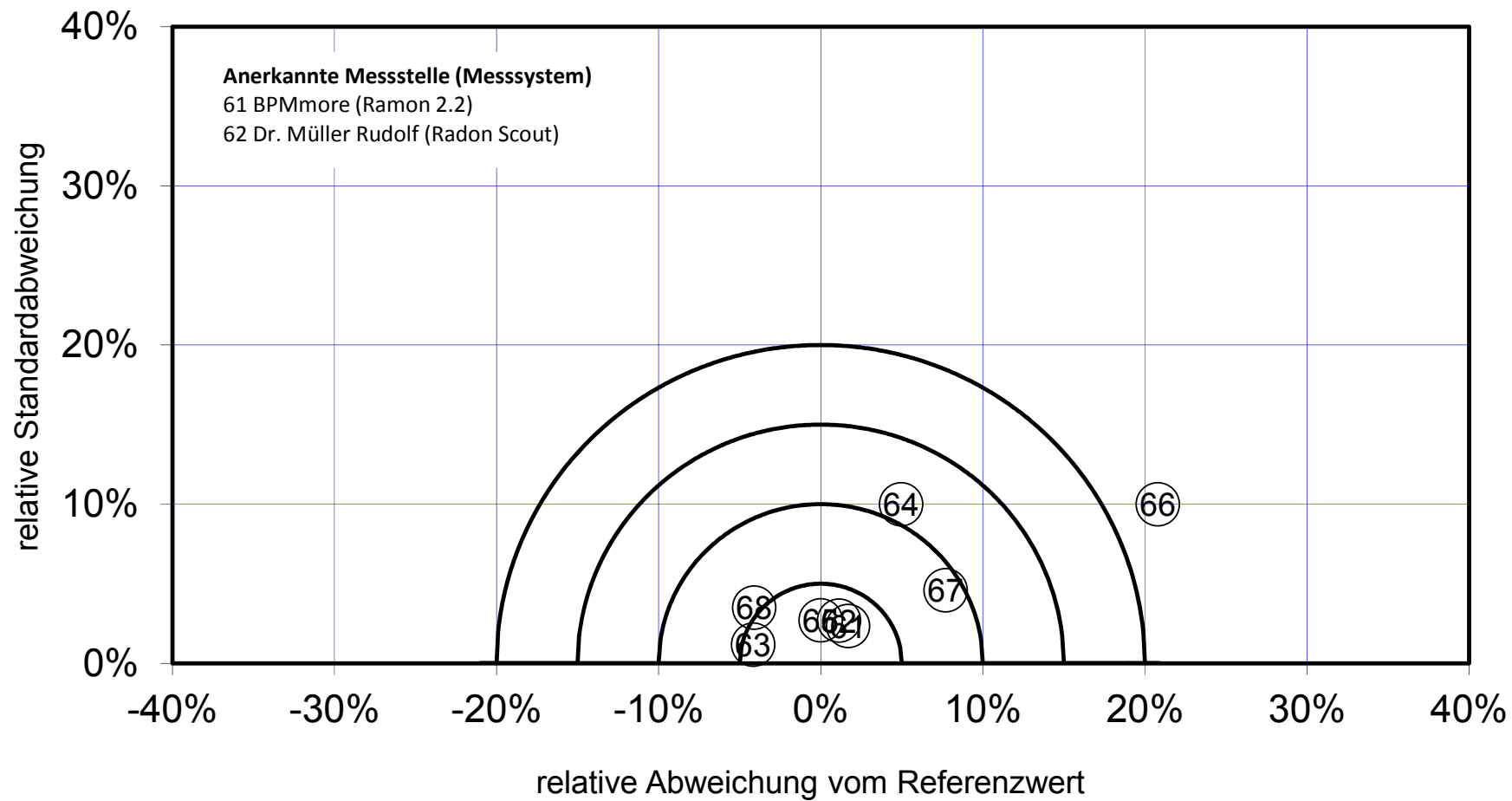
Figur 8: Vergleichsmessung 2014 - Übersicht der Messstellen mit passiven Radondosimetern



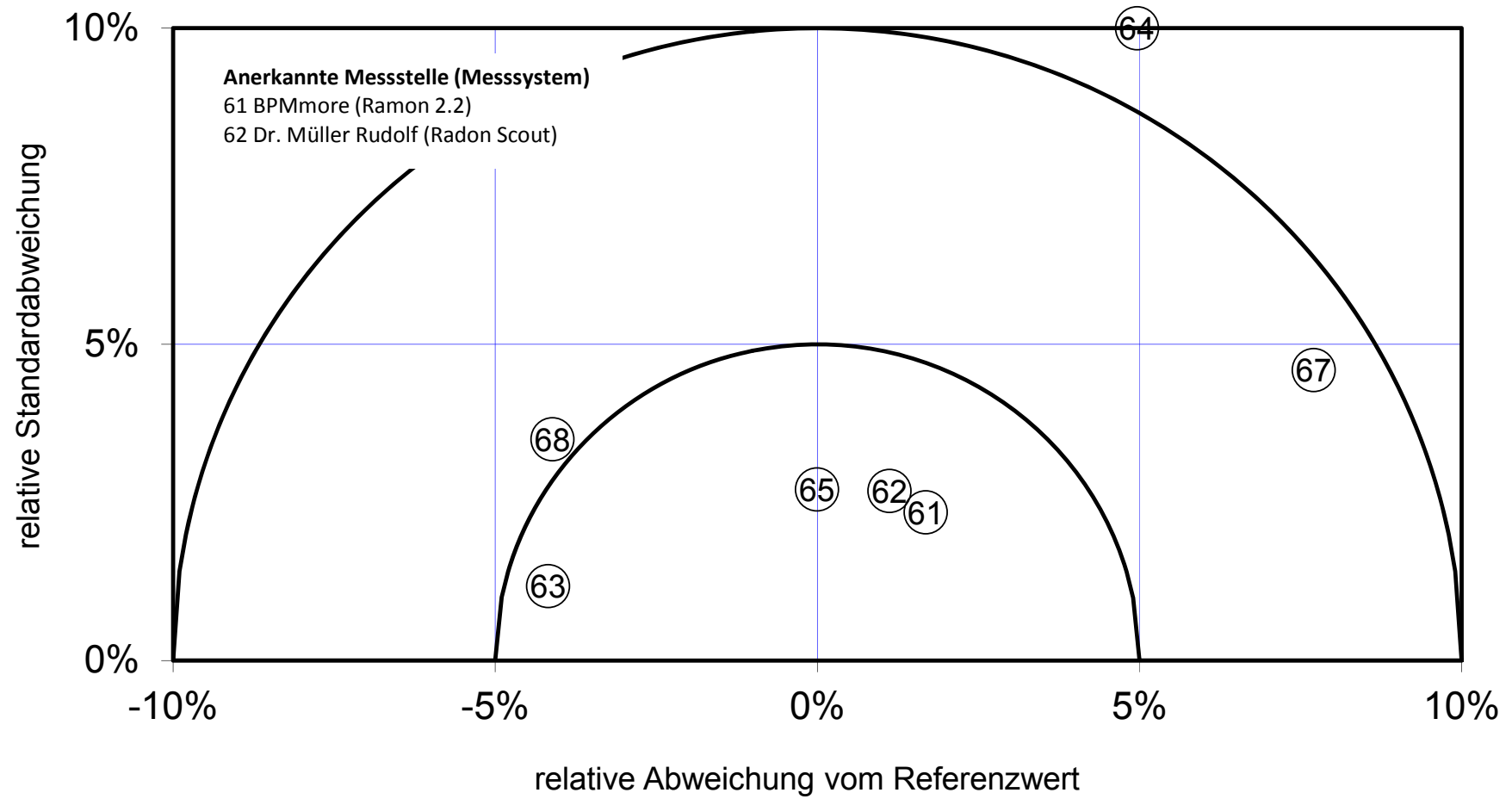
Figur 8a: Vergleichsmessung 2014 - Übersicht der Messstellen mit passiven Radondosimetern (Ausschnitt)



Figur 9: Vergleichsmessung 2014 - Übersicht der Messstellen mit aktiven Radondosimetern



Figur 9a: Vergleichsmessung 2014 - Übersicht der Messstellen mit aktiven Radondosimetern (Ausschnitt)



Figur 10: Vergleichsmessung 2014 – Geräte in der Prüfkammer (links) und Ortsverteilung des Verhältnisses der Messwerte zum Sollwert (rechts)



vorderes Gerätetableau

		100%	
100%	95%		98%
96%	97%		99%
99%	98%		101%
98%	97%		98%
99%	98%		103%
97%	96%		100%
96%	96%		98%
96%	99%		98%
96%	99%		102%
98%	96%		96%

hinteres Gerätetableau

		110%	
97%	97%		101%
100%	96%		99%
97%	99%		100%
100%	97%		97%
98%	97%		98%
97%	98%		97%
96%	96%		99%
99%	99%		98%
100%	98%		98%

Figur 11: Vergleichsmessung 2014 – Ortsverteilung der Verhältnisse Messwert zu Sollwert der exponierten Dosimeter

