

PAUL SCHERRER INSTITUT



Die Vergleichsmessung 2016 für Radonmessmittel am PSI

Gernot Butterweck, Bénédicte Hofstetter-Boillat, Eike Hohmann
und Sabine Mayer

PSI Bericht Nr. 16-02
September 2016
ISSN 1019-0643

PAUL SCHERRER INSTITUT



Die Vergleichsmessung 2016 für Radonmessmittel am PSI

Gernot Butterweck, Bénédicte Hofstetter-Boillat, Eike Hohmann
und Sabine Mayer

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

Paul Scherrer Institut (PSI)
5232 Villigen PSI, Switzerland
Tel. +41 56 310 21 11
Fax +41 56 310 21 99
www.psi.ch

PSI Bericht Nr. 16-02
September 2016
ISSN 1019-0643



Zusammenfassung

Kandidaten für die vom 3. bis 21. März 2016 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 siebzehn 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 432 Stunden einer Exposition von 119 kBq h m^{-3} bei einer durchschnittlichen Radonaktivitätskonzentration von 276 Bq m^{-3} ausgesetzt.

Die Durchschnittskonzentration war nahe dem Referenzwert von 300 Bq m^{-3} gewählt. Mit Ausnahme von einer anerkannten Messstelle erfüllen die in der Schweiz eingesetzten Messsysteme die Anforderungen.

Abstract

Twenty-nine radon measurement services or the respective analytical laboratories participated in the 2016 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 3rd to 21st, 2016 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 432 hours in the PSI Radon Chamber to a reference atmosphere with an average radon gas concentration of 276 Bq m⁻³ leading to a radon gas exposure of 119 kBq h m⁻³.

The average radon gas concentration was selected near the reference value of 300 Bq m⁻³. With one exception, 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	Radondosimeter	4
6.2.2	Elektronische Radondosimeter.....	5
6.2.3	Messgeräte.....	5
7	Schlussfolgerung.....	6
8	Literatur	6
9	Bisherige Berichte	6

TABELLEN

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer	8
Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2016	10
Tabelle 3: Expositionsparameter in der Prüfkammer	11
Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung zu den Resultaten	11
Tabelle 5: Verwendete Radonmessmittel	12
Tabelle 6: Teilnehmerresultate Radondosimeter	17
Tabelle 7: Teilnehmerresultate elektronische Radondosimeter	20
Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte	22

FIGUREN

Figur 1: Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Prüfkammer	24
Figur 2: Radonkonzentration in der Prüfkammer	25
Figur 3: Resultate Radondosimeter	26
Figur 4: Resultate elektronische Radondosimeter	27
Figur 5: Mittelwerte Radondosimeter	28
Figur 6: Mittelwerte elektronische Radondosimeter	29
Figur 7: Resultate Messgeräte	30
Figur 8: Übersicht der Messstellen mit Radondosimetern	31
Figur 9: Übersicht der Messstellen mit elektronischen Radondosimetern	33

1 EINLEITUNG

Ziel der alle zwei Jahre durchgeführten Vergleichsmessung ist die Kontrolle der Messbeständigkeit der durch anerkannte Radon-Messstellen eingesetzten Messmittel. Abgesehen von der bekannten Radongasexposition ist das Vorgehen bei der Vergleichsmessung möglichst nahe am Routineeinsatz der Messmittel orientiert. Werden unzulässige Abweichungen entdeckt, können in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die Ursachen aufgespürt und im Rahmen einer Verbesserungsmaßnahme eliminiert werden. Eine Rangliste der verschiedenen Messmittel ist ausdrücklich kein Ziel der Vergleichsmessungen.

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 Gesundheit (BAG). Die Vergleichsmessung 2016 für Radongasmessmittel wurde in der Prüfkammer des Referenzlabors für Radongas-Konzentrationsmessungen am PSI vom 3. - 21. März durchgeführt. Es beteiligten sich 29 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen (Tabelle 1) mit total 143 Dosimetern und 39 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 600A, Pylon Electronic Development, Ottawa (CAN)). Eine solche Zelle verbunden mit einem Sekundärelektronenvervielfacher und Vielkanalanalysator bildet ein sogenanntes Transfornormal I (Butterweck et al. 2015). 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 10-minütige Füllung der Szintillationszelle eines Transfornormals zeitlich versetzt im Abstand von 111 Minuten durchgeführt. Auf diese Weise resultierten für die Vergleichsmessung 2016 total 233 Punktmessungen.

Der Radongas-Pegel in der Prüfkammer wird zusätzlich mit einem Messgerät 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 2016 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 3.3. 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 2016 (Tabelle 3) basiert auf dem gewichteten Durchschnittswert von 233 Punktbestimmungen mit drei Transfornormalen I (Tabelle 4). Aus dem durchschnittlichen Radongas-Konzentrationswert wurde durch Multiplikation mit der Expositionszeit der entsprechende Radongas-Expositionswert berechnet. Alle berechneten Werte wurden erst nach der Berechnung auf eine sinnvolle Stellenzahl gerundet.

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 233 Konzentrationsbestimmungen wurden als unabhängige Einzelbestim-

mungen betrachtet, welche in einem Durchschnittswert zusammengefasst werden können. Die Unsicherheit dieses Durchschnitts wird dann durch Gauß'sche 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 29 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 mit dem jeweiligen Messsystem 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 eingesetzt, so wird dessen Name veröffentlicht. Die Zuordnung zwischen Codes und Messstellen wird in den Legenden der Figuren 3 - 9 wiederholt.

5 RESULTATE DER VERGLEICHSMESSUNG

Die Tabellen 6, 7 und 8 führen die Teilnehmerresultate für Radondosimeter, elektronische 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 Ensemblemit-

tels 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 Radondosimeter und Figur 9 ein derartiges Diagramm für elektronische 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. Die Durchschnittskonzentration von 276 Bq m^{-3} ist im Vergleich mit den bisherigen Vergleichsmessungen sehr niedrig. Dies schlägt sich aufgrund der geringen Zählraten in einer grösseren Unsicherheit der einzelnen Punktbestimmungen nieder. Die Radongasexposition lag mit 119 kBq h m^{-3} auf einem niedrigen Wert, der aber etwa dem Doppelten des bisher niedrigsten Expositionswerts (Vergleichsmessung 2010) entspricht.

6.2 Teilnehmerresultate

6.2.1 Radondosimeter

Die Ergebnisse der Radondosimeter sind in Tabelle 6 aufgeführt und in den Figuren 3, 5, 8 und 8a dargestellt. Bei der diesjährigen Vergleichsmessung lagen zwei Resultate von Radondosimetern (Code 3 und 14) ausserhalb des BAG Kriteriums (Figur 8). Code 3 bezeichnet ein Elektret-Dosimeter des Typs LLT. Für diesen Typ von Elektret-Dosimetern liegt die Exposition dieser Vergleichsmessung unterhalb der Nachweisgrenze, daher ist die beobachtete grosse Streuung der Messresultate nachvollziehbar. LLT-Elektretdosimeter müssen in der Schweiz bei anerkannten Messungen gemeinsam mit einem LST-Elektretdosimetern eingesetzt werden, um den vorgeschriebenen Expositionsbereich abdecken zu können. Bei der geringen Exposition dieser Vergleichsmessung ist das Ergebnis der empfindlicheren LST-Elektretdosimeter (Code 8) massgeblich, welche das BAG-Kriterium erfüllen.

Code 14 ist ein nicht anerkanntes Messsystem einer ausländischen Messstelle, welche zur eigenen Qualitätssicherung an der Vergleichsmessung teilnahm.

Alle anderen Teilnehmer erfüllen das BAG-Kriterium. Zur besseren Lesbarkeit für diese Teilnehmer, ist in Figur 8a ein vergrösserter Auszug von Figur 8 dargestellt.

Die geringe Radonexposition der diesjährigen Vergleichsmessung hat zur Folge, dass zusätzliche Expositionen während des Transports von und zur Auswertestelle eine höhere Bedeutung erlangen. Um diesen Einfluss quantitativ zu beurteilen, wurden wie auch in den vergangenen Vergleichsmessungen für jeden Teilnehmer zwei nicht in der Radonkammer exponierte Radondosimeter verwendet. Einige Teilnehmer nutzen die Ergebnisse der Transportdetektoren zur Korrektur der Resultate der exponierten Radondosimeter. Es zeigte sich in dieser Vergleichsmessung, dass diese Korrektur die Ergebnisse sowohl verbes-

sern als auch verschlechtern kann. Die Anwendung der Korrektur wurde bisher für die Vergleichsmessungen nicht geregelt, liegt also im Ermessen der Teilnehmer. Damit wird vor allem für niedrige Radon-Expositionen die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschlechtert. Für zukünftige Vergleichsmessungen sind daher Massnahmen empfehlenswert, welche zu einer einheitlichen Verwendung der Transportdetektoren führen.

6.2.2 Elektronische Radondosimeter

Die Ergebnisse der elektronischen Radondosimeter sind in Tabelle 7 aufgeführt und in den Figuren 4, 6, 9 und 9a dargestellt

Zwei Teilnehmer mit nicht zeitauflösenden elektronischen Radondosimetern (Codes 63 und 64) hatten versäumt, vor Beginn der Vergleichsmessung den Speicher der Dosimeter zu löschen, so dass nur der Messwert über die letzten sieben Tage der Expositionsperiode gemeldet werden konnte. Für diese beiden Teilnehmer wurde ein separater Sollwert für diesen Zeitraum berechnet.

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.

Zwei Teilnehmer (Codes 65 und 73) liegen knapp ausserhalb des BAG-Kriteriums (Figur 9), wobei es sich um ein Einzeldosimeter (Code 65) und ein Ensemble von 6 elektronischen Radondosimetern (Code 73) handelt. Alle weiteren Dosimeter erfüllen das BAG-Kriterium. Zur besseren Lesbarkeit für diese Teilnehmer, ist in Figur 9a ein vergrösserter Auszug von Figur 9 dargestellt.

Die überwiegende Anzahl der elektronischen Dosimeter zeigt im Vergleich zum Sollwert zu hohe Werte (Figur 4), was ein Indiz für eine unzureichende Korrektur des Dosimeteruntergrunds sein könnte. Es wird daher empfohlen, den Eigeneffekt der elektronischen Dosimeter vor allem nach Langzeitmessungen von hohen Radonkonzentrationen zu überprüfen.

6.2.3 Messgeräte

Die Resultate der Messgeräte erscheinen in Tabelle 8 und Figur 7. Mit einer Ausnahme (Code 132) liegen alle teilnehmenden Messgeräte innerhalb der Toleranzgrenzen des Rückverfolgbarkeitskriteriums. Dieses Messgerät wurde durch den Teilnehmer in der Vergangenheit im ausgeschalteten Zustand einer hohen Radonexposition ausgesetzt. Dadurch wurde eine langlebige Kontamination der Messkammer erzeugt, welche durch die automatische Nullwertkorrektur dieses Gerätetyps nicht berücksichtigt wird.

Eines der Messgeräte (Code 103) lieferte bei Auslesung durch den Teilnehmer nur einen Teil der Messwerte der Exposition. Für dieses Messgerät wurde ein separater Sollwert für die reduzierte Expositionsperiode berechnet.

Praktisch alle Messgeräte zeigen im Vergleich zum Sollwert zu hohe Werte (Figur 7), was ein Indiz für eine unzureichende Korrektur des Geräteuntergrunds sein könnte.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Exposition und die Radongas-Durchschnittskonzentration der Vergleichsmessung 2016 waren niedrig angesetzt. Vor allem bei der niedrigen Exposition spielt die korrekte Korrektur des Untergrunds von Geräten und Dosimetern eine wichtige Rolle. Die bisher nicht geregelte Verwendung der Messwerte von Transportdetektoren führt zu einer Verschlechterung der Vergleichbarkeit der Resultate bei niedrigen Radongas-Expositionen. Für zukünftige Vergleichsmessungen sind Massnahmen empfehlenswert, welche die Verwendung der Transportdetektoren vereinheitlicht.

Lediglich eine anerkannte Messstelle konnte das BAG-Kriterium nicht erfüllen. Diese Messstelle hat bereits Verbesserungsmaßnahmen eingeleitet. Die Radongas-Messtechnik in der Schweiz hat bezüglich Rückverfolgbarkeit ihren hohen Qualitätsstandard beibehalten.

8 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.

Butterweck, G., Schmidt, V., Buchröder, H., Hugli, R., Hohmann, E., Foerster, E., Mayer, S.:

Reference instruments based on spectrometric measurement with Lucas cells:
Radiat. Prot. Dosim. 167 (1-3), 298 – 301, 2015.

9 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.

Butterweck, G.; Hohmann, E., Mayer, S.
Die Vergleichsmessung 2014 für Radonmessmittel am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 14-02; 2014.

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
Sektion radiologische Risiken
Dr. F. Barazza
3003 **Bern**

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

Eidgenössisches Institut für
Metrologie METAS
Dr. C. Kottler
Lindenweg 50
3003 **Bern-Wabern**

Fachhochschule Nordwestschweiz
Institut Energie am Bau
F. Dorusch
St. Jakob-Strasse 84
4132 **Muttenz**

Hainaut Vigilance Sanitaire
Laboratoire des pollutions
Intérieures
M. Cailleaux
Boulevard saintetelette 55
7000 **Mons**
Belgien

IBH Institut für Bauhygiene
M. Durrer
Fontanastrasse 16
7000 **Chur**

Ingenieur- und Planungsbüro Marco
Ghielmetti
M. Ghielmetti
Bannwaldweg 21
7206 **Igis**

Institut de Radiophysique
N. Meyer
Rue du Grand Pré 1
1007 **Lausanne**

Kanton Aargau
Amt für Verbraucherschutz
Obere Vorstadt 14
5000 **Aarau**

Kanton Basel-Stadt
Kantonales Laboratorium
Dr. M. Zehringer
Kannenfeldstrasse 2
4012 **Basel**

Kanton Graubünden
Amt für Lebensmittelsicherheit und
Tiergesundheit
R. Fiechter
Planaterrastrasse 11
7001 **Chur**

Kanton Solothurn
Amt für Umwelt
W. Friedli
Werkhofstrasse 5
4509 **Solothurn**

Kanton Tessin
Laboratorio cantonale
M. De Rossa
Via Mirasole 22
6500 **Bellinzona**

Kanton Zürich
Amt für Abfall, Wasser, Energie und
Luft
M. Meier
Stampfenbachstrasse 12
8090 **Zürich**

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

MeaRec GmbH
Dr. U. von Arx
Zollhausstrasse 82
2504 **Biel/Bienne**

Monitron AG
S. Fischer
Hessstrasse 27D
3097 **Liebfeld**

Monitron SA
F. Genier
Chemin de Montelly 78
1000 **Lausanne 20**

Radon Ticino
S. Montorfani
via Nocc 16A
6925 **Gentilino**

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

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

Tecnavia S.A.
R. Colucci
Via Cadepiano 28
6917 **Lugano**

Think Exergy SA
V. Fontana
Corso Bello 8
6850 **Mendrisio**

Truffer Ingenieurberatung
D. Bichsel
Gewerbestrasse 10
3931 **Lalden**

U-Series Srl
Dr. M. Rossetti
Via Ferrarese 131
40128 **Bologna**
Italien

Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2016

Dauer der Expositionsperiode:

Ende der Vergleichsmessung (MEZ): 21.3.2016 8:31

Start der Vergleichsmessung (MEZ): 3.3.2016 8:42

Expositionsdauer in Stunden: 431.8

Dosisleistung in der Prüfkammer: 124 nSv/h

Dauer der Ausgasperiode:

Ende der Ausgasung (MEZ): 22.3.2016 9:15

Start der Ausgasung (MEZ): 21.3.2016 8:50

Ausgasdauer in Stunden: 24.4

Messungen der Umweltparameter in dem Vorbereitungsraum OFLD/009:

Ende der Messung (MEZ): 24.3.2016 11:26

Start der Messung (MEZ): 11.2.2016 13:24

Messdauer in Stunden: 24.4

Mittelwerte:Radonaktivitätskonzentration: $1 \pm 2 \text{ Bq m}^{-3}$

Dosisleistung: 87.5 nSv/h

Lufttemperatur: $23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ Relative Luftfeuchte: $27 \pm 2 \%$ Luftdruck: $977 \pm 8 \text{ hPa}$

**Tabelle 3: Expositionsparameter in der Prüfkammer
3.3.2016 8:42 – 21.3.16 8:31**

Durchschnittliche Radonaktivitätskonzentration:	276 ± 12 Bq m ⁻³
Radonexposition:	119 ± 5 kBq h m ⁻³
Dosisleistung:	124 nSv/h
Lufttemperatur:	21 ± 1 °C
Relative Luftfeuchte:	31 ± 2 %
Luftdruck:	971 ± 9 hPa

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

Messung mit TransfERNormal:	1	2	3
Durchschnitt der Punktbestimmungen:	277	277	275
„Statistische“ Unsicherheit (u _A):	4	4	4
„Systematische“ Unsicherheit (u _B):	12	12	12
Gesamtunsicherheit (u _C):	12	12	12
Gewichteter Durchschnittswert:		276	
Gesamtunsicherheit des gew. DW (95%-Vertrauensintervall):		12	
Gesamtunsicherheit in %:		4.3	

Tabelle 5: Verwendete Radonmessmittel

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Anerkannte Messstelle / Auswertelabor
<i>Radondosimeter</i>			
1	Kernspurdetektor	Politrack (IRA)	
2	Elektret-Ionisationskammer	SLT E-Perm (Rad Elec)	
3	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Christian Böhm
4	Kernspurdetektor	Radosys RSKS (AGES)	AGES
5	Kernspurdetektor	Radosys CR32 (HVS)	
6	Kernspurdetektor	Politrack (IRA)	
7	Kernspurdetektor	DRF (Dosirad)	
8	Elektret-Ionisationskammer	LST E-Perm (Rad Elec)	Christian Böhm
9	Kernspurdetektor	RADOSURE (TASL, U-Series Srl)	
10	Kernspurdetektor	Alpha track (Landauer Nordic AB)	Landauer Nordic AB (ehem. Gammadata)
11	Kernspurdetektor	Radout (Mi.am)	Econs SA
12	Kernspurdetektor	Politrack (IRA)	Institut de Radiophysique
13	Kernspurdetektor	Typ LD (Altrac)	Altrac
14	Kernspurdetektor	Radosys CR32 (HVS)	

Fortsetzung Tabelle 5: Verwendete Radonmessmittel

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Anerkannte Messstelle
<i>Elektronische Radondosimeter</i>			
61	Halbleiterdetektor	Ramon 2.2 (GT Analytic)	
62	Halbleiterdetektor	Ramon 2.2 (GT Analytic)	BPMmore
63	Halbleiterdetektor	Ramon 2.2 (GT Analytic)	
64	Halbleiterdetektor	Ramon 2.2 (GT Analytic)	
65	Halbleiterdetektor	Radon Scout (Sarad GmbH)	
66	Halbleiterdetektor	Radon Scout (Sarad GmbH)	
67	Halbleiterdetektor	Radon Scout (Sarad GmbH)	
68	Halbleiterdetektor	Canary (corentium)	
69	Halbleiterdetektor	Canary (corentium)	
70	Halbleiterdetektor	Canary (corentium)	
71	Halbleiterdetektor	AlphaE (Saphymo GmbH)	
72	Halbleiterdetektor	Ramon 2.2 (GT Analytic)	
73	Halbleiterdetektor	Radon Scout (Sarad GmbH)	Dr. Rudolf Müller
74	Halbleiterdetektor	DOSEMan (Sarad GmbH)	
75	Halbleiterdetektor	Canary (corentium)	

Fortsetzung Tabelle 5: Verwendete Radonmessmittel

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Anerkannte Messstelle
<i>Messgeräte</i>			
101	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
102	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
103	Ionisationskammer	Atmos 12 (Gammadata Mätteknik)	
104	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
105	Halbleiterdetektor mit elektrostatischer Abscheidung	RTM 2200 (Sarad GmbH)	
106	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
107	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
108	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
109	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
110	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
111	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
112	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
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)	

Fortsetzung Tabelle 5: Verwendete Radonmessmittel

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Anerkannte Messstelle
118	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
119	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
120	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
121	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
122	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
123	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
124	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
125	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
126	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
127	Halbleiterdetektor mit elektrostatischer Abscheidung	RTM 2200 (Sarad GmbH)	
128	Halbleiterdetektor mit elektrostatischer Abscheidung	EQF2 (Sarad GmbH)	
129	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
130	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
131	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
132	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
133	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
134	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	

Fortsetzung Tabelle 5: Verwendete Radonmessmittel

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Anerkannte Messstelle
135	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
136	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
137	Szintillationszelle	RadonMapper (Tecnavia SA)	
138	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	
139	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo GmbH)	

Tabelle 6: Teilnehmerresultate Radondosimeter

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
1	1	138	1.158	1.161	0.061
	2	146	1.216		
	3	146	1.223		
	4	128	1.075		
	5	135	1.133		
2	1	126	1.057	0.972	0.114
	2	110	0.919		
	3	111	0.930		
	4	100	0.836		
	5	133	1.118		
3	1	123	1.035	1.115	0.498
	2	109	0.916		
	3	237	1.983		
	4	87	0.724		
	5	109	0.916		
4	1	135	1.129	1.160	0.065
	2	127	1.060		
	3	141	1.183		
	4	144	1.205		
	5	146	1.220		
5	1	143	1.202	1.169	0.063
	2	137	1.144		
	3	151	1.263		
	4	133	1.111		
	5	134	1.126		
6	1	132	1.104	1.140	0.047
	2	132	1.107		
	3	145	1.216		
	4	133	1.118		
	5	138	1.155		

Fortsetzung Tabelle 6: Teilnehmerresultate Radondosimeter

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
7	1	136	1.136	1.088	0.038
	2	127	1.068		
	3	134	1.122		
	4	127	1.060		
	5	126	1.053		
8	1	146	1.224	1.160	0.105
	2	154	1.291		
	3	133	1.115		
	4	121	1.014		
	5	138	1.157		
9	1	114	0.955	0.982	0.029
	2	121	1.013		
	3	116	0.974		
	4	121	1.013		
	5	114	0.955		
10	1	113	0.948	1.020	0.049
	2	124	1.039		
	3	120	1.006		
	4	129	1.082		
	5	122	1.024		
11	1	124	1.041	1.060	0.066
	2	138	1.157		
	3	126	1.054		
	4	115	0.961		
	5	132	1.106		
	6	125	1.044		
12	1	115	0.966	0.906	0.107
	2	96	0.803		
	3	95	0.793		
	4	110	0.923		
	5	124	1.042		

Fortsetzung Tabelle 6: Teilnehmerresultate Radondosimeter

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
13	1	94	0.796	0.861	0.116
	2	98	0.832		
	3	87	0.724		
	4	112	0.941		
	5	123	1.013		
14	1	188	1.578	1.338	0.176
	2	168	1.404		
	3	134	1.126		
	4	145	1.212		
	5	164	1.372		

Tabelle 7: Teilnehmerresultate elektronische Radondosimeter

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
61	1	132	1.108	1.119	0.015
	2	135	1.130		
62	1	125	1.050	0.999	0.064
	2	126	1.057		
	3	119	1.000		
	4	119	0.996		
	5	114	0.956		
	6	105	0.881		
	7	126	1.054		
63	1	53	1.139	1.139	0.100 ¹⁾
64	1	45	0.975	0.975	0.100 ¹⁾
65	1	143	1.199	1.199	0.100 ¹⁾
66	1	138	1.158	1.158	0.100 ¹⁾
67	1	125	1.048	1.048	0.100 ¹⁾
68	1	117	0.981	1.031	0.075
	2	136	1.140		
	3	122	1.023		
	4	117	0.981		
69	1	105	0.883	0.883	0.100 ¹⁾
70	1	125	1.050	1.050	0.100 ¹⁾
71	1	134	1.120	1.120	0.100 ¹⁾

Fortsetzung Tabelle 7: Teilnehmerresultate elektronische Radondosimeter

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
72	1	142	1.191	1.184	0.043
	2	150	1.260		
	3	140	1.176		
	4	141	1.180		
	5	147	1.231		
	6	144	1.205		
	7	135	1.129		
	8	137	1.151		
	9	136	1.137		
73	1	130	1.085	1.196	0.074
	2	139	1.165		
	3	150	1.260		
	4	146	1.224		
	5	138	1.155		
	6	153	1.285		
74	1	121	1.017	1.017	0.100 ¹⁾
75	1	121	1.014	1.014	0.100 ¹⁾

¹⁾ Vom PSI eingesetzter Wert für die Streuung einzelner Radondosimeter

Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte

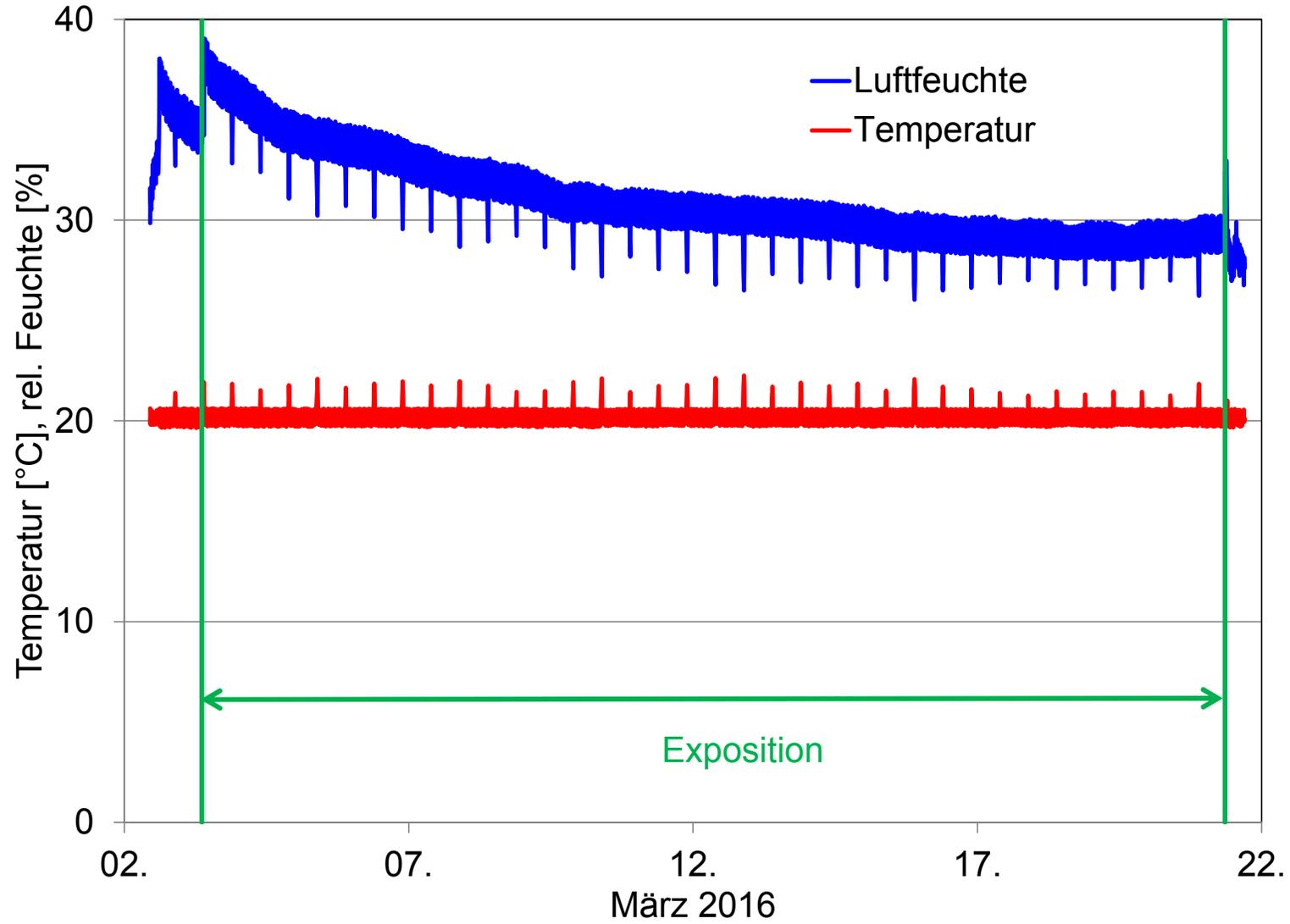
Teilnehmer- code	Konzentrations- mittelwert [Bq m ⁻³]	Unsicherheit ²⁾ [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Unsicherheit ²⁾
101	293	27	1.060	0.092
102	286	26	1.035	0.091
103	306	31	1.109	0.100
104	280	25	1.013	0.089
105	301	34	1.091	0.112
106	281	17	1.017	0.061
107	292	27	1.057	0.092
108	283	25	1.024	0.088
109	289	17	1.044	0.060
110	275	28	0.995	0.102
111	305	27	1.104	0.089
112	295	24	1.068	0.081
113	292	18	1.057	0.060
114	281	17	1.017	0.060
115	294	53	1.065	0.180
116	285	26	1.031	0.091
117	285	25	1.031	0.088
118	297	27	1.075	0.091
119	280	17	1.012	0.060
120	287	24	1.039	0.084
121	285	25	1.031	0.088
122	293	18	1.060	0.060
123	285	26	1.031	0.091
124	324	25	1.173	0.077
125	290	28	1.050	0.097
126	297	14	1.075	0.047
127	300	34	1.085	0.112
128	309	35	1.118	0.113
129	285	61	1.030	0.213
130	280	35	1.013	0.126
131	276	17	0.999	0.060
132	383	23	1.387	0.061
133	277	17	1.003	0.060

Fortsetzung Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte

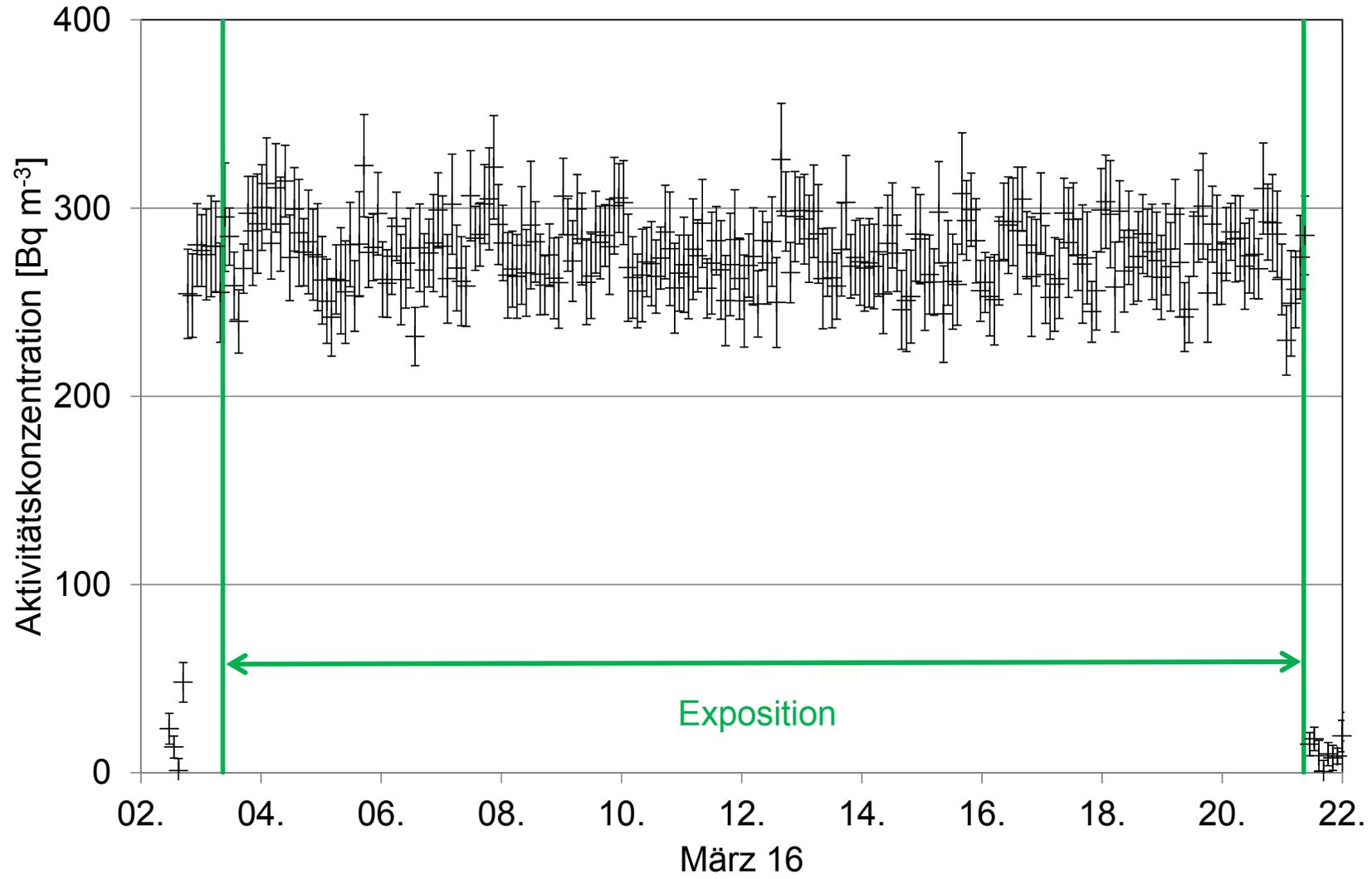
Teilnehmer- code	Konzentrations- mittelwert [Bq m ⁻³]	Unsicherheit ²⁾ [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Unsicherheit ²⁾
134	283	17	1.024	0.060
135	288	17	1.042	0.060
136	291	17	1.053	0.060
137	282	28	1.021	0.099
138	287	26	1.039	0.091
139	281	25	1.017	0.089

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

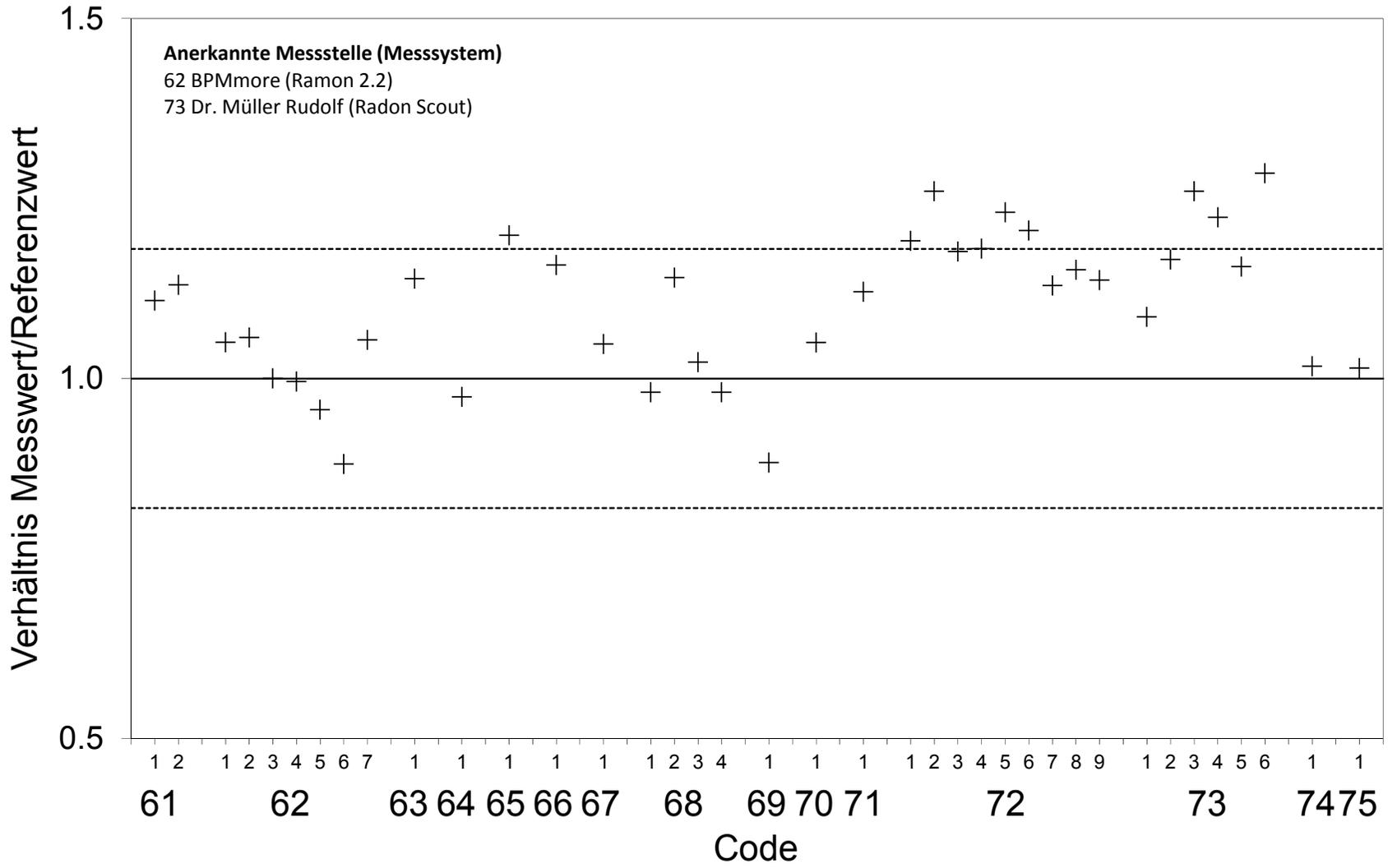
Figur 1: Vergleichsmessung 2016 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Prüfkammer



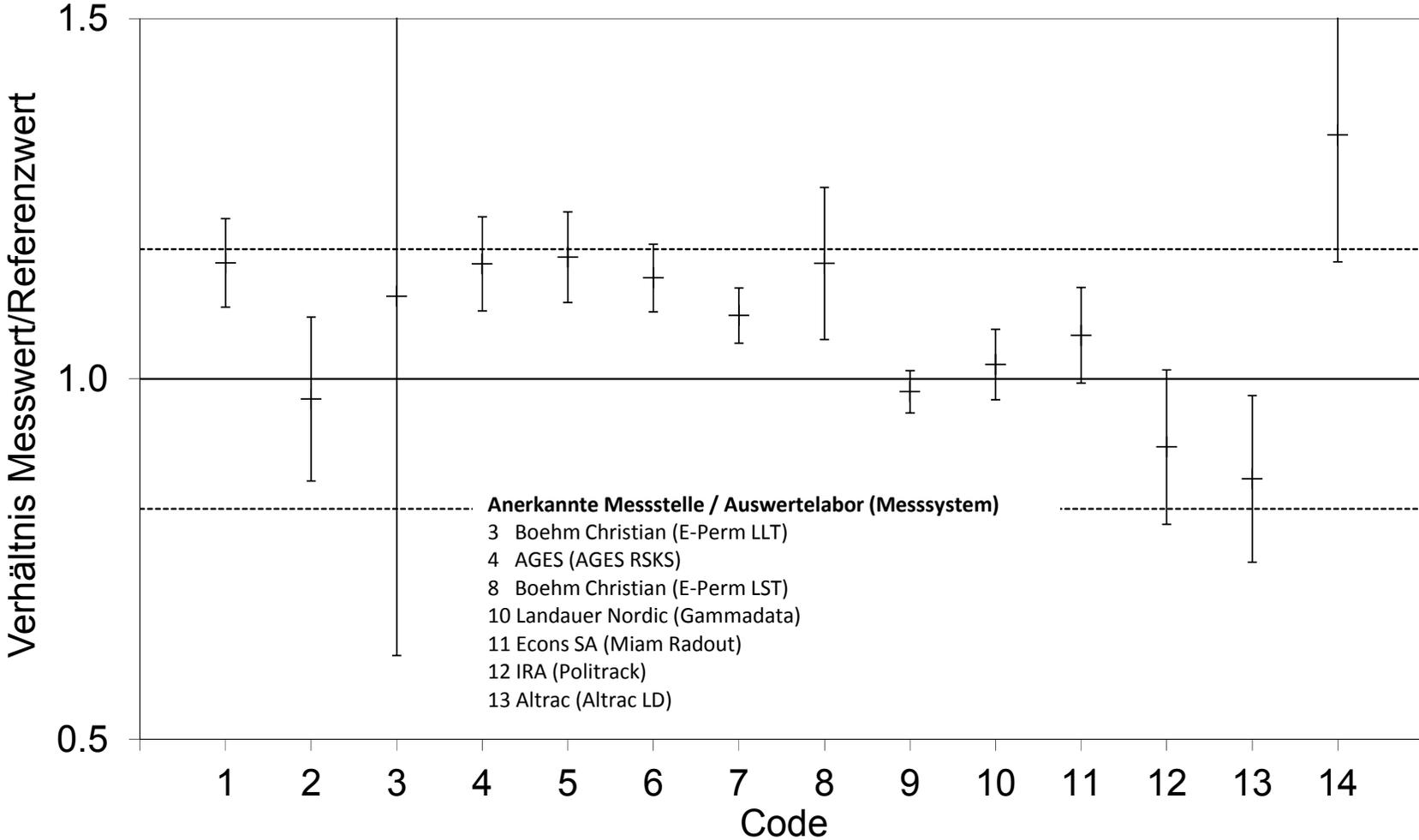
Figur 2: Vergleichsmessung 2016 - Radonkonzentration in der Prüfkammer



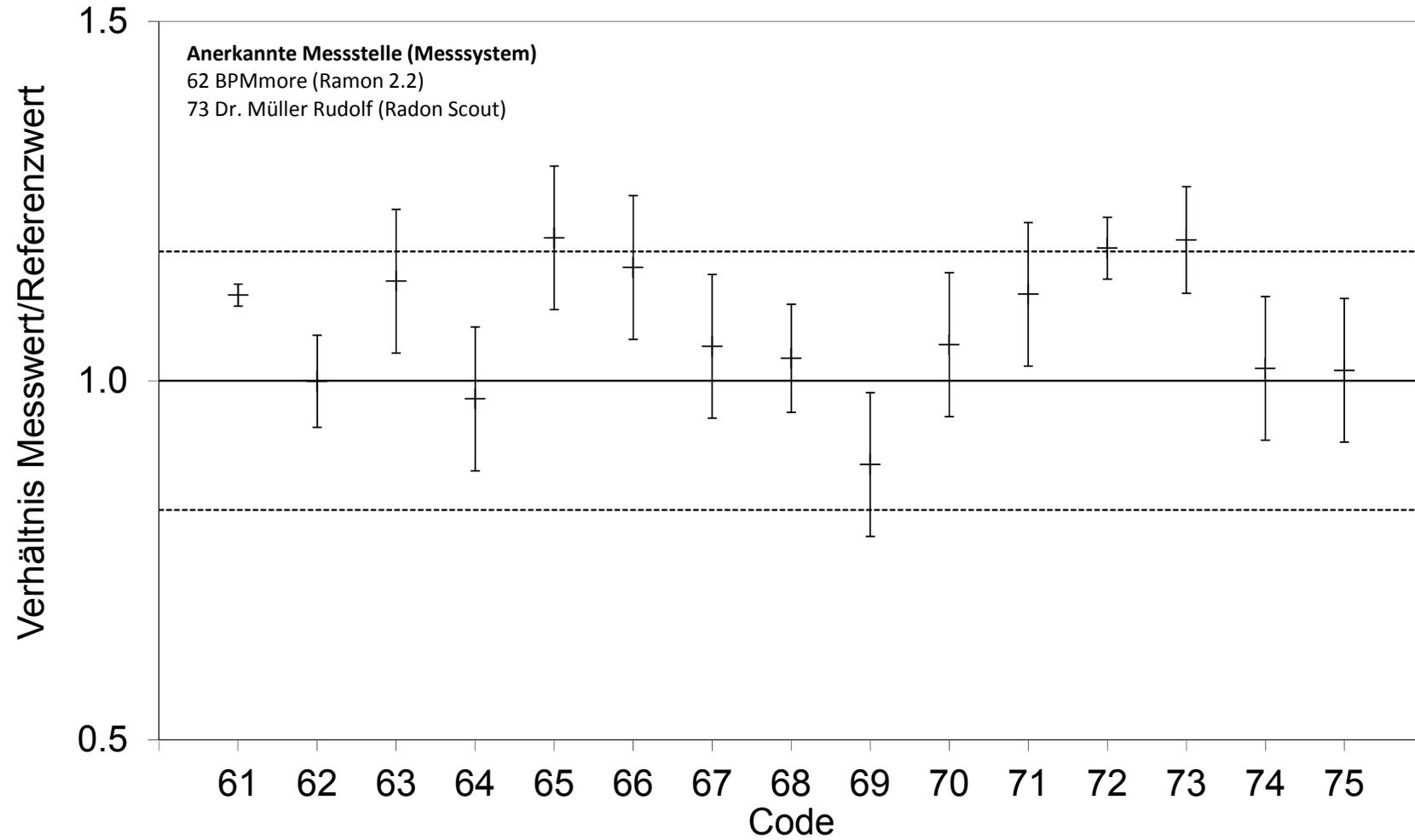
Figur 4: Vergleichsmessung 2016 - Resultate elektronische Radondosimeter



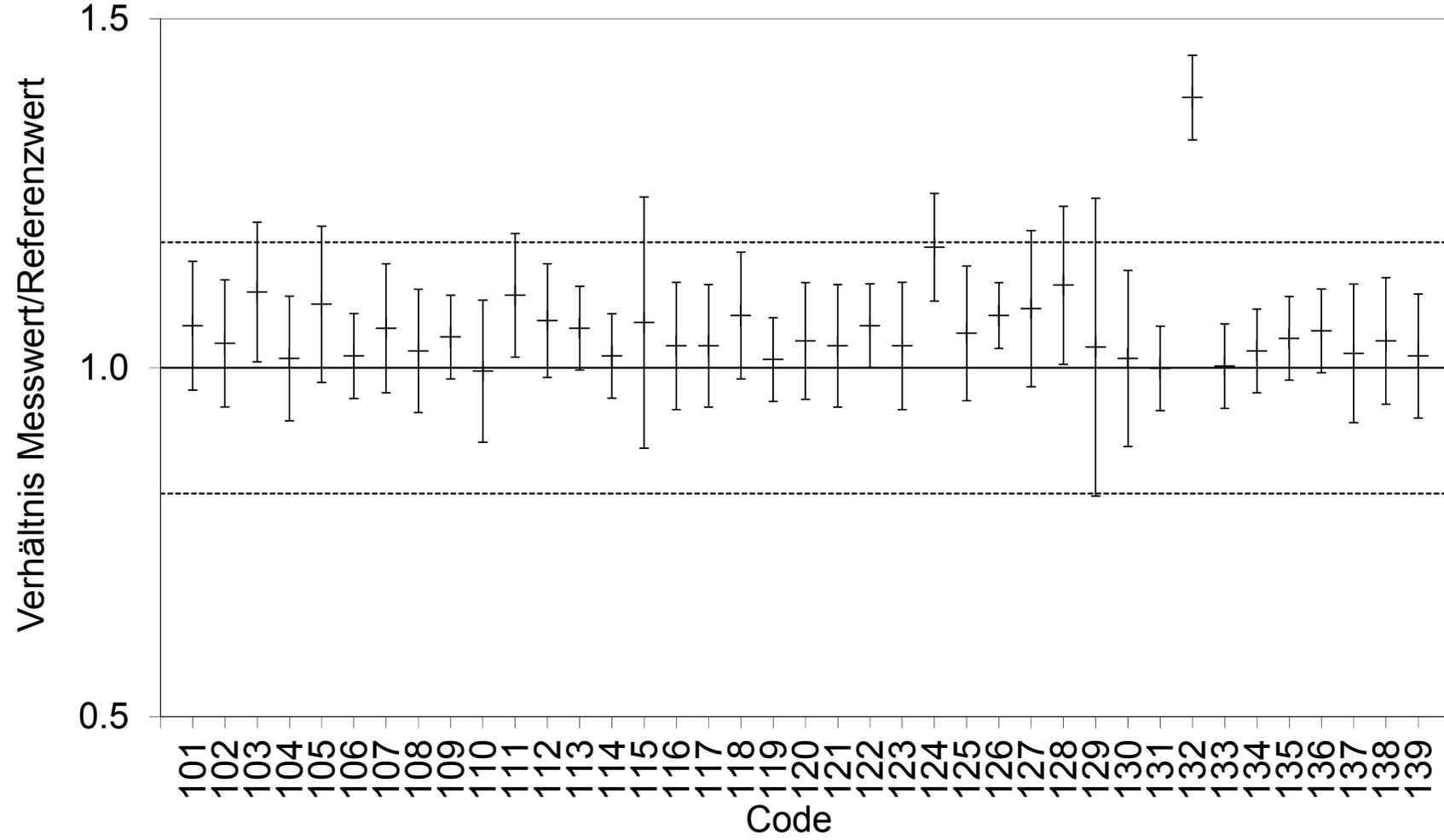
Figur 5: Vergleichsmessung 2016 - Mittelwerte Radondosimeter



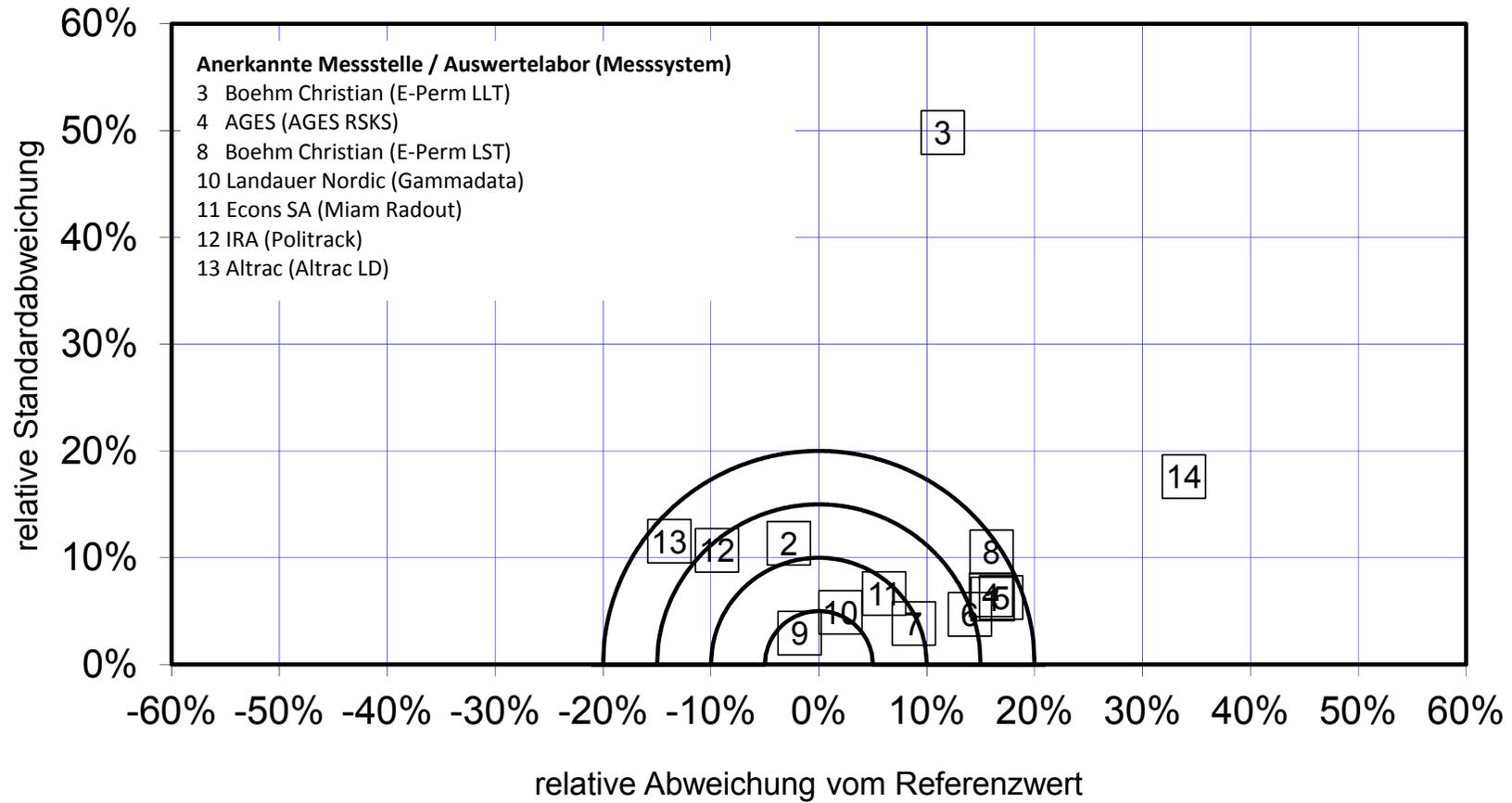
Figur 6: Vergleichsmessung 2016 - Mittelwerte elektronische Radondosimeter



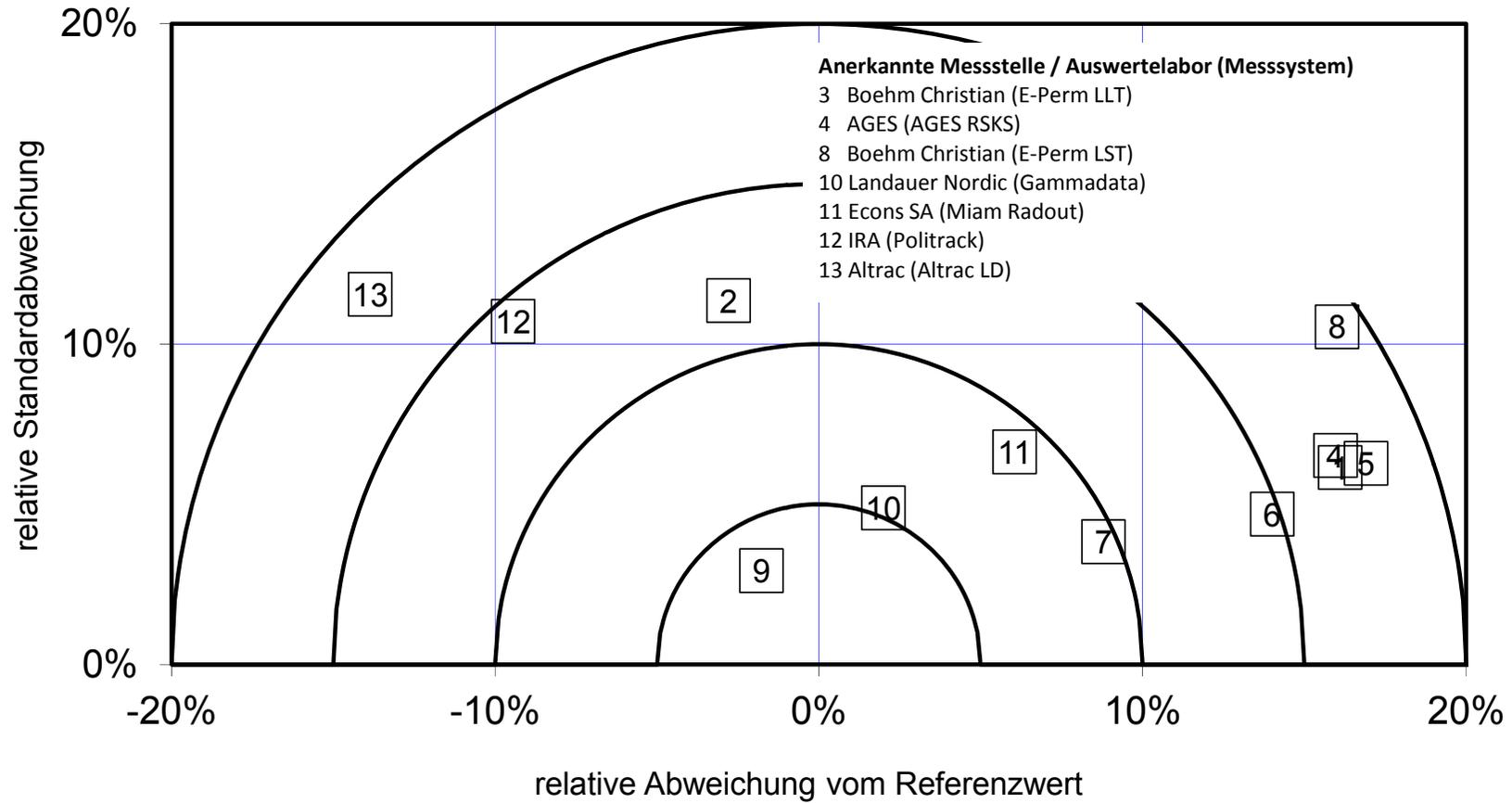
Figur 7: Vergleichsmessung 2016 - Resultate Messgeräte



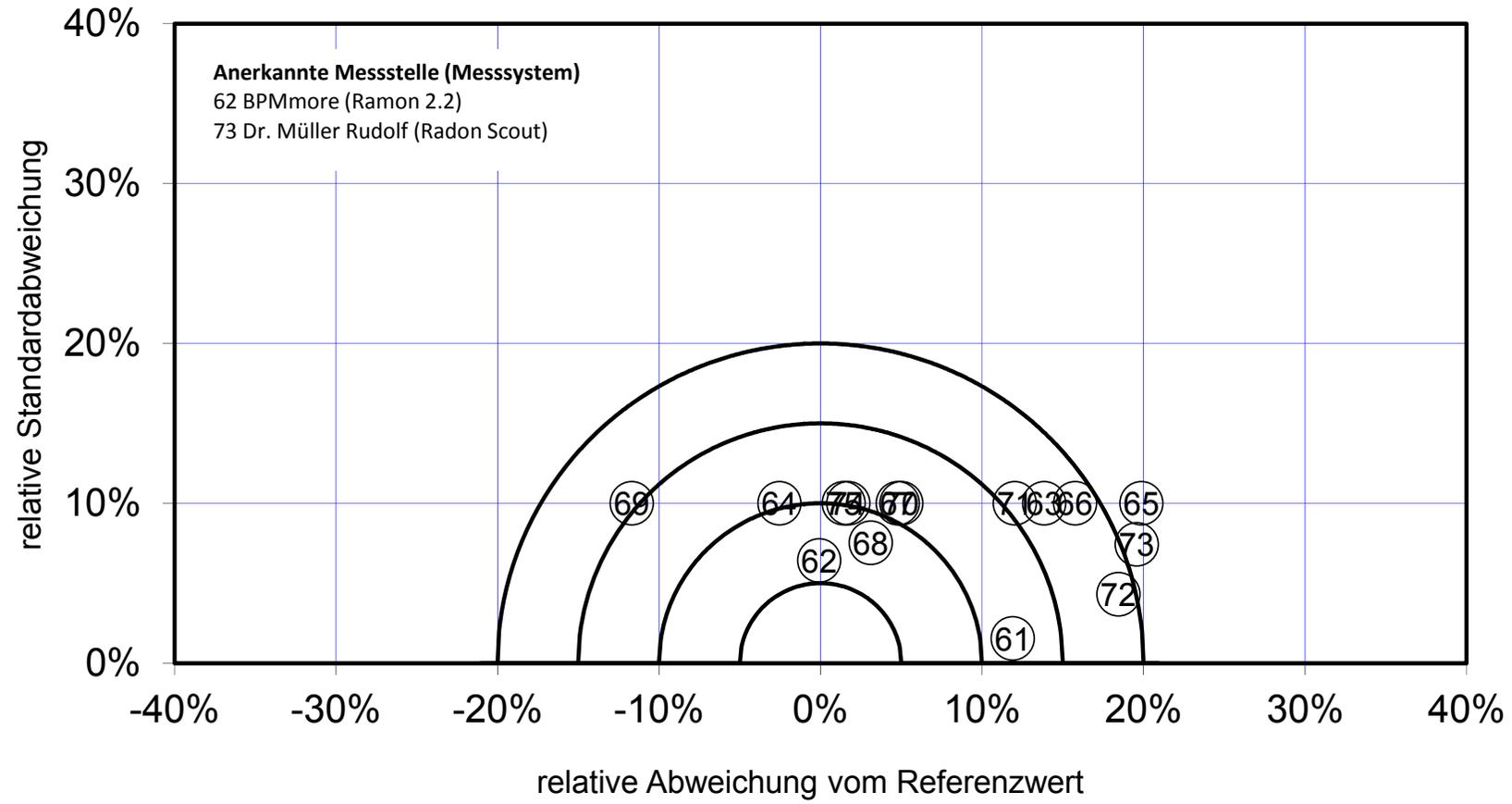
Figur 8: Vergleichsmessung 2016 - Übersicht der Messstellen mit Radondosimetern



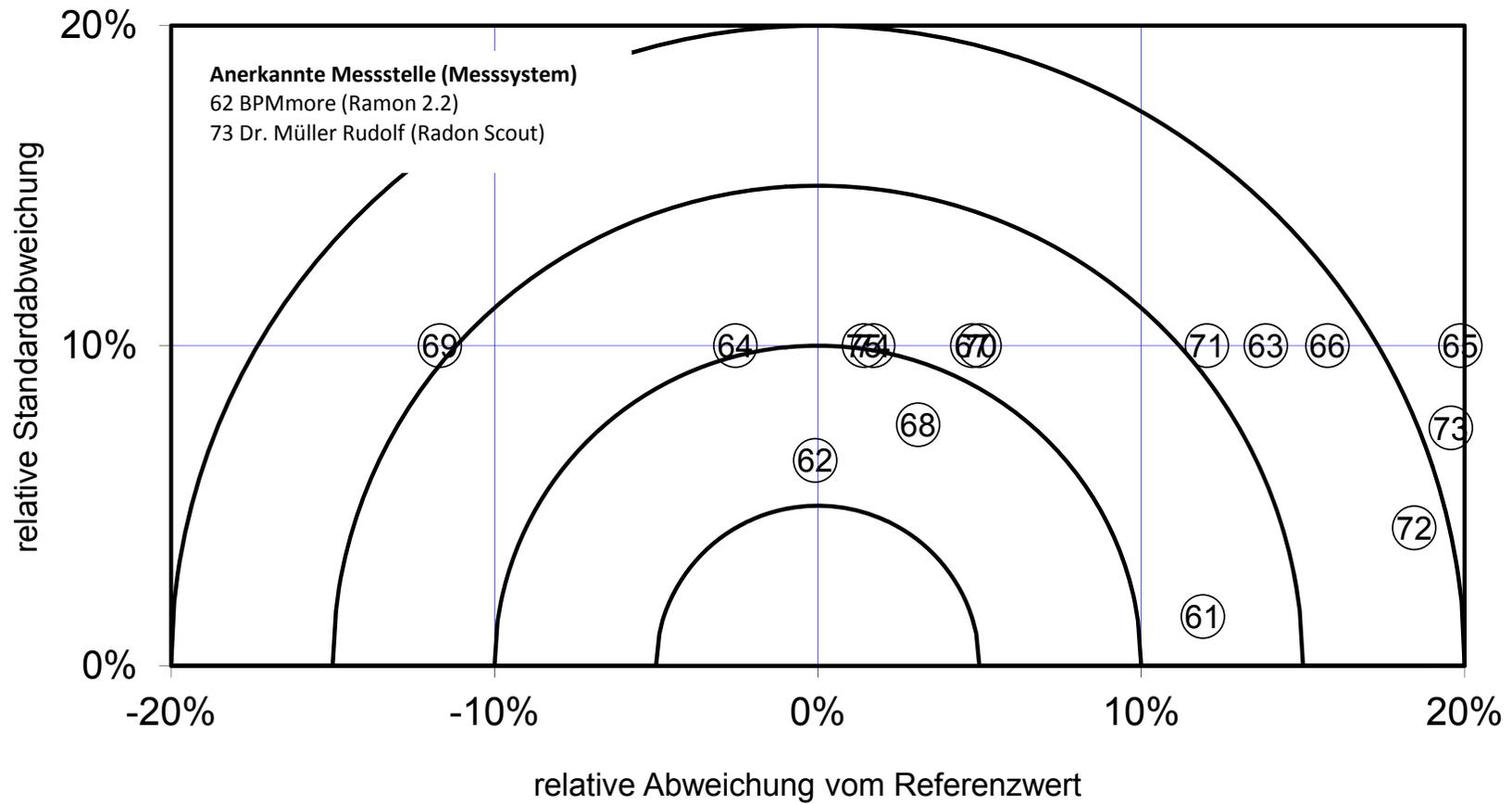
Figur 8a: Vergleichsmessung 2016 - Übersicht der Messstellen mit Radondosimetern (Ausschnitt)



Figur 9: Vergleichsmessung 2016 - Übersicht der Messstellen mit elektronischen Radondosimetern



Figur 9a: Vergleichsmessung 2016 - Übersicht der Messstellen mit elektronischen Radondosimetern (Ausschnitt)



Paul Scherrer Institut :: 5232 Villigen PSI :: Switzerland :: Tel. +41 56 310 21 11 :: Fax +41 56 310 21 99 :: www.psi.ch

