

Die Vergleichsmessung 2005 für Radongasmessgeräte am PSI

Gernot Butterweck und Christoph Schuler

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

Juni 2005

Zusammenfassung

Kandidaten für die vom 4. bis 15. März 2005 durchgeführte Vergleichsmessung waren vorwiegend Firmen, Institutionen oder Privatpersonen, welche die Anerkennung des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) als Radonmessstelle besitzen und deshalb nachweisen müssen, dass die Qualität der Messresultate gewährleistet ist. Dem Aufruf des BAG zur Teilnahme folgten neben 11 anerkannten zwei weitere Messstellen. Vier verschiedene Detektor- oder Messgerätearten waren vertreten. Neben Kernspurdetektoren wurden bei den passiven Systemen Elektret-Ionisationskammern eingesetzt, bei den Messgeräten wurden Ionisationskammern und nach dem Prinzip der elektrostatischen Abscheidung arbeitende Geräte geprüft.

Die Detektoren wurden einer Exposition von 914 kBqhm^{-3} bei einer durchschnittlichen Radonaktivitätskonzentration von 3467 Bqm^{-3} ausgesetzt. Diese Exposition liegt über der oberen Messgrenze der von einer Messstelle eingesetzten LST-Elektret-Ionisationskammern. Daher wurden diese Detektoren vorzeitig aus der Prüfkammer entnommen. Sie erhielten eine Exposition von 416 kBqhm^{-3} bei einer durchschnittlichen Radonaktivitätskonzentration von 3472 Bqm^{-3} .

Zudem wurden sechs Elektret-Ionisationskammern einer anerkannten Messstelle im Rahmen eines Blindtests durch das BAG beschafft. Von diesen Detektoren wurden zwei über die gesamte Zeit exponiert, drei wurden zusammen mit den LST-Elektret-Ionisationskammern entnommen und ein weiterer wurde als Transportdetektor eingesetzt. Die Resultate dieser Detektoren wichen stärker vom Sollwert ab und zeigten auch eine höhere Streuung als die von der gleichen Messstelle für die Vergleichsmessung bereitgestellten Detektoren.

Abstract

Thirteen radon measurement services participated in the 2005 Radon Intercomparison Exercise performed at the Reference Laboratory for Radon Gas Activity Concentration Measurements at Paul Scherrer Institut (PSI) during March 4th to 15th, 2005. Eleven of these laboratories were approved by the Swiss Federal Office of Public Health and their participation in the intercomparison exercise was a requirement to warrant quality of measurement. Radon gas detectors (etched-track and electret ionisation chambers) and instruments (ionisation chambers and electrostatic precipitation) were exposed in the PSI Radon Chamber in a reference atmosphere with an average radon gas concentration of 3467 Bqm⁻³ leading to a radon gas exposure of 914 kBqhm⁻³. This exposure was above the measuring range of participating LST electret ionisation chambers. Thus, these detectors were exposed for a shorter period leading to a radon gas exposure of 416 kBqhm⁻³ at an average radon gas concentration of 3472 Bqm⁻³.

Additional six electret ionisation chamber detectors of an approved measuring service were purchased by the Swiss Federal Office of Public Health for a spot check. Two of these were exposed over the complete exposure interval, three were removed from the exposure chamber together with the LST electret ionisation chambers and another was used as transport detector. The results of these detectors showed a larger difference to the target value and a larger standard deviation than the detectors submitted for the intercomparison exercise by the measuring service.

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	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 Elektret-Ionisationskammern	4
6.2.2 Kernspurdetektoren	4
6.2.3 Messgeräte	4
7 SCHLUSSFOLGERUNG	5
8 LITERATUR	5

TABELLEN

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer	7
Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2005	8
Tabelle 3: Expositionsparameter in der Prüfkammer	9
Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung	9
Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente	10
Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern	12
Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren	14
Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte	16

FIGUREN

Figur 1: Lufttemperatur und relative Luftfeuchte	17
Figur 2: Radonkonzentration	18
Figur 3: Resultate Elektret-Ionisationskammern	19
Figur 3a: Resultate Elektret-Ionisationskammern	20
Figur 4: Resultate Kernspurdetektoren	21
Figur 5: Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern	22
Figur 6: Mittelwerte Kernspurdetektoren	23
Figur 7: Resultate Messgeräte	24
Figur 8: Übersicht der Messstellen mit Elektret-Ionisationskammern	25
Figur 9: Übersicht der Messstellen mit Kernspurdetektoren	26

1 EINLEITUNG

Gemäss den vom Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung Schweiz (metas) am 6. Mai 1996 erlassenen "Weisungen über die Rückverfolgbarkeit (Traceability) von Radongas-Konzentrationsmessungen" (EAM 1996) führt das Referenzlabor für Radongas-Konzentrationsmessungen am Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen jährlich eine Vergleichsmessung von Radon-Detektoren und -Messgeräten durch, um die Qualität der Messsysteme, welche die vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) anerkannten Messstellen verwenden, rückverfolgbar auf nationale und internationale Normale zu überprüfen.

Die Vergleichsmessung 2005 für Radongasdetektoren und -messgeräte in der Prüfkammer des Referenzlabors fand vom 4. bis 15. März statt. Es beteiligten sich 13 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen (Tabelle 1) mit total 107 Detektoren und 3 Messgeräten.

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

2 REFERENZ-MESSINSTRUMENTE

Als Referenzmessinstrumente zur punktwisen 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 2005 total 147 Punktmessungen.

Der Radongas-Pegel in der Prüfkammer wird zusätzlich mit einem Messgerät mit Durchfluss-Ionisationskammer registriert (ATMOS-12 DPX, Gammadata Mätteknik, Uppsala (S)).

2.1 Kalibrierung der Referenz-Messinstrumente für Radongas

Um die Rückverfolgbarkeit der Referenzatmosphäre in der Prüfkammer während der Vergleichsmessung 2005 auf international anerkannte Normale zu gewährleisten, wurden die Szintillationszellen mit einem Radongas-Standard der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), Deutschland, kalibriert (Schuler 1998). Das Messgerät mit Durchfluss-Ionisationskammer wurde 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 ungefähr 24 Stunden im Anschluss an die Exposition in der Prüfkammer verhindert, dass die exponierten Detektoren nachträglich eine zusätzliche Exposition registrieren, wie das bei Einschluss 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 angegeben. Durch zusätzliche Abschirmungsmassnahmen konnte in diesem Jahr die Umgebungsphotonenstrahlung während der Exposition gegenüber dem Vorjahr weiter reduziert werden.

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 Feuchtigkeitsverlauf während der Exposition.

3.4 Resultate der Radongas-Referenzmessungen

Der Referenzwert für die Radongas-Konzentration in der Prüfkammer während der Vergleichsmessung 2005 (Tabelle 3) basiert auf dem gewichteten Durchschnittswert von 147 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 Rn-Expositionswert abgeleitet. 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.

Die 147 Konzentrationsbestimmungen wurden als unabhängige Einzelbestimmungen 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 13 Teilnehmern der Vergleichsmessung wurden je nach Anzahl der exponierten Detektorgruppen oder Messgeräte ein oder mehrere Codes zugeteilt. Diese Codes sowie der verwendete Detektor- bzw. Messgerätyp, Produktname und Hersteller des Messsystems sind in Tabelle 5 aufgeführt. In Tabelle 5 werden neben den Namen der Messstellen, 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) auch Namen von nicht anerkannten Messstellen auf deren ausdrücklichen Wunsch 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 Elektret-Ionisationskammern, Kernspurdetektoren und Messgeräte auf. In den Tabellen 6 und 7 sind die gemeldeten Einzelresultate nach Detektorbezeichnung 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 Detektor oder Messgerät sowie Mittelwert und Standardabweichung dieser Verhältnisse.

In den Figuren 3, 3a und 4 sind die Einzelverhältnismittelwerte und in den Figuren 5, 6, und 7 die Verhältnismittelwerte sowie deren Standardabweichung pro Teilnehmercode dargestellt.

In den Figuren 3 - 7 wurden zur Illustration Hilfslinien bei + 18% und bei - 18% eingetragen ($\pm 3\%$ für den 2σ -Bereich der Unsicherheit des Referenzwertes [siehe Tabelle 4] plus $\pm 15\%$, die einem früher angewandten Kriterium des BAG aus 1996 entsprechen und hier zur Vergleichbarkeit mit vergangenen Vergleichsmessungen verwendet werden). Die Skalierung der y-Achse dieser Diagramme zwischen den Werten 0.5 und 1.5 dient ebenfalls zur Vergleichbarkeit mit vorangegangenen Berichten. Zusätzlich stellt Diagramm 3a einen grösseren Wertebereich dar, in den alle Werte des Blindtests (Code 5) eingezeichnet werden können.

Gemäss Formular "Anerkennung als Radonmessstelle" zieht das BAG die quadratische Summe aus der relativen Standardabweichung eines Ensembles von 5 Einzeldetektoren und der relativen Abweichung des Ensemblemittelwerts vom Sollwert als Kriterium 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 Elektret-Ionisationskammern und Figur 9 ein Diagramm gleicher Art für Kernspurdetektoren der anerkannten Messstellen. In diesen Abbildungen sind zur besseren Lesbarkeit neben dem Halbkreis für 20% auch Halbkreise für 5%, 10% und 15% eingezeichnet.

6 DISKUSSION DER RESULTATE DER VERGLEICHSMESSUNG

6.1 Radongas-Referenzmessungen

Figur 2 zeigt den Verlauf des Radongas-Konzentrationspegels während der Expositionsperiode.

6.2 Teilnehmerresultate

6.2.1 Elektret-Ionisationskammern

Die Einzelergebnisse der Elektret-Ionisationskammern sind in den Figuren 3 und 3a dargestellt. Von den 35 mit Kenntnis der Messstellen exponierten Detektoren wich einer um mehr als 18% (horizontal gestrichelte Linien) vom Sollwert ab. Dieser Detektor überschätzt die Radongaskonzentration. Die Mittelwerte über ein Ensemble von 5 Detektoren liegen für alle anerkannten Messstellen innerhalb des Bereichs von 18% um den Sollwert (Figur 5). Das Bewertungskriterium des BAG (Figur 8) ist für alle anerkannten Messstellen erfüllt.

Lediglich die Resultate des Blindtests (Code 5) liegen ausserhalb der in den Figuren 3 (4 Detektoren), 5 und 8 eingezeichneten Kriterien. Wie auch in den vergangenen Jahren ist das Ergebnis der blind getesteten Detektoren schlechter als dasjenige der mit Kenntnis der Messstelle teilnehmenden Detektoren (Code 1).

6.2.2 Kernspurdetektoren

Bei den Einzelmessresultaten der Kernspurdetektoren (Figur 4) wich nur das Resultat eines einzelnen der 37 teilnehmenden Detektoren um mehr als 18% vom Sollwert ab. Der Typ dieses Detektors ist in der Schweiz nicht anerkannt. Der Mittelwert dieser Detektorgruppe (Code 37) liegt, wie auch die Ergebnisse aller anderen Messstellen, innerhalb des Bandes von 18% um den Sollwert (Figur 6). Das Bewertungskriterium des BAG ist für alle anerkannten Messstellen erfüllt (Figur 9).

6.2.3 Messgeräte

Die Resultate der Messgeräte erscheinen in Tabelle 8 und Figur 7. Alle teilnehmenden Messgeräte zeigen eine gute Übereinstimmung mit dem Sollwert. Eines der Messgeräte (Code 61) registrierte im Verlauf der Vergleichsmessung einen Durchbruch der Luftfeuchte durch das für diesen Messgerätetyp verwendete Trockenrohr mit einer damit verbundenen Fehlmessung. Ursache für diesen unerwarteten Durchbruch war ein ungenügendes Ausheizen des Trockenmittels vor der

Vergleichsmessung. Diese Messtelle verwendet für das Ausheizen des Trockenmittels den heimischen Backofen, der einen Defekt des Regelthermometers aufwies. Nachdem die Ursache der Fehlmessung abgeklärt werden konnte, wurde dieses Messgerät für die kurze Expositionsperiode (Referenzwert 2), in der die Trocknung noch ordnungsgemäss funktionierte, ausgewertet.

Ein erstmals an der Vergleichsmessung teilnehmendes Messgerät (Code 62) aus dem unteren Preissegment für Radongasmessgeräte zeigte ebenfalls eine gute Übereinstimmung mit dem Sollwert. Die beobachtete Überschätzung der Radongasaktivitätskonzentration (9%) ist mit grosser Wahrscheinlichkeit auf den Einfluss der geringen Luftfeuchte (20%) während der Vergleichsmessung zurückzuführen. Dieses Messgerät verwendet das Messprinzip der elektrostatischen Abscheidung der Radonzerfallsprodukte auf einem Halbleiterdetektor ohne Eingangstrockenrohr. Der bei diesem Messprinzip bekannte Einfluss der Luftfeuchte auf das Messresultat wird über eine Messung der Luftfeuchte in der Messkammer elektronisch kompensiert. Die beobachtete Abweichung zum Sollwert deutet auf eine unvollständige Kompensation des Feuchteeffekts.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Die in der Schweiz tätigen Messstellen für Radongas ermitteln ihre Ergebnisse mit hoher Qualität. Die zum Zeitpunkt der Vergleichsmessung vom BAG anerkannten Messstellen erfüllen das durch das BAG geforderte Qualitätskriterium. Die in einem Blindtest exponierte Detektoren wiesen eine grössere Abweichung vom Sollwert und eine grössere Streuung der Einzelwerte auf als die Ergebnisse von Detektoren der gleichen Messstelle, die mit deren Kenntnis an der Vergleichsmessung teilnahmen. Dieser Sachverhalt wurde bereits in vergangenen Vergleichsmessungen beobachtet.

8 LITERATUR

EAM Eidgenössisches Amt für Messwesen
Weisungen über die Rückverfolgbarkeit (Traceability) von Radongaskonzentrationsmessungen
Wabern: Eidgenössisches Amt für Messwesen; 6. Mai 1996.

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

Schuler, Ch.; Butterweck-Dempewolf, G.
Die Vergleichsmessung 1997 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 98-05; 1998.

Schuler, Ch.; Butterweck-Dempewolf, G.
Die Vergleichsmessung 1998 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 99-01; 1999.

Schuler, Ch.; Butterweck, G.
Die Vergleichsmessungen 1999 und 2000 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 00-06; 2000.

Butterweck, G.; Schuler, Ch.
Die Vergleichsmessung 2001 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 01-05; 2001.

Butterweck, G.; Schuler, Ch.
Die Vergleichsmessung 2002 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 02-19; 2002.

Butterweck, G.; Schuler, Ch.
Die Vergleichsmessung 2003 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 03-14; 2003.

Butterweck, G.; Schuler, Ch.
Die Vergleichsmessung 2004 für Radongasmessgeräte am PSI
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 04-11; 2004.

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer

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

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

Bundesamt für Gesundheit
Hr. W. Gfeller
Fachstelle Radon
3003 **Bern**

Kantonales Laboratorium Kt. Luzern
Hr. Dr. Th. Kaufmann
Vonmattstr. 16
6002 **Luzern**

Dragan Consultants Int. AG
Hr. E. Dragan
Bodenacherstr. 58
8121 **Benglen**

Kantonales Laboratorium Kt. Thurgau
Hr. H. Toggenburger
Spannerstr. 20
8510 **Frauenfeld**

Gammadata Mättechnik
Hr. T. Rönqvist
Vallongatan 1
S-75228 **Uppsala**
Schweden

Laboratorio Cantonale Ct. Ticino
Hr. Dr. C. Valsangiacomo
Via Mirasole 22
6500 **Bellinzona**

Geotest AG
Hr. Dr. J. Abrecht
Birkenstr. 15
3052 **Zollikofen**

Raditec AG
Hr. A. Sutter
Picardiestr. 3
5040 **Schöffland**

G+S applicazioni SA
Hr. F. Lotti
Via Sottomontagna 14
6512 **Giubiasco**

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

GT Analytic
Hr. J. Gschnaller
Innstrasse 38a
A-6020 **Innsbruck**
Österreich

Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée
Hr. Th. Buchillier
Grand Pré 1
1007 **Lausanne**

Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2005**Dauer der Expositionsperiode:**

	kurz exponiert	normal exponiert
Ende der Vergleichsmessung	9.3.05 8:29	15.03.05 8:31
Start der Vergleichsmessung	4.3.05 8:49	4.3.05 8:49
Expositionsdauer in h	119.7	263.7

Dauer der Ausgasperiode:

Ende Ausgasung	16.3.05 8:31
Start Ausgasung	15.3.05 8:37
Ausgasdauer in h	23.9

Messungen der Umweltparameter in dem Vorbereitungsraum OFLD/009:

Ort	Start	Ende	Rn-Konz. [Bqm ⁻³]	Temp. [°C]	Feuchte [%RH]	Bem.
OFLD/009	18.2.05 14:40	4.03.05 7:00	22 ± 16	21	23	Lagerung und Vorbereitung
OFLD/009	15.03.05 13:00	16.03.05 10:00	18 ± 5	21	34	Ausgasung

Messungen γ -Dosisleistungen mit Automess AD4:

Ort	Start	Ende	Dauer [h]	D [nSv]	DL [nSv/h]	Bem.
OFLD/009	3.1.05 15:10	4.3.05 7:50	1432.7	124500	87	Lagerung
Rn-Kammer	4.3.05 8:49	15.3.05 8:30	263.7	23100	88	Exposition
OFLD/009	15.3.05 8:40	16.3.05 10:55	26.3	2160	82	Ausgasung

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

Rn-Konzentration [Bqm ⁻³]	Rn- Exposition [kBqhm ⁻³]	Temperatur [°C]	Relative Feuchte [%]	γ-Dosis- leistung [nSv/h]
Referenzwert 1: 4.3.05 8:49 - 15.03.05 8:31 (Durchschnitt von 147 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)				
3467 ± 91	914 ± 24	20 ± 1	20 ± 3	88
Referenzwert 2: 4.3.05 8:49 - 9.3.05 8:29 (Durchschnitt von 68 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)				
3472 ± 94	416 ± 11	20 ± 1	19 ± 4	88

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

Referenzwert 1: 4.3.05 8:49 - 15.03.05 8:31			
Messung mit Transfornormal:	TN #515	TN #539	TN #576
Durchschnitt der Punktbestimmungen:	3454	3440	3509
„Statistische“ Unsicherheit (u _A):	7	7	7
„Systematische“ Unsicherheit (u _B):	39	39	39
Gesamtunsicherheit (u _C):	39	39	40
Gewichteter Durchschnittswert:	3467		
Gesamtunsicherheit des gew. DW			
(95%-Vertrauensintervall):	91		
Gesamtunsicherheit in %:	2.6		
Referenzwert 2: 4.3.05 8:49 - 9.3.05 8:29			
Messung mit Transfornormal:	TN #515	TN #539	TN #576
Durchschnitt der Punktbestimmungen:	3469	3430	3519
„Statistische“ Unsicherheit (u _A):	10	10	10
„Systematische“ Unsicherheit (u _B):	39	38	39
Gesamtunsicherheit (u _C):	40	40	41
Gewichteter Durchschnittswert:	3472		
Gesamtunsicherheit des gew. DW			
(95%-Vertrauensintervall):	94		
Gesamtunsicherheit in %:	2.7		

Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Messstelle
<i>Passive Detektoren</i>			
1	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Kantonales Laboratorium Kt. Luzern
2	Elektret-Ionisationskammer	LST E-Perm (Rad Elec)	Inst. Univ. de Radiophysique Appliquée
3	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Inst. Univ. de Radiophysique Appliquée
4	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Laboratorio Cantonale Ct. Ticino
5	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Blindtest
6	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Christian Böhm-Bläuer
7	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Geotest AG
8	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Kantonales Laboratorium Kt. Thurgau
31	Kernspurdetektor	Alpha Track (Gammadata Mättechnik)	Raditec AG
32	Kernspurdetektor	Typ B97 (Altrac)	
33	Kernspurdetektor	Alpha Track (Gammadata Mättechnik)	Gammadata Mättechnik
34	Kernspurdetektor	Radtrak (Landauer)	Dragan Consultants Int
35	Kernspurdetektor	Kodalpha (Dosirad)	G+S applicazioni SA
36	Kernspurdetektor	GT (GT Analytic)	
37	Kernspurdetektor	REM AT-100 (AccuStar Labs)	

Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente (Forts.)

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Messstelle
<i>Messgeräte</i>			
61	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor	Rad 7 (Niton)	
62	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor	Ramon2 (GT Analytic)	
63	Ionisationskammer	Alphaguard (Genitron Instruments)	

Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
1	1	3856	1.112	1.086	0.060
	2	3487	1.006		
	3	3973	1.146		
	4	3609	1.041		
	5	3901	1.125		
2	1	4004	1.153	1.082	0.045
	2	3715	1.070		
	3	3799	1.094		
	4	3608	1.039		
	5	3653	1.052		
3	1	3457	0.997	0.987	0.049
	2	3604	1.039		
	3	3138	0.905		
	4	3454	0.996		
	5	3464	0.999		
4	1	3678	1.061	1.089	0.032
	2	3728	1.075		
	3	3760	1.084		
	4	3969	1.145		
	5	3745	1.080		
5	1	4688	1.350	1.330	0.174
	2	5104	1.470		
	3	4163	1.201		
	4	3844	1.109		
	5	5270	1.518		

Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern (Forts.)

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
6	1	3570	1.030	1.028	0.066
	2	3614	1.042		
	3	3650	1.053		
	4	3805	1.097		
	5	3188	0.919		
7	1	3567	1.029	0.994	0.033
	2	3476	1.002		
	3	3534	1.019		
	4	3318	0.957		
	5	3337	0.962		
8	1	4081	1.177	1.172	0.028
	2	4052	1.169		
	3	3913	1.129		
	4	4083	1.178		
	5	4182	1.206		

Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBq h m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
31	1	905	0.990	1.006	0.013
	2	915	1.001		
	3	929	1.016		
	4	914	1.000		
	5	934	1.022		
32	1	844	0.923	0.958	0.048
	2	878	0.960		
	3	940	1.028		
	4	890	0.973		
	5	828	0.906		
33	1	896	0.980	0.980	0.011
	2	887	0.970		
	3	912	0.997		
	4	893	0.977		
	5	890	0.973		
34	1	946	1.035	1.034	0.031
	2	904	0.989		
	3	984	1.076		
	4	938	1.026		
	5	954	1.044		
35	1	880	0.962	1.005	0.083
	2	913	0.999		
	3	927	1.014		
	4	1039	1.136		
	5	836	0.914		

Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren (Forts.)

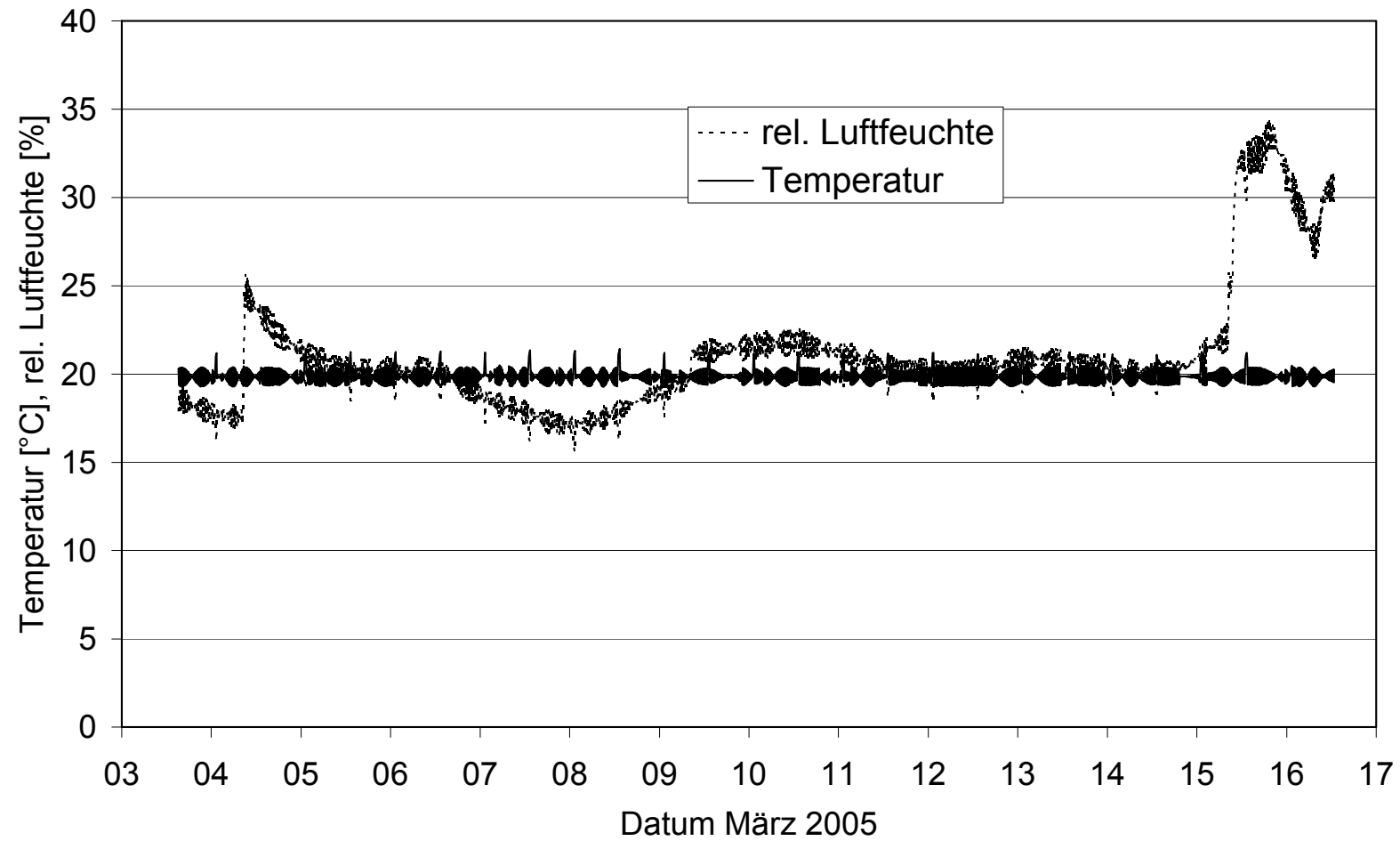
Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBq h m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
36	1	851	0.931	0.981	0.060
	2	879	0.961		
	3	922	1.008		
	4	980	1.072		
	5	853	0.933		
37	1	676	0.739	0.933	0.106
	2	939	1.027		
	3	857	0.937		
	4	953	1.042		
	5	804	0.879		
	6	820	0.897		
	7	920	1.006		

Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte

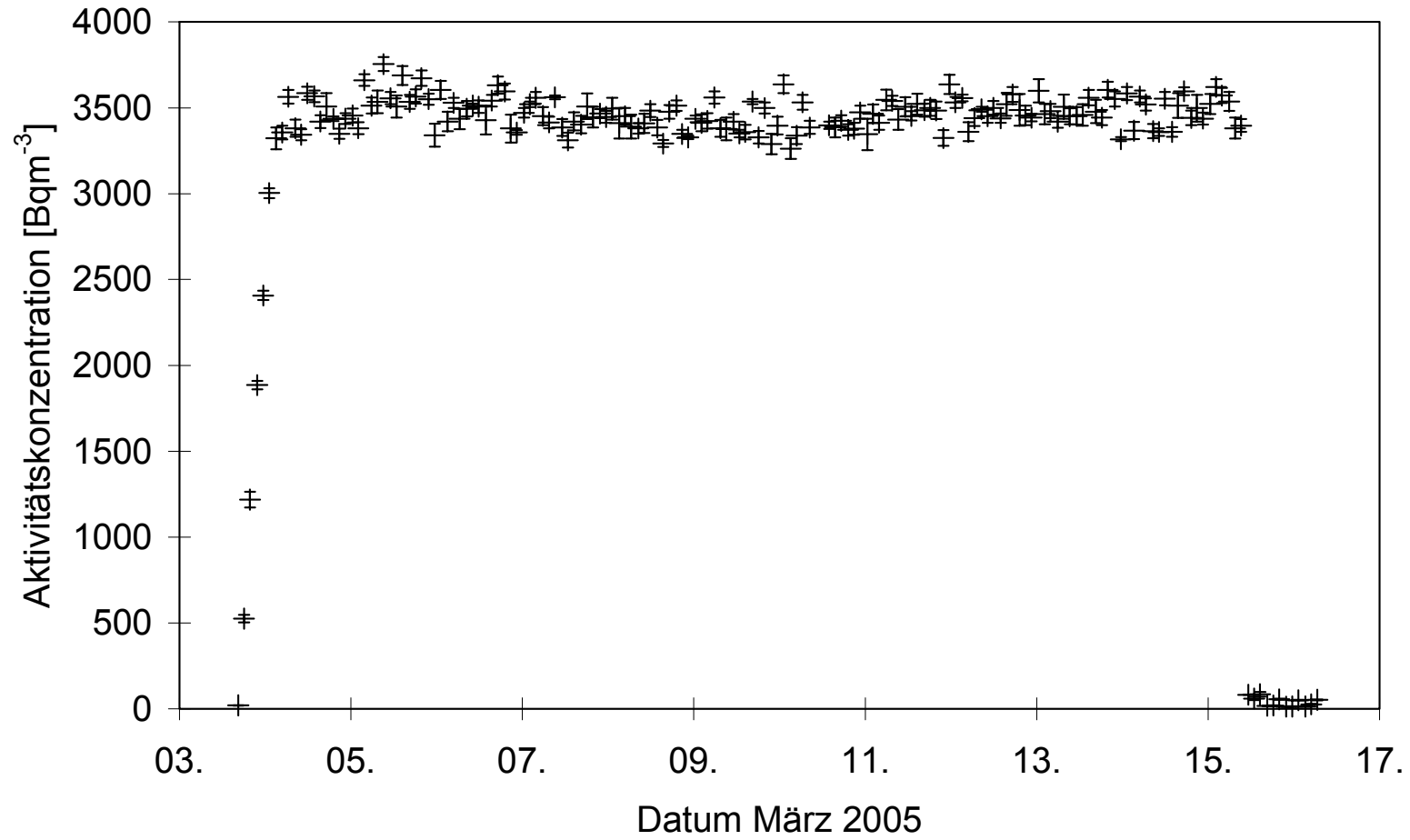
Teilnehmercode	Konzentrations- mittelwert [Bq m ⁻³]	Standard- abweichung [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Standard- abweichung ¹
61	3515	186	1.012	0.055
62	3765	474	1.086	0.126
63	3467	208	1.000	0.060

¹ Vom PSI eingesetzter Wert für die systematische Unsicherheit der Messresultate (nach Angaben der Hersteller).

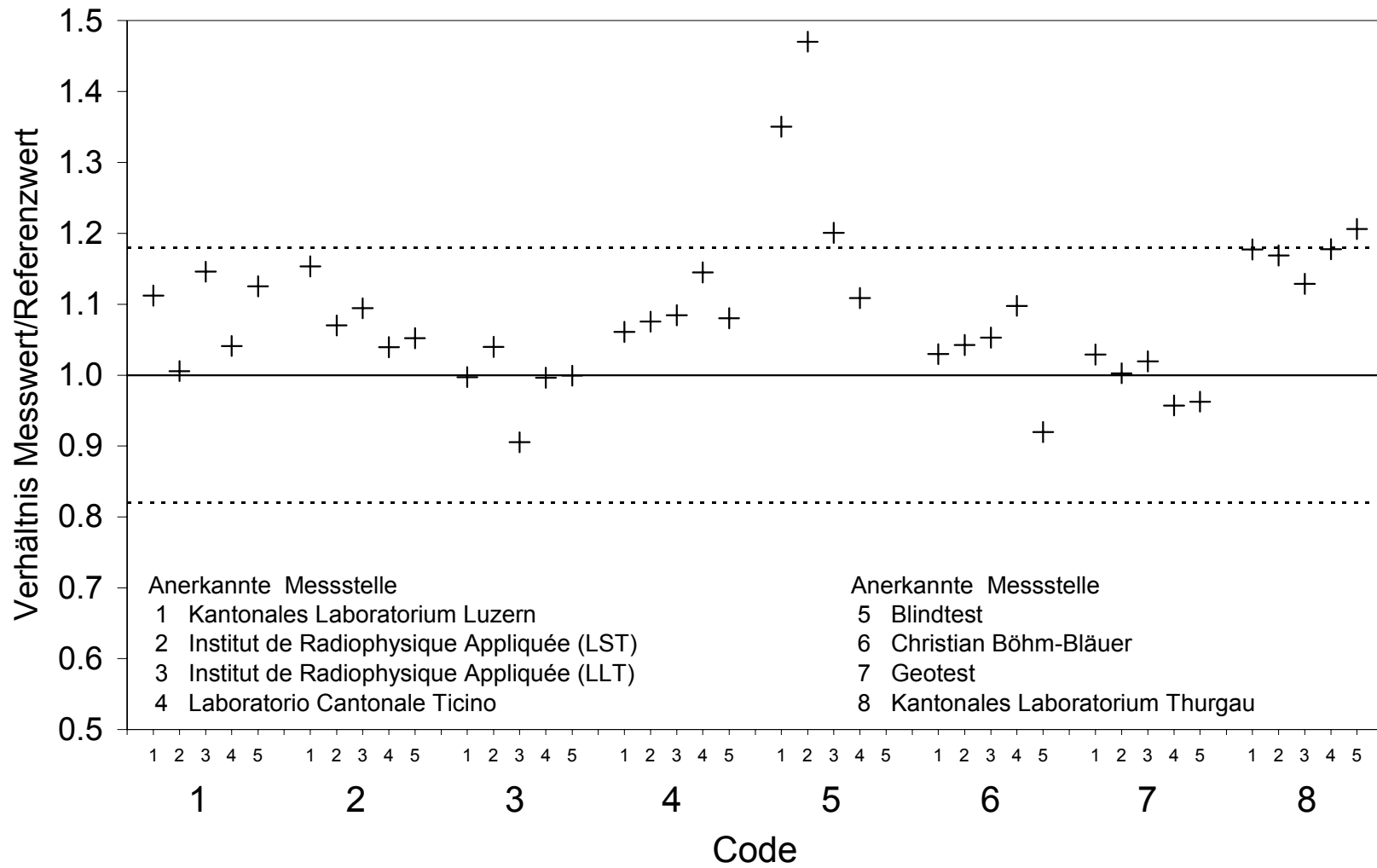
Figur 1: Vergleichsmessung 2005 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Prüfkammer



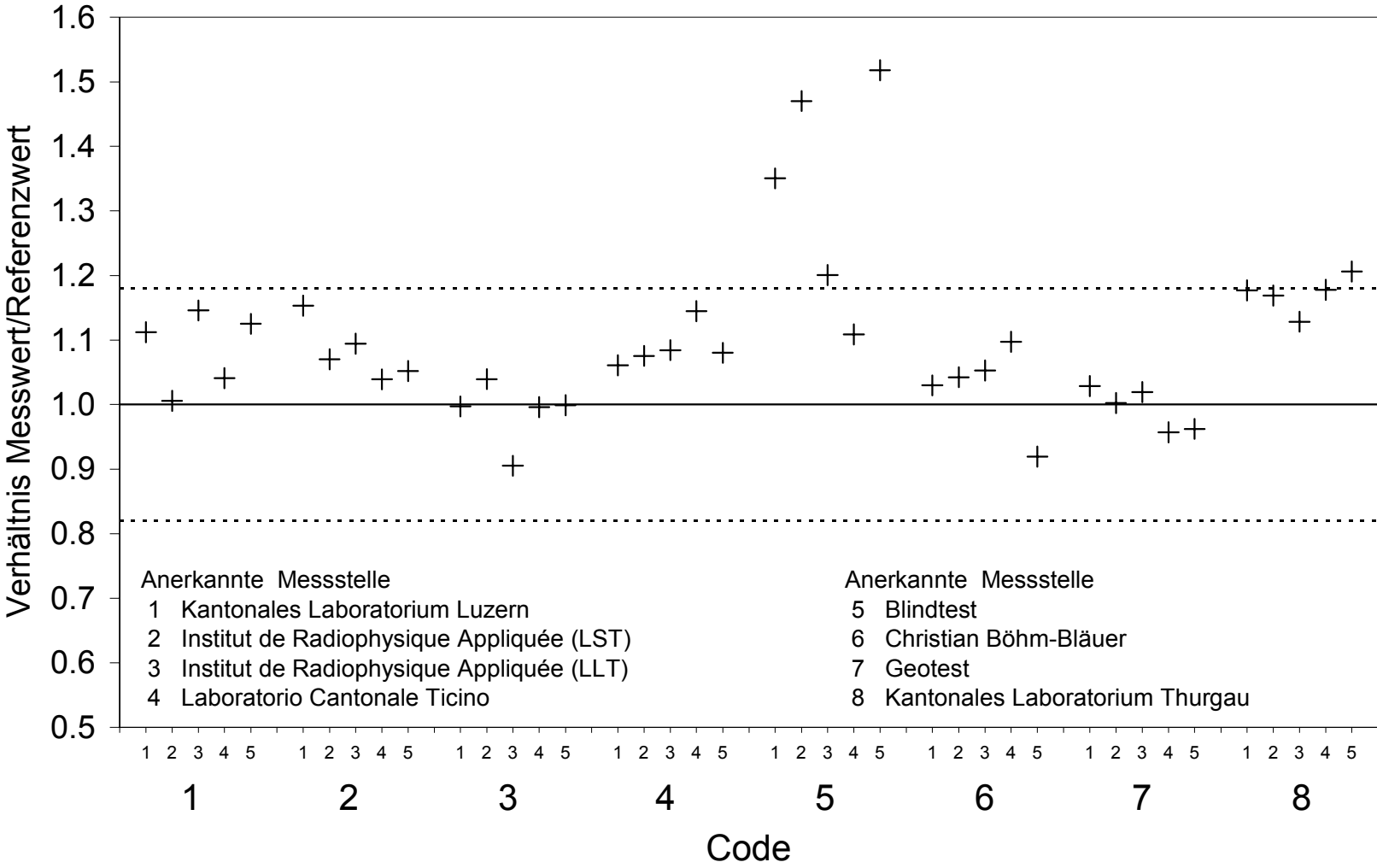
Figur 2: Vergleichsmessung 2005 - Radonkonzentration in der Prüfkammer



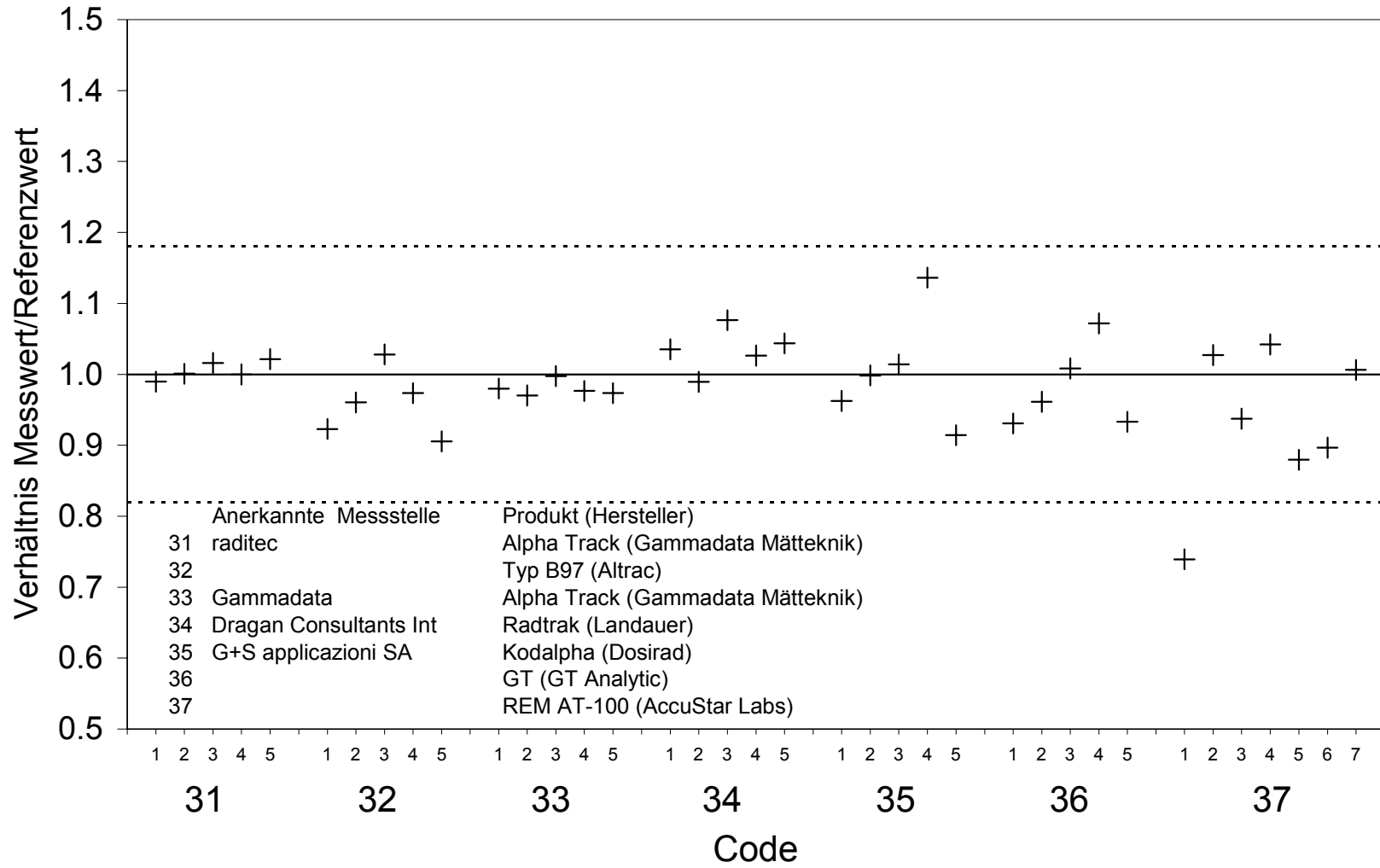
Figur 3: Vergleichsmessung 2005 - Resultate Elektret-Ionisationskammern (siehe auch Figur 3a)



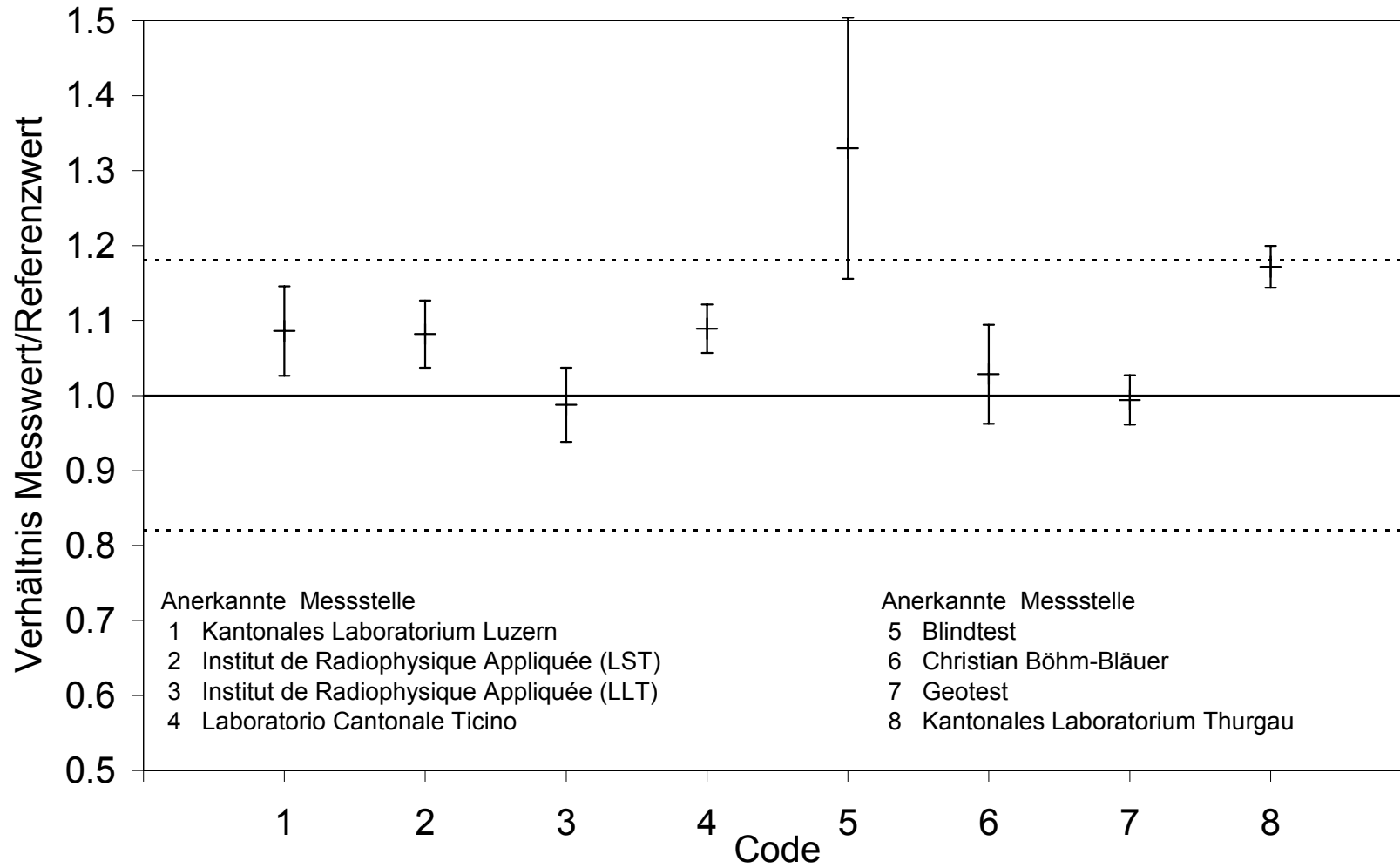
Figur 3a: Vergleichsmessung 2005 - Resultate Elektret-Ionisationskammern



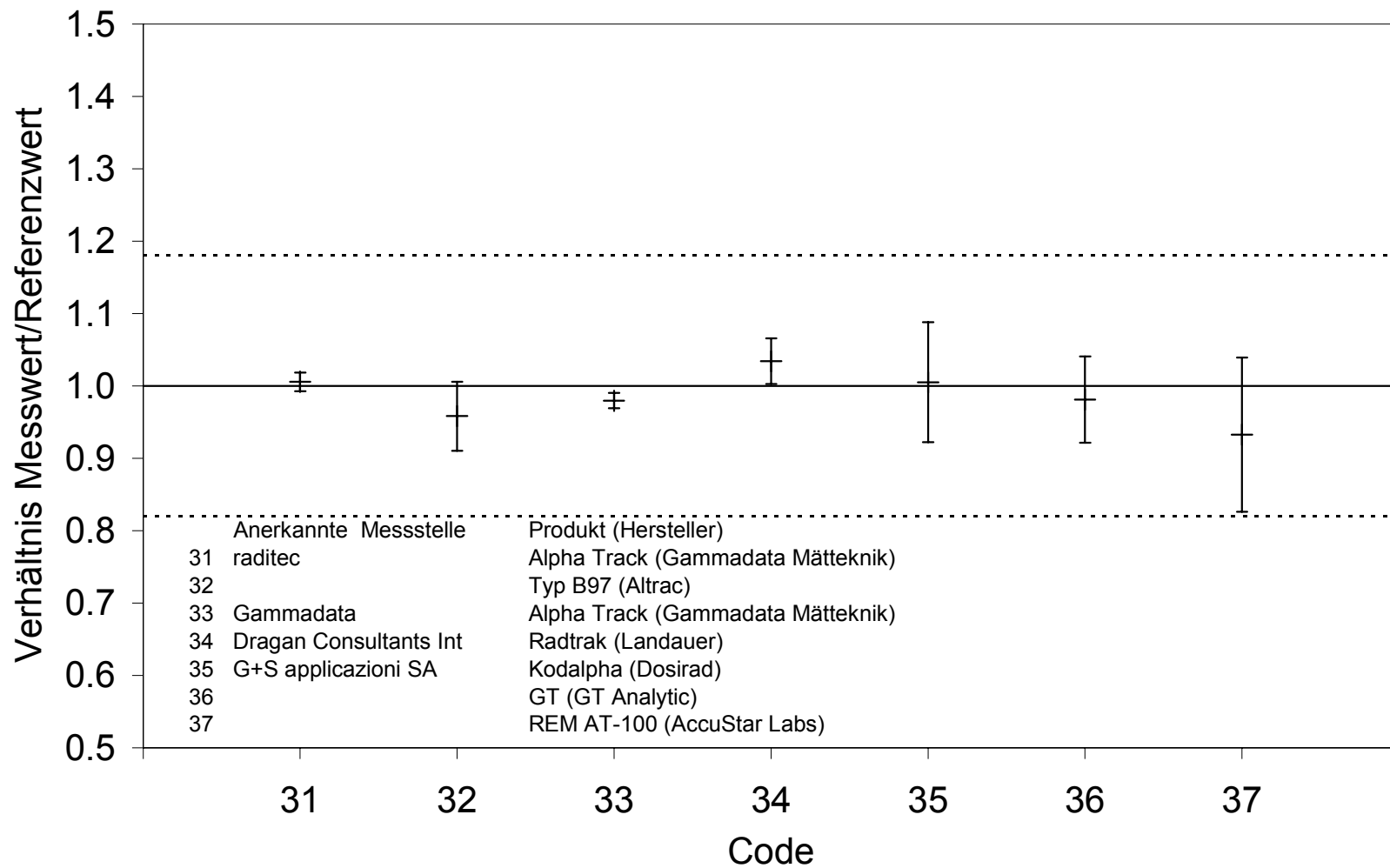
Figur 4: Vergleichsmessung 2005 - Resultate Kernspurdetektoren



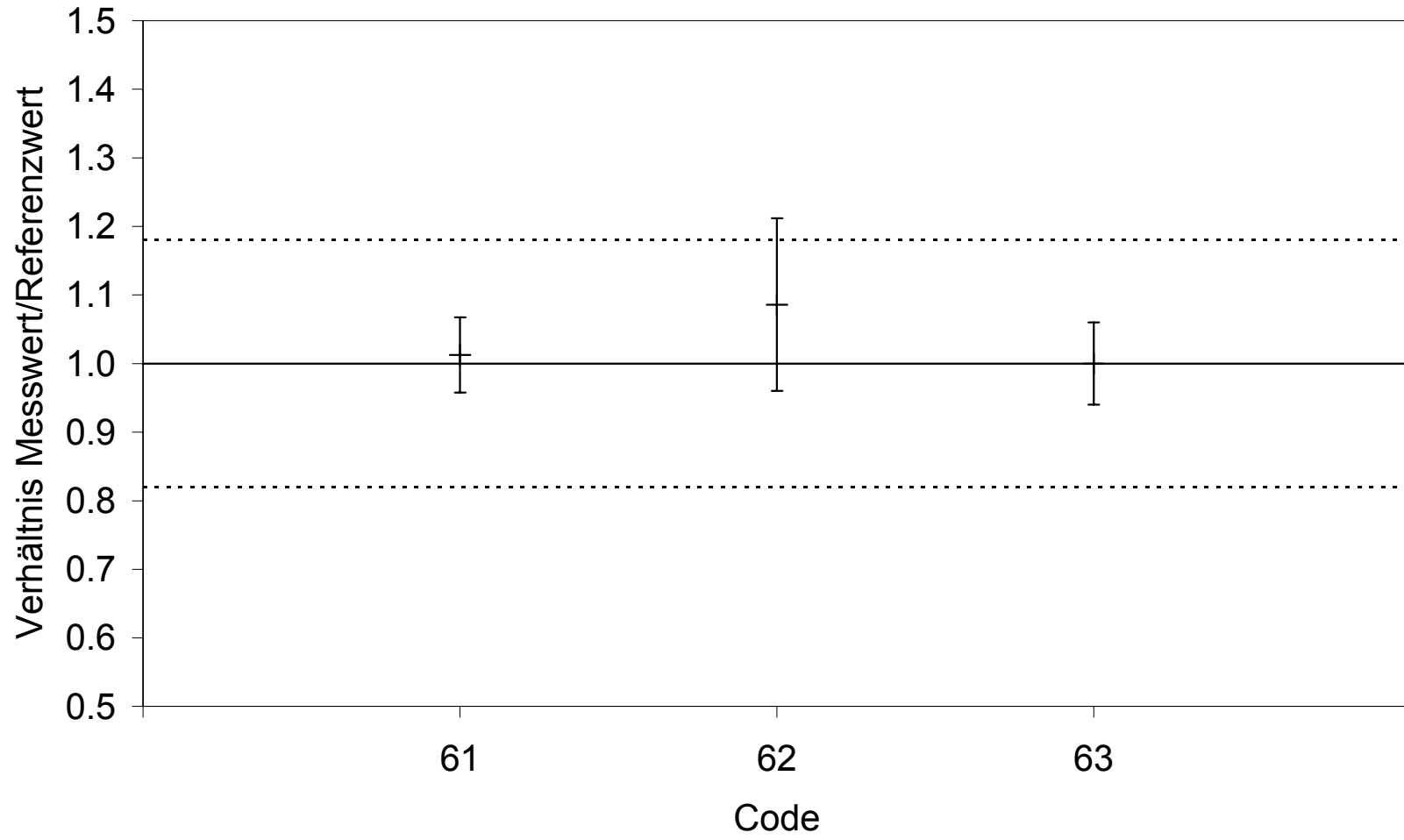
Figur 5: Vergleichsmessung 2005 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern



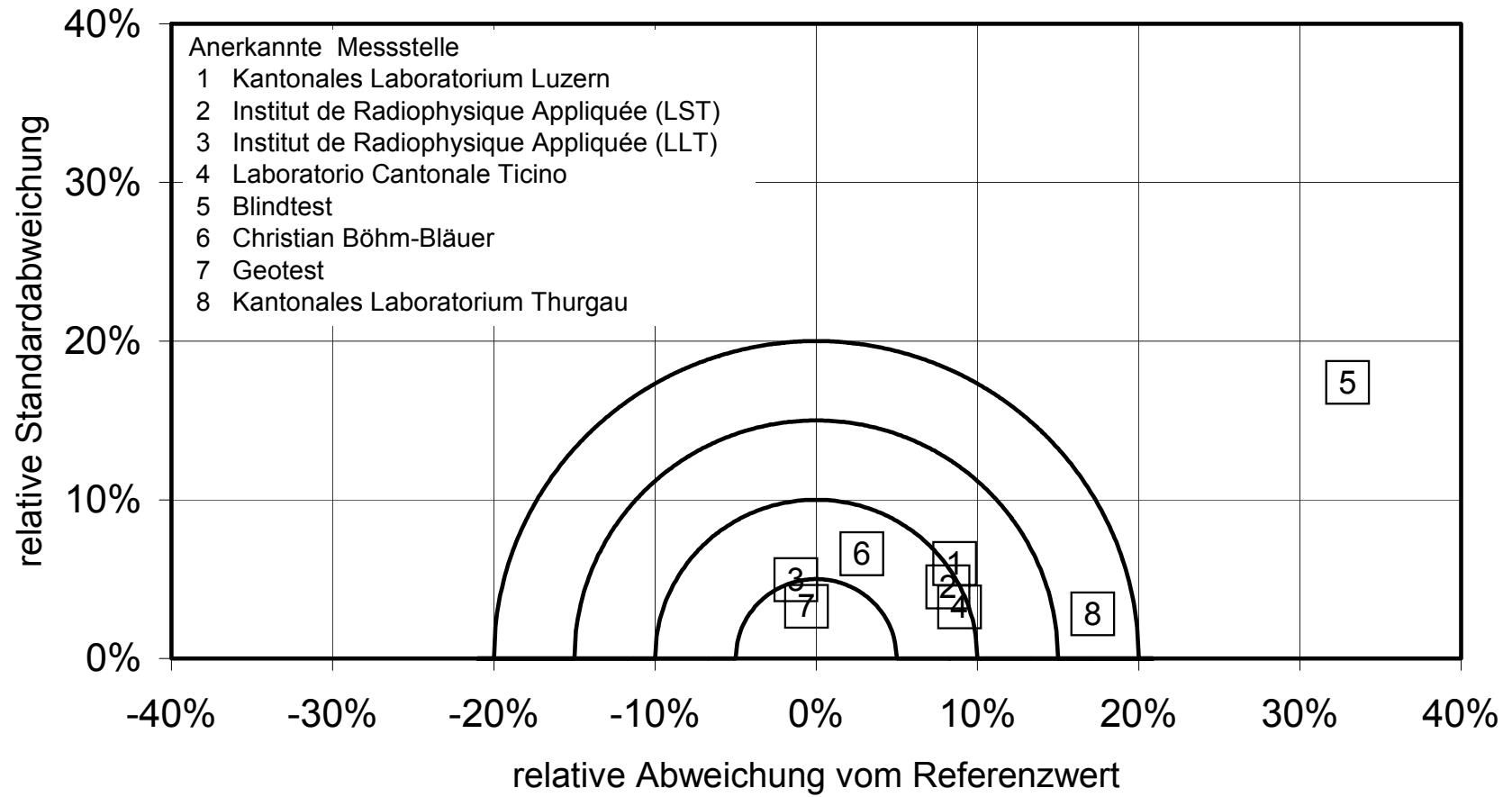
Figur 6: Vergleichsmessung 2005 - Mittelwerte Kernspurdetektoren



Figur 7: Vergleichsmessung 2005 - Resultate Messgeräte



Figur 8: Vergleichsmessung 2005 - Übersicht der Messstellen mit Elektret-Ionisationskammern



Figur 9: Vergleichsmessung 2005 - Übersicht der Messstellen mit Kernspurdetektoren

