

Die Vergleichsmessung 2004 für Radongasmessgeräte am PSI

Gernot Butterweck und Christoph Schuler

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

August 2004

Zusammenfassung

Kandidaten für die vom 5. bis 16. März 2004 durchgeführte Vergleichsmessung waren 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 10 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 1458 kBqhm^{-3} bei einer durchschnittlichen Radonaktivitätskonzentration von 5516 Bqm^{-3} ausgesetzt. Diese Exposition liegt deutlich 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 401 kBqhm^{-3} bei einer durchschnittlichen Radonaktivitätskonzentration von 5538 Bqm^{-3} .

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

Abstract

Twelve radon measurement services participated in the 2004 Radon Intercomparison Exercise performed at the Reference Laboratory for Radon Gas Activity Concentration Measurements at Paul Scherrer Institut (PSI) during March 5th to 16th, 2004. Ten 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 5516 Bqm⁻³ leading to a radon gas exposure of 1458 kBqhm⁻³. This exposure was above the measuring range of participating LST electret ionisation chambers. Thus, these detector were exposed for a shorter period leading to a radon gas exposure of 401 kBqhm⁻³ at an average radon gas concentration of 5538 Bqm⁻³.

Additional five etched-track 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, two 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 an even 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.....	2
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	5
7 SCHLUSSFOLGERUNG	5
8 LITERATUR	5

TABELLEN

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer	7
Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2004	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	15

FIGUREN

Figur 1: Lufttemperatur und relative Luftfeuchte	16
Figur 2: Radonkonzentration in der Prüfkammer	17
Figur 3: Resultate Elektret-Ionisationskammern	18
Figur 4: Resultate Kernspurdetektoren	19
Figur 4a: Resultate Kernspurdetektoren	20
Figur 5: Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern	21
Figur 6: Mittelwerte Kernspurdetektoren	22
Figur 6a: 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
Figur 9a: Übersicht der Messstellen mit Kernspurdetektoren	27

1 EINLEITUNG

Gemäss den vom Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (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 2004 für Radongasdetektoren und -messgeräte in der Prüfkammer des Referenzlabors fand vom 5. bis 16. März statt. Es beteiligten sich 12 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen (Tabelle 1) mit total 49 Detektoren und 5 Messgeräten.

Die Prüfkammer des PSI, in der die jährlichen Vergleichsmessungen stattfinden, wurde im Herbst 2003 am bisherigen Standort demontiert und um 50% vergrössert in einem anderen Gebäude auf dem PSI-Areal wieder aufgebaut. Der Umzug der Prüfkammer hat zum einen die Auswirkung, dass nun die Orte für Lagerung und Vorbereitung der Detektoren nahe beieinander angeordnet sind und durch das gleiche Lüftungssystem versorgt werden. Ein weiterer positiver Effekt des neuen Standorts der Prüfkammer ist die deutlich geringere Umgebungsphotonenstrahlung während der Exposition.

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 2004 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 2004 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 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 angegeben.

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 2004 (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-Ex-

positionswert 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 12 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, 4 und 4a sind die Einzelverhältnisswerte und in den Figuren 5, 6, 6a und 7 die Verhältnismittelwerte sowie deren Standardabweichung pro Teilnehmercode dargestellt.

In den Figuren 3 - 7 wurden zur Illustration Hilfslinien bei + 19% und bei - 19% Linien eingetragen ($\pm 4\%$ 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 wurden erstmals zwei Diagramme 4a und 6a

in den Bericht eingefügt, die einen grösseren Wertebereich darstellen und so auch die Werte für den Blindtest (Code 31) darzustellen vermögen.

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 Ensemblemittels 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 Elektret-Ionisationskammern und Figur 9 ein Diagramm gleicher Art für Kernspurdetektoren der anerkannten Messstellen. Analog zu den Figuren 4 und 6 wurde auch hier ein Diagramm 9a mit erweitertem Wertebereich in den Bericht eingefügt. 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 Figur 3 dargestellt. Von den 40 mit Kenntnis der Messstellen exponierten Detektoren wichen zwei (5%) um mehr als 19% (horizontal gestrichelte Linien) vom Sollwert ab. Diese beiden Detektoren überschätzten die Radongaskonzentration. Die Mittelwerte über ein Ensemble von 5 Detektoren liegen für alle anerkannten Messstellen innerhalb des Bereichs von 19% um den Sollwert (Figur 5). Das Bewertungskriterium des BAG (Figur 8) ist für alle anerkannten Messstellen erfüllt.

6.2.2 Kernspurdetektoren

Bei den Einzelmessresultaten der Kernspurdetektoren (Figuren 4 und 4a) wichen die Resultate von neun Kernspurdetektoren der 24 teilnehmenden Detektoren um mehr als 19% vom Sollwert ab. Fünf dieser Detektoren wurden durch eine anerkannte Messstelle eingereicht (Code 33). Die vier weiteren (gleichen) Detektoren sind dem Blindtest durch das BAG zuzuordnen (Code 31). Für diese beiden Detektorgruppen weicht auch deren Mittelwert deutlich vom Sollwert ab (Figuren 6 und 6a).

Das Bewertungskriterium des BAG (Figuren 9 und 9a) ist mit Ausnahme dieser einen Messstelle (Code 33 und 31) für alle Teilnehmer erfüllt.

6.2.3 Messgeräte

Die Resultate der Messgeräte erscheinen in Tabelle 8 und Figur 7. Alle an der Vergleichsmessung teilnehmenden Geräte zeigen eine gute Übereinstimmung mit dem Sollwert.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Die überwiegende Zahl der in der Schweiz tätigen Messstellen für Radongas ermittelt ihre Ergebnisse mit hoher Qualität. Die zum Zeitpunkt der Vergleichsmessung vom BAG anerkannten Messstellen (Tabelle 5) erfüllen mit einer Ausnahme 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.

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer

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

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

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

Laboratorio Cantonale Ct. Ticino
Hr. Dr. S. Montorfani
Via Mirasole 22
6500 **Bellinzona**

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2004**Dauer der Expositionsperiode:**

	kurz exponiert	normal exponiert
Ende der Vergleichsmessung	8.3.04 9:59	16.3.04 9:59
Start der Vergleichsmessung	5.3.04 9:40	5.3.04 9:40
Expositionsdauer in h	72.3	264.3

Dauer der Ausgasperiode:

Ende Ausgasung	17.3.04 11:26
Start Ausgasung	16.3.04 10:02
Ausgasdauer in h	25.4

Messungen der Umweltparameter in dem Vorbereitungsraum OFLD/009:

Ort	Start	Ende	Rn-Konz. [Bqm ⁻³]	Temp. [°C]	Feuchte [%RH]	Bem.
OFLD/009	17.2.04 17:10	5.03.04 10:30	19 ± 14	23	25	Lagerung und Vorbereitung
OFLD/009	16.03.04 14:00	17.03.04 16:00	20 ± 7	21	35	Ausgasung

Messungen γ -Dosisleistungen mit Automess AD4:

Ort	Start	Ende	Dauer [h]	D [nSv]	DL [nSv/h]	Bem.
OFLD/009	17.2.04 15:20	5.3.04 9:20	378.0	32900	82	Lagerung
Rn-Kammer	5.3.04 9:45	16.3.04 8:57	264.2	31100	118	Exposition
OFLD/009	17.3.04 9:44	17.3.04 16:14	6.5	520	80	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: 5.03.04 9:40 - 16.03.04 9:59 (Durchschnitt von 147 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)				
5516 ± 216	1458 ± 57	20 ± 1	25 ± 3	118
Referenzwert 2: 5.03.04 9:40 - 8.03.04 9:59 (Durchschnitt von 41 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)				
5538 ± 215	401 ± 16	20 ± 1	26 ± 1	118

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

Referenzwert 1: 5.03.04 9:40 - 16.03.04 9:59			
Messung mit Transfornormal:	TN #515	TN #539	TN #576
Durchschnitt der Punktbestimmungen:	5532	5384	5645
„Statistische“ Unsicherheit (u _A):	8	8	8
„Systematische“ Unsicherheit (u _B):	62	60	63
Gesamtunsicherheit (u _C):	63	61	64
Gewichteter Durchschnittswert:	5516		
Gesamtunsicherheit des gew. DW			
(95%-Vertrauensintervall):	216		
Gesamtunsicherheit in %:	3.9		
Referenzwert 2: 5.03.04 9:40 - 8.03.04 9:59			
Messung mit Transfornormal:	TN #515	TN #539	TN #576
Durchschnitt der Punktbestimmungen:	5555	5409	5664
„Statistische“ Unsicherheit (u _A):	14	15	17
„Systematische“ Unsicherheit (u _B):	62	61	63
Gesamtunsicherheit (u _C):	64	62	66
Gewichteter Durchschnittswert:	5538		
Gesamtunsicherheit des gew. DW			
(95%-Vertrauensintervall):	215		
Gesamtunsicherheit in %:	3.9		

Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente

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

Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente (Forts.)

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Messstelle
<i>Messgeräte</i>			
61	Ionisationskammer	Alphaguard (Genitron Instruments)	
62	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor	Rad 7 (Niton)	
63	Ionisationskammer	Alphaguard (Genitron Instruments)	
64	Ionisationskammer	Alphaguard (Genitron Instruments)	
65	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	6011	1.090	1.068	0.052
	2	5936	1.076		
	3	5418	0.982		
	4	6195	1.123		
	5	5905	1.070		
2	1	5357	0.971	0.960	0.031
	2	5288	0.959		
	3	5042	0.914		
	4	5269	0.955		
	5	5514	1.000		
3	1	5902	1.070	1.054	0.051
	2	6177	1.120		
	3	5935	1.076		
	4	5599	1.015		
	5	5466	0.991		
4	1	5703	1.034	1.040	0.017
	2	5686	1.031		
	3	5848	1.060		
	4	5827	1.056		
	5	5631	1.021		
5	1	6716	1.217	1.114	0.082
	2	6380	1.157		
	3	5828	1.056		
	4	5565	1.009		
	5	6244	1.132		

Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern (Forts.)

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
6	1	5978	1.084	1.063	0.029
	2	5918	1.073		
	3	5582	1.012		
	4	5883	1.066		
	5	5960	1.080		
7	1	5542	1.001	1.124	0.105
	2	5825	1.052		
	3	6258	1.130		
	4	7047	1.272		
	5	6458	1.166		
8	1	5953	1.079	1.004	0.081
	2	5984	1.085		
	3	5610	1.017		
	4	5026	0.911		
	5	5126	0.929		

Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren

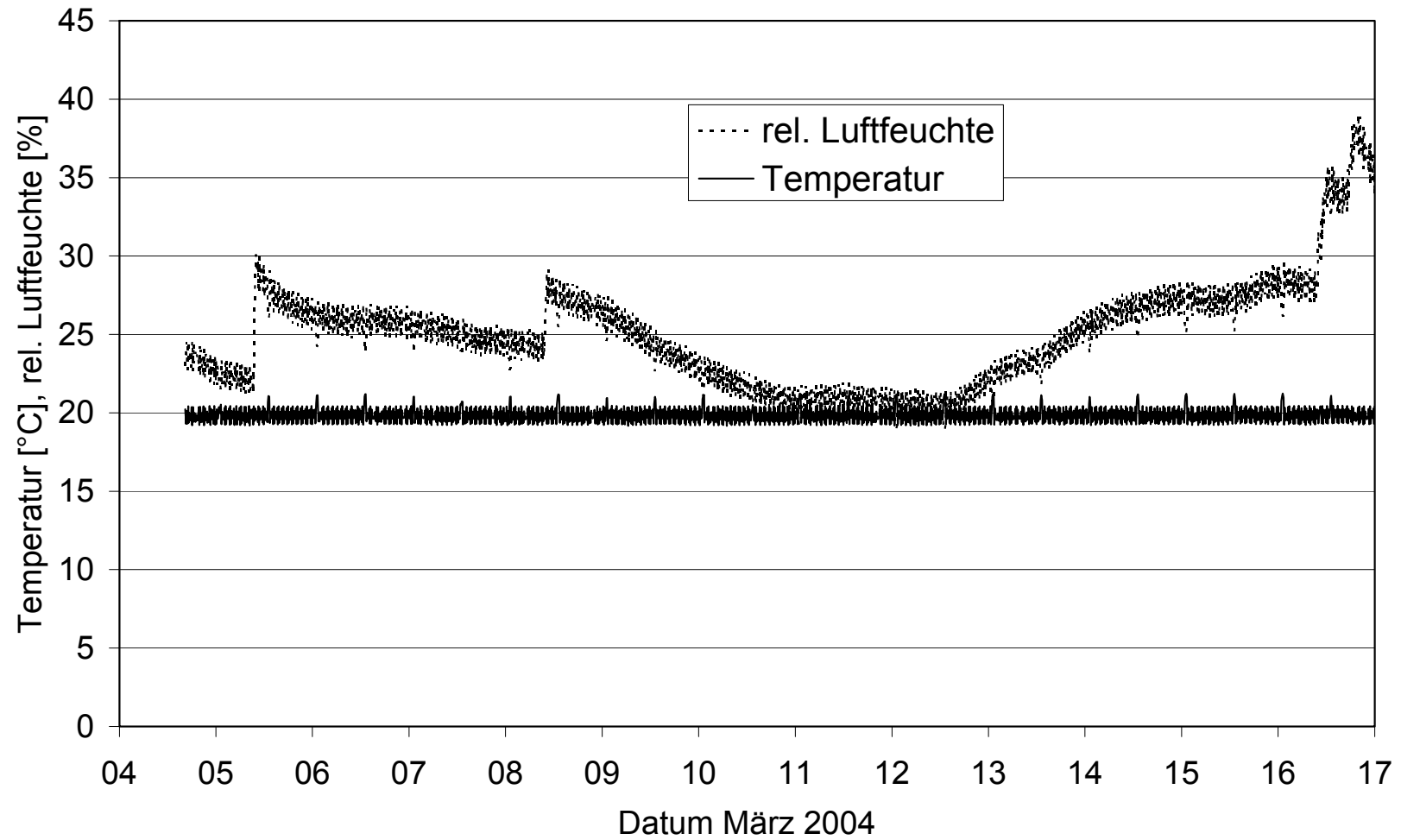
Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBq h m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
31	1	162	0.404	0.429	0.112
	2	866	0.594		
	3	540	0.370		
	4	139	0.347		
32	1	1287	0.883	0.853	0.023
	2	1206	0.827		
	3	1224	0.840		
	4	1271	0.872		
	5	1233	0.846		
33	1	997	0.684	0.647	0.069
	2	956	0.656		
	3	808	0.554		
	4	886	0.608		
	5	1067	0.732		
34	1	1382	0.948	0.968	0.047
	2	1354	0.929		
	3	1506	1.033		
	4	1458	1.000		
	5	1355	0.929		
35	1	1575	1.080	1.094	0.011
	2	1611	1.105		
	3	1610	1.104		
	4	1598	1.096		
	5	1583	1.086		

Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte

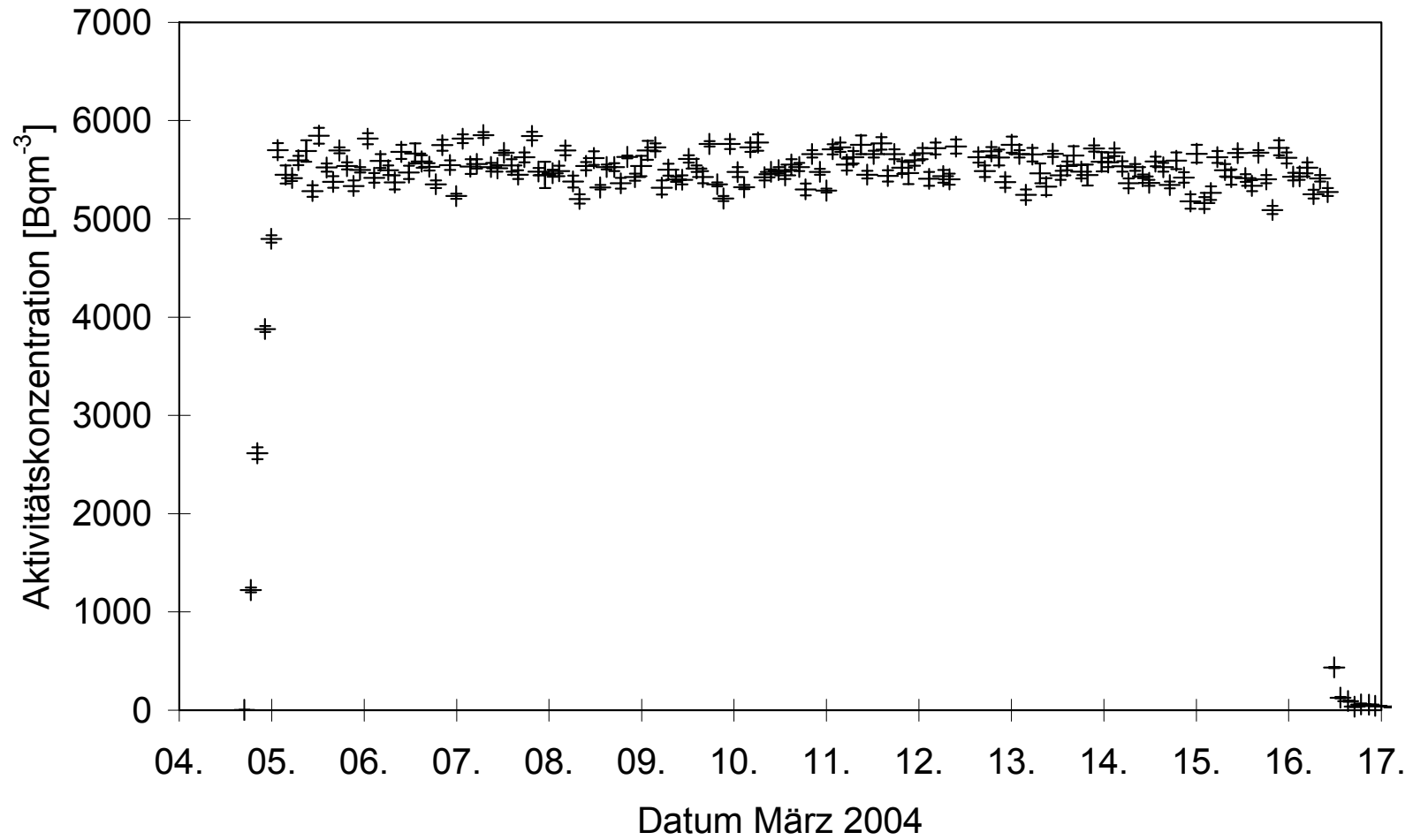
Teilnehmercode	Konzentrations- mittelwert [Bq m ⁻³]	Standard- abweichung [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Standard- abweichung ¹
61	5477	329	0.993	0.060
62	5626	186	1.020	0.055
63	5158	309	0.935	0.060
64	5359	322	0.971	0.060
65	5293	318	0.960	0.060

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

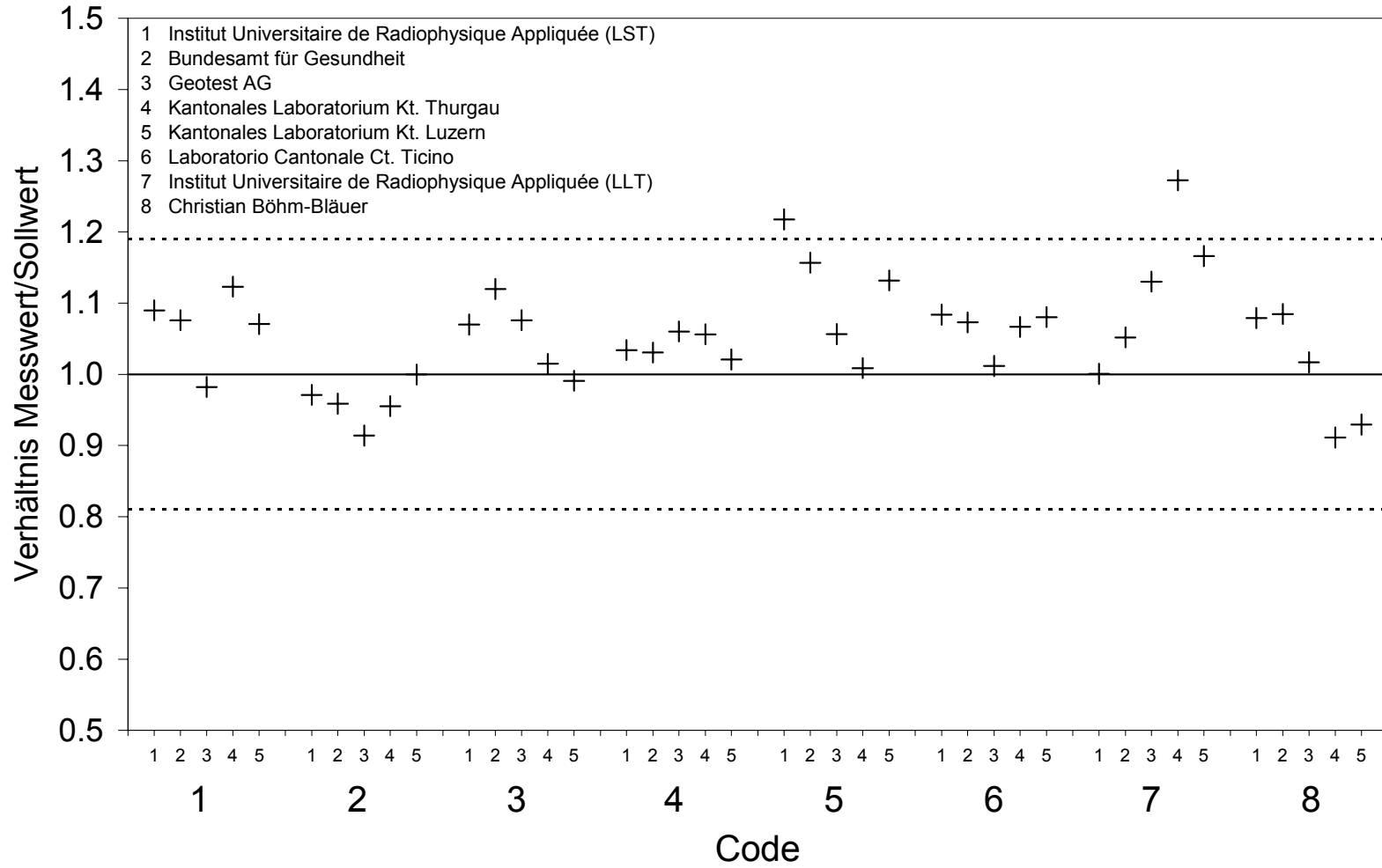
Figur 1: Vergleichsmessung 2004 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Prüfkammer



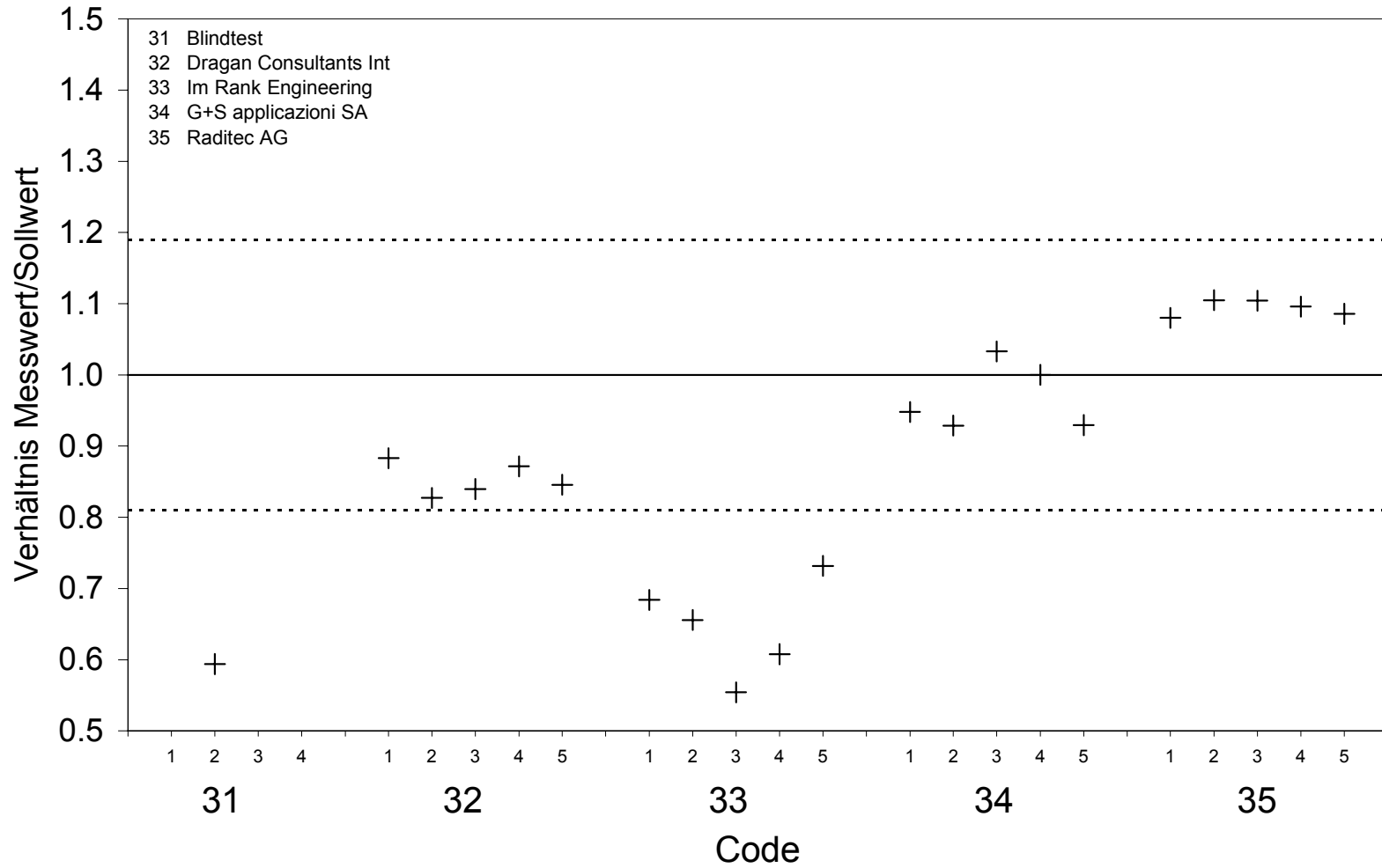
Figur 2: Vergleichsmessung 2004 - Radonkonzentration in der Prüfkammer



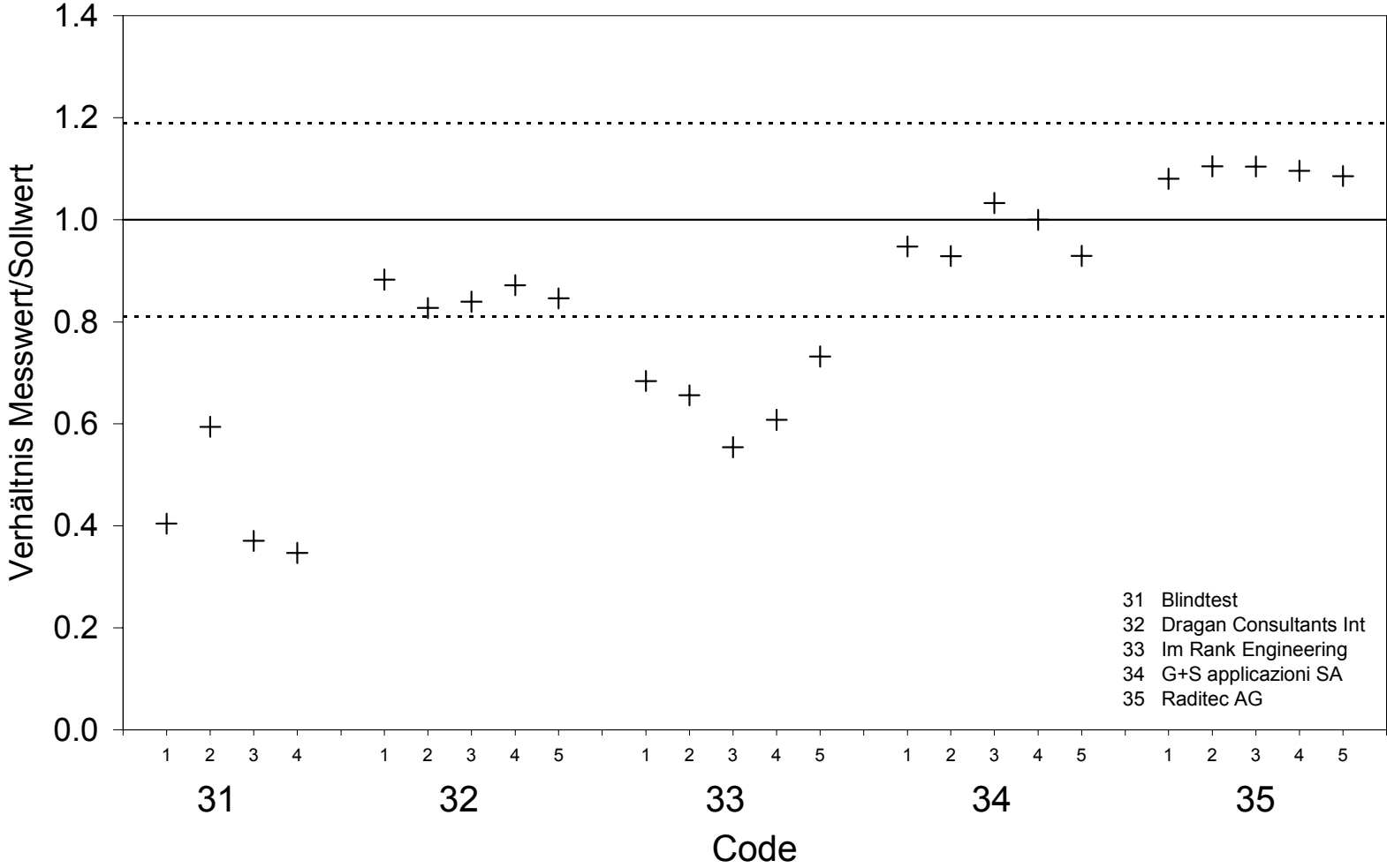
Figur 3: Vergleichsmessung 2004 - Resultate Elektret-Ionisationskammern



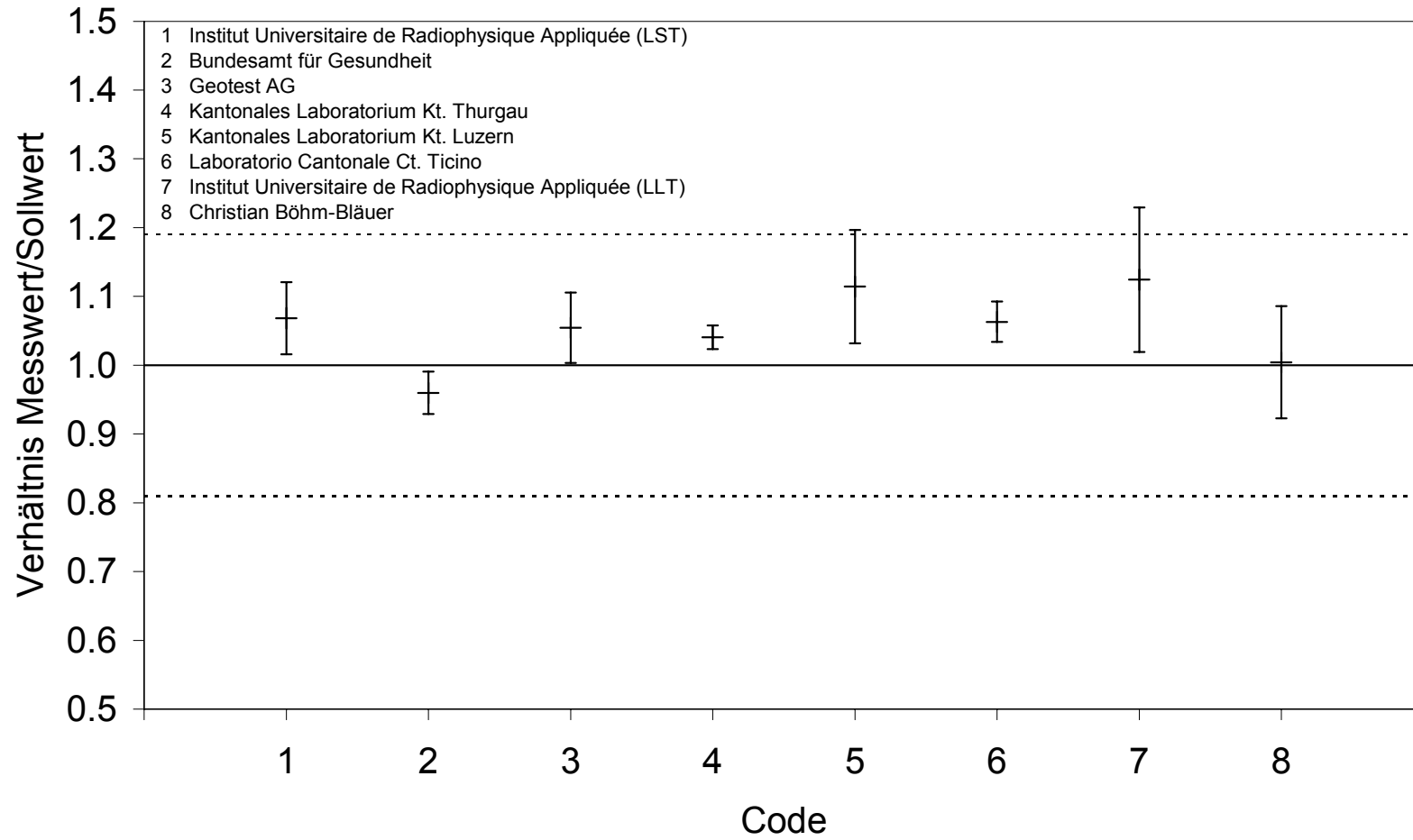
Figur 4: Vergleichsmessung 2004 - Resultate Kernspurdetektoren (siehe auch Figur 4a)



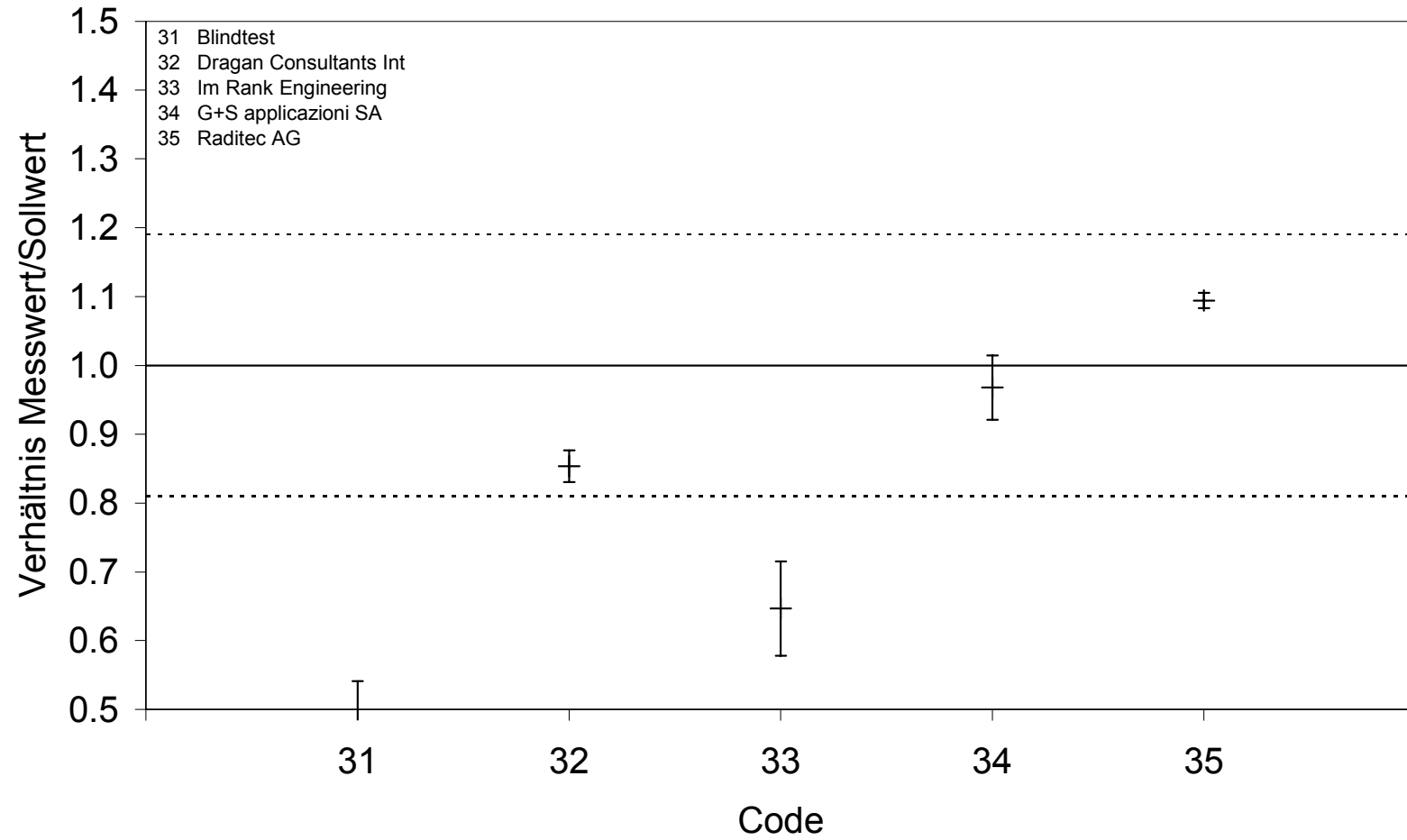
Figur 4a: Vergleichsmessung 2004 - Resultate Kernspurdetektoren



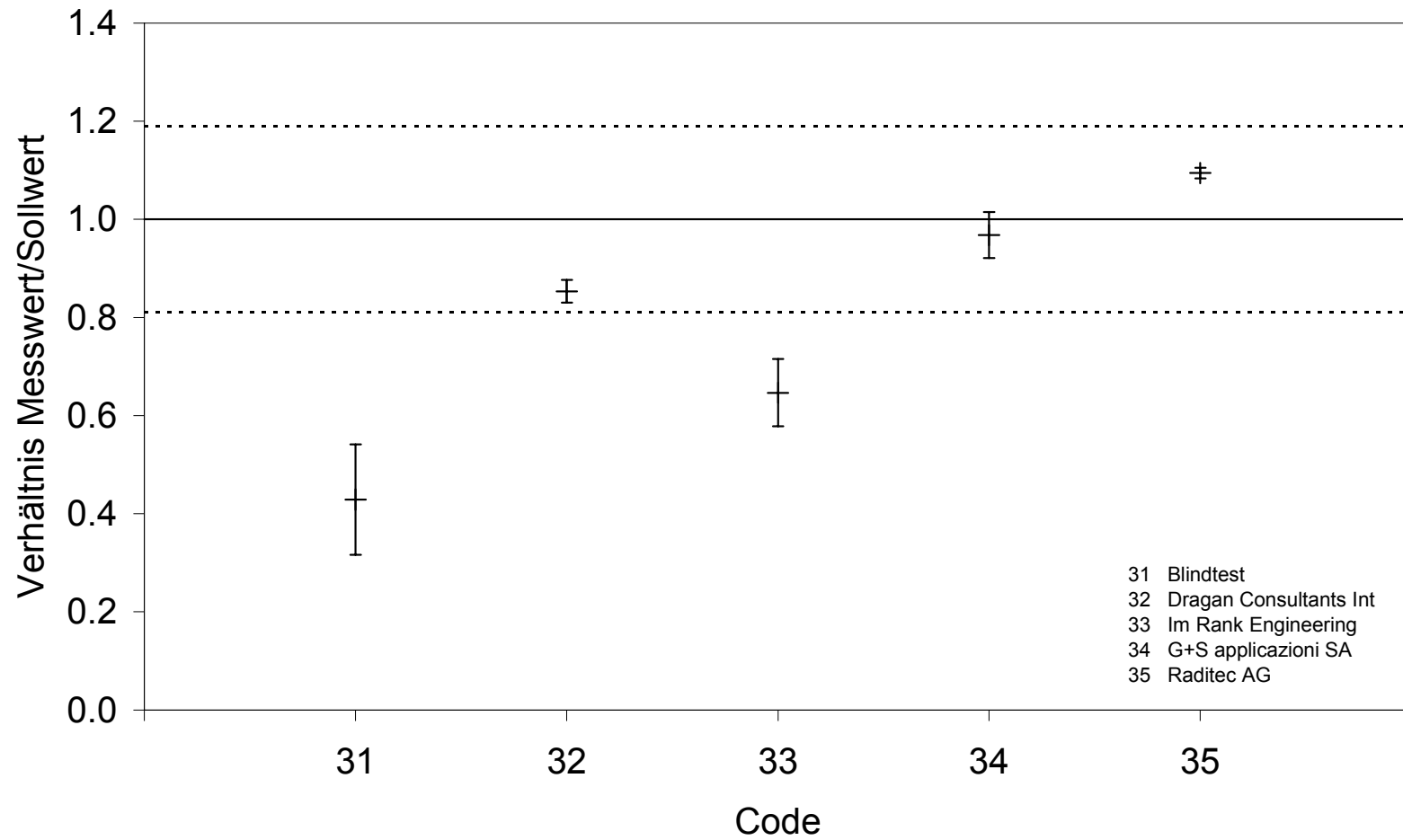
Figur 5: Vergleichsmessung 2004 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern



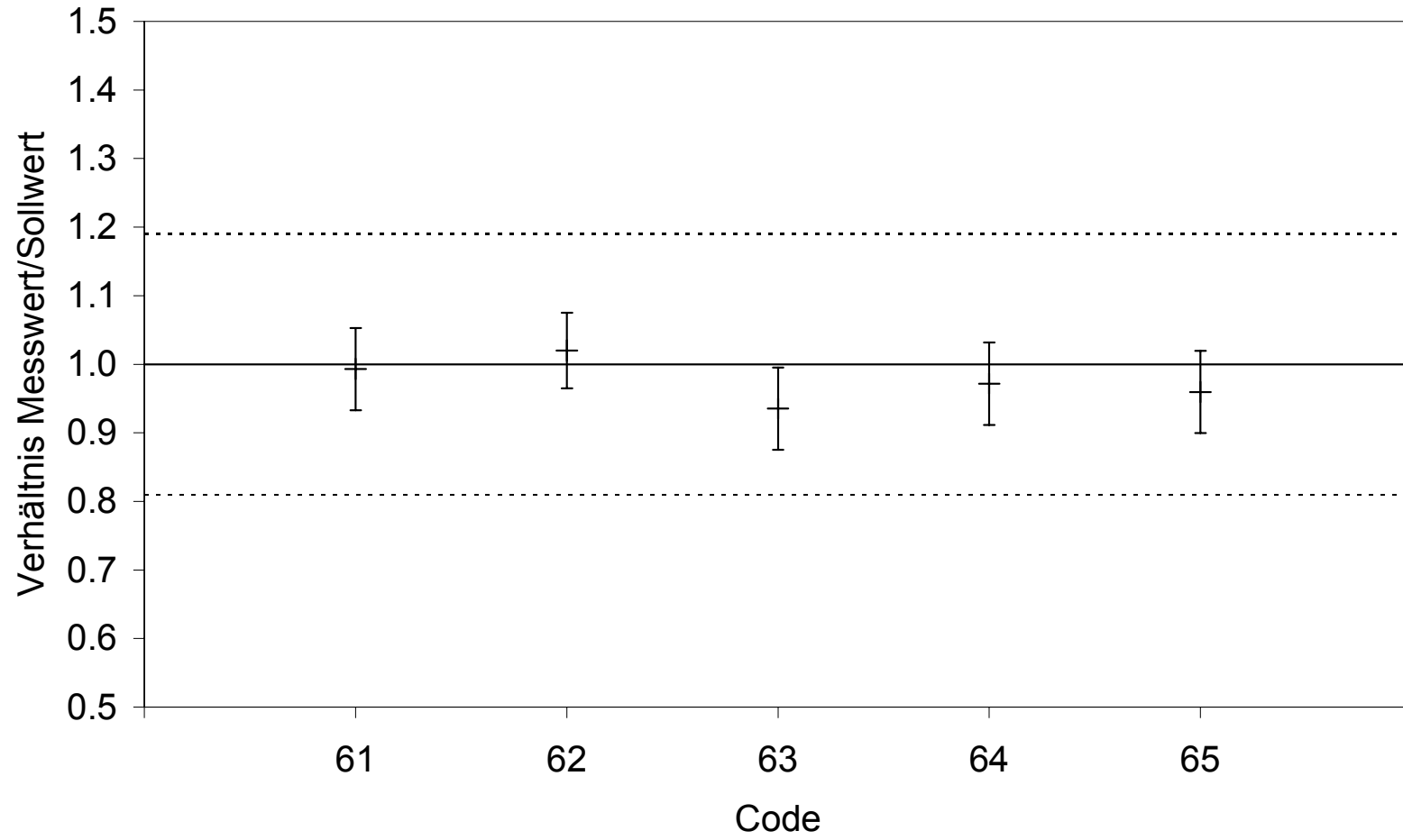
Figur 6: Vergleichsmessung 2004 - Mittelwerte Kernspurdetektoren (siehe auch Figur 6a)



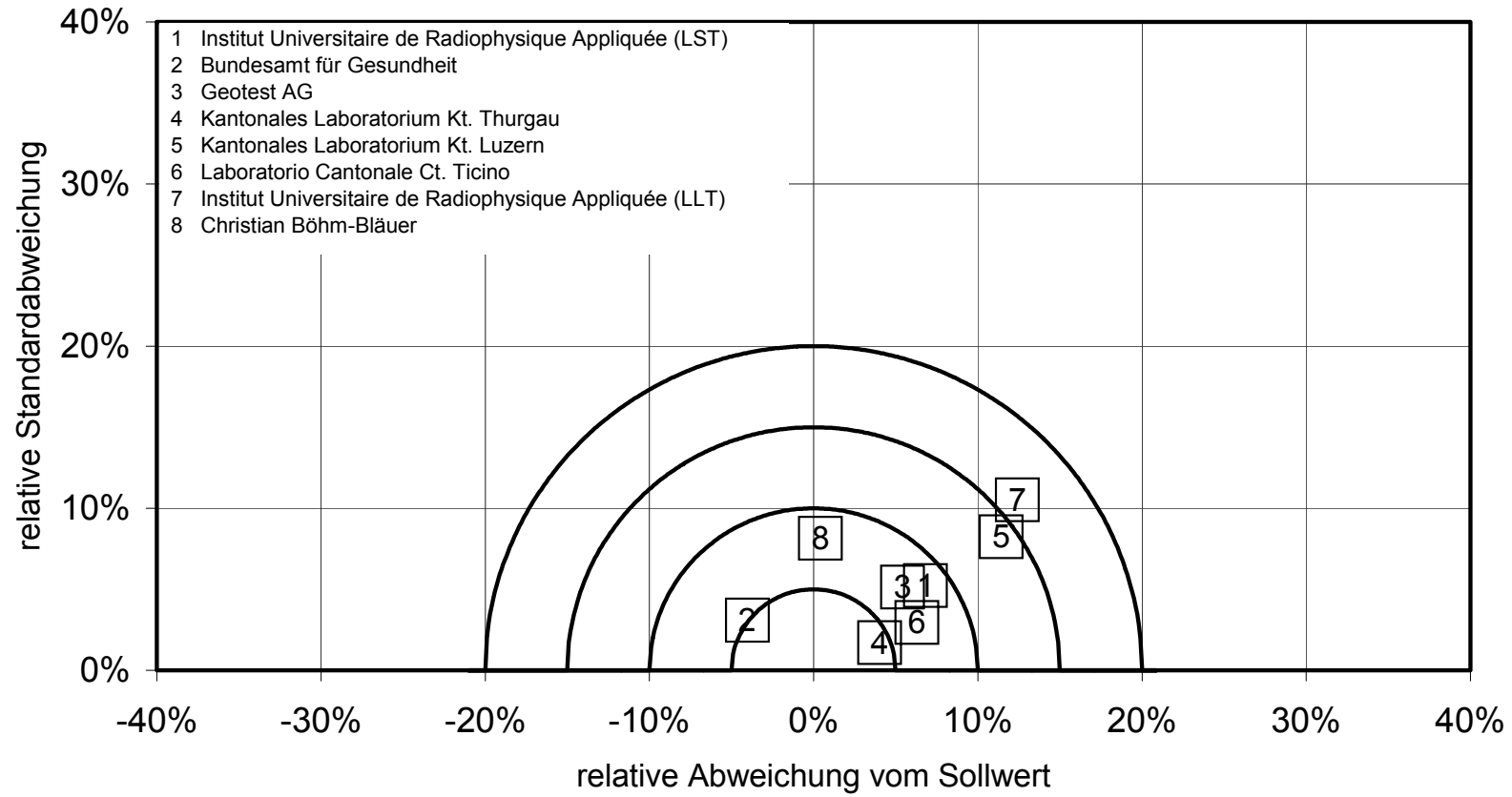
Figur 6a: Vergleichsmessung 2004 - Mittelwerte Kernspurdetektoren



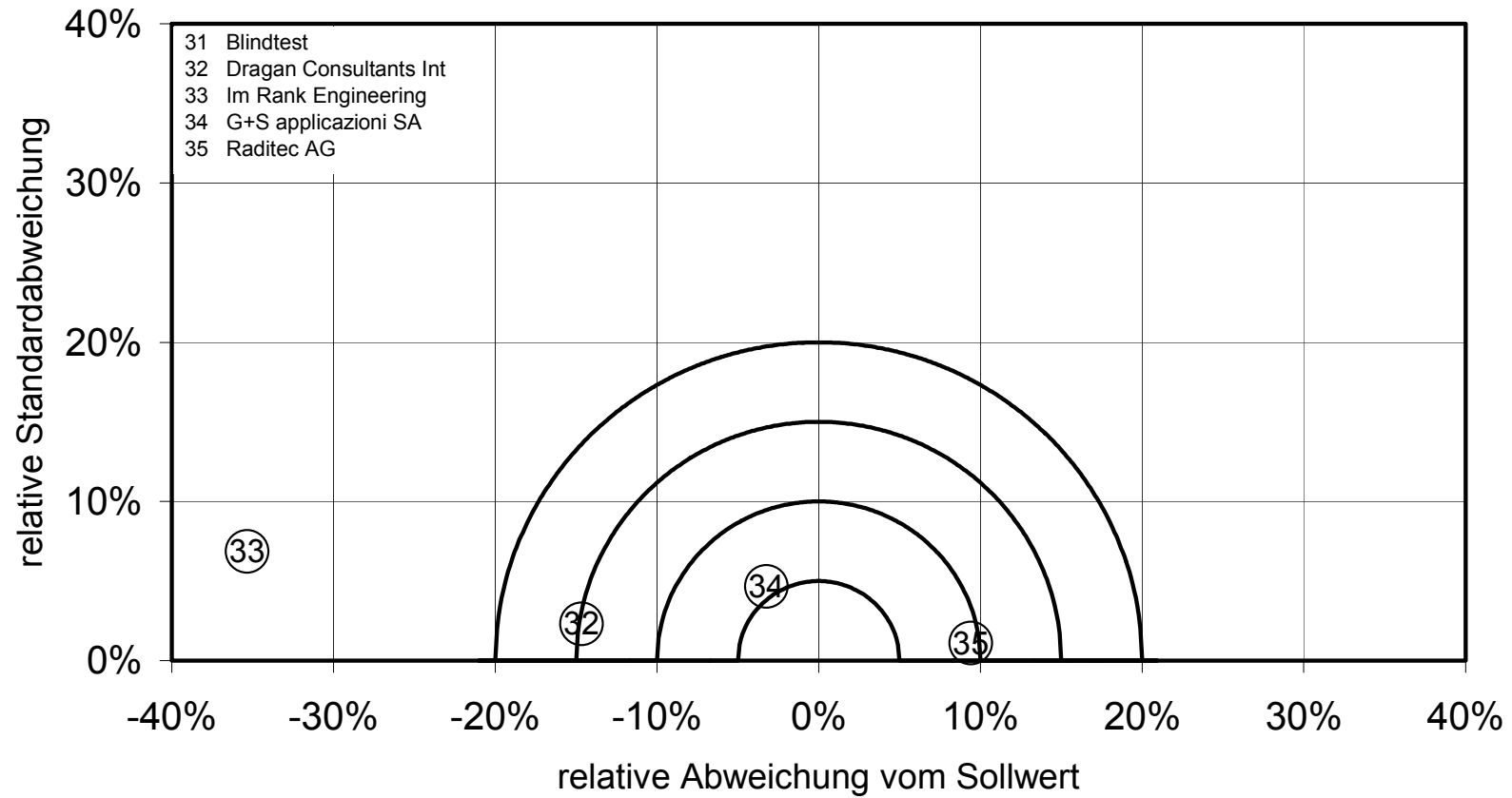
Figur 7: Vergleichsmessung 2004 - Resultate Messgeräte



Figur 8: Vergleichsmessung 2004 - Übersicht der Messstellen mit Elektret-Ionisationskammern



Figur 9: Vergleichsmessung 2004 - Übersicht der Messstellen mit Kernspurdetektoren (siehe auch Figur 9a)



Figur 9a: Vergleichsmessung 2004 - Übersicht der Messstellen mit Kernspurdetektoren

