

PAUL SCHERRER INSTITUT



PSI Bericht Nr. 11-01

Januar 2011

ISSN 1019-0643

Fachbereich Logistik
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Die Vergleichsmessung 2010 für Radongasmessmittel am PSI

Gernot Butterweck, Christoph Schuler und Sabine Mayer

PAUL SCHERRER INSTITUT



PSI Bericht Nr. 11-01

Januar 2011

ISSN 1019-0643

Fachbereich Logistik
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Die Vergleichsmessung 2010 für Radongasmessmittel am PSI

Gernot Butterweck, Christoph Schuler und Sabine Mayer

Paul Scherrer Institut
5232 Villigen PSI
Switzerland
Tel. +41 (0)56 310 21 11
Fax +41 (0)56 310 21 99
www.psi.ch

Zusammenfassung

Kandidaten für die vom 27. bis 31. August 2010 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 acht weitere Messstellen. Sieben Messstellen nahmen mit mehreren Messsystemen an der Vergleichsmessung teil.

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

Die Dosimeter und Messgeräte wurden einer Exposition von 57 kBq h m^{-3} bei einer durchschnittlichen Radonaktivitätskonzentration von 595 Bq m^{-3} ausgesetzt. Mit 57 kBq h m^{-3} lag die Exposition der diesjährigen Vergleichsmessung nahe an der unteren Grenze des in der Radon-Messmittelverordnung geforderten Messbereichs.

Abstract

Twenty radon measurement services or the respective analytical laboratories participated in the 2010 Radon Intercomparison Exercise performed at the Reference Laboratory for Radon Gas Activity Concentration Measurements at the Paul Scherrer Institute (PSI) during August 27th to August 31st, 2010 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) were exposed in the PSI Radon Chamber in a reference atmosphere with an average radon gas concentration of 595 Bq m^{-3} leading to a radon gas exposure of 57 kBq h m^{-3} . The exposure of 57 kBq h m^{-3} was close to the lower value of the measuring range defined in the Radon Measurement Ordinance (Radon-Messmittelverordnung).

INHALT

1 EINLEITUNG	1
2 REFERENZ-MESSINSTRUMENTE	1
2.1 Kalibrierung der Referenz-Messinstrumente für Radongas.....	1
3 EXPOSITIONSPARAMETER	1
3.1 Dauer von Expositions- und Ausgasungsperiode.....	1
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	5
6.2.3 Elektronische Radondosimeter	5
6.2.4 Messgeräte	5
7 SCHLUSSFOLGERUNG	5
8 LITERATUR	6

TABELLEN

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer	8
Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2010	10
Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung	11
Tabelle 3: Expositionsparameter in der Prüfkammer	11
Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente	12
Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern	16
Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren	18
Tabelle 8: Teilnehmerresultate elektronische Radondosimeter	20
Tabelle 9: Teilnehmerresultate Messgeräte	21

FIGUREN

Figur 1: Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Prüfkammer.....	23
Figur 2: Radonkonzentration in der Prüfkammer	24
Figur 3: Resultate Elektret-Ionisationskammern	25
Figur 3a: Resultate Elektret-Ionisationskammern	26
Figur 4: Resultate Kernspurdetektoren	27
Figur 5: Resultate elektronische Radondosimeter	28
Figur 6: Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern	29
Figur 6a: Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern	30
Figur 7: Mittelwerte Kernspurdetektoren	31
Figur 8: Mittelwerte elektronische Radondosimeter	32
Figur 9: Resultate Messgeräte	33
Figur 10: Übersicht der Messstellen mit Elektret-Ionisationskammern	34
Figur 10a: Übersicht der Messstellen mit Elektret-Ionisationskammern	35
Figur 11: Übersicht der Messstellen mit Kernspurdetektoren	36
Figur 12: Übersicht der Messstellen mit elektronischen Radondosimetern	37

1 EINLEITUNG

Die Grundlage für die Vergleichsmessungen ist die „Verordnung des EJPD über Radonmessmittel vom 29. November 2008“, welche am 1. Juli 2009 in Kraft trat. Die Vergleichsmessung 2010 für Radongasmessmittel wurde in der Prüfkammer des Referenzlabors für Radongas-Konzentrationsmessungen am PSI vom 27. - 31. August durchgeführt. Es beteiligten sich 20 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen (Tabelle 1) mit total 150 Dosimetern und 37 Messgeräten. Der vorliegende Bericht beschreibt die Vorgehensweise und die Ergebnisse dieser Vergleichsmessung.

2 REFERENZ-MESSINSTRUMENTE

Als Referenz-Messinstrumente 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 2010 total 54 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 2010 auf international anerkannte Normale zu gewährleisten, wurden die Szintillationszellen mit einem Radongas-Standard des Institut de Radiophysique (IRA), Lausanne, Schweiz, kalibriert (Schuler 1998). Das Messgerät mit 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 nach-

träglich 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.

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. Die Erhöhung der Luftfeuchte durch das Platzieren der Detektoren am 27.8. 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 2010 (Tabelle 3) basiert auf dem gewichteten Durchschnittswert von 54 Punktbestimmungen mit drei Transfornormalen I (Tabelle 4), welche nach dem in Tabelle 2 angegebenen Füll- und Messschema durchgeführt wurden. Aus dem Radongas-Konzentrationswert wurde der entsprechende Radongas-Expositionswert abgeleitet. 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 54 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 20 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 Tabelle 5 werden die Namen der Messstellen aufgeführt, welche zum Zeitpunkt der Teilnahme an der Vergleichsmessung vom BAG anerkannt waren (gemäss Auflage 7 der Verfügung für die Anerkennung einer Radongas-Messstelle durch das BAG). Werden Detektoren für eine oder mehrere anerkannte Messstellen direkt durch das entsprechende Auswertelaborator eingesendet, so wird dessen Name veröffentlicht. Die Zuordnung zwischen Codes und Messstellen wird in den Legenden der Figuren 3 - 12 wiederholt.

5 RESULTATE DER VERGLEICHSMESSUNG

Die Tabellen 6 bis 9 führen die Teilnehmerresultate für Elektret-Ionisationskammern, Kernspurdetektoren, elektronische Radondosimeter und Messgeräte auf. In den Tabellen 6, 7 und 8 sind die gemeldeten Einzelresultate nach Detektorbezeichnung aufsteigend in alphanumerischer Reihenfolge geordnet angegeben und zusätzlich noch mit einem Detektorcode versehen. Die Tabellen 6 bis 9 enthalten auch das Verhältnis Messwert/Referenzwert pro Radondosimeter oder Messgerät sowie Mittelwert und Standardabweichung dieser Verhältnisse.

In den Figuren 3, 4 und 5 sind die Einzelverhältnismittelwerte und in den Figuren 6 bis 9 die Verhältnismittelwerte sowie deren Standardabweichung pro Teilnehmercode dargestellt.

In den Figuren 3 - 9 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 dem Linearitätskriterium der Messmittelverordnung 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. Fallen Werte ausserhalb dieses Bereiches, wird das Diagramm mit der notwendigen Erweiterung der Skala wiederholt.

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. Figuren 10 bis 12 zeigen derar-

tige Diagramme für Elektret-Ionisationskammern, Kernspurdetektoren und elektronische Radondosimeter. In diesen Abbildungen sind zur besseren Lesbarkeit neben dem Halbkreis für 20% auch Halbkreise für 5%, 10% und 15% eingezeichnet. Im Falle des Auftretens von Messwerten, welche ausserhalb der Standardskala liegen, wird das Diagramm mit erweiterter Skala wiederholt.

6 DISKUSSION DER RESULTATE DER VERGLEICHSMESSUNG

6.1 Radongas-Referenzmessungen

Figur 2 zeigt den Verlauf des Radongas-Konzentrationspegels während der Expositionsperiode. Die Radongas-Konzentration wurde während der gesamten Vergleichsmessung durch eine Regelung konstant gehalten. Der Beginn der Regelung und auch das Belüften der Prüfkammer im Anschluss an die Vergleichsmessung sind deutlich zu erkennen.

6.2 Teilnehmerresultate

6.2.1 Elektret-Ionisationskammern

Ein Ergebnis der Vergleichsmessung 2008 zeigte Nachteile der Verwendung von LLT-Elektrets bei niedrigen Expositionen auf. Als Konsequenz werden von den Messstellen in der Schweiz generell jeweils ein LLT- und ein LST-Elektret parallel eingesetzt. Je nach gemessener Exposition ist festgelegt, wie mit den beiden Messresultaten zu verfahren ist. Für eine Exposition von 57 kBq h m^{-3} würde der LLT-Messwert verworfen und das Messresultat auf die LST-Messung abgestützt. Dennoch werden auch die Ergebnisse der LLT-Messkammern präsentiert, aber farblich (rot) gekennzeichnet. Zudem wurden von zwei Messstellen SLT-Elektret-Konfigurationen eingesetzt, deren Ergebnisse blau gekennzeichnet wurden. Die Einzelergebnisse der Elektret-Ionisationskammern sind in den Figuren 3 und 3a dargestellt. Von den 45 exponierten Detektoren wichen 30 (LST: 13 von 20 = 65%, LLT: 13 von 15 = 87% und SLT: 4 von 10 = 40%) um mehr als 18% (horizontal gestrichelte Linien) vom Sollwert ab. Der Mittelwert über ein Ensemble von 5 Detektoren lag für sieben Ensembles (LST: 3 von 4, LLT: 3 von 3 und SLT: 1 von 2) ebenfalls ausserhalb des Bereichs von 18% um den Sollwert (Figuren 6 und 6a). Das Bewertungskriterium des BAG (Figuren 10 und 10a) ist für zwei der neun teilnehmenden Ensembles erfüllt (LST: 1 von vier, LLT: 0 von drei und SLT: 1 von 2). Die Exposition von 57 kBq h m^{-3} liegt weit unter der Nachweisgrenze der LLT-Elektretkonfiguration, so dass eine grosse Abweichung zum Sollwert nicht überraschend ist. Diese Werte wären bei einer realen Messsituation aufgrund der niedrigen Exposition verworfen worden. Auch die Abweichungen der SLT-Elektretkonfiguration konnten erwartet werden, da der Hersteller für diese Elektret-Konfiguration eine untere Messgrenze von 107 kBq h m^{-3} angibt. Die vom Hersteller angegebene Nachweisgrenze der LST-Konfiguration wäre mit 53 kBq h m^{-3} für eine Exposition von 57 kBq h m^{-3} noch knapp ausreichend. Die hohe Zahl an

deutlich abweichenden Messergebnissen dieser Elektret-Konfiguration wurde daher nicht erwartet.

6.2.2 Kernspurdetektoren

Bei drei der teilnehmenden Messstellen wurden die gemeldeten Messergebnisse wegen Inkonsistenzen oder unüblich stark vom Sollwert abweichenden Resultaten hinterfragt. In jedem Fall konnte die Ursache schnell lokalisiert werden. Es handelte sich um einen Berechnungsfehler, eine von der Routineauswertung abweichende Messwertangabe ohne Einbezug des Nulleffekts, sowie eine vom vorhandenen Qualitätsmanagement nicht abgefangene fehlerhafte Spurenauslesung. Weil diese Ursachen für Routinemessungen nicht relevant waren, wurde in Rücksprache mit dem BAG den Messstellen gestattet, die Messwert zu korrigieren. Für diese Messstellen werden die Ergebnisse nach den erfolgten Korrekturmassnahmen dargestellt. Bei den Einzelmessresultaten der Kernspurdetektoren (Figur 4) wichen 17 Resultate von insgesamt 45 teilnehmenden Detektoren um mehr als 18% vom Sollwert ab. Die Mittelwerte der Ergebnisse von drei teilnehmenden Ensembles lagen ebenfalls ausserhalb des Bereichs von 18% um den Sollwert (Figur 7). Das Bewertungskriterium des BAG (Figur 11) ist für eine anerkannte Messstelle beziehungsweise deren Auswertelabor nicht erfüllt.

6.2.3 Elektronische Radondosimeter

Bei den elektronischen Radondosimetern (Figur 5) wichen 2 von insgesamt 24 Resultaten um mehr als 18% vom Sollwert ab. Die Mittelwerte liegen insgesamt innerhalb des Bandes von 18% um den Sollwert (Figur 8). Alle elektronischen Radondosimeter erfüllen das BAG-Bewertungskriterium (Figur 12).

6.2.4 Messgeräte

Die Resultate der Messgeräte erscheinen in der Tabelle 8 und der Figur 9. Die Daten von drei Messgeräten (Codes 106, 118 und 129) konnten von der teilnehmenden Messstelle nicht ausgelesen werden. Alle Messgeräte wiesen eine gute Übereinstimmung mit dem Sollwert auf.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Die in der Schweiz tätigen Messstellen für Radongas ermitteln ihre Ergebnisse mit guter Qualität. Die Ergebnisse bei der geringen Radongas-Exposition der diesjährigen Vergleichsmessung von 57 kBq h m^{-3} zeigten aber auch klar auf, dass die in der Messmittelverordnung definierte untere Messgrenze von 50 kBq h m^{-3} für alle Messverfahren anspruchsvoll ist.

8 LITERATUR

EAM Eidgenössisches Amt für Messwesen
Weisungen über die Rückverfolgbarkeit (Traceability) von Radongaskonzentrationsmessungen

Wabern: Eidgenössisches Amt für Messwesen; 6. Mai 1996.

EJPD Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement
Verordnung des EJPD über Radonmessmittel vom 29. November 2008 (Stand am 1. Juli 2009)
SR 941.215

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-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.

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer

Abteilung Umweltschutz und Energie
 Departement Bau und Umwelt
 Kanton Glarus
 Hr. P. Alsdorf
 Kirchstrasse 2
 8750 **Glarus**

AGES
 Kompetenzzentrum Radioökologie
 und Radon
 Dr. W. Ringer
 Derfflingerstrasse 2
 4020 **Linz**
 Österreich

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

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

AVS Chemiesicherheit
 Kanton Aargau
 Dr. E. Bantelmann
 Obere Vorstadt 14
 5000 **Aarau**

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

Bundesamt für Gesundheit
 Hr. W. Gfeller
 Radiologische Risiken
 3003 **Bern**

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

ECONS SA
 Hr. M. Gandolla
 Via Stazione 19
 6934 **Bioggio**

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

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

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

Laboratorio Cantonale Ct. Ticino
 Hr. M. De Rossa
 Via Mirasole 22
 6500 **Bellinzona**

LabTox SA
 Hr. J. Gueniat
 Rue des Prés 90
 2503 **Biel**

Radial Baubiologie GmbH
 Hr. S. Schafflützel
 Gumm 1
 3855 **Schwanden b.B.**

Service de l'Énergie et de
l'Environnement
Département de la Gestion du
Territoire
République et Canton de Neuchâtel
Hr. D. Racine
Rue de Tombet 24
2034 **Peseux**

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

SUPSI
Centro di Competenza Radon
Dr. C. Valsangiacomo
Trevano, c.p. 105
6952 **Canobbio**

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

Truffer Ingenieurberatung
Hr. P. Truffer
Kantonsstrasse 41c
3930 **Visp**

Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2010**Dauer der Expositionsperiode:**

Ende der Vergleichsmessung	31.8.10 8:30
Start der Vergleichsmessung	27.8.10 8:47
Expositionsdauer in h	95.7

Dauer der Ausgasperiode:

Ende Ausgasung	1.9.10 12:10
Start Ausgasung	31.8.10 8:37
Ausgasdauer in h	27.6

Messungen der Umweltparameter in dem Vorbereitungsraum OFLD/009:

Ort	Start	Ende	Rn-Konz. [Bqm ⁻³]	Temp. [°C]	Feuchte [%RH]	Bem.
OFLD/009	28.7.10 14:00	26.8.10 12:00	23 ± 2	26	54	Lagerung und Vorbereitung

Messungen γ -Dosisleistungen mit Automess AD6:

Ort	Start	Ende	Dauer [h]	D [nSv]	DL [nSv/h]	Bem.
OFLD/009	28.7.10 14:00	26.8.10 15:00	696.9	56400	81	Lagerung
Rn-Kammer	27.8.10 8:47	31.8.10 8:26	95.7	9400	99	Exposition

LC-Füllungen:

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

Tabelle 3: Expositionsparameter in der Prüfkammer

Rn-Konzentration [Bqm ⁻³]	Rn- Exposition [kBqhm ⁻³]	Temperatur [°C]	Relative Feuchte [%]	γ-Dosis- leistung [nSv/h]
Referenzwert: 27.8.10 8:47 - 31.8.10 8:30 (Durchschnitt von 54 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)				
595 ± 18	57 ± 2	20 ± 1	65 ± 8	99

**Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung zu den Resultaten der Radon-
gas-Referenzmessungen in Bq m⁻³**

Referenzwert: 27.8.10 8:47 - 31.8.10 8:30			
Messung mit Transfornormal:	TN #515	TN #539	TN #576
Durchschnitt der Punktbestimmungen:	600	579	607
„Statistische“ Unsicherheit (u _A):	4	4	4
„Systematische“ Unsicherheit (u _B):	7	7	7
Gesamtunsicherheit (u _C):	8	7	8
Gewichteter Durchschnittswert:	595		
Gesamtunsicherheit des gew. DW			
(95%-Vertrauensintervall):	18		
Gesamtunsicherheit in %:	3.1		

Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Anerkannte Messstelle / Auswertelabor
<i>Radon-Dosimeter</i>			
1	Elektret-Ionisationskammer	LST E-Perm (Rad Elec)	Beratender Geol./Hydrogeol. Ch. Böhm
2	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Beratender Geol./Hydrogeol. Ch. Böhm
3	Elektret-Ionisationskammer	LST E-Perm (Rad Elec)	
4	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Radial Baubiologie GmbH
5	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Institut de Radiophysique
6	Elektret-Ionisationskammer	SLT E-Perm (Rad Elec)	
7	Elektret-Ionisationskammer	LST E-Perm (Rad Elec)	Institut de Radiophysique
8	Elektret-Ionisationskammer	SLT E-Perm (Rad Elec)	
9	Elektret-Ionisationskammer	LST E-Perm (Rad Elec)	Radial Baubiologie GmbH
31	Kernspurdetektor	Alpha Track (Gammadata Mättechnik)	Gammadata Mättechnik
32	Kernspurdetektor	Radtrak (Landauer)	Dragan Consultants Int
33	Kernspurdetektor	PD (Altrac)	
34	Kernspurdetektor	LabTox (TASL)	LabTox SA
35	Kernspurdetektor	LD (Altrac)	Altrac
36	Kernspurdetektor	mi.am (mi.am)	Econs SA

Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente (Forts.)

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Anerkannte Messstelle / Auswertelabor
37	Kernspurdetektor	AGES (AGES)	AGES
38	Kernspurdetektor	AT100 (Accustar Labs)	
39	Kernspurdetektor	mi.am radosure (mi.am)	
61	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor	Ramon 2.2 (GT Analytics)	
62	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor	RadonScout (SARAD)	
63	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor	RadonScout (SARAD)	Strahlenschutz Beratung und Planung R. Müller
64	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor	Ramon 2.2 (GT Analytics)	
<i>Radon-Messgeräte</i>			
101	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
102	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
103	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
104	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	

Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente (Forts.)

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Anerkannte Messstelle / Auswertelabor
105	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
106	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
107	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
108	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
109	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
110	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
111	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
112	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
113	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
114	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
115	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
116	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
117	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
118	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
119	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
120	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
121	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	

Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente (Forts.)

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	Anerkannte Messstelle / Auswertelabor
122	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
123	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
124	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
125	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
126	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
127	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
128	Ionisationskammer	Atmos-12 (Gammadata Mättechnik)	
129	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
130	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
131	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
132	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
133	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
134	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
135	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
136	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	
137	Ionisationskammer	Alphaguard (Saphymo)	

Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
1	1	670	1.127	1.087	0.080
	2	714	1.201		
	3	643	1.081		
	4	611	1.028		
	5	595	1.001		
2	1	1147	1.929	1.264	0.456
	2	635	1.068		
	3	475	0.799		
	4	905	1.522		
	5	595	1.001		
3	1	659	1.108	1.189	0.081
	2	685	1.152		
	3	781	1.313		
	4	728	1.224		
	5	681	1.145		
4	1	1202	2.022	2.381	0.627
	2	1913	3.217		
	3	1526	2.566		
	4	924	1.554		
	5	1514	2.547		
5	1	943	1.586	2.425	0.811
	2	1524	2.563		
	3	941	1.583		
	4	1880	3.162		
	5	1923	3.234		

Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern (Forts.)

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
6	1	737	1.239	1.142	0.080
	2	687	1.155		
	3	657	1.105		
	4	702	1.181		
	5	611	1.028		
7	1	805	1.354	1.386	0.057
	2	884	1.487		
	3	811	1.364		
	4	819	1.377		
	5	803	1.350		
8	1	668	1.123	1.245	0.184
	2	667	1.122		
	3	721	1.213		
	4	715	1.202		
	5	931	1.566		
9	1	1017	1.710	1.685	0.105
	2	940	1.581		
	3	989	1.663		
	4	962	1.618		
	5	1101	1.852		

Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBq h m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
31	1	62	1.093	1.161	0.086
	2	66	1.161		
	3	60	1.060		
	4	70	1.228		
	5	72	1.262		
32	1	55	0.961	0.867	0.143
	2	39	0.687		
	3	58	1.014		
	4	42	0.745		
	5	53	0.930		
33	1	57	1.002	1.192	0.135
	2	64	1.125		
	3	72	1.265		
	4	69	1.213		
	5	77	1.353		
34	1	71	1.248	1.100	0.112
	2	63	1.107		
	3	53	0.931		
	4	63	1.107		
	5	63	1.107		
35	1	49	0.861	0.935	0.127
	2	47	0.826		
	3	55	0.967		
	4	65	1.142		
	5	50	0.879		

Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren (Forts.)

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBq h m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
36	1	65	1.142	0.956	0.130
	2	44	0.774		
	3	54	0.949		
	4	54	0.949		
	5	55	0.967		
37	1	75	1.325	1.184	0.102
	2	62	1.095		
	3	69	1.206		
	4	69	1.218		
	5	61	1.076		
38	1	45	0.798	0.732	0.164
	2	34	0.604		
	3	56	0.978		
	4	33	0.572		
	5	40	0.707		
39	1	50	0.878	0.932	0.131
	2	46	0.809		
	3	48	0.843		
	4	64	1.125		
	5	57	1.003		

Tabelle 8: Teilnehmerresultate elektronische Radondosimeter

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBq h m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
61	1	59	1.041	1.041	0.083
	2	60	1.050		
	3	57	0.999		
	4	58	1.026		
	5	68	1.191		
	6	65	1.147		
	7	53	0.929		
	8	55	0.964		
	9	58	1.018		
62	1	58	1.014	0.981	0.036
	2	57	1.004		
	3	53	0.930		
	4	54	0.941		
	5	56	0.991		
	6	57	1.006		
63	1	57	1.003	1.079	0.076
	2	60	1.055		
	3	67	1.183		
	4	61	1.077		
64	1	53	0.931	1.044	0.086
	2	66	1.154		
	3	60	1.059		
	4	56	0.993		
	5	62	1.082		

Tabelle 9: Teilnehmerresultate Messgeräte

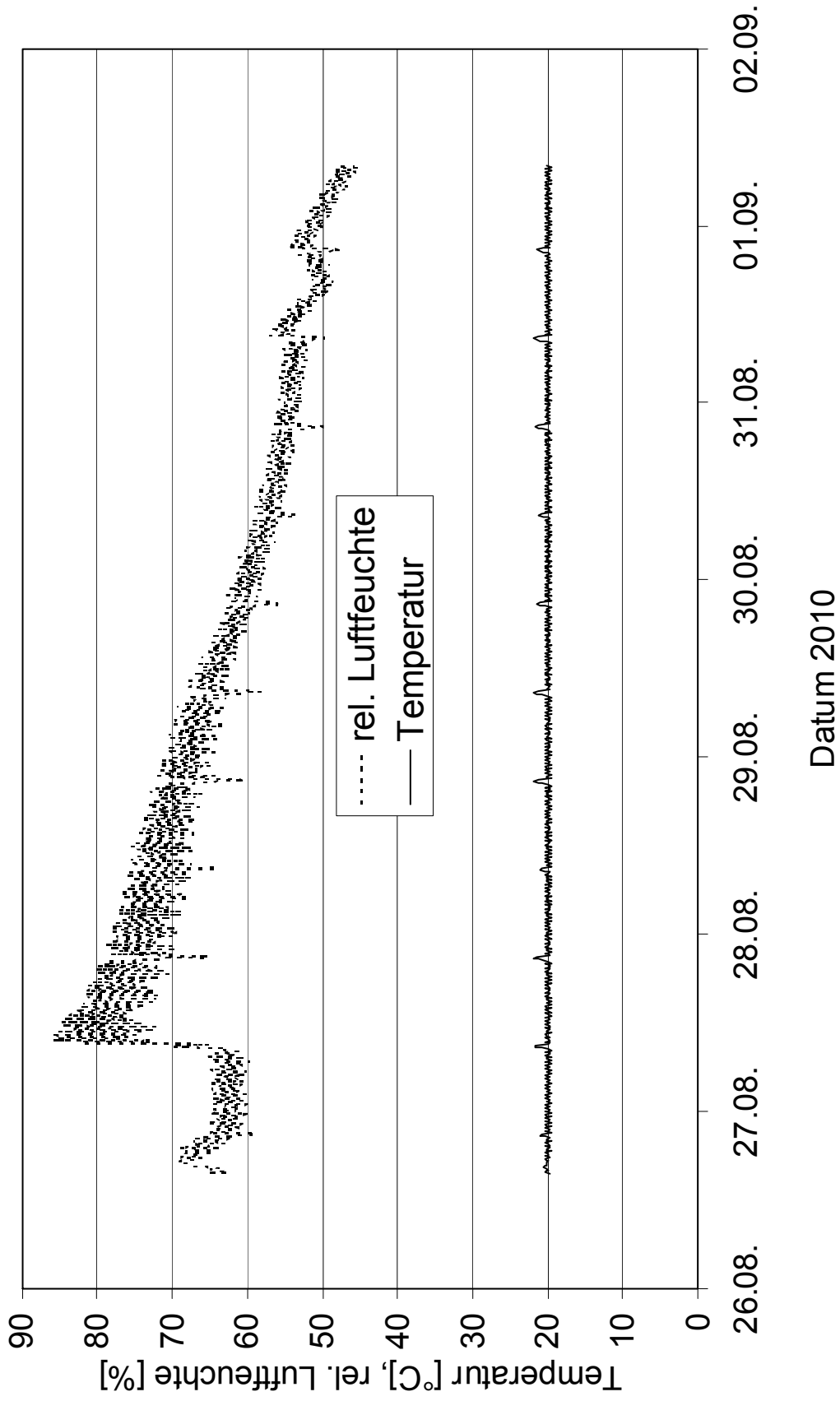
Teilnehmercode	Konzentrations- mittelwert [Bq m ⁻³]	Standard- abweichung [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Standard- abweichung ¹
101	579	59	0.974	0.102
102	585	43	0.984	0.074
103	601	36	1.011	0.060
104	590	44	0.992	0.075
105	586	50	0.986	0.085
106				
107	605	36	1.018	0.060
108	593	36	0.998	0.060
109	579	8	0.973	0.014
110	588	45	0.989	0.076
111	569	34	0.957	0.060
112	602	36	1.012	0.060
113	598	58	1.006	0.097
114	589	60	0.991	0.101
115	608	36	1.023	0.060
116	588	35	0.990	0.060
117	595	36	1.000	0.060
118				
119	592	36	0.996	0.060
120	579	35	0.974	0.060
121	604	36	1.016	0.060
122	574	34	0.965	0.060
123	584	35	0.983	0.060
124	590	35	0.992	0.060
125	591	58	0.994	0.060
126	582	61	0.979	0.104
127	570	34	0.959	0.060
128	647	7	1.088	0.011
129				
130	587	50	0.987	0.085
131	598	36	1.005	0.060

Tabelle 9: Teilnehmerresultate Messgeräte (Forts.)

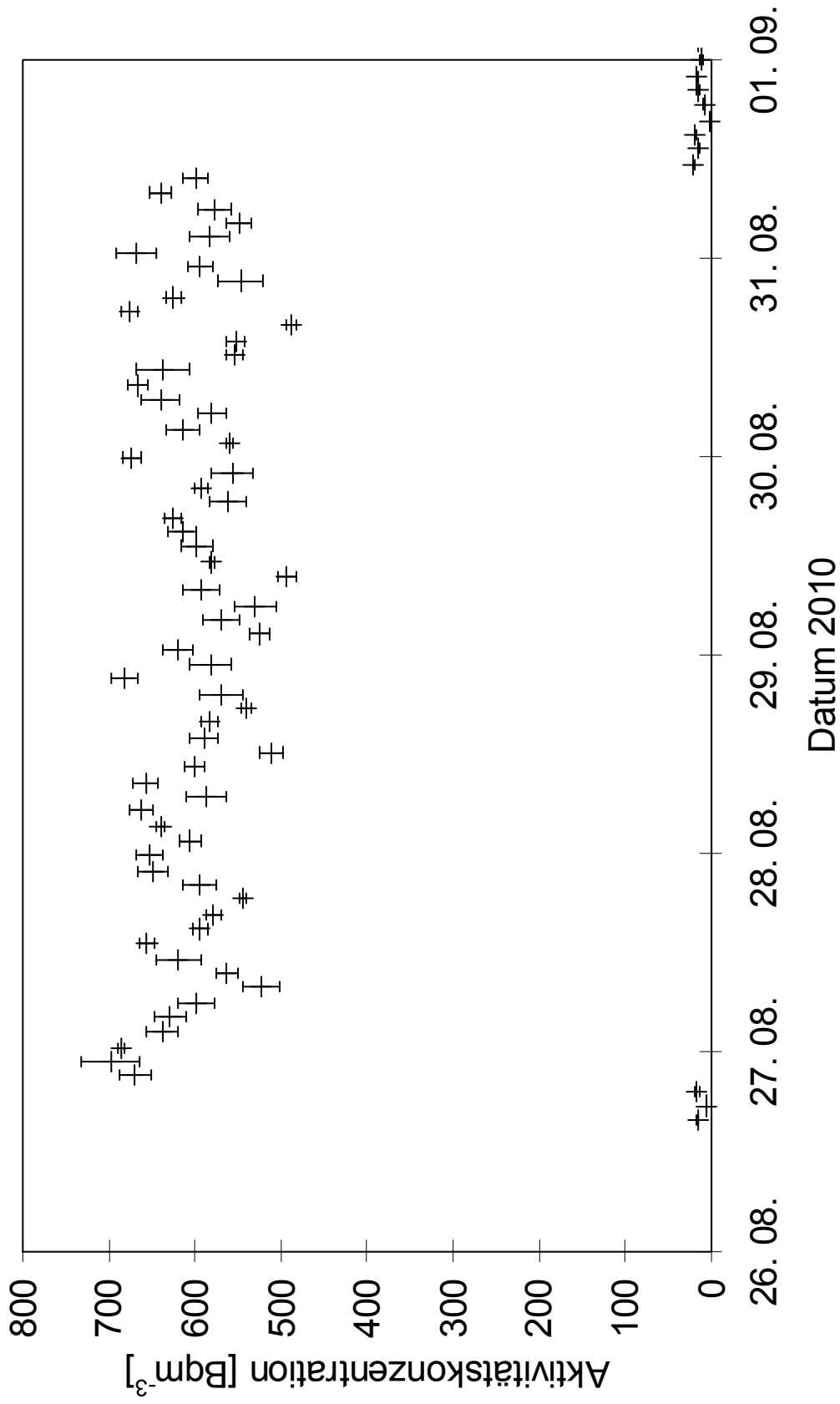
Teilnehmercode	Konzentrations- mittelwert [Bq m ⁻³]	Standard- abweichung [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Standard- abweichung ¹
132	575	44	0.967	0.077
133	602	36	1.012	0.060
134	594	166	0.999	0.279
135	584	58	0.982	0.060
136	602	61	1.012	0.102
137	599	36	1.008	0.060

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

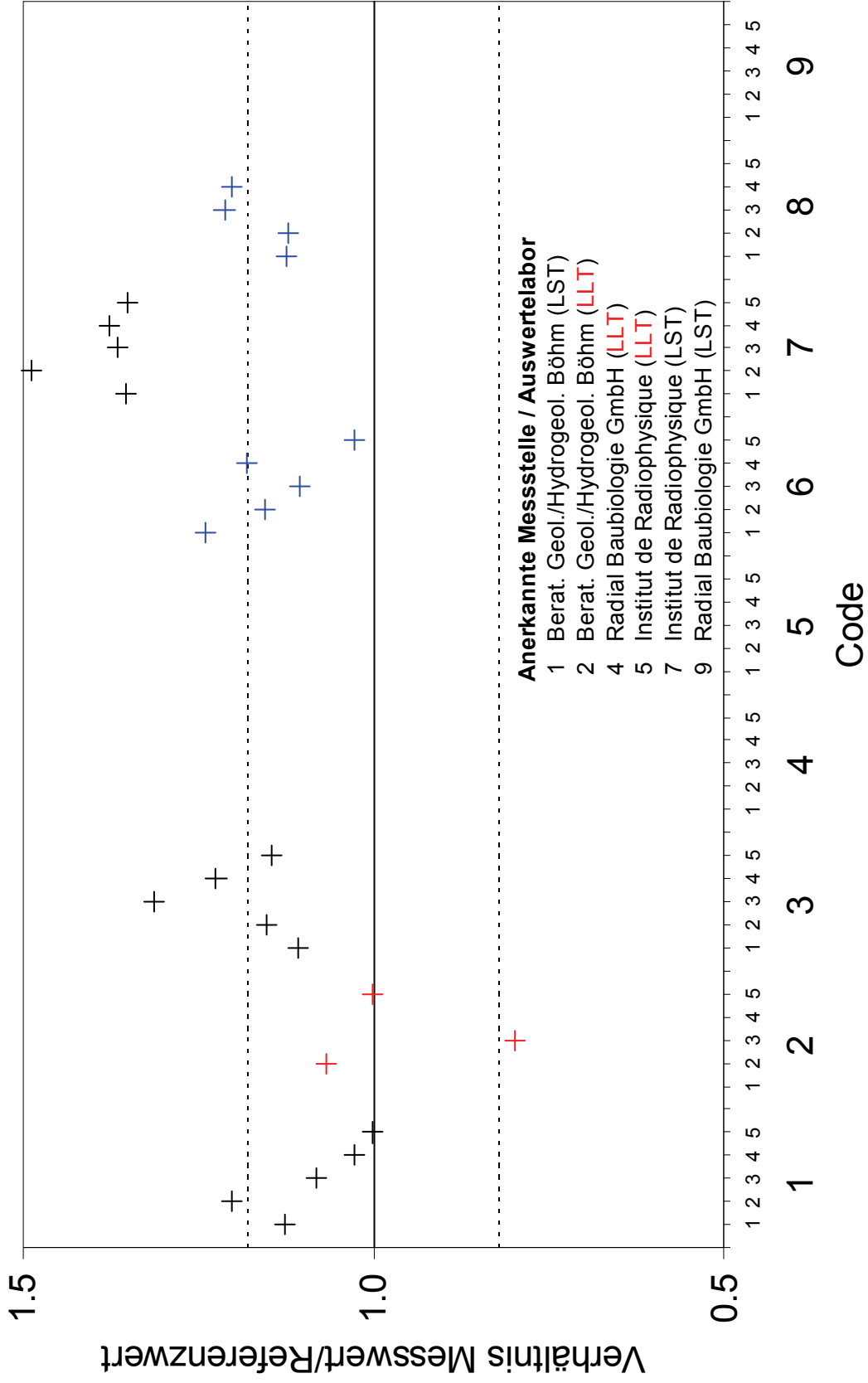
Figur 1: Vergleichsmessung 2010 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Prüfkammer



Figur 2: Vergleichsmessung 2010 - Radonkonzentration in der Prüfkammer

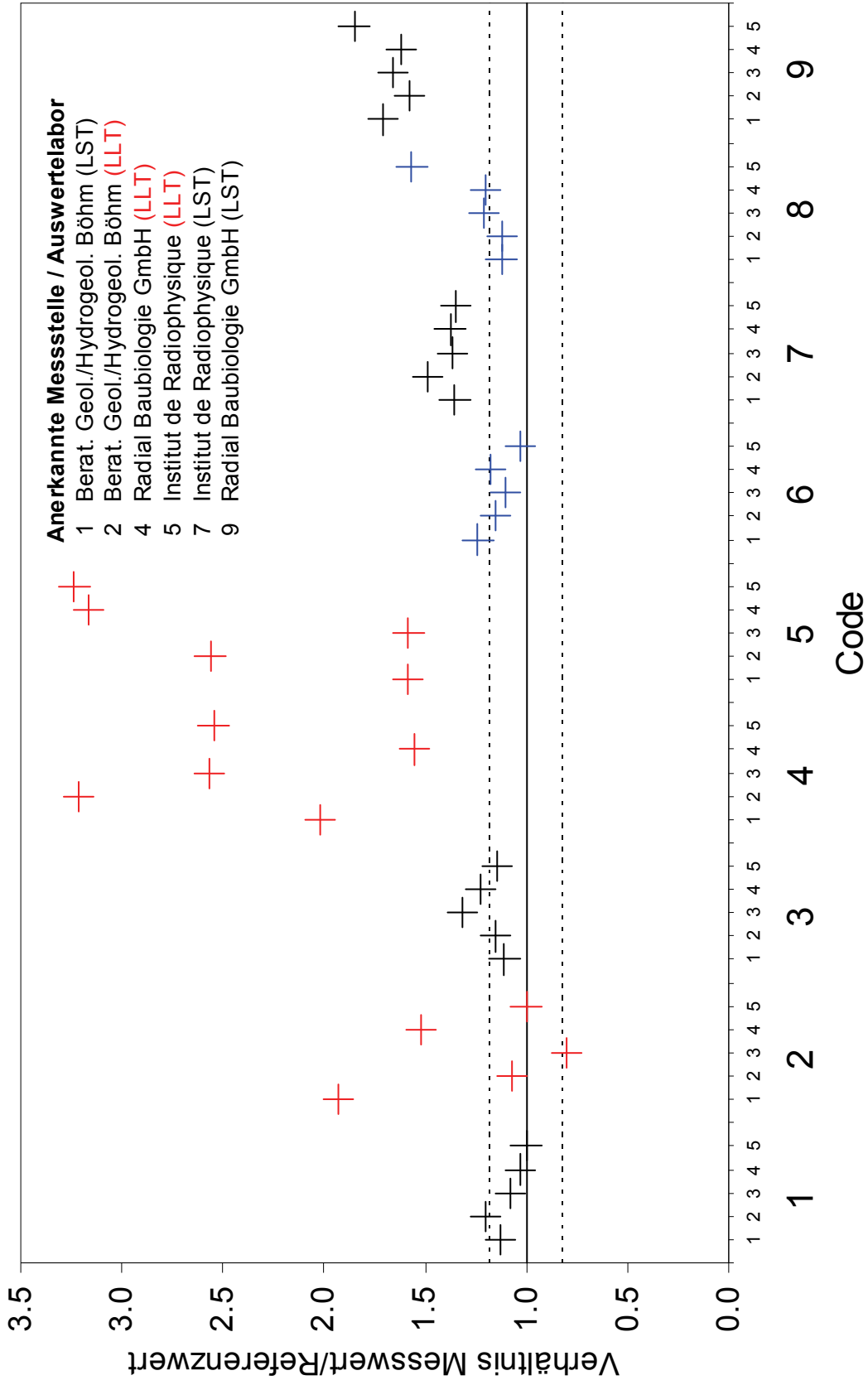


Figur 3: Vergleichsmessung 2010 - Resultate Elektret-Ionisationskammern¹



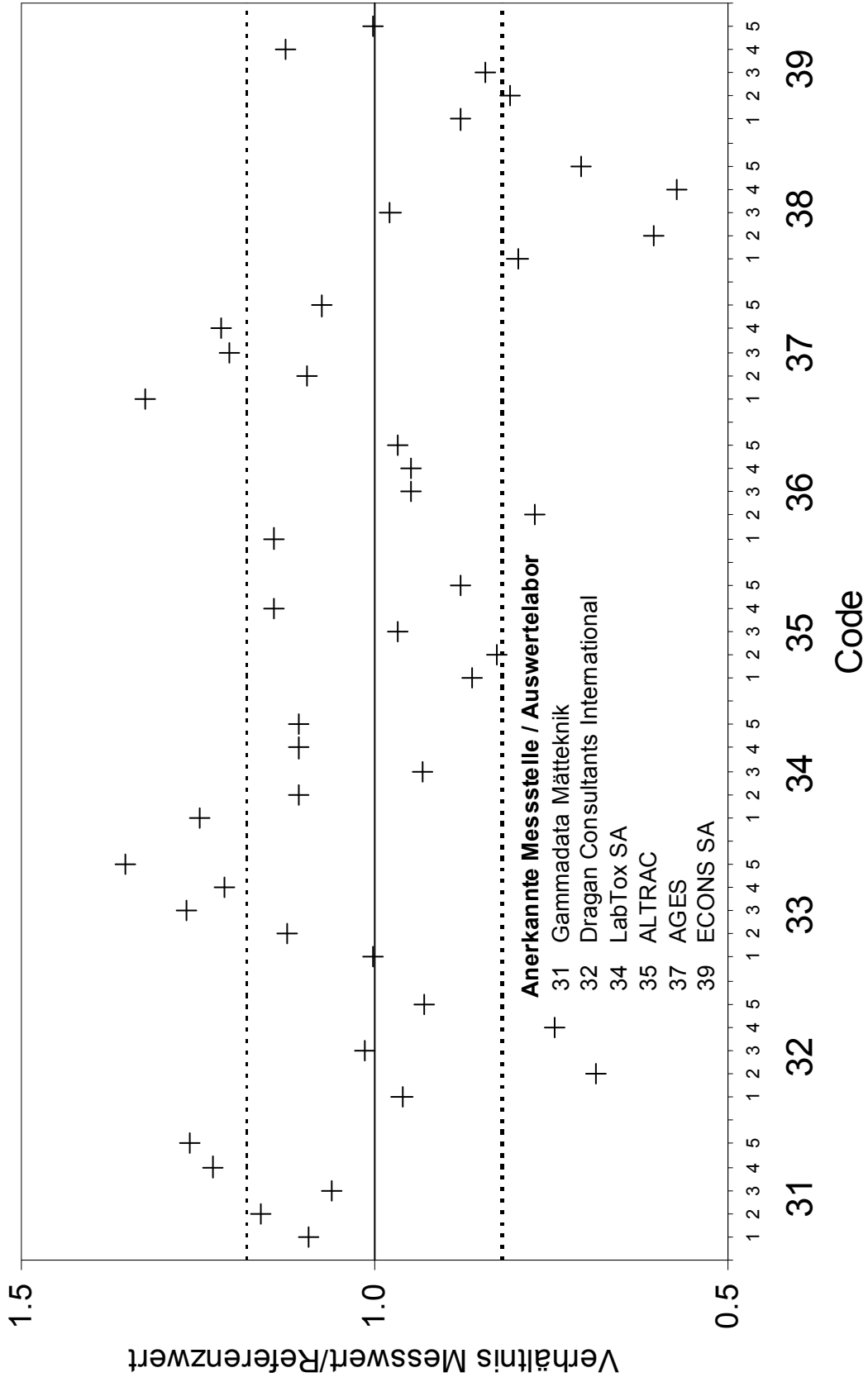
¹.Einige Punkte liegen ausserhalb des Wertebereichs der vertikalen Achse (siehe dazu nachfolgende Figur). Schwarz: LST; Rot: LLT; Blau: SLT

Figur 3a: Vergleichsmessung 2010 - Resultate Elektret-Ionisationskammern¹

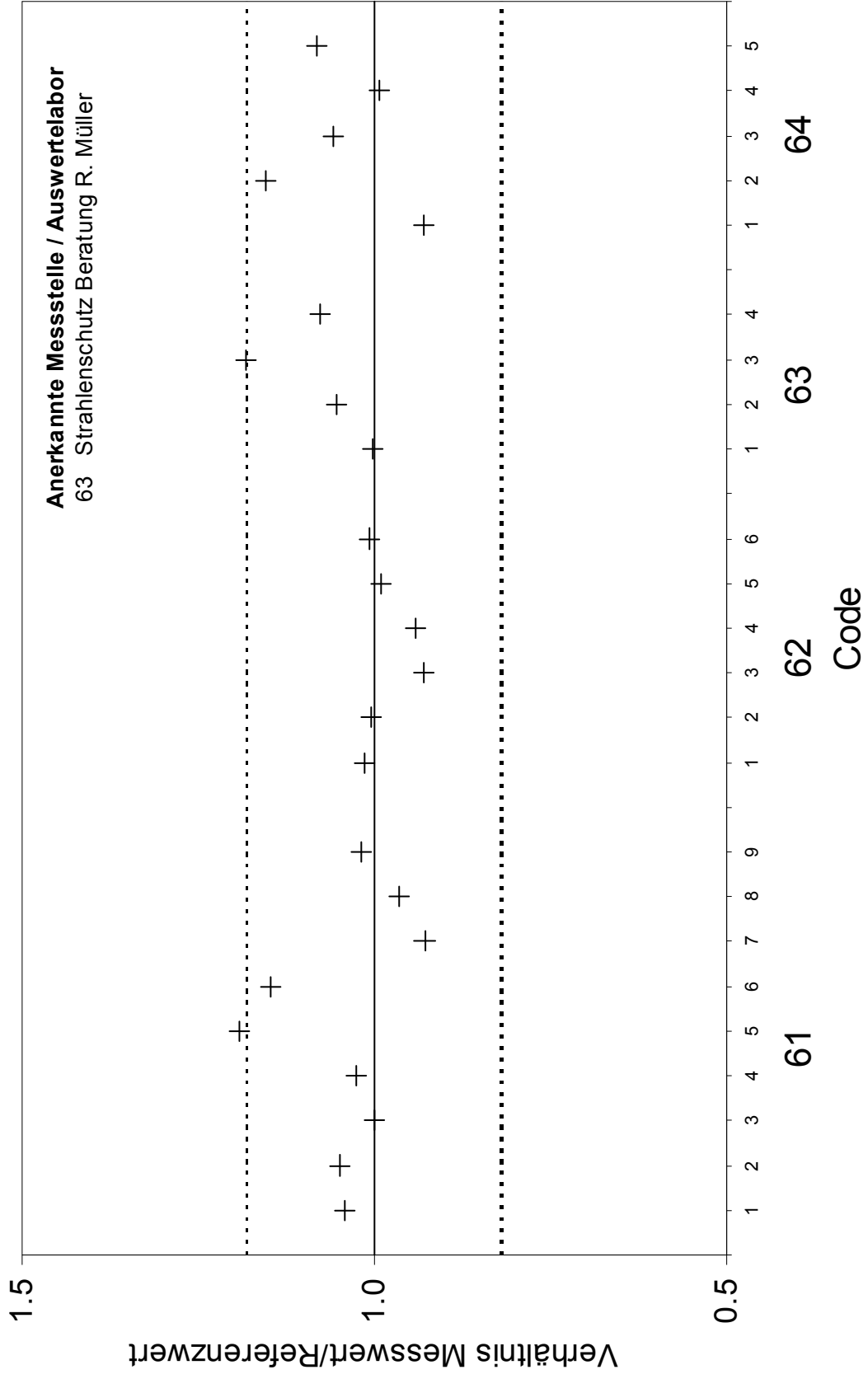


1. Schwarz: LST; Rot: LLT; Blau: SLT

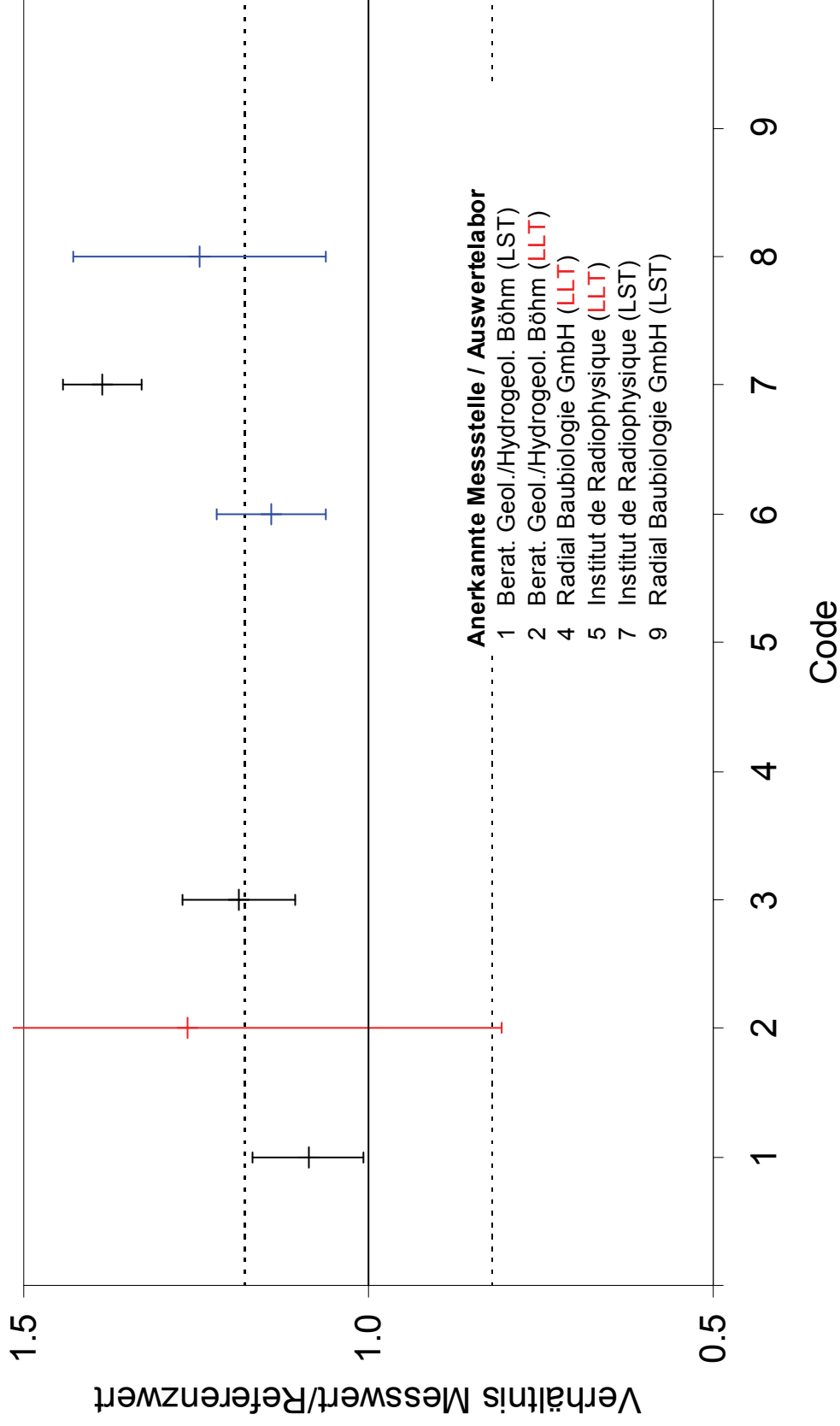
Figur 4: Vergleichsmessung 2010 - Resultate Kernspurdetektoren



Figur 5: Vergleichsmessung 2010 - Resultate elektronische Radondosimeter

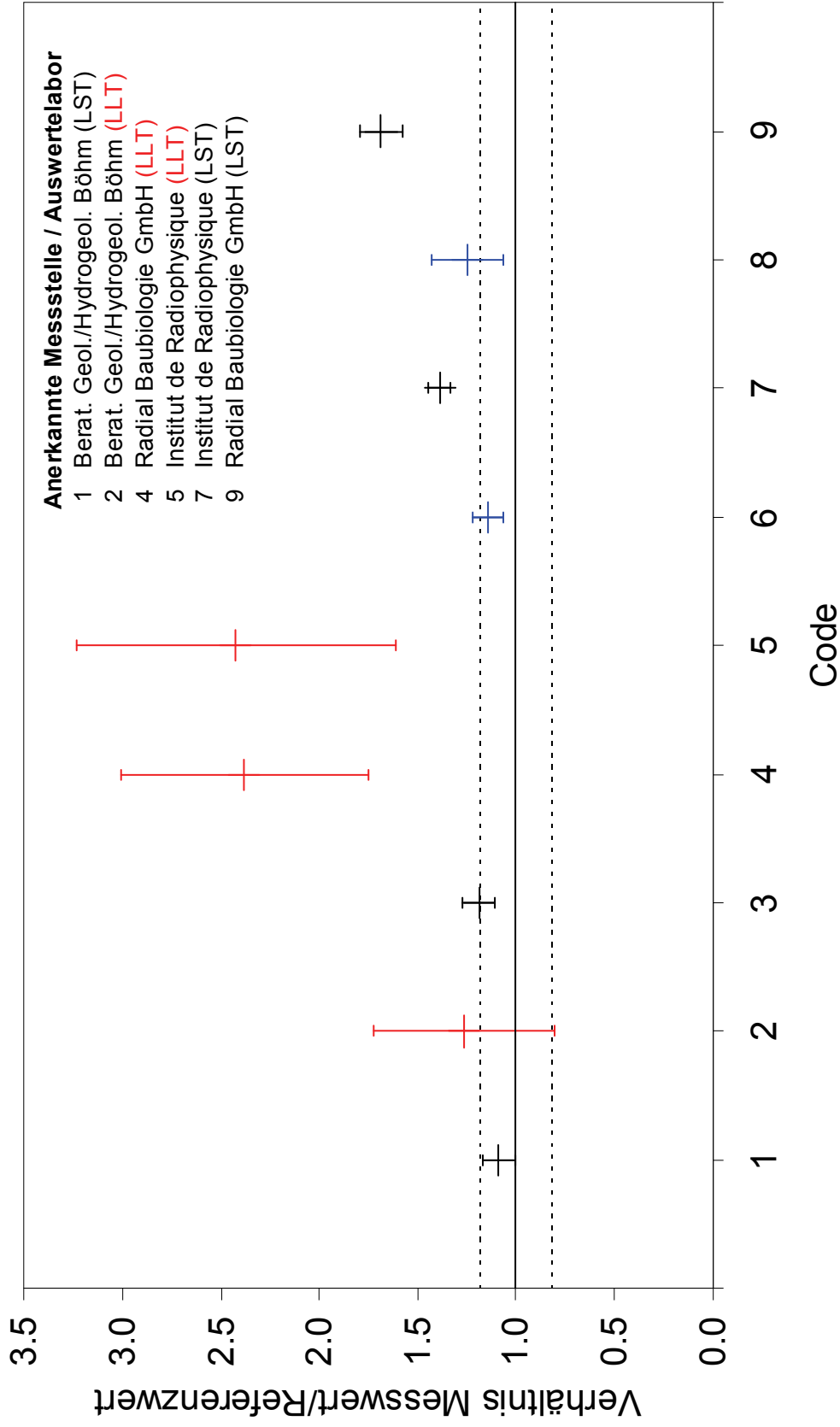


Figur 6: Vergleichsmessung 2010 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern¹



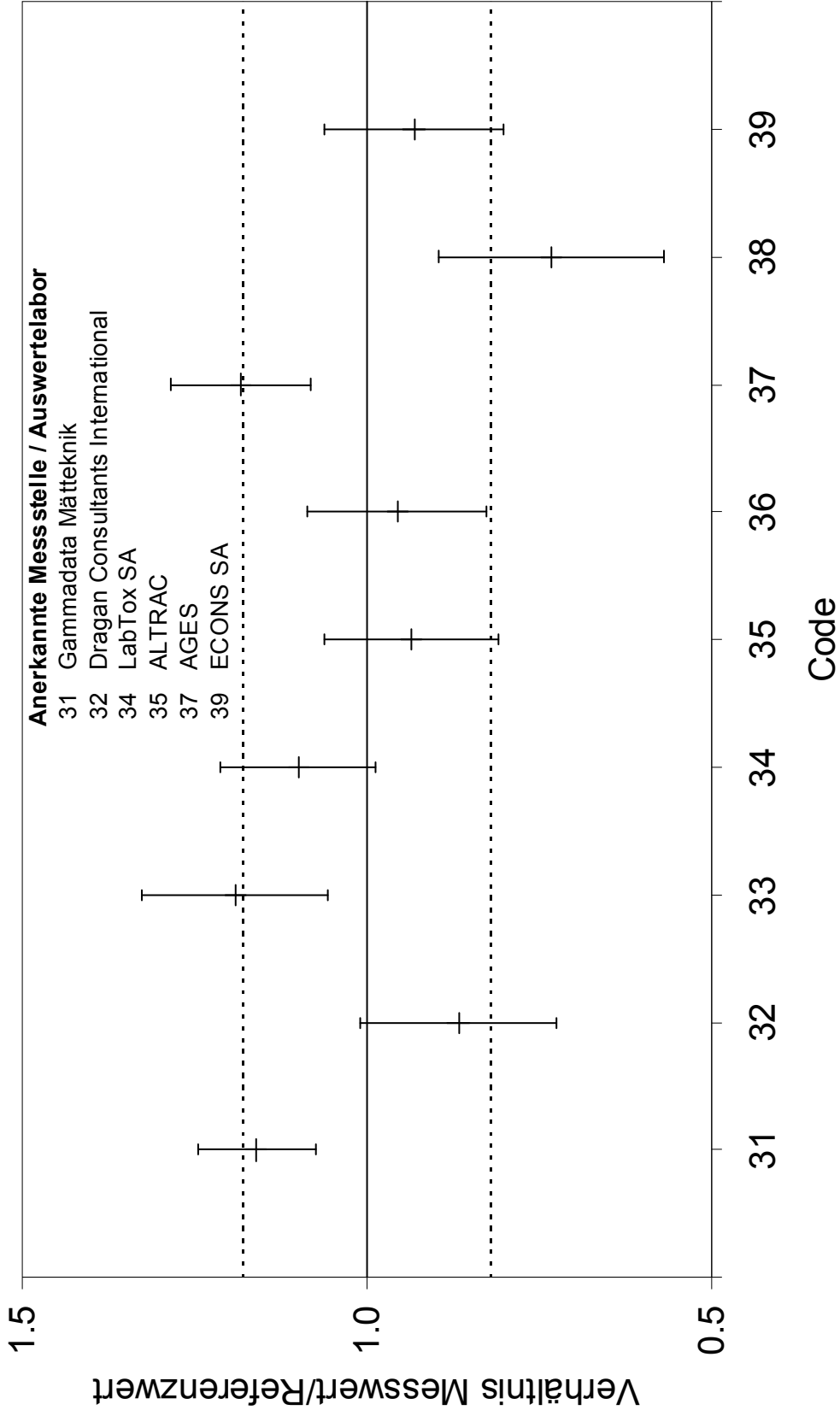
¹.Einige Punkte liegen ausserhalb des Wertebereichs der vertikalen Achse (siehe dazu nachfolgende Figur). Schwarz: LST; Rot: LLT; Blau: SLT

Figur 6a: Vergleichsmessung 2010 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern¹

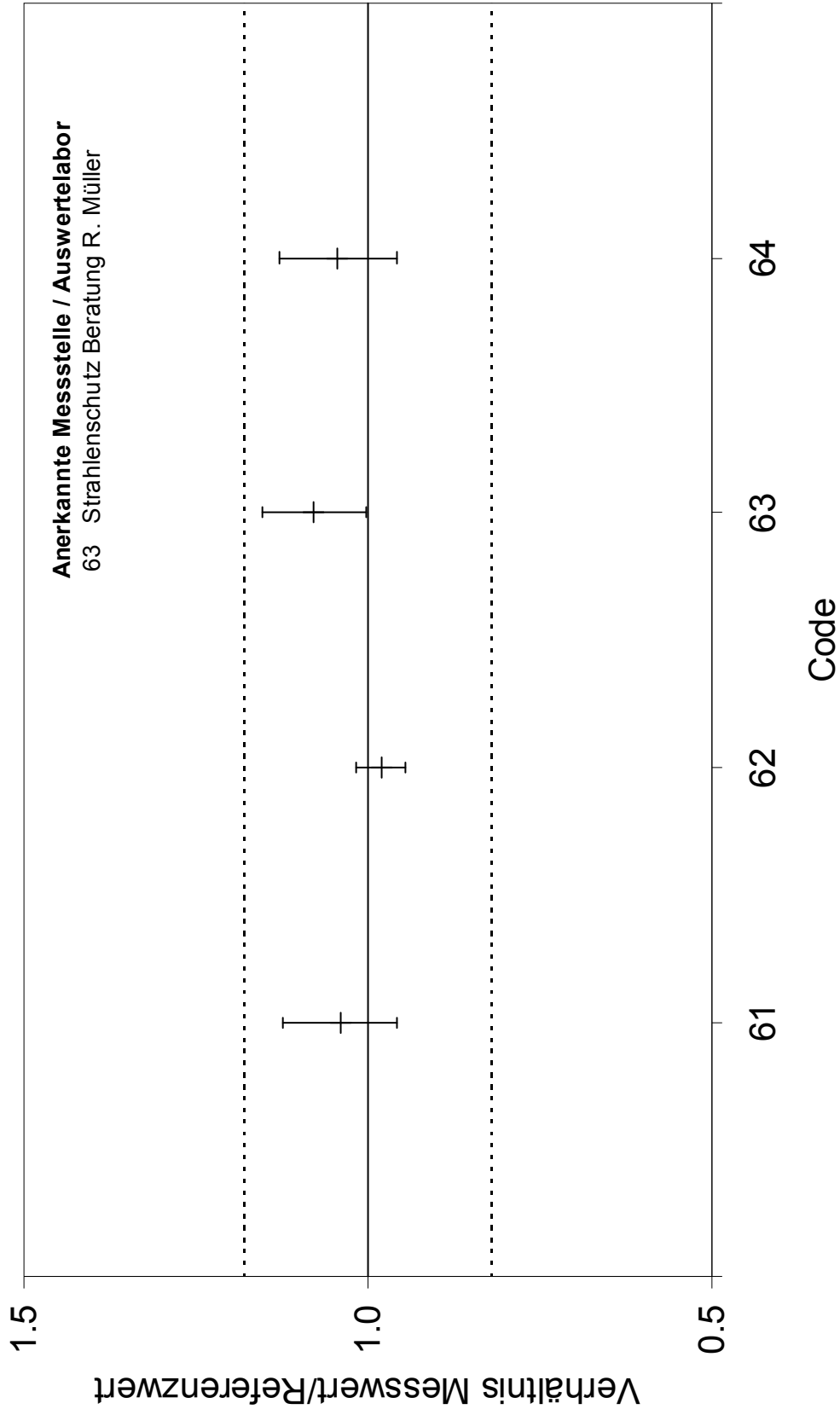


¹.Schwarz: LST; Rot: LLT; Blau: SLT

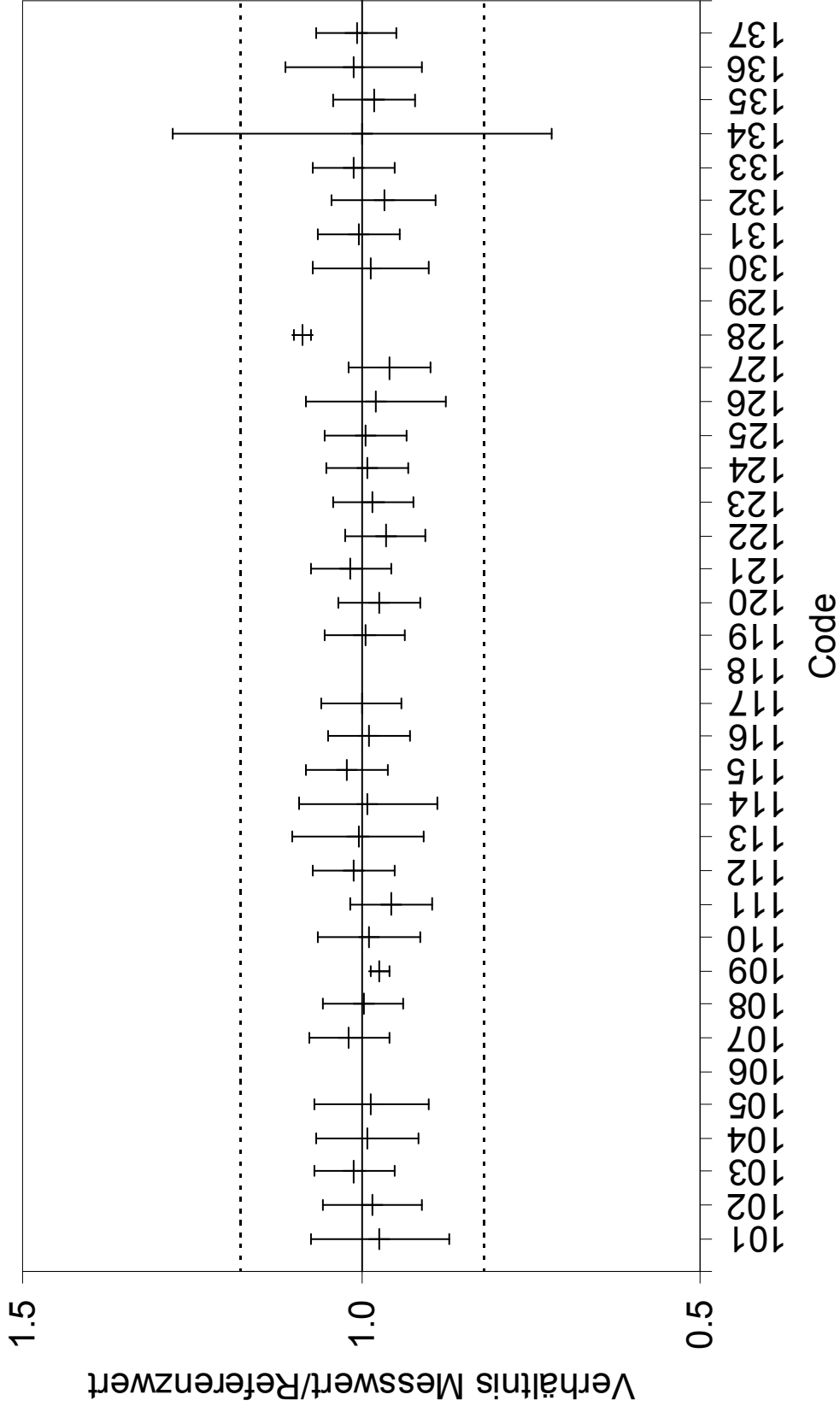
Figur 7: Vergleichsmessung 2010 - Mittelwerte Kernspurdetektoren



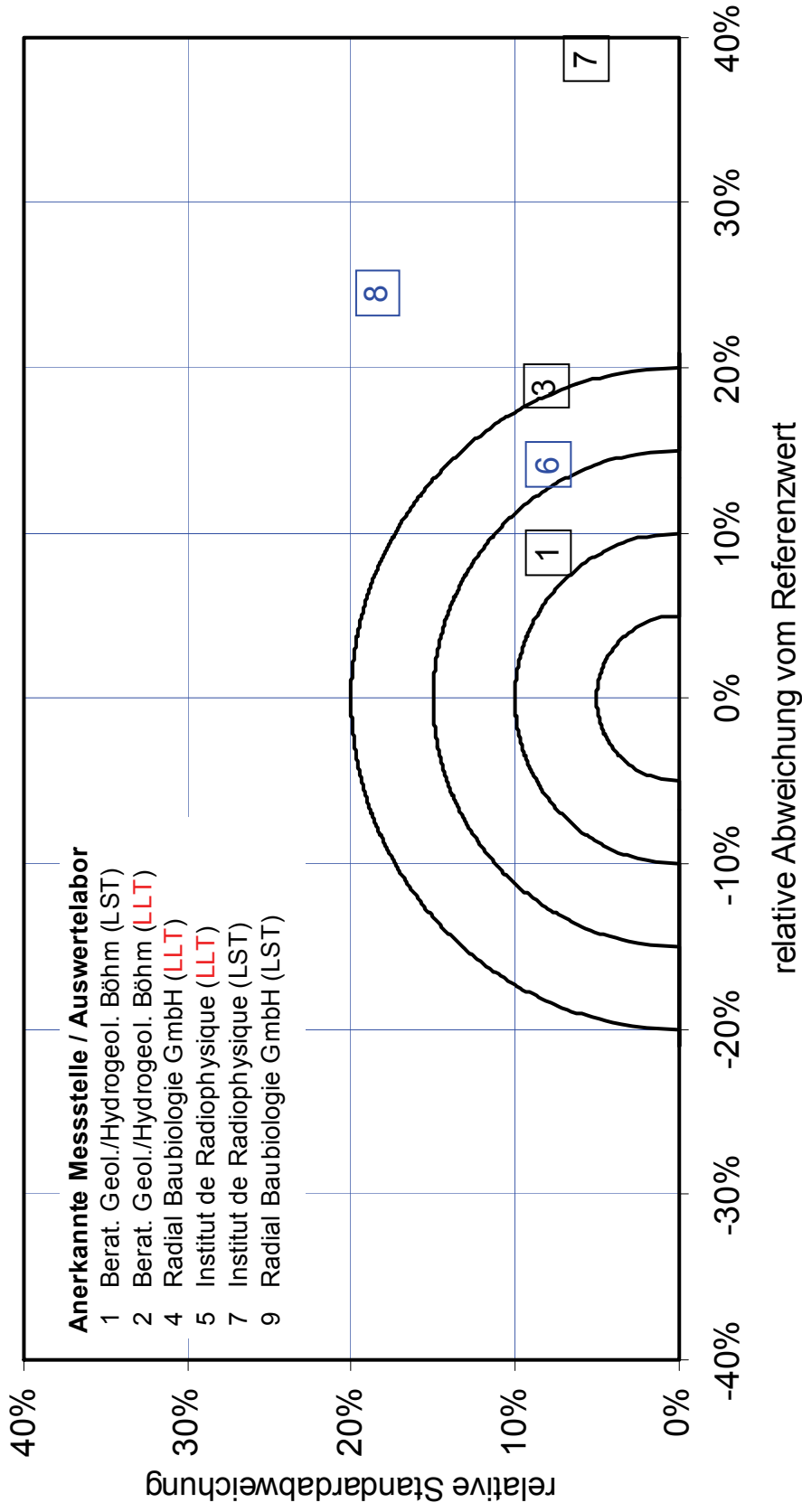
Figur 8: Vergleichsmessung 2010 - Mittelwerte elektronische Radondosimeter



Figur 9: Vergleichsmessung 2010 - Resultate Messgeräte

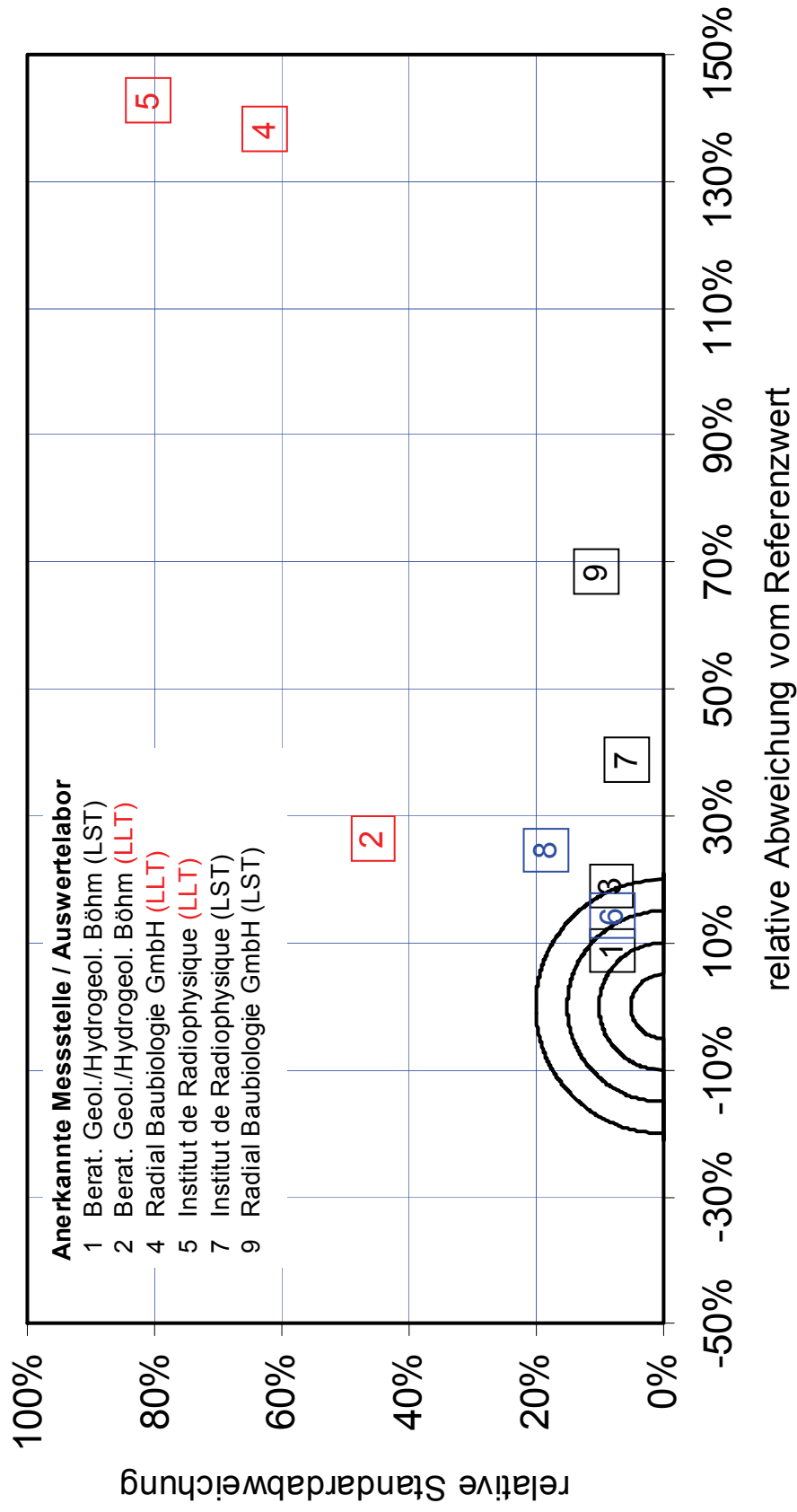


Figur 10: Vergleichsmessung 2010 - Übersicht der Messstellen mit Elektret-Ionisationskammern¹



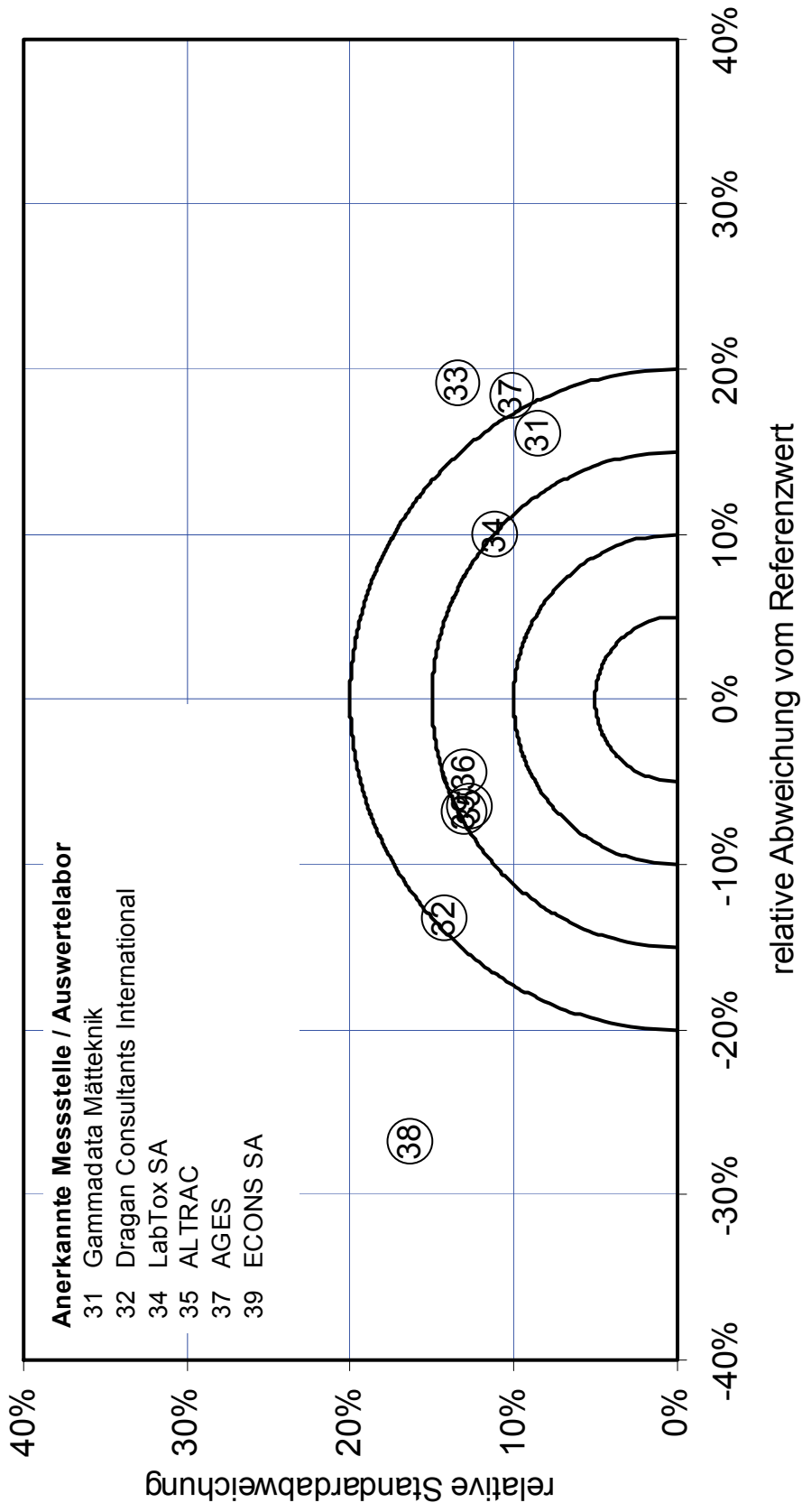
¹. Einige Punkte liegen ausserhalb des dargestellten Wertebereichs (siehe dazu nachfolgende Figur). Schwarz: LST; Rot: LLT; Blau: SLT

Figur 10a: Vergleichsmessung 2010 - Übersicht der Messstellen mit Elektret-Ionisationskammern¹

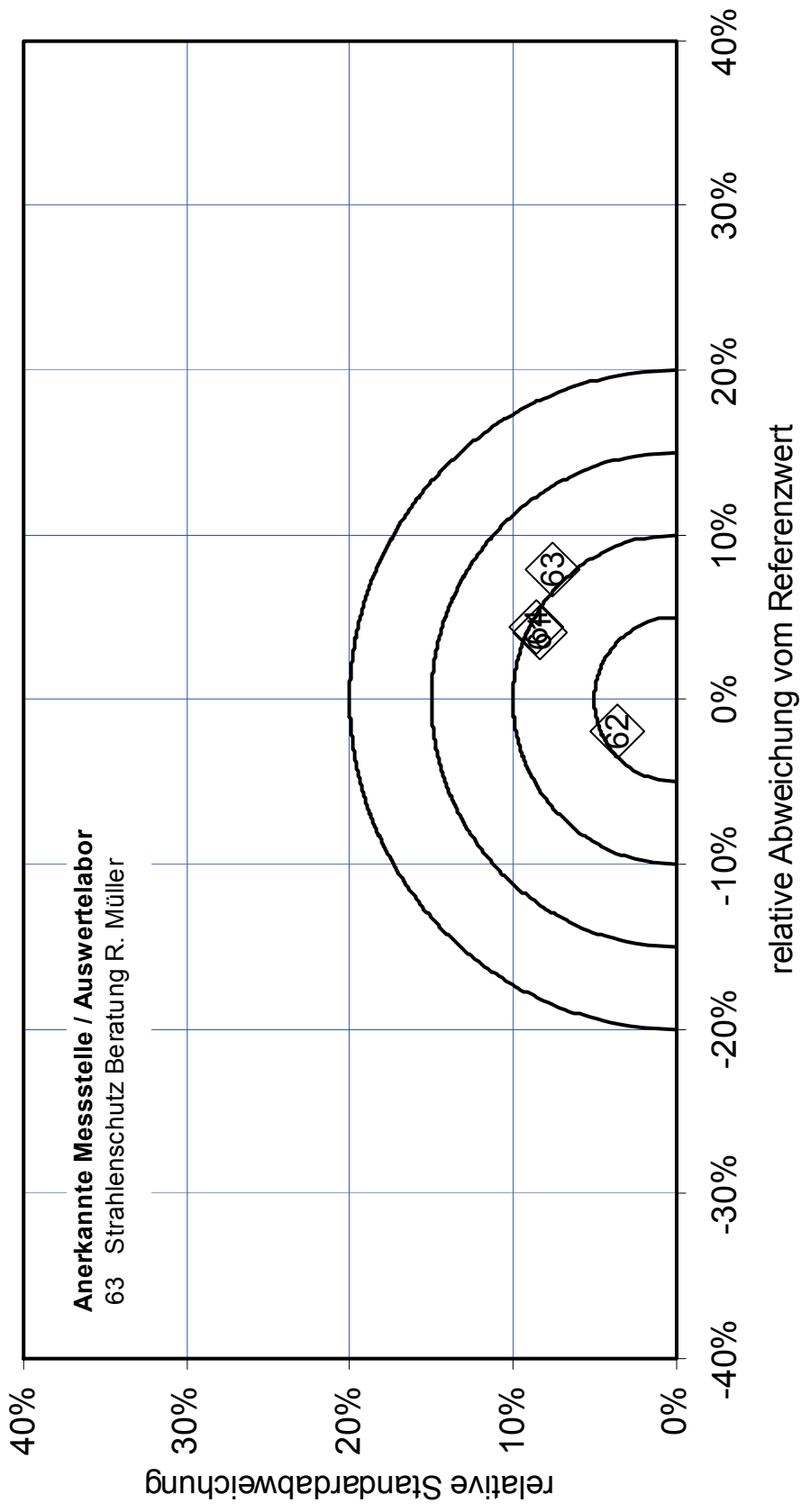


¹.Schwarz: LST; Rot: LLT; Blau: SLT

Figur 11: Vergleichsmessung 2010 - Übersicht der Messstellen mit Kernspurdetektoren



Figur 12: Vergleichsmessung 2010 - Übersicht der Messstellen mit elektronischen Radondosimetern



PAUL SCHERRER INSTITUT



Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI, Switzerland
Tel. +41 (0)56 310 21 11, Fax +41 (0)56 310 21 99
www.psi.ch