

Die Vergleichsmessung 2002 für Radongasmessgeräte am PSI

Gernot Butterweck und Christoph Schuler

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

Juli 2002

Zusammenfassung

Kandidaten für diese vom 7. bis 18. März 2002 durchgeführte Vergleichsmessung waren Firmen, Institutionen oder Privatpersonen, welche die Anerkennung des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) als Radonmessstelle besitzen und deshalb nachweisen müssen, dass die geforderte Rückverfolgbarkeit der Messresultate auf national oder international anerkannte Normale gewährleistet ist. Dem Aufruf des BAG zur Teilnahme folgten neben 11 anerkannten vier weitere Messstellen. Sechs verschiedene Detektor- oder Messgerätearten waren vertreten. Neben Kernspurdetektoren wurden bei den passiven Systemen Elektret-Ionisationskammern eingesetzt, bei den Messgeräten nahmen Ionisationskammern, Szintillationskammern und nach dem Prinzip der elektrostatischen Abscheidung arbeitende Geräte teil. Die Detektoren wurden einer Exposition von 700 kBqhm^{-3} bei einer durchschnittlichen Radonaktivitätskonzentration von 2700 Bqm^{-3} ausgesetzt.

Zudem wurden fünf Detektoren einer anerkannten Messstelle in Rahmen eines Blindtests durch das BAG beschafft. Von diesen Detektoren wurden zwei wie oben beschrieben exponiert, zwei erhielten eine niedrigere Exposition von 380 kBqhm^{-3} bei gleicher durchschnittlicher Konzentration und einer wurde als Transportdetektor eingesetzt. Die Resultate dieser Detektoren wichen deutlich signifikanter vom Sollwert ab und zeigten auch eine höhere Streuung als die von der gleichen Messstelle für die Vergleichsmessung bereitgestellten Detektoren. Wie in den Vergleichsmessungen 1998, 1999 und 2000 wurden während der gesamten diesjährigen Vergleichsmessung kontinuierlich Aerosolpartikel mittels brennender Kerzen erzeugt, um den Gleichgewichtsfaktor F zwischen Radonzerfallsprodukten und Radongas in einen für Innenraumluf typischen Wert zu heben. Dennoch zeigten die Messresultate offener Kernspurdetektoren eine deutliche Differenz zum Sollwert.

Gleichzeitig wurde die relative Luftfeuchte während der Vergleichsmessung auf Werte um 70% angehoben. Wie schon in der Vergangenheit beobachtet, trat bei einer Elektret-Detektoren verwendenden Messstelle ein als Ausreisser zu klassifizierendes Messresultat auf, welches vermutlich durch Selbstenladung des Elektrets über dessen Oberfläche erzeugt wurde.

Abstract

Fifteen radon measurement services participated in the 2002 Radon Intercomparison Exercise performed at the Reference Laboratory for Radon Gas Activity Concentration Measurements at Paul Scherrer Institut (PSI) during March 7th to 18th, 2002. 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 traceability to national or international standards. Radon gas detectors (etched-track and electret ionisation chambers) and instruments (ionisation chambers, scintillation cells and electrostatic precipitation) were exposed in the PSI Radon Chamber in a reference atmosphere with an average radon gas concentration of 2700 Bqm⁻³ leading to a radon gas exposure of 700 kBqhm⁻³.

Additional five 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 as described above, two had an exposure of 380 kBqhm⁻³ at an identical average radon concentration 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.

Similar to the intercomparison exercises of 1998, 1999 and 2000 aerosol particles were generated continuously during the intercomparison with a burning candle to increase the equilibrium factor F between radon progeny and radon gas to values observed under living conditions. Nevertheless, open etched-track detectors showed a significant deviation to the target value.

The relative air humidity in the radon chamber during the intercomparison was 70% due to water vapour production by the burning candles. As was observed in the past, one electret detector showed a result much higher than the target radon concentration. The cause may be a discharge across the surface of the electret due to the high humidity.

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 Radonkammer	2
3.4 Aerosolbedingungen in der Radonkammer	2
3.5 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 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 2002	8
Tabelle 3: Expositionsparameter in der Radonkammer	9
Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung zu den Resultaten der Radongas-Referenzmessungen in Bqm^{-3}	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: Vergleichsmessung 2002 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Radonkammer.....	17
Figur 2: Vergleichsmessung 2002 - Radonkonzentration in der Kammer.....	18
Figur 3: Vergleichsmessung 2002 - Resultate Elektret-Ionisationskammern...	19
Figur 4: Vergleichsmessung 2002 - Resultate Kernspurdetektoren.....	20
Figur 5: Vergleichsmessung 2002 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern.	21
Figur 6: Vergleichsmessung 2002 - Mittelwerte Kernspurdetektoren	22
Figur 7: Vergleichsmessung 2002 - Resultate Messgeräte	23
Figur 8: Vergleichsmessung 2002 - Übersicht der anerkannten Messstellen mit Elektret-Ionisationskammern.....	24
Figur 9: Vergleichsmessung 2002 - Übersicht der anerkannten Messstellen mit Kernspurdetektoren.....	25

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 Rückverfolgbarkeit der Messsysteme, welche die vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) anerkannten Messstellen verwenden, auf nationale und internationale Normale zu überprüfen.

Die Vergleichsmessung 2002 für Radongasdetektoren und -messgeräte in der Radonkammer des Referenzlabors fand vom 7. bis 18. März statt. Es beteiligten sich 15 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen (Tabelle 1) mit total 114 Detektoren und 6 Messgeräten.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Ergebnisse dieser Vergleichsmessung.

2 REFERENZ-MESSINSTRUMENTE

Als Referenzmessinstrumente zur punktwisen Bestimmung der Radongas-Aktivitätskonzentration in der Radonkammer werden Szintillationszellen (Lucaszellen) verwendet (Model 300A, Pylon Electronic Development, Ottawa (CAN)). Eine solche Zelle verbunden mit einem Szintillationszähler bildet ein sogenanntes Transfernormal I. Für die automatisierte Probenahme der Radonkammer-Atmosphäre kommen am PSI-Referenzlabor drei Transfernormale I zum Einsatz. Für die Punktmessung der Radongas-Konzentration mit diesen Transfernormalen wird eine 20-minütige Füllung der Szintillationszelle eines Transfernormals zeitlich versetzt im Abstandszyklus 100, 100, 120, 100, 100, 120,... Minuten vorgenommen. Auf diese Weise resultierten für die Vergleichsmessung 2002 total 148 Punktmessungen.

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

2.1 Kalibrierung der Referenz-Messinstrumente für Radongas

Um die Rückverfolgbarkeit der Referenzatmosphäre in der Radonkammer während der Vergleichsmessung 2002 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 Radonkammer 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 A997 gelagert. Die Vorbereitung für die Exposition (Registrierung der Detektornummer und Kennzeichnung der Platzierungsstelle auf dem Tisch in der Radonkammer während der Exposition) erfolgte in den Räumen A997 und 104. Für beide Räume erscheinen in Tabelle 2 die Daten von Radonkonzentrations-, Temperatur- und Feuchtemessungen. 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 Radonkammer

Tabelle 3 führt die Ergebnisse der Messungen der Umweltparameter in der Radonkammer während der Exposition auf. Figur 1 zeigt den Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf während der Exposition.

3.4 Aerosolbedingungen in der Radonkammer

Wie bei den vergangenen Vergleichsmessungen (Schuler und Butterweck-Dempewolf 1998, Schuler und Butterweck-Dempewolf 1999, Schuler und Butterweck 2000, Butterweck und Schuler 2001) wurden auch bei dieser Vergleichsmessung Detektoren vom Typ "Kernspurdetektor offen" (siehe Anhang 2 des BAG-Gesuchs zur Anerkennung von Radongas-Messstellen) eingesetzt. Diese Detektoren messen die Radonkonzentration nur für einen eingeschränkten Bereich der Partikelkonzentration korrekt. Wie in den Vergleichsmessungen 1998, 1999 und 2000 wurden während der gesamten diesjährigen Vergleichsmessung kontinuierlich Aerosolpartikel mittels brennender Kerzen erzeugt, um den Gleichgewichtsfaktor F zwischen Radonzerfallsprodukten und Radongas in einen für Innenraumluft typischen Wert zu heben (Porstendörfer 1994).

3.5 Resultate der Radongas-Referenzmessungen

Der Referenzwert für die Radongas-Konzentration in der Radonkammer wäh-

rend der Vergleichsmessung 2002 (Tabelle 3) basiert auf dem gewichteten Durchschnittswert von 148 Punktbestimmungen mit drei Transfernormalen 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 148 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 15 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 sind in Tabelle 5 aufgeführt. Gemäss Auflage 7 der Verfügung für die Anerkennung einer Radongas-Messstelle durch das BAG enthält Tabelle 5 auch die Namen der Messstellen, welche zum Zeitpunkt der Teilnahme an der Vergleichsmessung vom BAG anerkannt waren, sowie Produkt und Hersteller des Messsystems, für das die Anerkennung Gültigkeit hat.

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 und 4 sind die Einzelverhältniswerte 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% Linien eingetragen ($\pm 3\%$ für den 2σ -Bereich der Unsicherheit des Referenzwertes [siehe Tabelle 4] plus $\pm 15\%$).

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 heran, deren Wurzel weniger als 20% betragen soll. In einem Dia-

ogramm, 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.

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

In dem Diagramm der Einzelwerte (Figur 3) wurde das mit 7900 Bq m^{-3} deutlich ausserhalb der normalen Streuung liegende Resultat eines Detektors nicht eingezeichnet. Auch der aus Mittelwert und Standardabweichung zusammengesetzte Kennwert des Teilnehmers liegt aufgrund dieses Detektors ausserhalb der für Figur 8 gewählten Skalierung. Das Bewertungskriterium des BAG (Figur 8) ist für alle anderen Teilnehmer erfüllt.

6.2.2 Kernspurdetektoren

Bei den Einzelmessresultaten der Kernspurdetektoren (Figur 4) liegen die Resultate der offenen Kernspurdetektoren (Code 36) und einer nicht anerkannten Messstelle an der unteren Hilfslinie (Code 33). Von den verbleibenden Messstellen liegt nur das Resultat eines einzigen Detektors ausserhalb der Grenzen von $\pm 18\%$ (Code 32).

Zudem wurden fünf Detektoren einer anerkannten Messstelle in Rahmen eines Blindtests durch das BAG beschafft (Code 39). Zwei dieser Detektoren wurden einer Exposition von 700 kBqhm^{-3} , zwei weitere Detektoren erhielten eine niedrigere Exposition von 380 kBqhm^{-3} bei gleicher durchschnittlicher Konzentration und der fünfte Detektor wurde als Transportdetektor eingesetzt. Das Ergebnis eines der exponierten Detektoren liegt mit einem Verhältnis von 1.55 zum Sollwert ausserhalb der für Figur 4 gewählten Skalierung.

Obwohl auch während der gesamten diesjährigen Vergleichsmessung kontinuierlich Aerosolpartikel mittels brennender Kerzen erzeugt wurden, um den Gleichgewichtsfaktor F zwischen Radonzerfallsprodukten und Radongas zu erhöhen, zeigten die Messresultate offener Kernspurdetektoren (Code 36) eine deutliche Differenz zum Sollwert (Figur 4 und Figur 6).

Das Bewertungskriterium des BAG (Figur 9) ist für alle anderen Teilnehmer erfüllt (Abschnitt 5).

6.2.3 Messgeräte

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

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Auch nach der Vergleichsmessung 2002 lässt sich konstatieren, dass die Radon-gas-Messtechnik in der Schweiz bezüglich Rückverfolgbarkeit ihren hohen Qualitätsstandard beibehalten hat. Die pro Messstelle gemittelten Messresultate aller zum Zeitpunkt der Vergleichsmessung vom BAG anerkannten Messstellen (Tabelle 5) erfüllen weitgehend das geforderte Rückverfolgbarkeitskriterium auf national und international anerkannte Normale.

Die Resultate der diesjährigen Vergleichsmessung bestätigen bereits in der Vergangenheit beobachtete Effekte:

Wird die Vergleichsmessung als Blindtest durchgeführt, kann sich das Resultat einzelner Messstellen verschlechtern.

Werden Elektret-Detektoren hohen Luftfeuchtigkeiten ausgesetzt, können Ausreisser zu deutlich erhöhten Messresultaten auftreten.

Aufgrund der zusätzlichen Einflussgrösse Aerosolkonzentration zeigen offene Kernspurdetektoren grössere Abweichungen zum Sollwert.

8 LITERATUR

EAM Eidgenössisches Amt für Messwesen

Weisungen über die Rückverfolgbarkeit (Traceability) von Radongaskonzentrationsmessungen

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

Porstendörfer, J.

Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air
J. Aerosol Sci. 25(2):219-263; 1994.

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.

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer

Altrac Radon-Messtechnik
Hr. Dr. A. Guhr
Dorothea-Viehmann-Str. 28
D-12524 **Berlin**

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

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

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

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

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

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

Laboratorio Cantonale Ct. Ticino
Hr. Dr. S. Montorfani
Via Giuseppe Buffi 6
6904 **Lugano**

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

ökoscience Lufthygiene AG
Fr. Dr. F. Siegrist
Quellenstr. 31
8031 **Zürich**

GSF Forschungszentrum
Hr. Dr. Th. Haninger
Auswertungsstelle Radon-Messservice
D-85758 **Oberschleissheim**

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

G+S applicazioni SA
Hr. F. Lotti
Via Brunari 3
6500 **Bellinzona**

Uehlinger-Pfiffner AG
Hr. A. Sutter
Picardiestr. 3
5040 **Schöftland**

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

Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2002**Dauer der Expositionsperiode:**

	kurz exponiert	normal exponiert
Ende der Vergleichsmessung	7.3.2002 10:24	7.3.2002 10:24
Start der Vergleichsmessung	13.3.2002 8:30	13.3.2002 8:30
Expositionsdauer in h	142.1	262.5

Dauer der Ausgasperiode:

Ende Ausgasung	19.03.02 15:11
Start Ausgasung	18.03.02 09:03
Ausgasdauer in h	30.1

Messungen der Umweltparameter in den Vorbereitungsräumen A997 und 104:

Ort	Start	Ende	Rn-Konz. [Bqm ⁻³]	Temp. [°C]	Feuchte [%RH]	Bem.
A997	12.2.02 10:50	6.3.02 10:20	35 ± 19	21	32	Lagerung
104	6.3.02 10:20	6.3.02 16:00	39 ± 19	23	31	Vorbereitung
A997	18.3.02 12:00	19.3.02 14:00	14 ± 7	19	48	Ausgasung

Messungen γ -Dosisleistungen mit Automess AD4:

Ort	Start	Ende	Dauer [h]	D [nSv]	DL [nSv/h]	Bem.
A997	12.2.02 13:08	4.3.02 9:00	475.9	27000	57	Lagerung/ Vorbereitung
Rn-Kammer	7.3.02 10:24	18.3.02 8:56	262.6	61900	236	Exposition
A997	18.3.02 9:03	19.3.02 15:11	30.1	1610	53	Ausgasung

LC-Füllungen:

Konsekutive 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 Radonkammer

Rn-Konzentration [Bqm ⁻³]	Rn- Exposition [kBqhm ⁻³]	Temperatur [°C]	Relative Feuchte [%]	γ-Dosis- leistung [nSv/h]
Referenzwert 1: 07.03.02 10:24 - 18.03.02 08:56 (Durchschnitt von 148 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)				
2665 ± 77	700 ± 20	19 ± 1	69 ± 11	236
Referenzwert 2: 07.03.02 10:24 - 13.03.02 08:30 (Durchschnitt von 80 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)				
2656 ± 78	377 ± 11	19 ± 1	69 ± 11	236

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

Referenzwert 1: 07.03.02 10:24 - 18.03.02 08:56			
Messung mit Transfornormal:	TN #515	TN #539	TN #576
Durchschnitt der Punktbestimmungen:	2670	2662	2663
„Statistische“ Unsicherheit (u _A):	6	6	6
„Systematische“ Unsicherheit (u _B):	30	30	30
Gesamtunsicherheit (u _C):	30	31	30
Gewichteter Durchschnittswert:	2665		
Gesamtunsicherheit des gew. DW			
(95%-Vertrauensintervall):	77		
Gesamtunsicherheit in %:	2.9		
Referenzwert 2: 07.03.02 10:24 - 13.03.02 08:30			
Messung mit Transfornormal:	TN #515	TN #539	TN #576
Durchschnitt der Punktbestimmungen:	2653	2657	2658
„Statistische“ Unsicherheit (u _A):	10	12	11
„Systematische“ Unsicherheit (u _B):	30	30	30
Gesamtunsicherheit (u _C):	32	32	32
Gewichteter Durchschnittswert:	2656		
Gesamtunsicherheit des gew. DW			
(95%-Vertrauensintervall):	78		
Gesamtunsicherheit in %:	2.9		

Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	BAG-anerkannte Messstelle
<i>Passive Detektoren</i>			
1	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Institut de Radiophysique Appliquée
2	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Kantonales Laboratorium Kt. Thurgau
3	Elektret-Ionisationskammer	LST E-Perm (Rad Elec)	Institut de Radiophysique Appliquée
4	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Geotest AG
5	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Uehlinger-Pfiffner AG
6	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Laboratorio Cantonale Ct. Ticino
7	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Kantonales Laboratorium Kt. Luzern
8	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Ch. Böhm-Bläuer
31	Kernspurdetektor		
32	Kernspurdetektor	Radtrak (Landauer)	Dragan Consultants Int
33	Kernspurdetektor		
34	Kernspurdetektor	Typ B97 (Altrac)	Ökoscience Lufthygiene AG
35	Kernspurdetektor	REM AT-100 (Radiation Env. Monitoring)	Im Rank Engineering
36	Kernspurdetektor offen	Kodalpha (Dosirad)	G+S applicazioni SA
37	Kernspurdetektor	Alpha Track (Gammadata Mättechnik)	Uehlinger-Pfiffner AG

Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente (Fortsetzung)

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	BAG-anerkannte Messstelle
38	Kernspurdetektor		
39	Kernspurdetektor		
<i>Messgeräte</i>			
61	Ionisationskammer		
62	Ionisationskammer		
63	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor		
64	Ionisationskammer		
65	Szintillationszelle		
66	Ionisationskammer		

Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
1	1	2502	0.939	1.050	0.097
	2	3214	1.206		
	3	2707	1.016		
	4	2793	1.048		
	5	2776	1.042		
2	1	2642	0.991	0.938	0.096
	2	2310	0.867		
	3	2833	1.063		
	4	2517	0.944		
	5	2192	0.822		
3	1	2844	1.067	1.079	0.049
	2	2993	1.123		
	3	3023	1.134		
	4	2716	1.019		
	5	2801	1.051		
4	1	2788	1.046	1.048	0.057
	2	2654	0.996		
	3	2991	1.122		
	4	2639	0.990		
	5	2893	1.085		
5	1	2713	1.018	1.090	0.129
	2	2958	1.110		
	3	2579	0.968		
	4	2801	1.051		
	5	3469	1.302		

Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern (Fortsetzung)

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
6	1	2712	1.018	1.025	0.007
	2	2719	1.020		
	3	2732	1.025		
	4	2736	1.027		
	5	2761	1.036		
7	1	2774	1.041	1.078	0.077
	2	2952	1.108		
	3	2888	1.084		
	4	2603	0.977		
	5	3152	1.183		
8	1	7863	2.950	1.421	0.855
	2	2649	0.994		
	3	2808	1.054		
	4	2793	1.048		
	5	2820	1.058		

Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren

Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBq h m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
31	1	635	0.908	0.963	0.056
	2	710	1.015		
	3	713	1.019		
	4	681	0.973		
	5	631	0.902		
32	1	689	0.984	0.901	0.065
	2	628	0.898		
	3	646	0.923		
	4	626	0.894		
	5	564	0.805		
33	1	593	0.848	0.844	0.061
	2	612	0.875		
	3	523	0.747		
	4	585	0.836		
	5	638	0.912		
34	1	726	1.038	0.988	0.042
	2	716	1.023		
	3	665	0.950		
	4	662	0.946		
	5	688	0.983		
35	1	703	1.005	1.005	0.007
	2	708	1.012		
	3	703	1.005		
	4	695	0.993		
	5	706	1.009		

Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren (Fortsetzung)

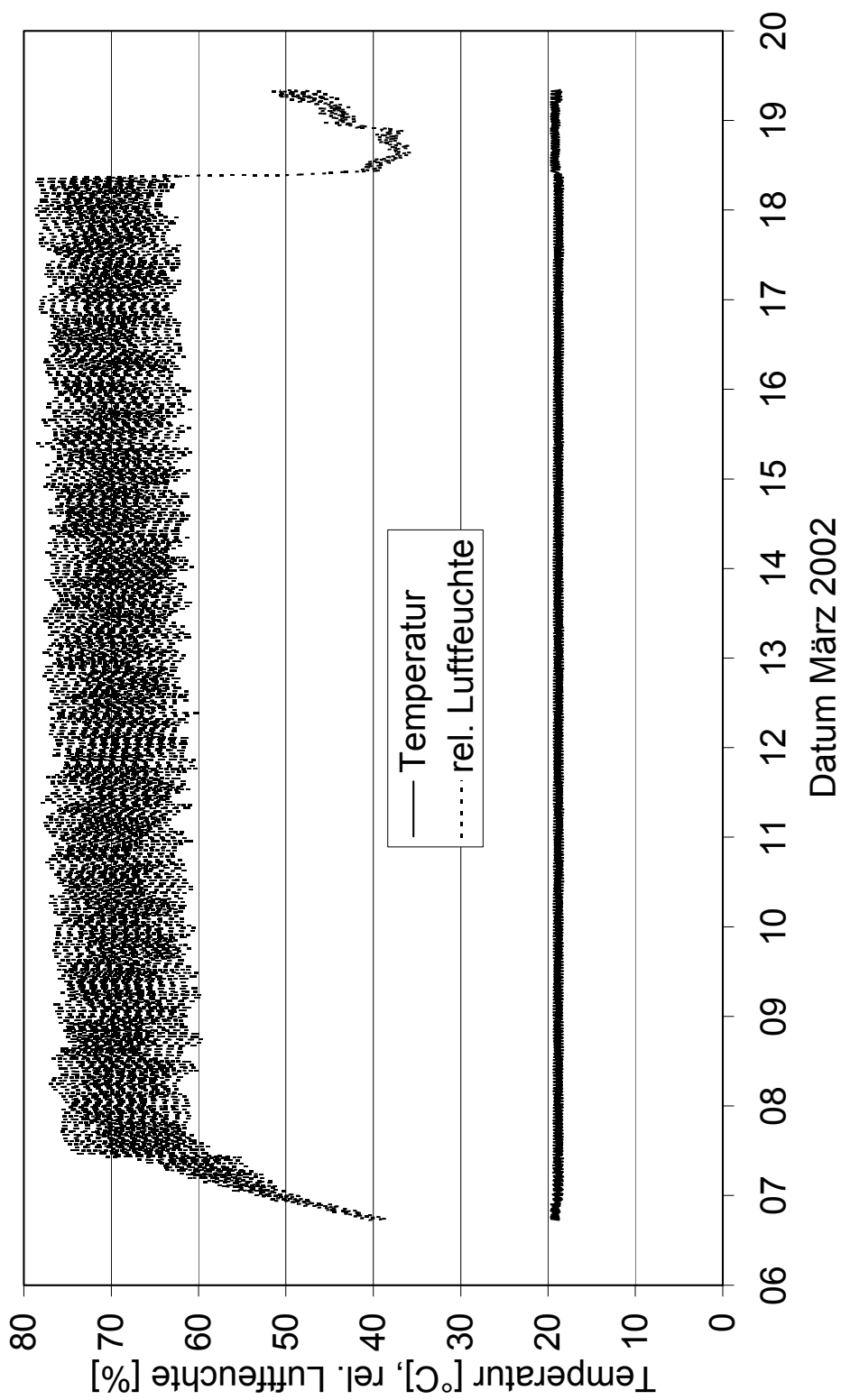
Teilnehmer- code	Detektor- code	Messwert [kBq h m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
36	1	574	0.820	0.803	0.029
	2	545	0.779		
	3	589	0.842		
	4	539	0.770		
	5	561	0.802		
37	1	665	0.950	0.964	0.026
	2	655	0.936		
	3	685	0.979		
	4	700	1.000		
	5	666	0.952		
38	1	705	1.008	0.971	0.033
	2	673	0.962		
	3	661	0.945		
39	1	375	0.995	1.099	0.303
	2	1082	1.546		
	3	684	0.978		
	4	331	0.878		

Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte

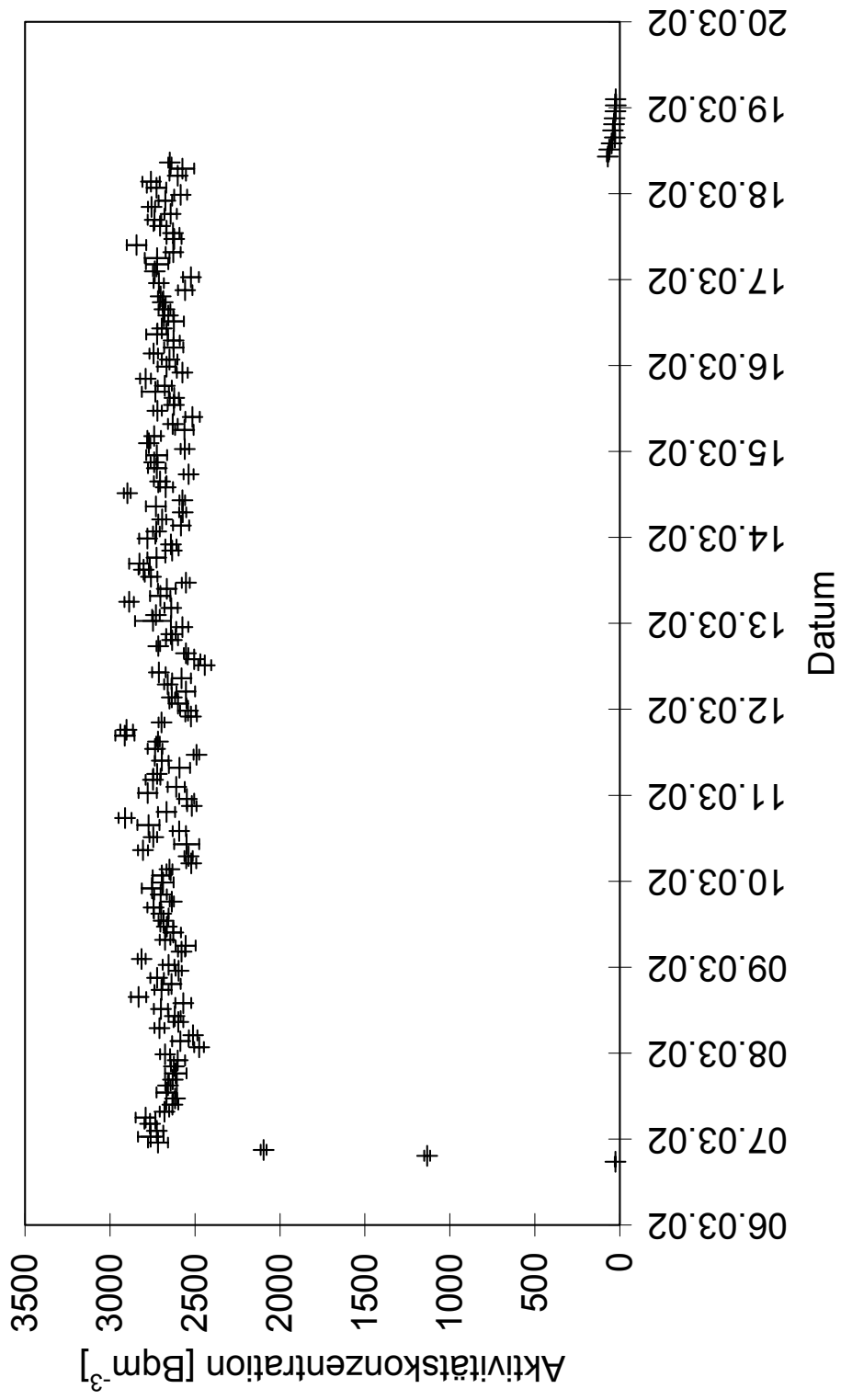
Teilnehmer- code	Konzentrations- mittelwert [Bq m ⁻³]	Standard- abweichung [Bq m ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Standard- abweichung ¹
61	2739	82	1.028	0.030
62	2679	81	1.005	0.030
63	2660	65	0.998	0.050
64	2689	86	1.009	0.030
65	2600	148	0.975	0.060
66	2711	81	1.017	0.030

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

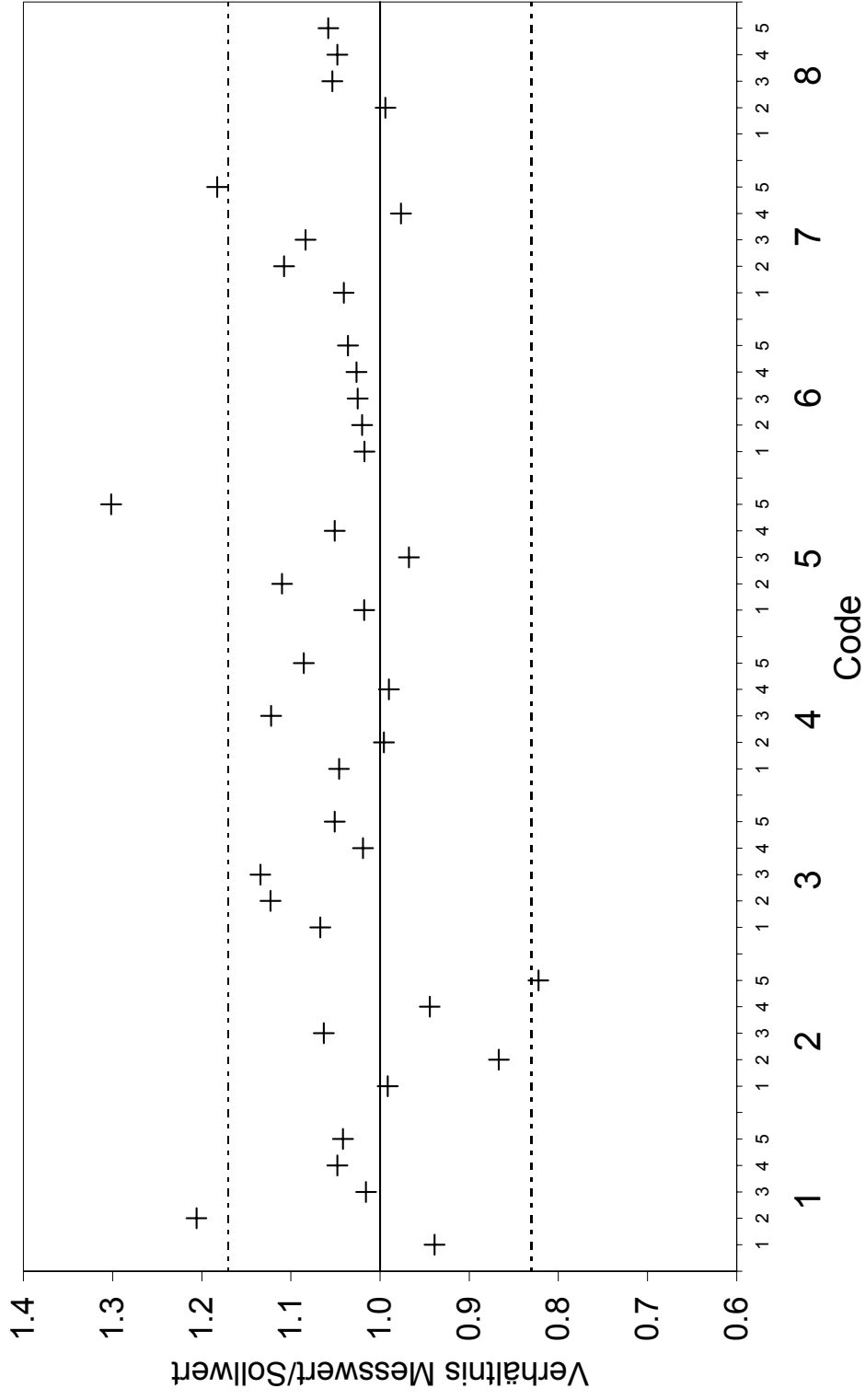
Figur 1: Vergleichsmessung 2002 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Radonkammer



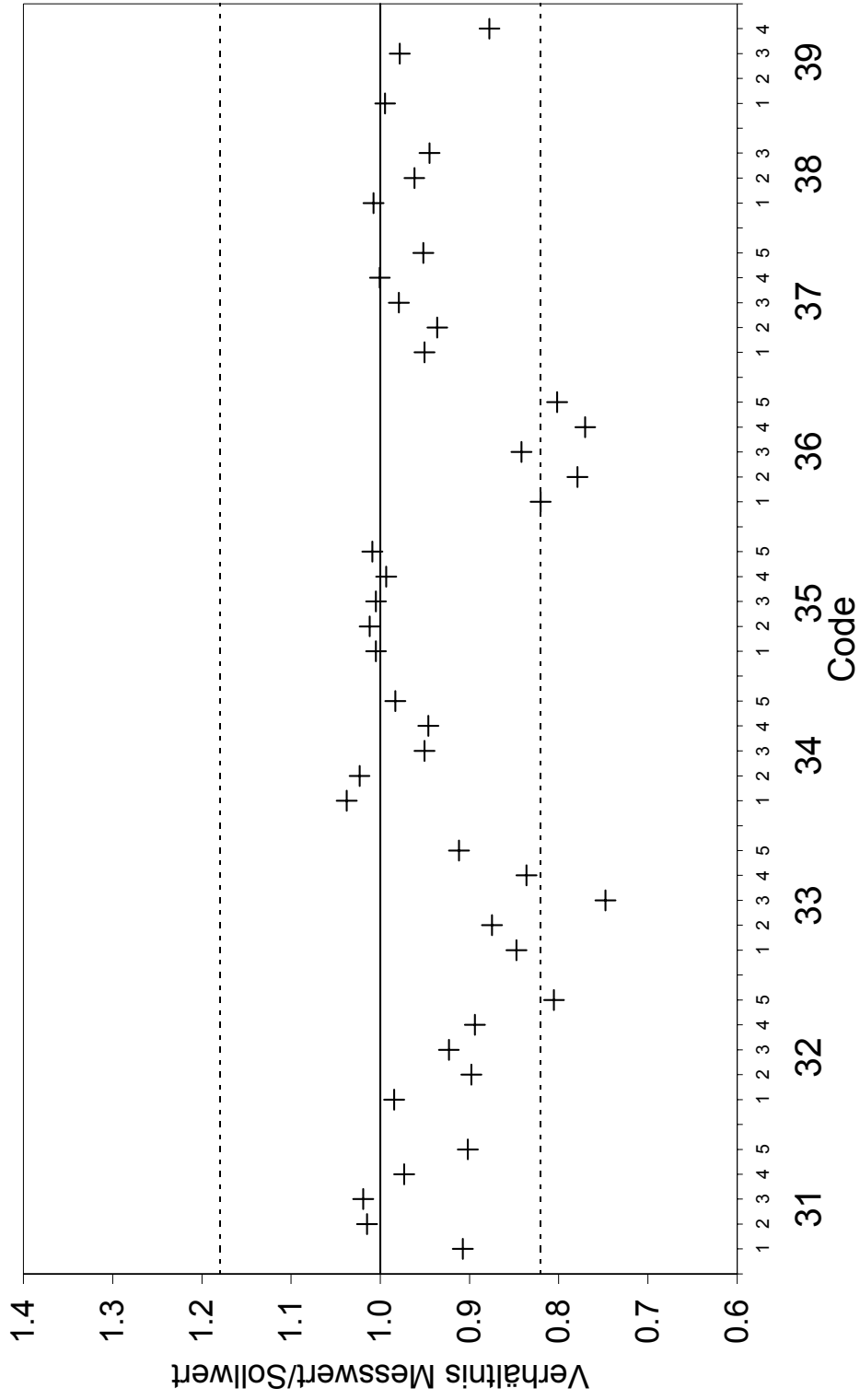
Figur 2: Vergleichsmessung 2002 - Radonkonzentration in der Kammer



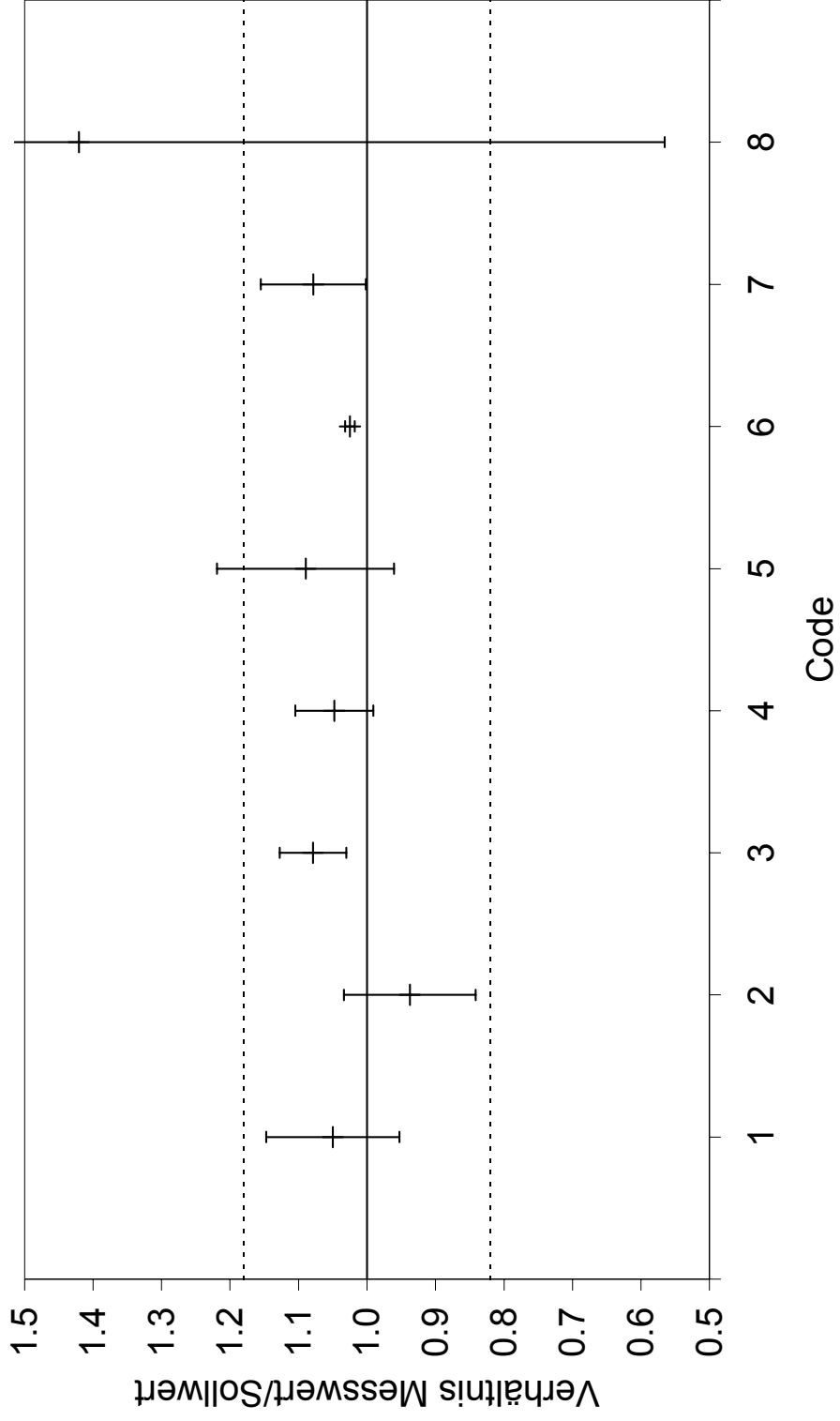
Figur 3: Vergleichsmessung 2002 - Resultate Elektret-Ionisationskammern



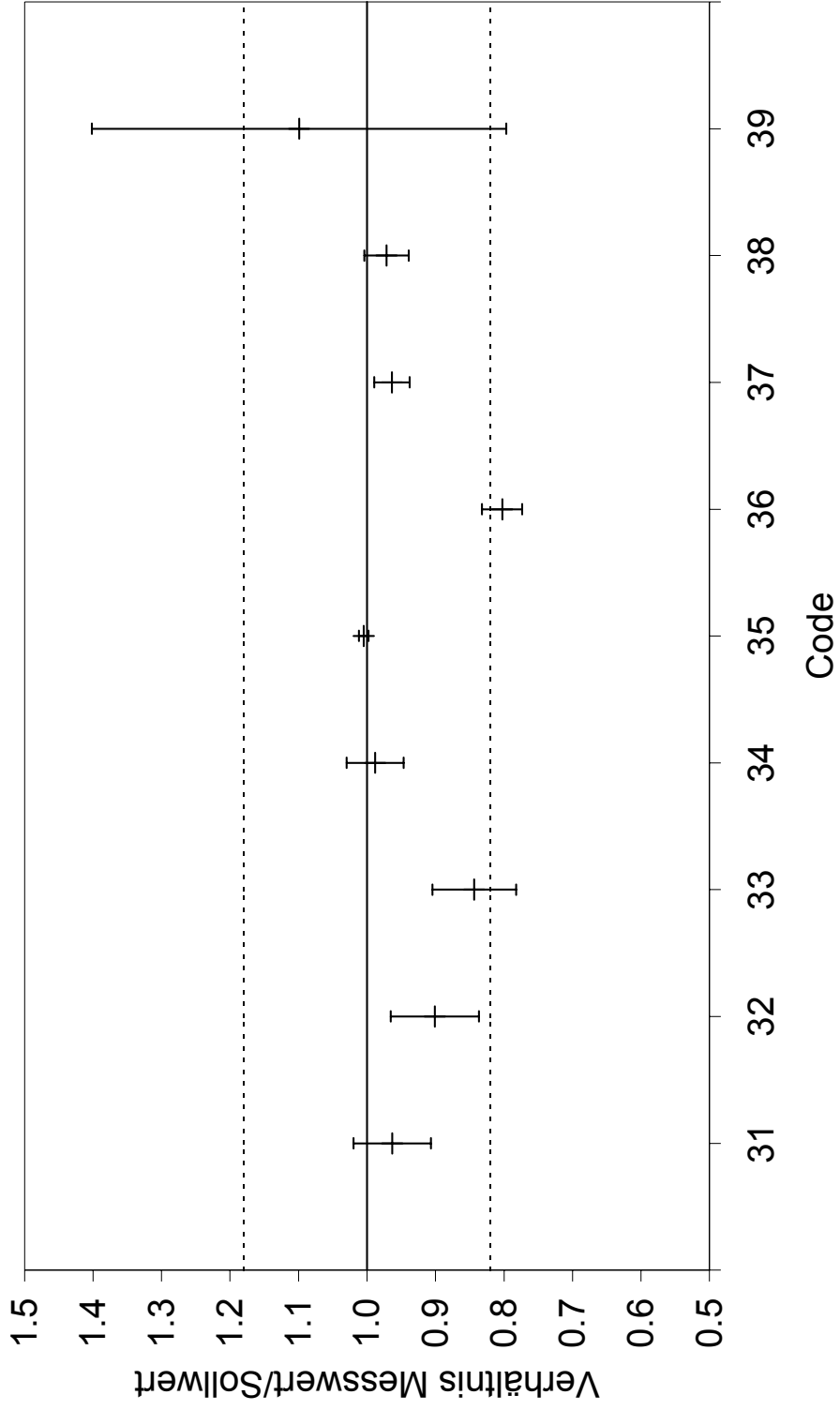
Figur 4: Vergleichsmessung 2002 - Resultate Kernspurdetektoren

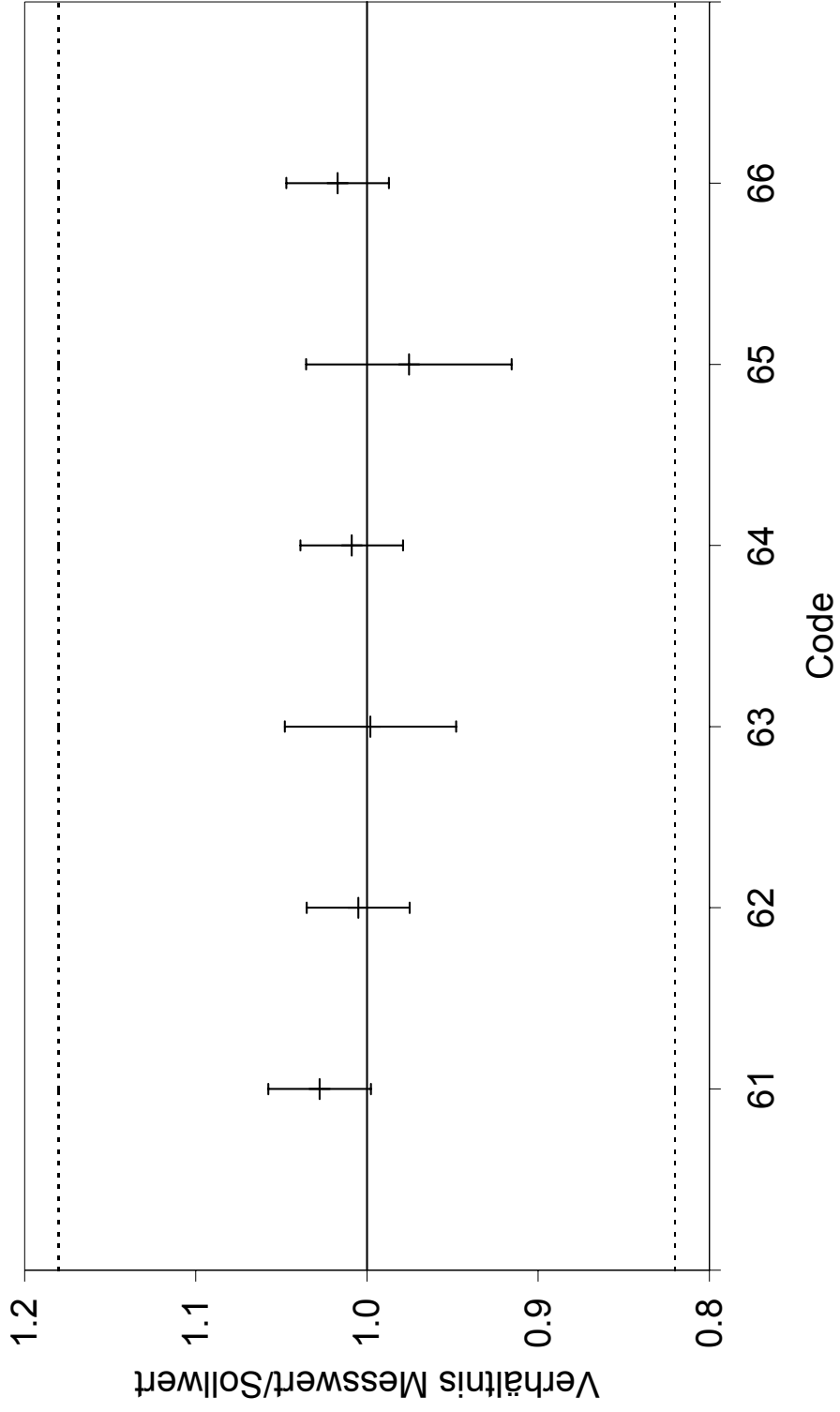


Figur 5: Vergleichsmessung 2002 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern

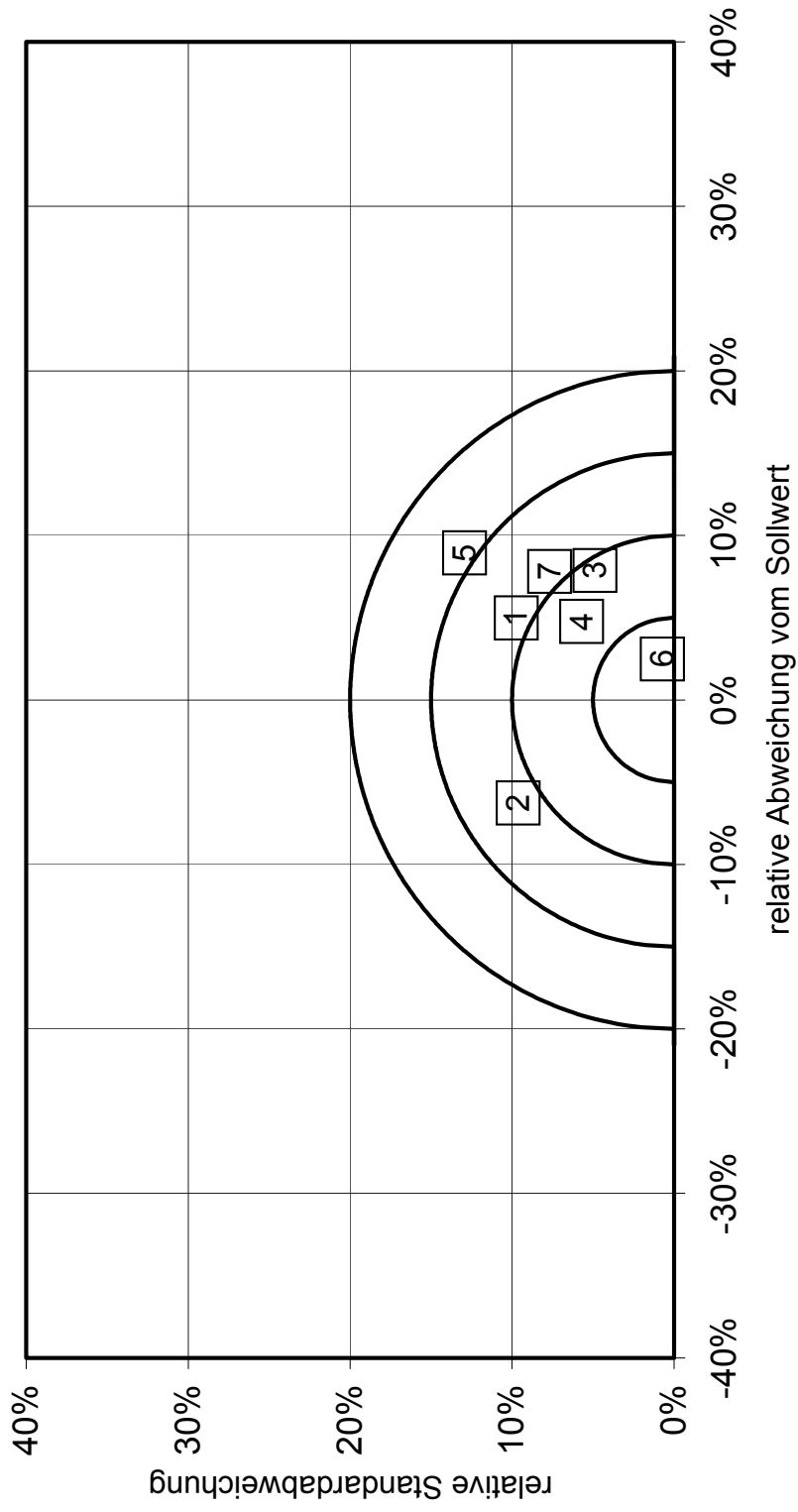


Figur 6: Vergleichsmessung 2002 - Mittelwerte Kernspurdetektoren



Figur 7: Vergleichsmessung 2002 - Resultate Messgeräte

Figur 8: Vergleichsmessung 2002 - Übersicht der anerkannten Messstellen mit Elektret-Ionisationskammern



Figur 9: Vergleichsmessung 2002 - Übersicht der anerkannten Messstellen mit Kernspurdetektoren

