

Die Vergleichsmessung 1997 für Radongasmessgeräte am PSI

Christoph Schuler und Gernot Butterweck-Dempewolf

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

Mai 1998

Zusammenfassung

Vom 14. bis 20. Nov. 1997 führte das Referenzlabor für Radongas-Konzentrationsmessungen des Paul Scherrer Instituts die Vergleichsmessung 1997 für Radongasdetektoren und -messgeräte durch. An der Exposition in einer Referenzatmosphäre der PSI-Radonkammer mit einer mittleren Radongaskonzentration von 3860 Bqm^{-3} beteiligten sich 15 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen mit total 154 Detektoren und drei Messgeräten.

Die Mehrheit der Teilnehmer waren vom Bundesamt für Gesundheit anerkannte Messstellen für Radongasmessungen in Häusern. Für die Anerkennung von Messstellen wird verlangt, dass die Messwerte bei einer PSI-Vergleichsmessung nicht mehr als 15% vom Referenzwert abweichen (Rückführbarkeitskriterium) und dass die Streuung der Einzelwerte des Mittelwerts von fünf Detektorresultaten nicht mehr als 15% beträgt (Reproduzierbarkeitskriterium). Die gemittelten Resultate von Elektret-Ionisationskammern, Kernspurdetektoren und Messgeräten erfüllten bis auf drei Ausnahmen die geforderten Kriterien.

Abstract

During Nov 14th to 20th, 1997, the Reference Laboratory for Radon Gas Activity Concentration Measurements at Paul Scherrer Institut performed the 1997 Radon Intercomparison Exercise. Radon gas detectors and instruments were exposed in the PSI Radon Chamber during seven days in a reference atmosphere with an average radon gas concentration of 3860 Bqm⁻³.

The majority of the participants at this intercomparison were Swiss Radon Gas Measurement Laboratories acknowledged by the Swiss Federal Office for Health. Criteria for this acknowledgement are a deviation of the measurement results to the reference value below 15% (traceability criterion) and a standard deviation of the mean of five detector measurement results below 15% (reproducibility criterion). With the exception of three participants, the results of electret ionisation chambers, track etch detectors and measuring instruments fulfilled the demanded traceability and reproducibility criteria.

INHALT

1 EINLEITUNG	1
2 REFERENZ-MESSINSTRUMENTE	1
2.1 Kalibrierung der Referenz-Messinstrumente für Radongas.....	1
3 EXPOSITIONSPARAMETER.....	2
3.1 Dauer von Expositions- und Ausgasungsperiode	2
3.2 Umweltbedingungen in den Vorbereitungsräumen.....	2
3.3 Umweltbedingungen in der Radonkammer	2
3.4 Aerosolbedingungen in der Radonkammer	2
3.5 Resultate der Radongas-Referenzmessungen.....	3
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	5
6.2.3 Messgeräte.....	5
7 SCHLUSSFOLGERUNG	5
8 LITERATUR	6

TABELLEN

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer	7
Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 1997	8
Tabelle 3: Expositionsparameter in der Radonkammer 14.11.97 09:42 - 20.11.97 08:26	9
Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung zu den Resultaten der Radongas- Referenzmessungen in Bqm ⁻³	10
Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente	11
Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern.....	13
Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren.....	15
Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte	17

FIGUREN

Figur 1: Vergleichsmessung 1997 - Lufttemperatur in der Radonkammer	18
Figur 2: Vergleichsmessung 1997 - Relative Feuchte in der Radonkammer....	19
Figur 3: Vergleichsmessung 1997 - Radonkonzentration in der Kammer	20
Figur 4: Vergleichsmessung 1997 - Resultate Elektret-Ionisationskammern....	21
Figur 5: Vergleichsmessung 1997 - Resultate Kernspurdetektoren	22
Figur 6: Vergleichsmessung 1997 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern .	23
Figur 7: Vergleichsmessung 1997 - Mittelwerte Kernspurdetektoren	24
Figur 8: Vergleichsmessung 1997 - Resultate Messgeräte	25

1 EINLEITUNG

Gemäss den vom Eidgenössischen Amt für Messwesen (EAM) am 6. Mai 1996 erlassenen „Weisungen über die Rückführbarkeit (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 Rückführbarkeit der Messsysteme, welche die vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) anerkannten Messstellen verwenden, auf nationale und internationale Normale zu überprüfen.

Die Vergleichsmessung 1997 für Radongasdetektoren und -messgeräte in der Radonkammer des Referenzlabors fand vom 14. bis 20. Nov. statt. Es beteiligten sich 15 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen (Tab. 1) mit total 154 Detektoren und 3 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 300 resp. 300A, Pylon Electronic Development, Ottawa (CAN)). Eine solche Zelle verbunden mit einem Szintillationszähler bildet ein sogenanntes Transfornormal I. Für die automatisierte Probenahme der Radonkammer-Atmosphäre kommen am PSI-Referenzlabor drei Transfornormale I zum Einsatz. Für die Punktmessung der Radongas-Konzentration mit diesen Transfornormalen I wird eine 20-minütige Füllung der Szintillationszelle eines Transfornormalen I zeitlich versetzt im Abstandszyklus 100, 100, 120, 100, 100, 120,... Minuten vorgenommen. Auf diese Weise resultierten für die Vergleichsmessung 1997 total 81 Punktmessungen.

Der Radongas-Pegel in der Radonkammer wird zusätzlich mit einer Durchflussionisationskammer registriert (ATMOS-12 DPX, Gammadata Mättechnik, Uppsala (S)). Das Gerät pumpt in einem Kreislauf an die Radonkammer gekoppelt kontinuierlich ca. 1 l min^{-1} Luft durch eine Ionisationskammer mit Drahtgitter.

2.1 Kalibrierung der Referenz-Messinstrumente für Radongas

Um die Rückführbarkeit der Referenzatmosphäre in der Radonkammer während der Vergleichsmessung 1997 auf international anerkannte Normale zu gewährleisten, wurden die Szintillationszellen vorgängig mit einem Radongas-Standard des National Physical Laboratory (NPL), UK, kalibriert. Die Qualität dieser Kalibrierung wurde mit einer zweiten Kalibrierung mit einer Ra-Lösung (NIST SRM 4965) bestätigt.

Die Durchfluss-Ionisationskammer wurde indirekt über Vergleichsmessungen mit den Szintillationszellen kalibriert (Schuler 1998).

3 EXPOSITIONSPARAMETER

3.1 Dauer von Expositions- und Ausgasungsperiode

Beginn und Ende von Expositions- und Ausgasungsperiode sind in Tab. 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 Plazierungsstelle auf dem Tisch in der Radonkammer während der Exposition) erfolgte in den Räumen A997 und 104. Für beide Räume erscheinen in Tab. 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 Tab. 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 und Fig. 2 zeigen Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf während der Exposition. Die relativ hohe durchschnittliche Luftfeuchtigkeit von mehr als 70% (Fig. 2) ist damit zu erklären, dass während der ganzen Expositionsdauer in der Radonkammer eine Kerze als Aerosolgenerator abgebrannt wurde (siehe Abschnitt 3.4).

3.4 Aerosolbedingungen in der Radonkammer

Da die Vergleichsmessungen am PSI-Referenzlabor grundsätzlich für die Prüfung von Detektionssystemen ausgelegt sind, welche nur den Zerfall von Radongas registrieren, kann auf die Produktion von Aerosolen in der Radonkammer während der Exposition solcher Messsysteme verzichtet werden.

Anders stellt sich die Situation, wenn wie bei dieser Vergleichsmessung 1997 Detektoren vom Typ „Kernspurdetektor offen“ (siehe Anhang 2 des BAG-Gesuchs zur Anerkennung von Radongas-Messstellen) eingesetzt werden (Code 17 in Tabelle 5). Dieser Detektortyp zeigt bei Abwesenheit von an Aerosolen angelagerten Radonzerfallsprodukten zu tiefe Werte an. Der Grund liegt darin, dass nicht nur der Zerfall des Radongases in der Luft, sondern auch der Zerfall der in der Luft vorhandenen Radonzerfallsprodukte registriert wird und die Werkskalibrierung des Detektortyps auf das Vorhandensein dieser luftgetragenen Zerfallsprodukte ausgelegt ist. Die Erzeugung eines Kerzen-Aerosols in der Kammer hatte deshalb zum Zweck, die üblicherweise vorhandene, extrem an Zerfallsprodukten abgereicherte Atmosphäre in der Kammer durch eine mit luftgetragenen Zerfallsprodukten in genügender Anzahl zu ersetzen.

3.5 Resultate der Radongas-Referenzmessungen

Der Referenzwert für die Radongas-Konzentration in der Radonkammer während der Vergleichsmessung 1997 (Tab. 3) basiert auf dem gewichteten Durchschnittswert von 81 Punktbestimmungen mit drei TransfERNormalen I (Tab. 4), welche nach dem in Tab. 2 angegebenen Füll- und Messschema durchgeführt wurden. Aus dem Radongas-Konzentrationswert wurde der entsprechende Rn-Expositionswert abgeleitet. Als Ergänzung sind in Tab. 3 die Umweltparameter während der Exposition aufgeführt. In Fig. 3 ist der Verlauf der kontinuierlichen Radongas-Konzentrationsmessung während der Exposition dargestellt.

Die 81 Konzentrationsbestimmungen wurden nicht als Resultate von Stichproben aus einer normalverteilten Grundgesamtheit, mit denen ein Mittelwert gebildet werden kann, behandelt. Sie 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 Tab. 4. Massgebend für die Grösse der angegebenen Gesamtunsicherheiten ist die systematische Unsicherheit, welche sich aus Unsicherheiten der Kalibrierung, wie z.B. die Unsicherheit der Aktivität des verwendeten Kalibriernormals, zusammensetzt (Schuler 1998).

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 Tab. 5 aufgeführt. Gemäss Auflage 5.5 der Verfügung für die Anerkennung einer Radongas-Messstelle durch das BAG enthält Tab. 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 4 und 5 sind die Einzelverhältniswerte und in den Figuren 6, 7 und 8 die Verhältnismittelwerte sowie deren Standardabweichung pro Teilnehmercode dargestellt.

Gemäss Formular „Anerkennung als Radonmessstelle“ des BAG ist die Rückführbarkeit von Messresultaten erfüllt, wenn der Mittelwert der Detektorresultate bei Teilnahme an einer Vergleichsmessung in der PSI-Radonkammer nicht

mehr als $\pm 15\%$ vom Referenzwert abweicht. In den Figuren 4 - 8 wurden deshalb zur Illustration dieser Grenzen bei $+ 17\%$ und bei $- 17\%$ Linien eingetragen ($\pm 2\%$ für den 1σ -Bereich der Unsicherheit des Referenzwertes [siehe Tab. 4] plus $\pm 15\%$).

6 DISKUSSION DER RESULTATE DER VERGLEICHSMESSUNG

6.1 Radongas-Referenzmessungen

Fig. 3 zeigt, dass der Radongas-Konzentrationspegel in der Radonkammer während der Vergleichsmessung 1997 nicht wie eigentlich erwünscht „konstant“ gehalten werden konnte. Die starke Erhöhung des Pegels am 15.11. ist auf ein Versagen der PC-Radonkammer-Pegelsteuerung (Schuler und Butterweck 1995) zurückzuführen, welches glücklicherweise über das Wochenende entdeckt wurde.

Dem Resultat dieses Versagens der Steuerung können aber auch positive Seiten abgewonnen werden.

Zum einen hat sich gezeigt, dass die eingesetzte neue automatisierte Anlage für die Bestimmung der Radongas-Referenzkonzentration mit Szintillationszellen auch bei Bestehen starker Gradienten einwandfrei funktioniert, und zum anderen kann argumentiert werden, dass Radongasdetektoren in Häusern noch extremeren Schwankungen des Pegels ausgesetzt sein können und in ihrer Funktion als Integratoren auch in der Lage sind, diese zu erfassen.

Die Überprüfung der Kalibrierungen der verwendeten Transfornormale I (Szintillationszähler und -zelle) wurde bis 1996 durch Teilnahme des PSI-Referenzlabors an den vom Environmental Measurements Laboratory (EML), New York, durchgeführten Vergleichsmessungen (Fisenne et al. 1992a) vollzogen. Da das EML diese Vergleichsmessungen aus Kostengründen 1997 eingestellt hat, entfällt eine solche Überprüfung der Kalibrierungsqualität.

6.2 Teilnehmerresultate

6.2.1 Elektret-Ionisationskammern

Bezüglich ihrer Lage relativ zum Referenzwert zeigen die Datenpunkte der Einzelmessresultate ein ähnliches Bild wie bei der Vergleichsmessung 1996 (Fig. 5 in Schuler und Butterweck-Dempewolf 1996): Die Mehrheit der Datenpunkte liegt in Fig. 4 oberhalb der Linie bei 1, welche den Referenzwert charakterisiert. Im Gegensatz zur Vergleichsmessung 1996, wo nur 3% der Einzelmessresultate ausserhalb des $\pm 18\%$ -Bereichs lagen, liegen 27% der Einzelmessresultate dieser Vergleichsmessung ausserhalb des $\pm 17\%$ -Bereichs.

Fig. 6 zeigt, dass die Mittelwerte der Elektret-Detektorresultate das Rückführbarkeitskriterium (Abschnitt 5) erfüllen.

Die Standardabweichung des Mittelwerts kann als Mass für die Reproduzierbarkeit von Einzelmessresultaten angesehen werden (DIN 1989). Die Standardabweichung der Detektorresultate liegt mit zwischen 4% und 14% (Tab. 6) unterhalb der vom BAG verlangten 15%, d.h. die Resultate der Elektret-Ionisationskammern erfüllen das Reproduzierbarkeitskriterium.

6.2.2 Kernspurdetektoren

Bei den Codes 3, 6, 14 und 22 handelt es sich um Detektoren, welche nicht direkt von einer BAG-anerkannten Messstelle zur Teilnahme an der Vergleichsmessung eingeschickt wurden, sondern von anderer Seite von dieser vorzeitig erworben und ohne Wissen der Messstelle an das PSI gesandt wurden.

Bei den Einzelmessresultaten der Kernspurdetektoren (Fig. 5) ist die Prozentzahl der Resultate, welche ausserhalb des $\pm 17\%$ -Bereichs liegen, mit 17% ungefähr gleich geblieben wie bei der Vergleichsmessung 1996 (14% der Werte ausserhalb des $\pm 18\%$ -Bereichs).

Die Resultate eines Teilnehmers (Code 6 in Fig. 7) erfüllen das Rückführbarkeitskriterium gesamthaft nicht. Aufgrund von Mitteilungen der betroffenen Messstelle an das PSI wurde das zu tiefe Resultat durch ein Problem bei der Analyse der Detektoren durch den Hersteller (Auszählung der Spuren) verursacht.

Das Reproduzierbarkeitskriterium (Streuung der Einzelmesswerte $< 15\%$) wird von zwei Teilnehmerresultaten nicht erfüllt (Code 16 und 21 in Fig. 7).

Fig. 5 zeigt, dass die grosse Streuung im Falle von Code 16 durch zwei nahe beieinanderliegende, zu hohe Einzelmessresultate verursacht wird. Aufgrund von Abklärungen der betroffenen Messstelle beim Hersteller dieses Detektortyps, Gammadata Mättechnik, Uppsala (S), muss mit hoher Wahrscheinlichkeit aufgrund ungeeigneter Transportweise von Schweden in die Schweiz eine Verletzung der Verpackung (verschweisster radondichter Aluminium/Plastikbeutel) in Form von Löchern vorgelegen haben, welche so klein waren, dass sie bei der visuellen Prüfung der Detektorumhüllung nicht entdeckt werden konnten. Da die beiden Detektoren beim schweizer Vertreter dieser Detektormarke ungefähr ein Jahr gelagert wurden, kann in dieser Zeit Radon in die Verpackung eingedrungen sein und so zu einer Zusatzdosis geführt haben.

6.2.3 Messgeräte

Die Resultate der Messgeräte erscheinen in Tab. 8 und Fig. 8. Da die Streuung der Einzelmesswerte infolge der starken Schwankung des Referenzwerts (Fig. 3) mit ca 45% sehr hoch ist, wurde an Stelle dieser Standardabweichung die systematische Unsicherheit des Messresultats eingesetzt (Tab. 8 und Fig. 8). Figur 8 veranschaulicht die äusserst geringe Abweichung der Messresultate der elektronischen Messgeräte vom Referenzwert.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Resultate der Vergleichsmessung 1997 zeigen, dass die Radongas-Messtechnik in der Schweiz bezüglich Rückführbarkeit auf einem hohen Niveau steht. Die Messresultate der Mehrheit aller zum Zeitpunkt der Vergleichsmessung vom BAG anerkannten Messstellen (Tab. 6) erfüllen das geforderte Rückführbarkeitskriterium auf nationale Normale. Verglichen mit der Vergleichsmessung des Vorjahres ist allerdings bei dieser Vergleichsmessung eine Einbusse in der Qualität der Messresultate zu verzeichnen.

8 LITERATUR

Butterweck, G.; Schuler, Ch.

The PSI Radon Chamber Model

Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 95-02; 1995.

DIN Deutsches Institut für Normung

Grundbegriffe der Messtechnik - Begriffe für die Messunsicherheit und für die Beurteilung von Messgeräten und Messeinrichtungen

Berlin: Beuth Verlag; DIN-Taschenbuch 223: Qualitätssicherung und angewandte Statistik - Begriffe: DIN 1319 Teil 3; 1989.

EAM Eidgenössisches Amt für Messwesen

Weisungen über die Rückführbarkeit (Traceability) von Radongaskonzentrationsmessungen

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

Fisenne, I.M.; George, A.C.; Keller, H.W.

Effect of various parameters on radon-222 intercomparison results

Appl. Radiat. Isot. 43:139-148; 1992a.

Schuler, Ch.

Das Referenzlabor für Radongas-Konzentrationsmessungen am PSI

Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht; in Vorbereitung; 1998.

Schuler, Ch.; Butterweck-Dempewolf, G.

Die Vergleichsmessung 1996 für Radongasmessgeräte am PSI

Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 97-05; 1997.

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer

Beratender Geologe/Hydrogeologe
Hr. Ch. Böhm-Bläuer
Masanserstr. 35
7000 **Chur**

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

Dragan Consultants International
Hr. E. Dragan
Bodenacherstr. 58
8121 **Benglen**

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

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

Ingenieur- u. Planungsbüro
Hr. M. Ghielmetti
Bannwaldweg 21
7206 **Igis**

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

Institut de Radiophysique Appliquée
Hr. Th. Buchillier
Centre Universitaire
1015 **Lausanne**

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

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

Laboratorio Cantonale Ct. Ticino
Hr. S. Montorfani
Via Ospedale 6
6904 **Lugano**

Ökoscience Lufthygiene AG
Hr. Dr. P. Maly
Quellenstr. 31
8031 **Zürich**

Strahlenschutz Beratung und Planung
Hr. Dr. R. Müller
Felixhäglistr. 4
4103 **Bottmingen**

TCI Transcommerce International AG
Hr. D. Ebricht
Zürichstr. 135
8700 **Küssnacht**

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

Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 1997**Dauer der Expositionsperiode:**

Ende der Vergleichsmessung	20.11.97 08:26
Start der Vergleichsmessung	14.11.97 09:42
Expositionsdauer in h	142.73

Dauer der Detektor-Ausgasperiode:

Ende Ausgasung	21.11.97 08:35
Start Ausgasung	20.11.97 08:42
Ausgasdauer in h	23.88

Messungen der Umweltparameter in den Vorbereitungsräumen A997 und 104:

Ort	Start	Ende	Rn-Konz. [Bqm ⁻³]	Temp. [°C]	Feuchte [%RH]	Messung während:
A997	12.11.97 19:50	14.11.97 09:30	22 ± 9	22	37	Lagerung
104	12.11.97 15:20	12.11.97 19:40	17 ± 9	23	36	Vorbereitung
A997	20.11.97 11:30	21.11.97 13:10	31 ± 12	19	43	Ausgasung Detektoren

Messungen γ -Dosisleistungen mit Automess AD4:

Ort	Start	Ende	Dauer [h]	D [nSv]	DL [nSv/h]	Messung während:
A997	07.11.97 14:14	14.11.97 09:00	162.77	10300	63	Lagerung/ Vorbereitung
Rn-Kammer	14.11.97 09:42	20.11.97 08:26	142.73	33300	233	Exposition
A997	20.11.97 08:26	21.11.97 11:00	26.57	1700	64	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 Radonkammer 14.11.97 09:42 - 20.11.97 08:26

Rn-Konzentration [Bqm ⁻³]	Rn-Exposition [kBqhm ⁻³]	Temperatur [°C]	Relative Feuchte [%]	γ-Dosisleistung [nSv/h]
Referenzwert (Durchschnitt von 3 x 27 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)				
3860 ± 160	550 ± 23	22 ± 1	71 ± 8	233

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

Messung mit Transfornormal:	TN #515	TN #539	TN #576
Durchschnitt der Punktbestimmungen:	3841	3850	3873
Statistische Unsicherheit:	10	10	8
Systematische Unsicherheit:	64	58	58
Gesamtunsicherheit	65	59	58
Gewichteter Durchschnittswert:	3856		
Gesamtunsicherheit des gew. DW (95%-Vertrauensintervall):	160		
Gesamtunsicherheit in %:	4.2		

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)	Geotest AG
2	Track Etch	Typ B (Altrac)	Ökoscience Lufthygiene AG
3	Track Etch	Radtrak (Landauer)	TCI Transcommerce International AG
4	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Laboratorio Cantonale Ct. Ticino
6	Track Etch	Typ B (Altrac)	Ökoscience Lufthygiene AG
7	Track Etch		
8	Elektret-Ionisationskammer		
9	Elektret-Ionisationskammer	LST E-Perm (Rad Elec)	Institut de Radiophysique Appliquée
10	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Uehlinger-Pfiffner AG
11	Track Etch	Radtrak (Landauer)	Dr. R. Müller
12	Track Etch	Radtrak (Landauer)	TCI Transcommerce International AG
13	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Ch. Böhm-Bläuer
14	Track Etch	Rem AT-100 (Radon Envir. Monitoring)	Im Rank Engineering
16	Track Etch	Alpha-Track (Gammadata Mätttechnik)	Ing.- und Planungsbüro Ghielmetti
17	Track Etch	Kodalpha (Dosirad)	G+S applicazioni SA
18	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Kantonales Laboratorium Kt. Luzern
19	Track Etch	Rem AT-100 (Radon Envir. Monitoring)	Im Rank Engineering
21	Track Etch	Radtrak (Landauer)	Dragan Consultants International
22	Track Etch	Radtrak (Landauer)	TCI Transcommerce International AG

Fortsetzung Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	BAG-anerkannte Messstelle
23	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Kantonales Laboratorium Kt. Thurgau
24	Track Etch	Alpha-Track (Gammadata Mättechnik)	Uehlinger-Pfiffner AG
25	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Institut de Radiophysique Appliquée
<i>Messgeräte</i>			
5	Ionisationskammer		
15	Ionisationskammer		
20	Elektrostatische Sammlung/Halbleiter-detektor	Rad 7 (Niton)	Dr. R. Müller

Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
1	1	450	0.818	0.923	0.065
	2	537	0.976		
	3	537	0.976		
	4	508	0.923		
	5	508	0.923		
4	1	598	1.087	1.108	0.089
	2	539	0.978		
	3	655	1.191		
	4	600	1.091		
	5	658	1.195		
8	1	624	1.134	1.079	0.038
	2	565	1.027		
	3	594	1.079		
	4	592	1.077		
	5	594	1.079		
9	1	678	1.233	1.125	0.083
	2	565	1.027		
	3	653	1.186		
	4	601	1.093		
	5	598	1.086		
10	1	537	0.976	0.987	0.121
	2	538	0.978		
	3	479	0.870		
	4	508	0.924		
	5	655	1.189		
13	1	542	0.984	1.051	0.128
	2	672	1.221		
	3	628	1.140		
	4	496	0.902		
	5	555	1.008		
18	1	625	1.136	1.169	0.072
	2	626	1.137		
	3	596	1.083		
	4	685	1.245		
	5	683	1.241		

Fortsetzung Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
23	1	731	1.328	1.152	0.156
	2	706	1.283		
	3	638	1.159		
	4	545	0.990		
	5	550	0.999		
25	1	733	1.332	1.148	0.111
	2	605	1.100		
	3	575	1.044		
	4	608	1.105		
	5	638	1.160		

Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
2	1	482	0.874	0.918	0.052
	2	513	0.931		
	3	523	0.949		
	4	540	0.980		
	5	471	0.856		
3	1	451	0.819	0.951	0.078
	2	523	0.950		
	3	547	0.994		
	4	561	1.020		
	5	533	0.969		
6	1	432	0.785	0.718	0.100
	2	302	0.549		
	3	432	0.785		
	4	421	0.765		
	5	389	0.707		
7	1	509	0.923	0.936	0.056
	2	476	0.864		
	3	541	0.983		
	4	502	0.910		
	5	551	1.001		
11	1	439	0.797	0.896	0.067
	2	489	0.888		
	3	537	0.976		
	4	485	0.881		
	5	515	0.936		
12	1	540	0.981	0.979	0.024
	2	542	0.984		
	3	555	1.008		
	4	540	0.981		
	5	518	0.941		
14	1	574	1.043	1.104	0.053
	2	619	1.125		
	3	579	1.052		
	4	634	1.152		
	5	632	1.148		

Fortsetzung Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
16	1	518	0.941	1.246	0.379
	2	544	0.988		
	3	899	1.633		
	4	929	1.688		
	5	539	0.979		
17	1	644	1.160	1.114	0.062
	2	575	1.036		
	3	587	1.056		
	4	644	1.160		
	5	642	1.156		
19	1	619	1.124	1.089	0.049
	2	637	1.157		
	3	578	1.050		
	4	581	1.055		
	5	581	1.055		
21	1	542	0.984	0.908	0.158
	2	433	0.786		
	3	589	1.070		
	4	551	1.002		
	5	385	0.699		
22	1	529	0.961	0.945	0.052
	2	479	0.871		
	3	525	0.954		
	4	557	1.013		
	5	510	0.926		
24	1	511	0.928	0.956	0.045
	2	532	0.967		
	3	531	0.965		
	4	496	0.901		
	5	562	1.021		

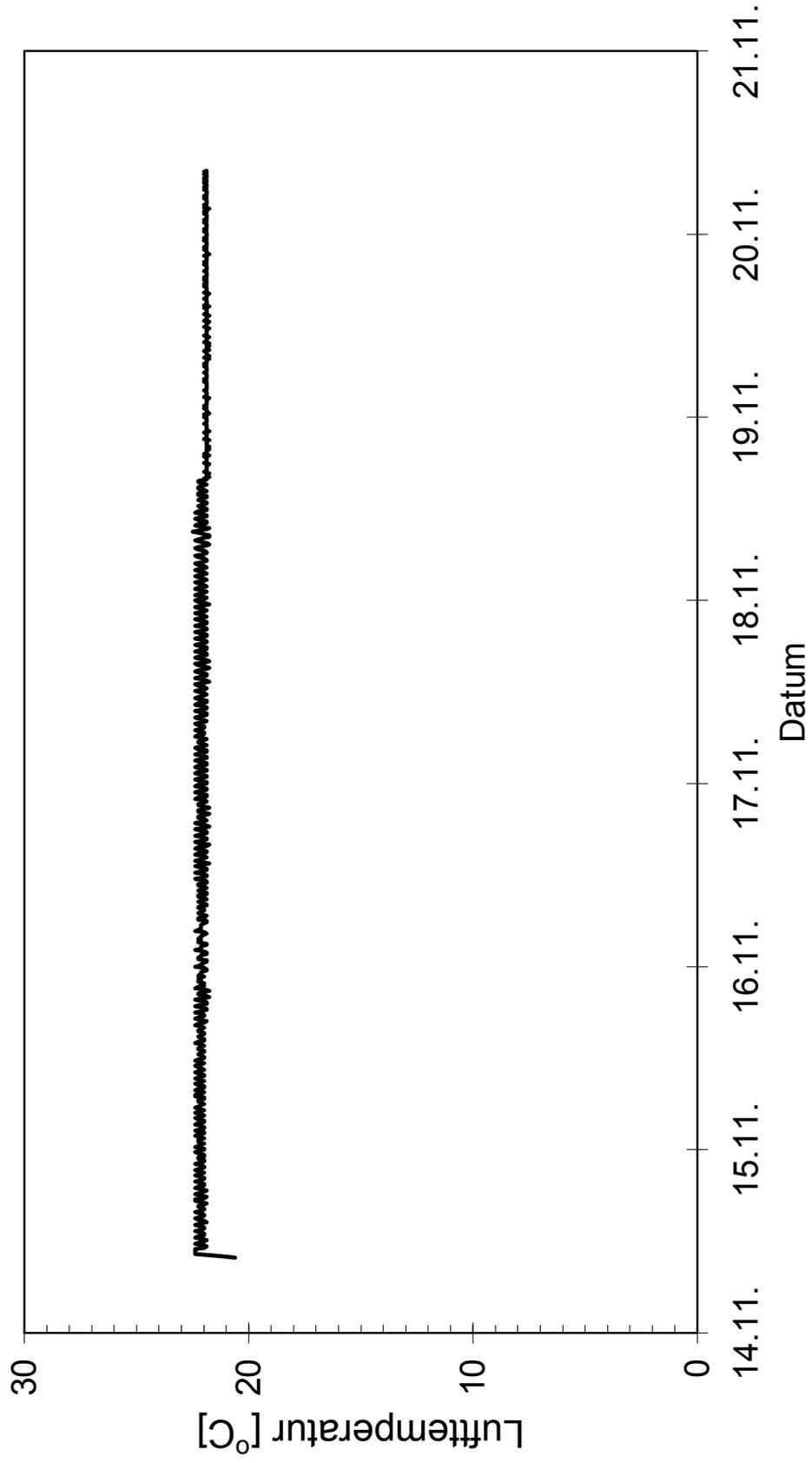
Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte

Teilnehmercode	Expositions- mittelwert [kBqhm ⁻³]	Standard- abweichung [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Standard- abweichung ²⁾
5	544	239	0.994	0.03
15	547	246	0.999	0.03
20	554	-1)	1.006	0.05

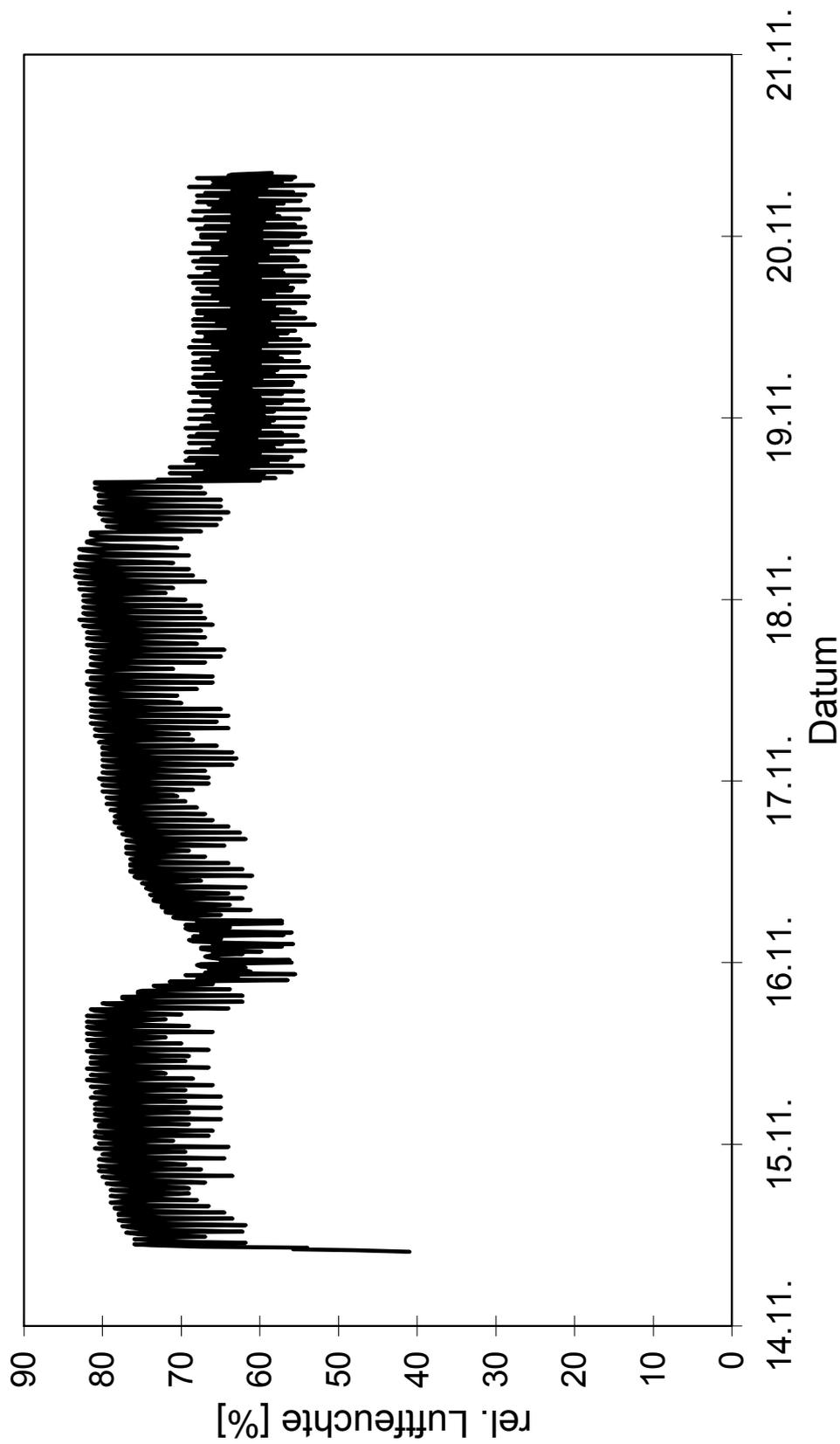
1) Eine Standardabweichung wurde vom Teilnehmer nicht gemeldet.

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

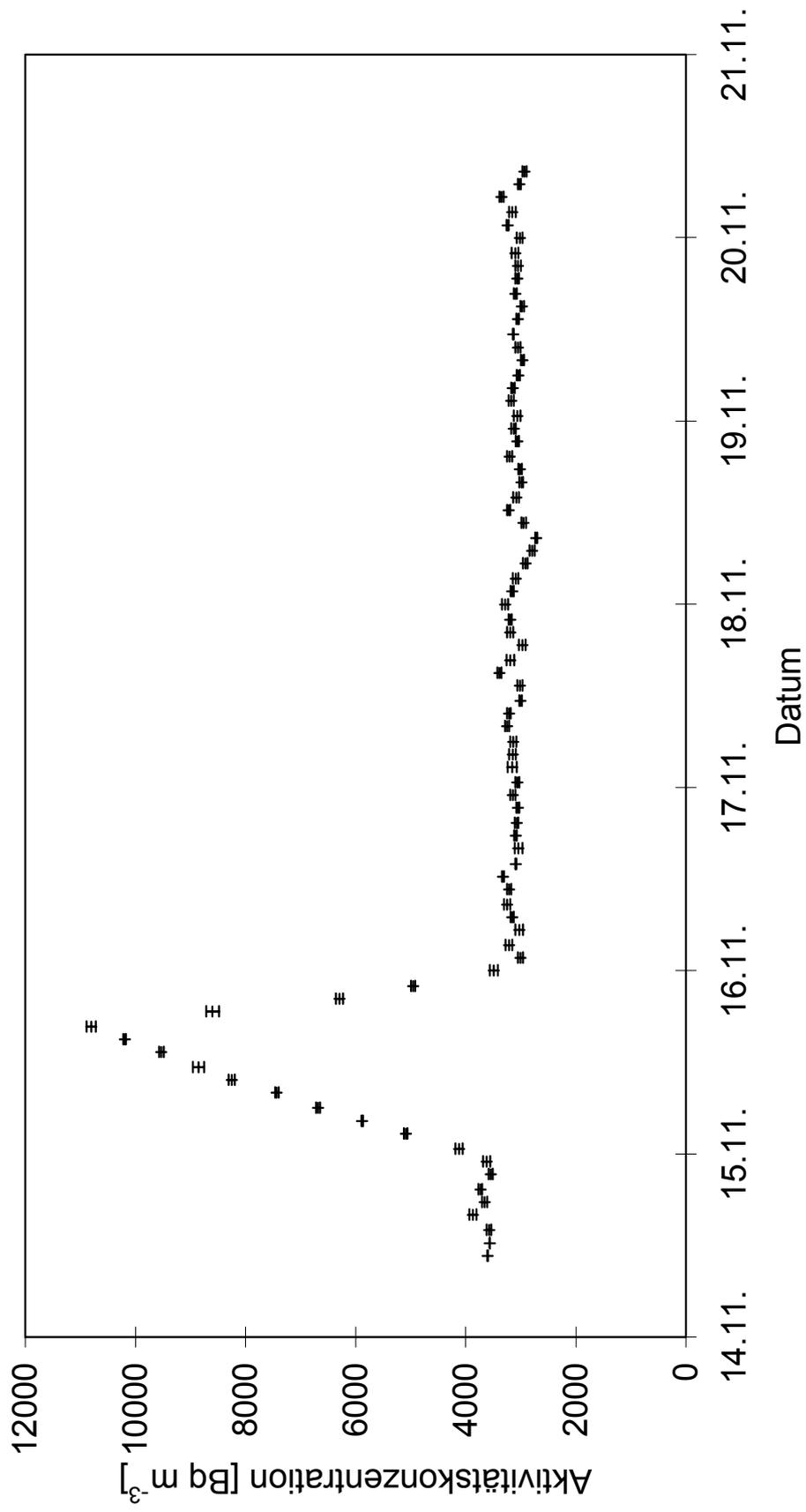
Figur 1: Vergleichsmessung 1997 - Lufttemperatur in der Radonkammer



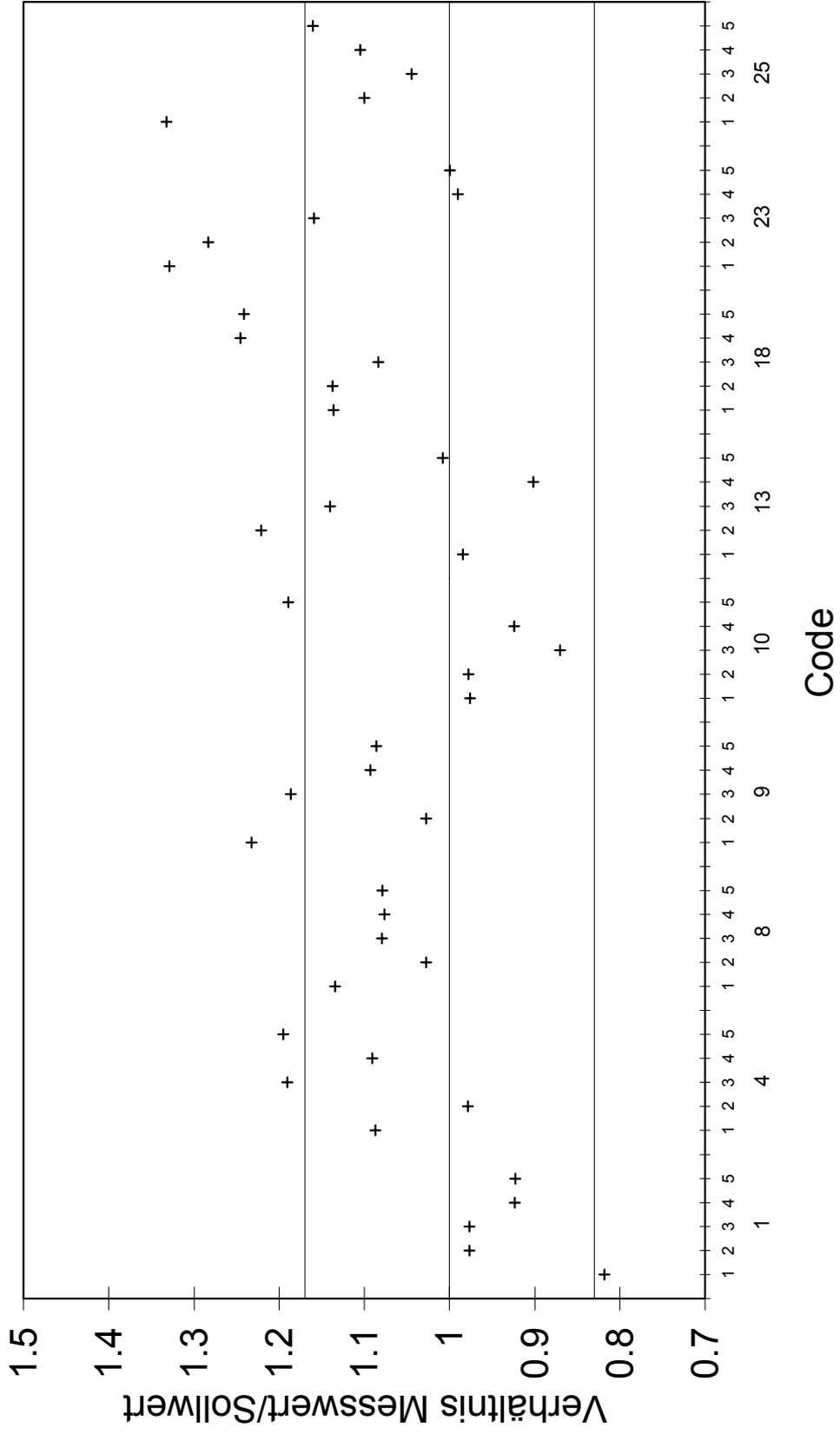
Figur 2: Vergleichsmessung 1997 - Relative Luftfeuchte in der Radonkammer



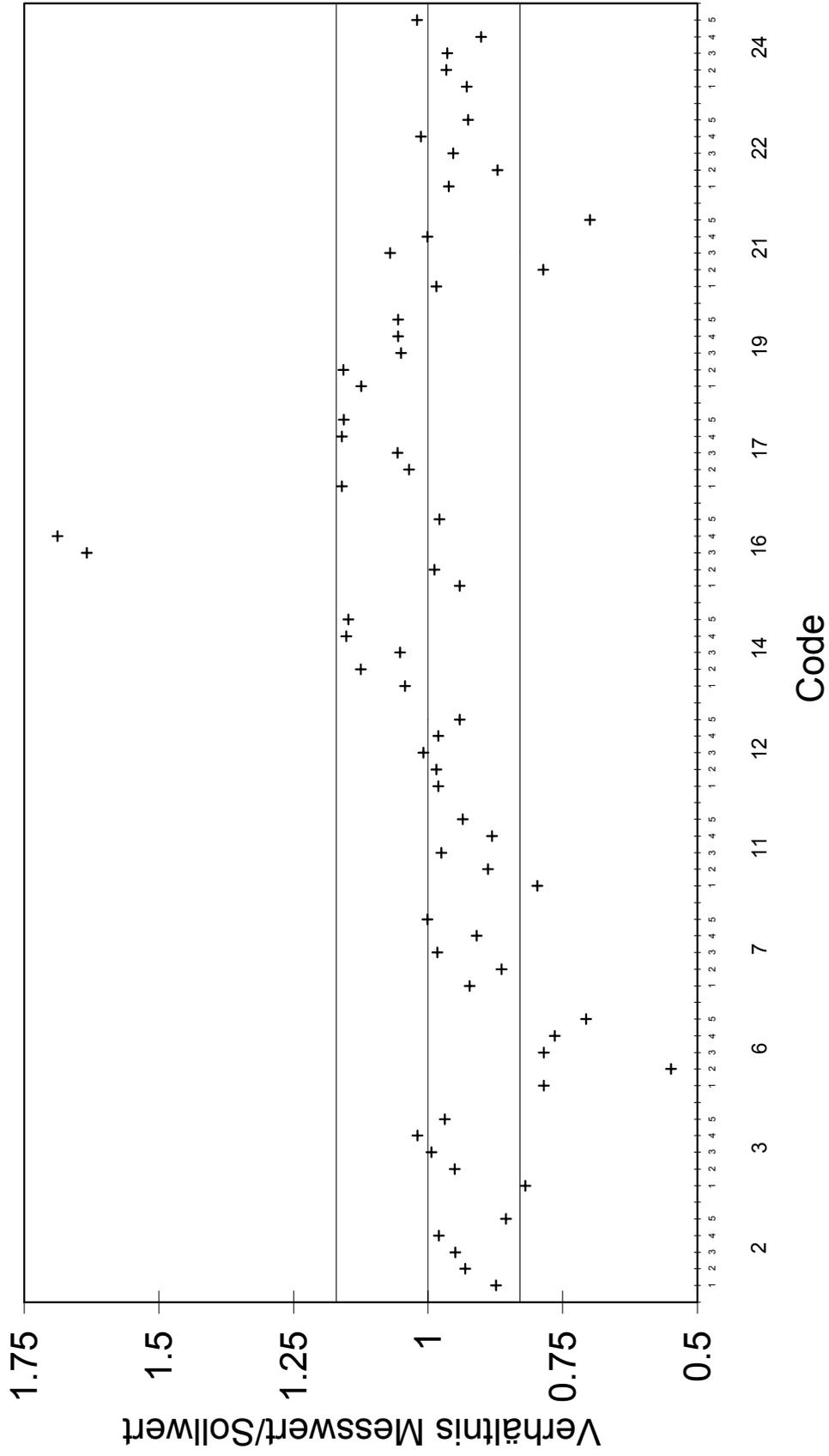
Figur 3: Vergleichsmessung 1997 - Radonkonzentration in der Kammer



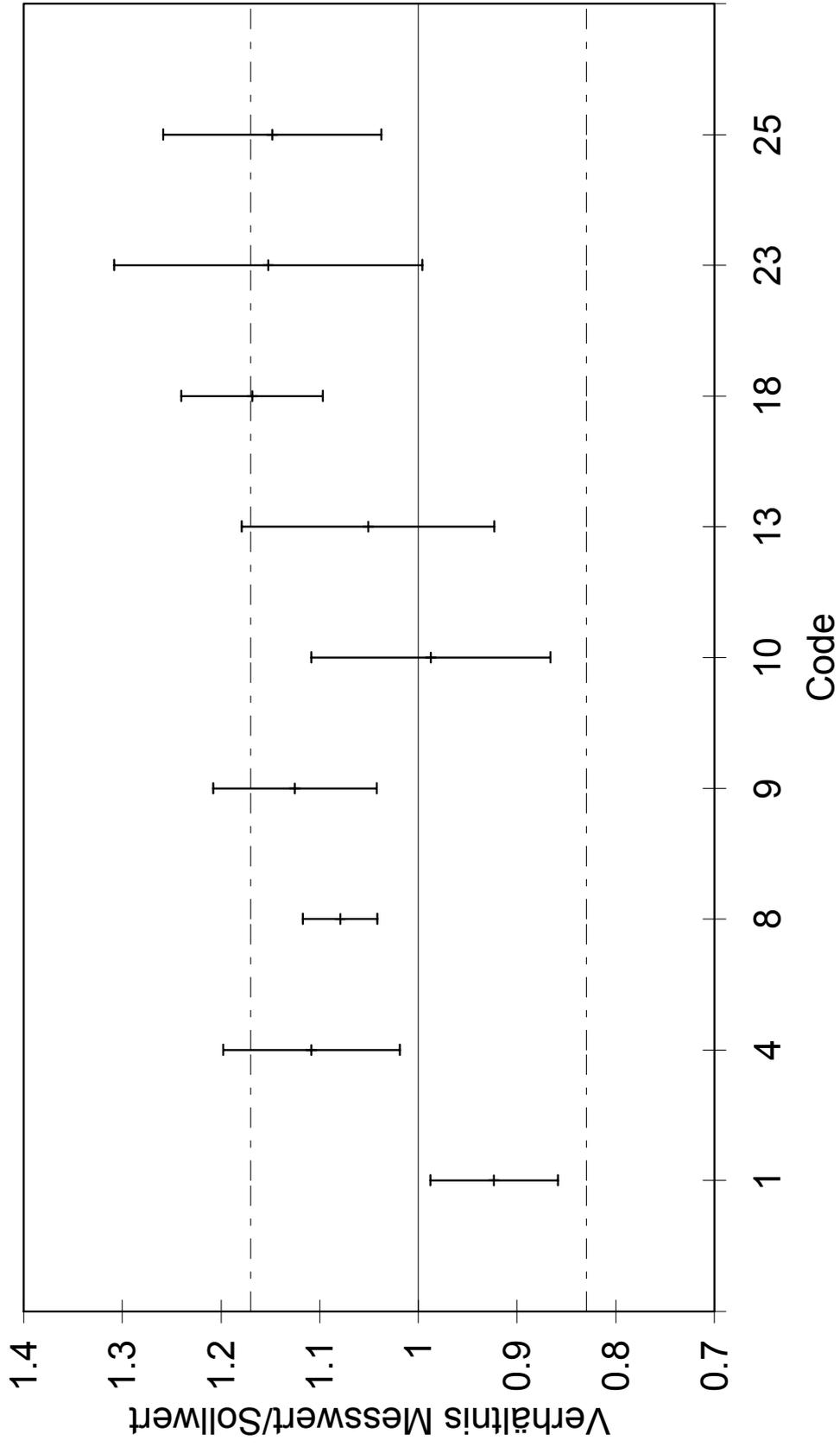
Figur 4: Vergleichsmessung 1997 - Resultate Elektret-Ionisationskammern



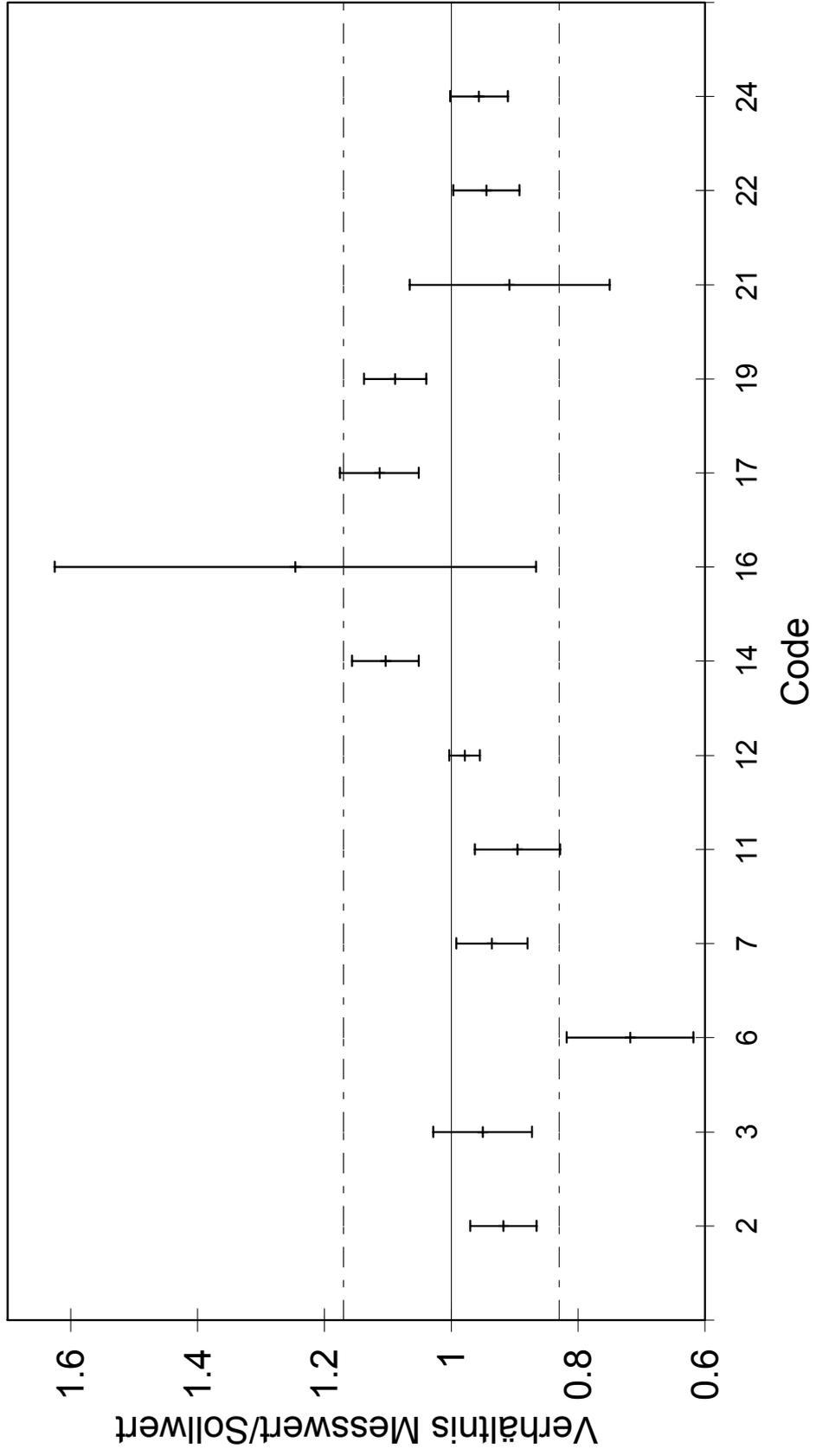
Figur 5: Vergleichsmessung 1997 - Resultate Kernspurdetektoren



Figur 6: Vergleichsmessung 1997 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern



Figur 7: Vergleichsmessung 1997 - Mittelwerte Kernspurdetektoren



Figur 8: Vergleichsmessung 1997 - Resultate Messgeräte

