

Die Vergleichsmessung 1998 für Radongasmessgeräte am PSI

Christoph Schuler und Gernot Butterweck-Dempewolf

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

Mai 1999

Zusammenfassung

Kandidaten für diese vom 23. bis 29. Okt. 1998 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 Rückführbarkeit der Messresultate auf national oder international anerkannte Normale gewährleistet ist. Dem Aufruf des BAG zur Teilnahme folgten neben 13 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 und nach dem Prinzip der elektrostatischen Deposition arbeitende Geräte teil.

Grössere Unterschiede in der Streuung der Detektor-Einzelresultate der Teilnehmer traten nach wie vor auf; eine Überschreitung der erlaubten 15 Prozent Streuung war aber zum Teil auf Ausreisserresultate zurückzuführen. Alle anerkannten Messstellen erfüllten das oben angeführte Rückführbarkeitskriterium.

Der aus den Angaben der Teilnehmer für die Unsicherheit eines Detektor-Einzelmessresultats gewonnene Mittelwert für diese Unsicherheit wurde mit den mittels zweier andersartigen Methoden abgeschätzten Unsicherheitsmittelwerten verglichen. Es zeigte sich, dass die Abschätzungen der Teilnehmer eher etwas zu gering ausfielen und für Unsicherheitsangaben von Resultaten an Auftraggeber der anerkannten Messstellen besser auf die aus ausgedehnten Feldstudien abgeleiteten Werte abgestützt werden sollte.

Abstract

The Reference Laboratory for Radon Gas Activity Concentration Measurements at Paul Scherrer Institut performed the 1998 Radon Intercomparison Exercise. During Oct 23rd to 29th, 1998, radon gas detectors and instruments were exposed in the PSI Radon Chamber in a reference atmosphere with an average radon gas concentration of 2100 Bqm⁻³ leading to a radon gas exposure of 290 kBqhm⁻³.

The aim of this intercomparison exercise was to check the performance of electret ionisation chambers, track etch detectors and measuring instruments at a rather low radon gas exposure. Limits expected to be fulfilled were a deviation of the measurement results to the reference radon gas concentration value of less than 15% (traceability criterion) and a standard deviation of the mean of five detector measurement results of less than 15% (reproducibility criterion).

The mean value of five measuring results delivered by each measurement laboratory participating with detectors as well as each measuring instrument result lay within the traceability limits given above; an exceeding of the allowed reproducibility of 15% for a few samples of five detector measuring results was partly due to single results to be regarded as outliers.

Participants were asked in this intercomparison to estimate the uncertainty at the 95% confidence level for a single detector measuring result. Compared with results from other methods used to estimate this uncertainty, reported uncertainty values were low. Taking extended field tests delivering realistic uncertainty estimates as basis, uncertainty estimates derived from exposures in controlled chamber conditions showed to be too small.

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	3
6.1	Radongas-Referenzmessungen.....	3
6.2	Teilnehmerresultate.....	4
6.2.1	Elektret-Ionisationskammern	4
6.2.2	Grundsätzliches zur Prüfung der Rückführbarkeit von LLT-Elektret- Ionisationskammern durch das PSI.....	4
6.2.3	Kernspurdetektoren.....	5
6.2.4	Messgeräte.....	6
6.3	Unsicherheitsbetrachtung.....	6
6.3.1	Unsicherheit eines Detektormessresultats für Elektret-Ionisations- kammern	6
6.3.2	Unsicherheit eines Detektormessresultats für Kernspurdetektoren	7
6.3.3	Relativierung der Unsicherheitsbetrachtung.....	7
7	SCHLUSSFOLGERUNG.....	7
8	LITERATUR	8

TABELLEN

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer	9
Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 1998	9
Tabelle 3: Expositionsparameter in der Radonkammer 23.10.98 17:00 - 29.10.98 11:44	10
Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung zu den Resultaten der Radongas- Referenzmessungen in Bqm ⁻³	11
Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente	13
Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern	15
Tabelle 7: Streuung der Einzelmesswerte (Standardabweichung) von LLT- Elektret-Ionisationskammern in Abhängigkeit von der Exposition	17
Tabelle 8: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren	18
Tabelle 9: Teilnehmerresultate Messgeräte	20
Tabelle 10: Unsicherheiten eines Detektormessresultats (95%-Vertrauens- bereich in Prozent) - Elektret-Ionisationskammern	21
Tabelle 11: Unsicherheiten eines Detektormessresultats (95%-Vertrauens- bereich in Prozent) - Kernspurdetektoren	21

FIGUREN

Figur 1: Vergleichsmessung 1998 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte ...	22
Figur 2: Vergleichsmessung 1998 - Radonkonzentration in der Kammer	22
Figur 3: Vergleichsmessung 1998 - Resultate Elektret-Ionisationskammern....	23
Figur 4: Vergleichsmessung 1998 - Resultate Kernspurdetektoren	24
Figur 5: Vergleichsmessung 1998 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern .	25
Figur 6: Vergleichsmessung 1998 - Mittelwerte Kernspurdetektoren	26
Figur 7: Vergleichsmessung 1998 - Resultate Messgeräte	27

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 1998 für Radongasdetektoren und -messgeräte in der Radonkammer des Referenzlabors fand vom 23. bis 29. Okt. statt. Es beteiligten sich 17 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen (Tab. 1) mit total 147 Detektoren und 5 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 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 1998 total 79 Punktmessungen.

Der Radongas-Pegel in der Radonkammer wird zusätzlich mit einer Durchflussionisationskammer registriert (ATMOS-12 DPX, Gammadata Mättechnik, Uppsala (S)).

2.1 Kalibrierung der Referenz-Messinstrumente für Radongas

Um die Rückführbarkeit der Referenzatmosphäre in der Radonkammer während der Vergleichsmessung 1998 auf international anerkannte Normale zu gewährleisten, wurden die Szintillationszellen mit einem Radongas-Standard des National Physical Laboratory (NPL), UK, kalibriert (Schuler 1998). Die Qualität dieser Kalibrierung wurde mit einer zweiten Kalibrierung mit einer Ra-Lösung (NIST SRM 4965) bestätigt.

Die Durchflussionisationskammer 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 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 zeigt den Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf während der Exposition.

3.4 Aerosolbedingungen in der Radonkammer

Wie bei der Vergleichsmessung 1997 (Schuler und Butterweck-Dempewolf 1998) wurden auch bei dieser Vergleichsmessung Detektoren vom Typ „Kernspurdetektor offen“ (siehe Anhang 2 des BAG-Gesuchs zur Anerkennung von Radongas-Messstellen) eingesetzt (Code 14 und 17 in Tabelle 5). Diese Detektoren funktionieren nur ab einer bestimmten Partikelkonzentration und werden aus diesem Grunde in teilchenhaltigen Referenzatmosphären kalibriert. In der PSI-Kammer wurde deshalb ein Kerzen-Aerosol erzeugt mit dem 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 1998 (Tab. 3) basiert auf dem gewichteten Durchschnittswert von 79 Punktbestimmungen mit drei Transferrnormalen 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. 2 sind die Resultate der Radongas-Konzentrationsmessungen während der Exposition dargestellt.

Die 79 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 Tab. 4.

4 VERWENDETE DETEKTOR- UND MESSINSTRUMENTARTEN DER TEILNEHMER

Den 17 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, 8 und 9 führen die Teilnehmerresultate für Elektret-Ionisationskammern, Kernspurdetektoren und Messgeräte auf. In den Tabellen 6 und 8 sind die gemeldeten Einzelresultate nach Detektorbezeichnung aufsteigend in alphanumerischer Reihenfolge geordnet angegeben und zusätzlich noch mit einem Detektorcode versehen. Die Tabellen 6, 8 und 9 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.

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 3 - 7 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. 2 zeigt den Verlauf des Radongas-Konzentrationspegels während der Expositionsperiode. Nach wie vor ungelöst ist die Problematik mit der unbefriedigend funktionierenden PC-Steuerung des Radongaspegels in der Radonkammer, so dass auch bei dieser Vergleichsmessung wieder starke Schwankungen

des Pegels auftraten. Abhilfe würde eine vollständig redundante Auslegung dieser Steuerung schaffen; eine solche Einrichtung übersteigt aber gegenwärtig die Möglichkeiten des Referenzlabors. Wie schon für die Vergleichsmessung 1997 erwähnt (Schuler und Butterweck-Dempewolf 1998), hat die starke Streuung der Radongaskonzentration auf die Qualität der Prüfung der passiven Detektoren keinen Einfluss.

6.2 Teilnehmerresultate

6.2.1 Elektret-Ionisationskammern

Relativ zur Vergleichsmessung 1997, wo 27% der Einzelmessresultate ausserhalb des $\pm 17\%$ -Bereichs um den Sollwert lagen, ist für die Vergleichsmessung 1998 mit nur noch 13% der Einzelmessresultate ausserhalb des $\pm 17\%$ -Bereichs eine deutliche Verbesserung der Messqualität zu verzeichnen.

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

Wird wie üblich für die PSI-Vergleichsmessungen die Standardabweichung des Mittelwerts als Mass für die Reproduzierbarkeit von Einzelmessresultaten angesehen (DIN 1989), so erfüllen die Resultate der Elektret-Ionisationskammern das Reproduzierbarkeitskriterium, denn die Standardabweichung der Detektorresultate liegt mit zwischen 5% und 14% (Tab. 6) unterhalb der vom BAG verlangten 15%.

6.2.2 Grundsätzliches zur Prüfung der Rückführbarkeit von LLT-Elektret-Ionisationskammern durch das PSI

Ein Vertreter von Elektret-Ionisationskammern in Deutschland (Fa. Genitron Instruments, Frankfurt) führt in seinen Empfehlungen zur Erzielung präziser Messergebnisse an, dass „die Kammer-Elektretkombination und der Expositionszeitraum in Abhängigkeit der zu erwartenden Radonkonzentration so aufeinander abgestimmt werden muss, dass der sich einstellende Spannungsabfall mindestens 20 Volt beträgt.“ Zu den Expositionsbedingungen der Vergleichsmessung 1998 am PSI merkt A. Uehlinger als Verantwortlicher einer anerkannten Messstelle bei der Resultatmeldung an: „Die Dosimeterkombination LLT ist für die angegebene Konzentration und die kurze Messzeit nicht ideal. Der festgestellte Spannungsabfall betrug nur 10 V. Bereits 1 V Unterschied bedeutet aber 10% Änderung in der Radonkonzentration. Da die Auflösung des Auswertegerätes 1 V beträgt, können daher bei den gegebenen Verhältnissen und der LLT-Kombination unbefriedigende Messresultate mit recht grossen Variationen entstehen.“

Die Spannungsdifferenz ist beim Elektret-Ionisationskammersystem proportional zum Produkt von Radonkonzentration und Expositionszeit, d.h. zur Exposition. Es stellt sich daher die Frage, ob eine Prüfung der Rückführbarkeit der Kombination LLT bei einem niederen Expositionszeitwert, wie an dieser Vergleichsmessung 1998 gegeben, unzulässig ist, weil dieser zu einer übermässig grossen Streuung der Detektormessresultate führt.

Um dieser Problematik nachzugehen, wurden die Expositionsmessresultate aller an den Vergleichsmessungen von 1996, 1997 und 1998 exponierten LLT-Detektoren herangezogen und mit diesen Teilnehmerresultaten pro Vergleichsmessung ein Expositionsmittelwert und dessen Standardabweichung, d.h. die Streuung der Einzelmessresultate, berechnet. Tab. 7 führt die Anzahl der exponierten Detektoren, den Mittelwert der Teilnehmerresultate sowie die Standardabweichung in kBqhm^{-3} und in Prozent an.

Würde die oben genannte Hypothese zutreffen, so müsste die Standardabweichung für die Vergleichsmessung 1998, bei der ein mittlerer Spannungsablauf von 12 ± 1 V erzielt wurde (Mittel und Standardabweichung aus den Angaben von 4 Teilnehmern für 20 LLT-Detektoren), deutlich grösser sein als die Standardabweichung für die Vergleichsmessungen 1997 und 1996, bei denen ein Ablauf von über 20 V resultierte. Die Werte in Tab. 7 zeigen klar, dass dies nicht zutrifft. Die Streuung der Einzelwerte für 1998 hält sich mit 11% nicht nur in der gleichen Grössenordnung wie für 1997 (12%) und 1996 (7.4%), sondern sie ist sogar trotz halb so grossem Spannungsablauf noch etwas geringer als für die Vergleichsmessung 1997.

Das PSI erachtet deshalb eine niedrige Exposition wie bei der Vergleichsmessung 1998 angewandt als nicht qualitätsmindernd für die Rückführbarkeitsprüfung von LLT-Elektret-Ionisationskammern.

6.2.3 Kernspurdetektoren

Bei den Einzelmessresultaten der Kernspurdetektoren (Fig. 4) ist der Anteil der Resultate, welche ausserhalb des $\pm 17\%$ -Bereichs liegen, mit 20% ungefähr gleich geblieben wie bei der Vergleichsmessung 1997 (17% der Werte ausserhalb des $\pm 17\%$ -Bereichs).

Die Resultate von zwei Teilnehmern (Code 15 und 20 in Fig. 6) erfüllen das Rückführbarkeitskriterium gesamthaft nicht. Im Falle von Code 15 wurde anlässlich der Resultatmeldung an das PSI angemerkt, dass zum Zeitpunkt der Detektorauswertung die Verarbeitungsapparatur defekt war und der Ablauf der Auswertung aus diesem Grunde nicht dem sonst automatisierten Ablauf entsprach. Mit grosser Wahrscheinlichkeit ist deshalb der zu tiefe Resultatmittelwert von Code 15 auf diesen Defekt zurückzuführen. Diese Vermutung wird durch das einwandfreie Resultat von Detektoren des selben Produkts (Code 13), welche von anderer Seite von der Messstelle vorzeitig erworben und ohne deren Wissen an das PSI gesandt wurden, gestützt.

Das Reproduzierbarkeitskriterium (Streuung der Einzelmesswerte $< 15\%$) wird von drei Teilnehmerresultaten nicht erfüllt (Code 11, 20 und 22 in Fig. 6). Fig. 4 zeigt, dass die ausserordentlich grosse Streuung im Falle von Code 22 durch ein Resultat verursacht wird, welches als „Ausreisser“ bezeichnet werden kann. Der Grund für dieses abweichende Einzelresultat konnte trotz sorgfältiger Abklärungen von anerkannter Messstelle und Detektorproduzent nicht ermittelt werden. Gemäss den Angaben des Verantwortlichen der Messstelle an das BAG wurde der Detektor unter gleichen Bedingungen wie die anderen Detektoren der Messstelle, welche an der Vergleichsmessung 1998 teilnahmen, bei niedrigem Radongasgehalt kontrolliert gelagert.

6.2.4 Messgeräte

Die Resultate der Messgeräte erscheinen in Tab. 9 und Fig. 7. Da die Streuung der Einzelmesswerte infolge der starken Schwankung des Referenzwerts (Fig. 2) relativ hoch ist, wurde an Stelle dieser Standardabweichung die „systematische“ Unsicherheit (u_B) des Messresultats eingesetzt (Tab. 9 und Fig. 7). Es ist wie schon für die Vergleichsmessungen 1996 und 1997 keine signifikante Abweichung der Messresultate der elektronischen Messgeräte vom Referenzwert zu verzeichnen.

6.3 Unsicherheitsbetrachtung

Anlässlich der Rücksendung der Detektoren nach der Vergleichsmessung 1998 durch das PSI wurden die Teilnehmer gebeten, für jeden einzelnen exponierten Detektor, für die im Falle der Elektret-Ionisationskammern anzubringende γ -Korrektur in Bqm^{-3} sowie für die nicht exponierten Transportdetektoren eine Unsicherheit des Messwertes auf der Basis des 95%-Vertrauensbereichs anzugeben.

Die von den Teilnehmern dem PSI gemeldeten Werte sind in den Tabellen 10 (Elektret-Ionisationskammern) und 11 (Kernspurdetektoren) pro Code in Prozent in den Spalten „Angabe des Teilnehmers“, „Gammakorrektur“, „Transportdetektor 1“ und „Transportdetektor 2“ aufgeführt.

Als Abschätzung für die Unsicherheit des Resultats eines einzelnen exponierten Detektors kann auch die Standardabweichung des Mittelwerts, d.h. die Streuung der Einzelwerte, der bei dieser Vergleichsmessung exponierten fünf Detektoren herangezogen werden. Diese Unsicherheit ist in den Tabellen 10 und 11 in der Spalte „Berechnet mit Standardabweichung des Mittelwerts“ pro Code angegeben.

Eine weitere Quelle mit Angaben über die Unsicherheit eines Einzelmessresultats ist der Anhang 2.1 des BAG-Gesuchs zur Anerkennung als Radonmessstelle, d.h. die Literatur (Elektret-Ionisationskammern: Ferraro 1993; Kernspurdetektoren: DIN 1994). Angegeben sind diese der Literatur entnommenen Werte in den Tabellen 10 und 11 in der Spalte „Literaturwert“.

6.3.1 Unsicherheit eines Detektormessresultats für Elektret-Ionisationskammern

Tab. 10 zeigt, dass der mit den Teilnehmerangaben gerechnete Unsicherheitsmittelwert für Elektret-Ionisationskammern mit 13% verglichen mit dem mit den Standardabweichungen berechneten Mittelwert (18%) und dem Wert aus der Literatur (20%) niedriger ausfällt. Wird der aufgrund eines ausgedehnten Feldtests ermittelte Literaturwert als realistische Unsicherheitsabschätzung betrachtet, so kommt diesem die mit der Standardabweichung gerechnete mittlere Abschätzung der Unsicherheit recht nahe.

Der aus den Teilnehmerangaben gerechnete Mittelwert von 110% (Tab. 10) für die Unsicherheit eines Transportdetektor-Messresultats zeigt, dass ein solches Resultat mit einer sehr hohen Unsicherheit behaftet ist. Eine Interpretation des

Messresultats ist unmöglich und dieses sollte deshalb nicht zur Korrektur der Resultate der exponierten Detektoren herangezogen werden.

Für die Unsicherheit der γ -Korrektur entspricht der aus den Teilnehmerwerten gerechnete Mittelwert von 7% ungefähr dem publizierten Wert von 10% (Kotrappa et al. 1990). Es wird empfohlen, für diese Unsicherheit mindestens 10% zu veranschlagen. Eine genauere Berücksichtigung dieser Korrektur bei der Resultatauswertung ist wohl nur möglich, wenn wie bei den spezifischen Expositionsbedingungen am PSI die erhöhte γ -Dosisleistung auch gemessen wird.

6.3.2 Unsicherheit eines Detektormessresultats für Kernspurdetektoren

Der mit den Teilnehmerangaben gerechnete Unsicherheitsmittelwert fällt mit 15% (Tab. 11) verglichen mit dem mit den Standardabweichungen berechneten Mittelwert (21%) etwas niedriger aus. Der in der Literatur aufgeführte Wert für die Unsicherheit eines Einzelmessresultats ist dagegen mit 50% mehr als doppelt so hoch. Mit einem Wert von 31% bzw. 46% kommen allerdings zwei über die Standardabweichung abgeschätzte Unsicherheitswerte dem 50%-Wert recht nahe und in einem Falle wird er mit 73% sogar überschritten.

Im Gegensatz zur Unsicherheit eines Einzelmessresultats eines Transportdetektors des Elektret-Ionisationskammersystems ist der Mittelwert der Teilnehmerangaben für die Unsicherheit eines Kernspur-Transportdetektors mit 54% ungefähr gleich hoch wie die Literaturangabe von 50% für einen exponierten Detektor. Dies mag auf eine relativ zum Elektretsystem höhere Empfindlichkeit der Kernspurdetektoren zurückzuführen sein.

6.3.3 Relativierung der Unsicherheitsbetrachtung

Die Bitte um Angaben zur Unsicherheit eines Einzelmessresultats hatte zum Ziel, die Teilnehmer dieser Vergleichsmessung und insbesondere die anerkannten Messstellen zu Überlegungen anzuregen, wie hoch die Unsicherheit eines Messresultats ist, welches an Auftraggeber oder Behörden weitergegeben wird. Die Auswertungen der Teilnehmerangaben und obige Betrachtungen zeigen, dass die Unsicherheitswerte, welche aus den Resultaten dieser Vergleichsmessung abgeleitet werden können, verglichen mit anderen Abschätzungsmethoden tief ausfallen können. Dies ist zweifelsfrei auf die sehr kontrollierten Expositionsbedingungen während einer PSI-Vergleichsmessung zurückzuführen. Für Unsicherheitsangaben eines Einzelmessresultats an Auftraggeber wird deshalb den Messstellen geraten, eher die als realistischer zu betrachtenden Literaturwerte anzugeben, welche auf in Feldversuchen gewonnenen Abschätzungen beruhen.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Auch nach der Vergleichsmessung 1998 lässt sich konstatieren, dass die Radongas-Messtechnik in der Schweiz bezüglich Rückführbarkeit ihren hohen Qualitätsstandard beibehalten hat. Die pro Messstelle gemittelten Messresultate aller zum Zeitpunkt der Vergleichsmessung vom BAG anerkannten Messstellen

(Tab. 5) erfüllen das geforderte Rückführbarkeitskriterium auf national und international anerkannte Normale.

Erwähnenswert ist die Tatsache, dass bei den anerkannten Messstellen, welche das Elektret-Ionisationskammersystem benützen, das Qualitätsniveau der bei den Vergleichsmessungen eingereichten Resultate unabhängig vom vorgelegten Expositionswert konstant hoch bleibt. Dies deutet auf eine sorgfältige Behandlung der Elektret-Detektoren hin, sowie auf das Einhalten der für eine funktionierende Auswertemethodik notwendigen Randbedingungen.

8 LITERATUR

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.

DIN Deutsches Institut für Normung
Passive Radonmessungen Teil 1: Kernspurmessverfahren
Berlin, BRD: Deutsches Inst. f. Normung; DIN 25706-1; 1994.

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

Ferraro M. A.:
Performance evaluation and myths regarding radon analysis via E-PERMs:
Actual field test data
The 1993 Int. Radon Conf. „Communicating the Radon Issue“; Denver, CO: Sep 20-22, 1993. 1993:V37-V43.

Kotrappa, P.; J. C. Dempsey; R. W. Ramsey; L. R. Stieff:
A practical E-PERM (Electret Passive Environmental Radon Monitor) system for indoor ^{222}Rn measurement
Health Phys. 58:461-467; 1990.

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.

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer

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

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

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

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

GSF Forschungszentrum
Hr. Dr. Th. Haninger
Neuherberg
D-85758 **Oberschleissheim**

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

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

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

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

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**

Suva
Hr. Dr. A. Werthmüller
Fluhmattstr. 1
6002 **Luzern**

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

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

Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 1998

Dauer der Expositionsperiode:

Ende der Vergleichsmessung 29.10.98 11:44
 Start der Vergleichsmessung 23.10.98 17:00

Expositionsdauer in h 138.73

Dauer der Ausgasperiode:

Ende Ausgasung 30.10.98 14:30
 Start Ausgasung 29.10.98 12:47

Ausgasdauer in h 25.72

Messungen der Umweltparameter in den Vorbereitungsräumen A997 und 104:

Ort	Start	Ende	Rn-Konz. [Bqm ⁻³]	Temp. [°C]	Feuchte [%RH]	Bem.
A997	21.10.98 10:00	23.10.98 12:00	18 ± 6	22	47	Lagerung
104	22.10.98 14:00	23.10.98 13:00	20 ± 7	24	41	Vorbereitung
A997	29.10.98 12:47	30.10.98 14:30	16 ± 8	20	45	Ausgasung

Messungen γ -Dosisleistungen mit Automess AD4:

Ort	Start	Ende	Dauer [h]	D [nSv]	DL [nSv/h]	Bem.
A997	22.10.98 08:45	23.10.98 14:15	29.50	1800	61	Lagerung/ Vorbereitung
Rn-Kammer	23.10.98 17:00	29.10.98 11:44	138.73	49700	358	Exposition
A997	29.10.98 12:47	30.10.98 14:30	25.72	1650	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
	11	
	TN #515	120
	usw.	usw.

Tabelle 3: Expositionsparameter in der Radonkammer 23.10.98 17:00 - 29.10.98 11:44

Rn-Konzentration [Bqm ⁻³]	Rn-Exposition [kBqhm ⁻³]	Temperatur [°C]	Relative Feuchte [%]	γ-Dosisleistung [nSv/h]
Referenzwert (Durchschnitt von 79 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)				
2097 ± 85	291 ± 12	21 ± 1	61 ± 5	358

Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung zu den Resultaten der Radongas-Referenz-

messungen in Bqm⁻³

Messung mit Transfornormal:	TN #515	TN #539	TN #576
Durchschnitt der Punktbestimmungen:	2104	2087	2101
„Statistische“ Unsicherheit (u_A):	6	7	7
„Systematische“ Unsicherheit (u_B):	28	28	28
Gesamtunsicherheit (u_C):	29	29	29
Gewichteter Durchschnittswert:	2097		
Gesamtunsicherheit des gew. DW (95%-Vertrauensintervall):	85		
Gesamtunsicherheit in %:	4.1		

Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	BAG-anerkannte Messstelle
<i>Passive Detektoren</i>			
1	Elektret-Ionisationskammer		
2	Kernspurdetektor		
3	Kernspurdetektor	Typ B97 (Altrac)	Ökoscience Lufthygiene AG
4	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Kantonales Laboratorium Kt. Luzern
6	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Laboratorio Cantonale Ct. Ticino
7	Kernspurdetektor		
8	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Geotest AG
10	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Kantonales Laboratorium Kt. Thurgau
11	Kernspurdetektor	Radtrak (Landauer)	TCI Transcommerce International AG
12	Elektret-Ionisationskammer	LST E-Perm (Rad Elec)	Institut de Radiophysique Appliquée
13	Kernspurdetektor		
14	Kernspurdetektor offen	Kodalpha (Dosirad)	G+S applicazioni SA
15	Kernspurdetektor	Rem AT-100 (Radon Envir. Monitoring)	Im Rank Engineering
16	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Institut de Radiophysique Appliquée
17	Kernspurdetektor offen		
19	Kernspurdetektor	Alpha-Track (Gammadata Mattekchnik)	Uehlinger-Pfiffner AG
20	Kernspurdetektor		
21	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Ch. Böhm-Bläuer
22	Kernspurdetektor	Radtrak (Landauer)	Dr. R. Müller

Fortsetzung Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	BAG-anerkannte Messstelle
24	Kernspurdetektor	Alpha-Track (Gammadata Mättechnik)	Ing.- und Planungsbüro Ghielmetti
26	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Uehlinger-Pfiffner AG
<i>Messgeräte</i>			
5	Elektrostatische Sammlung/Halbleiter-detektor		
9	Ionisationskammer		
18	Ionisationskammer		
23	Elektrostatische Sammlung/Halbleiter-detektor		
25	Durchfluss-Ionisationskammer		

Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
1	1	324	1.113	1.128	0.073
	2	326	1.119		
	3	360	1.238		
	4	301	1.034		
	5	330	1.134		
4	1	299	1.027	1.066	0.115
	2	269	0.924		
	3	328	1.127		
	4	357	1.227		
	5	298	1.024		
6	1	303	1.042	0.989	0.093
	2	310	1.066		
	3	281	0.964		
	4	302	1.037		
	5	244	0.837		
8	1	278	0.955	1.160	0.161
	2	399	1.371		
	3	340	1.168		
	4	309	1.062		
	5	362	1.244		
10	1	321	1.103	1.045	0.053
	2	287	0.986		
	3	317	1.089		
	4	290	0.997		
	5	306	1.052		
12	1	300	1.031	1.097	0.076
	2	320	1.100		
	3	319	1.096		
	4	355	1.220		
	5	302	1.038		
16	1	301	1.034	1.008	0.063
	2	268	0.921		
	3	281	0.966		
	4	313	1.076		
	5	304	1.045		

Fortsetzung Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
21	1	264	0.907	1.032	0.139
	2	368	1.265		
	3	276	0.948		
	4	292	1.003		
	5	302	1.038		
26	1	268 ¹⁾	0.921	0.921	0.000
	2	268	0.921		
	3	268	0.921		
	4	268	0.921		
	5	268	0.921		

¹⁾ Die Streuung der vom Teilnehmer gemeldeten Radonkonzentrationswerte beträgt 0.1%.

Tabelle 7: Streuung der Einzelmesswerte (Standardabweichung) von LLT-Elektretionisationskammern in Abhängigkeit von der Exposition

PSI-Vergleichsmessung	Anzahl exponierter Detektoren	Mittelwert der Teilnehmerresultate [kBqhm ⁻³]	Standardabweichung [kBqhm ⁻³]	Standardabweichung relativ [%]
1996	64	1083	80	7.4
1997	40	593	69	12
1998 ¹⁾	35	309	33	11

¹⁾ Ohne Resultate von Code 26

Tabelle 8: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
2	1	259	0.890	0.867	0.017
	2	249	0.856		
	3	254	0.873		
	4	246	0.845		
	5	254	0.873		
3	1	263	0.904	0.877	0.026
	2	264	0.907		
	3	249	0.856		
	4	249	0.856		
	5	251	0.863		
7	1	280	0.962	0.912	0.044
	2	278	0.955		
	3	261	0.897		
	4	254	0.873		
	5	254	0.873		
11	1	349	1.199	0.995	0.155
	2	281	0.967		
	3	322	1.105		
	4	244	0.840		
	5	251	0.863		
13	1	254	0.874	0.917	0.051
	2	249	0.857		
	3	269	0.923		
	4	283	0.972		
	5	279	0.960		
14	1	280	0.962	1.060	0.097
	2	342	1.175		
	3	336	1.155		
	4	295	1.014		
	5	290	0.997		
15	1	226	0.775	0.767	0.036
	2	221	0.759		
	3	211	0.726		
	4	240	0.824		
	5	219	0.753		

Fortsetzung Tabelle 8: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
17	1	340	1.168	1.105	0.066
	2	299	1.027		
	3	303	1.041		
	4	332	1.141		
	5	334	1.148		
19	1	294	1.010	0.988	0.042
	2	277	0.952		
	3	280	0.962		
	4	306	1.052		
	5	281	0.966		
20	1	137	0.471	0.685	0.158
	2	171	0.588		
	3	222	0.763		
	4	255	0.876		
	5	211	0.725		
22	1	282	0.968	1.109	0.407
	2	533	1.833		
	3	267	0.918		
	4	249	0.856		
	5	283	0.972		
24	1	279	0.959	0.975	0.028
	2	276	0.948		
	3	294	1.010		
	4	278	0.955		
	5	291	1.000		

Tabelle 9: Teilnehmerresultate Messgeräte

Teilnehmercode	Expositions- mittelwert [kBqhm ⁻³]	Standard- abweichung [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Standard- abweichung ¹⁾
5	304	39	1.045	0.05
9	298	40	1.025	0.03
18	295	40	1.012	0.03
23	303	37	1.041	0.05
25	296	32	1.017	0.05

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

Tabelle 10: Unsicherheiten eines Detektormessresultats (95%-Vertrauensbereich in Prozent) - Elektret-Ionisationskammern

Code	Unsicherheit exponierter Detektor			Gammakorr.	Unsicherheit	
	Angabe des Teilnehmers	Ber. mit St.abw. des MW	Literaturwert		Transportdetektor 1	Transportdetektor 2
1	12.9	12.9	20	5.0	47.4	k.A.
4	13.4 ¹⁾	21.6	20	1.2	152	70.9
6	15.0 ¹⁾	18.8	20	0.4	554	108
8	12.1	27.7	20	k.A.	k.A.	k.A.
10	14.4	10.1	20	k.A.	47.0	35.0
12	5.3	13.8	20	10.0	30.0	30.0
16	12.5	12.5	20	10.0	100	40.0
21	14.0 ¹⁾	27	20	13.9	k.A.	k.A.
26	14.9	0	20	k.A.	k.A.	k.A.
MW	13	18 ²⁾	20	7		110

1) Mittelwert von fünf Unsicherheitsangaben

2) Mittelwert ohne Nullwert gerechnet

MW: Mittelwert; k.A.: keine Angabe

Tabelle 11: Unsicherheiten eines Detektormessresultats (95%-Vertrauensbereich in Prozent) - Kernspurdetektoren

Code	Unsicherheit exponierter Detektor			Unsicherheit	
	Angabe des Teilnehmers	Ber. mit St.abw. des MW	Literaturwert ¹⁾	Transportdetektor 1	Transportdetektor 2
2	19.0 ²⁾	4.0	50	k.A.	k.A.
3	19.4 ²⁾	6.0	50	k.A.	k.A.
7	k.A.	9.6	50	k.A.	k.A.
11	k.A.	31.2	50	k.A.	k.A.
13	13.0	11.1	50	24.0	24.0
14	12.0	18.4	64	78.0	86.0
15	13.0	9.5	50	20.0	23.0
17	11.9	11.9	64	90.0	86.0
19	12.0 ²⁾	8.5	50	k.A.	k.A.
20	16.7 ²⁾	46.1	50	k.A.	k.A.
22	22.6	73.4	50	k.A.	k.A.
24	5.8	5.8	50	k.A.	k.A.
MW	15 ³⁾	21 ³⁾	50 ³⁾		54

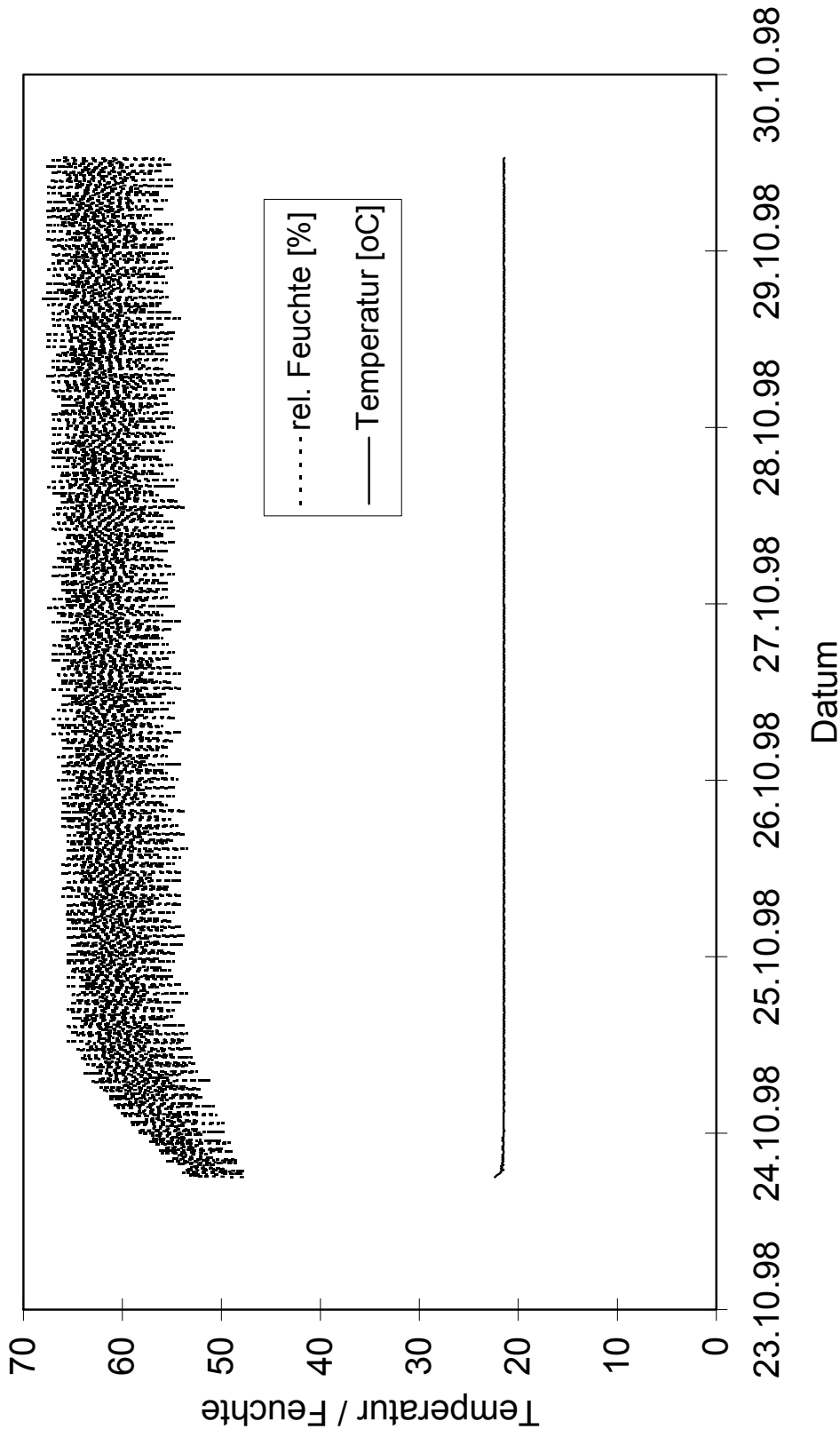
1) Angabe für 200 kBqhm⁻³

2) Mittelwert von fünf Unsicherheitsangaben

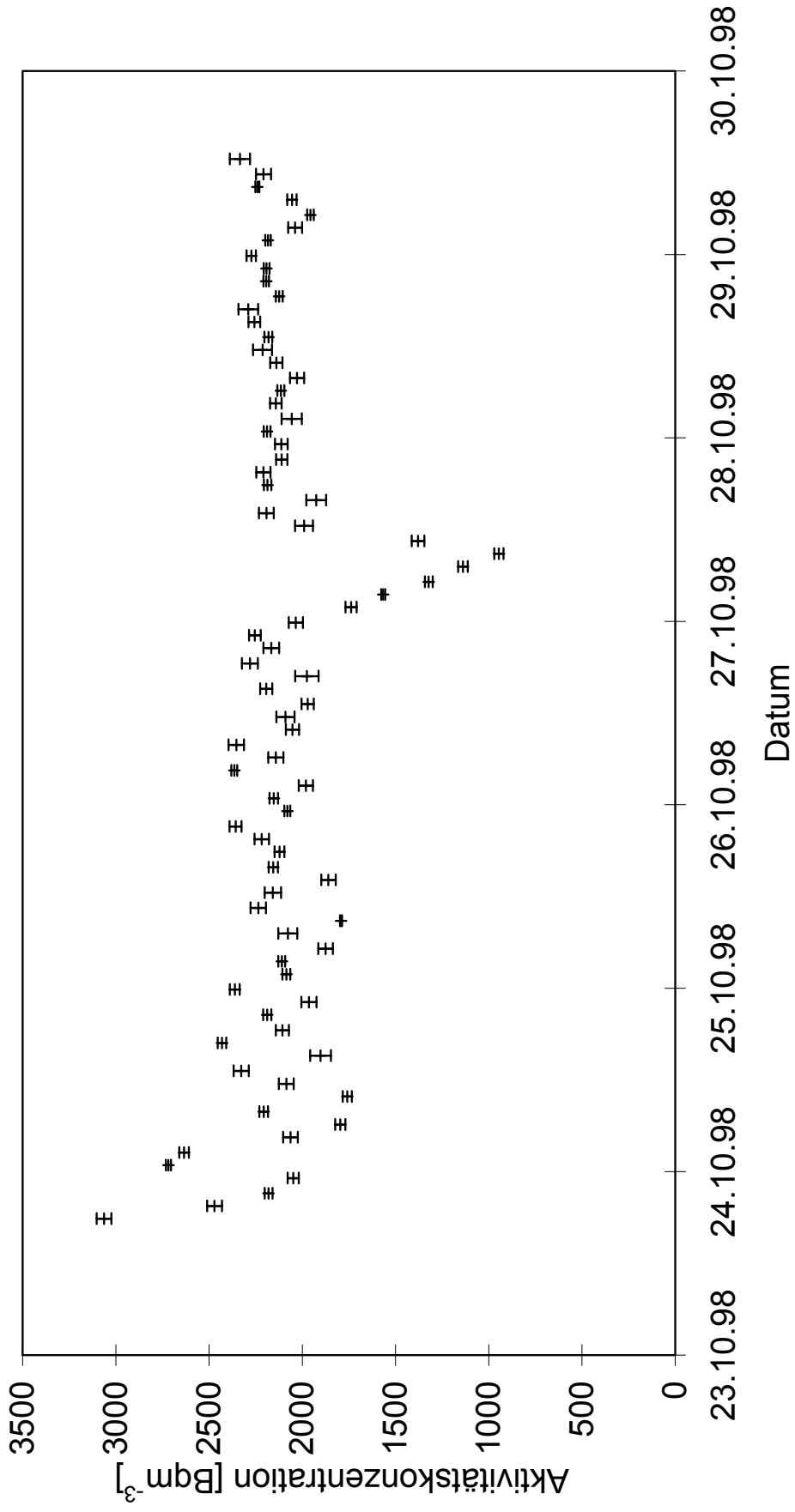
3) Mittelwert ohne Werte für Kernspurdetektoren offen

MW: Mittelwert; k.A.: keine Angabe

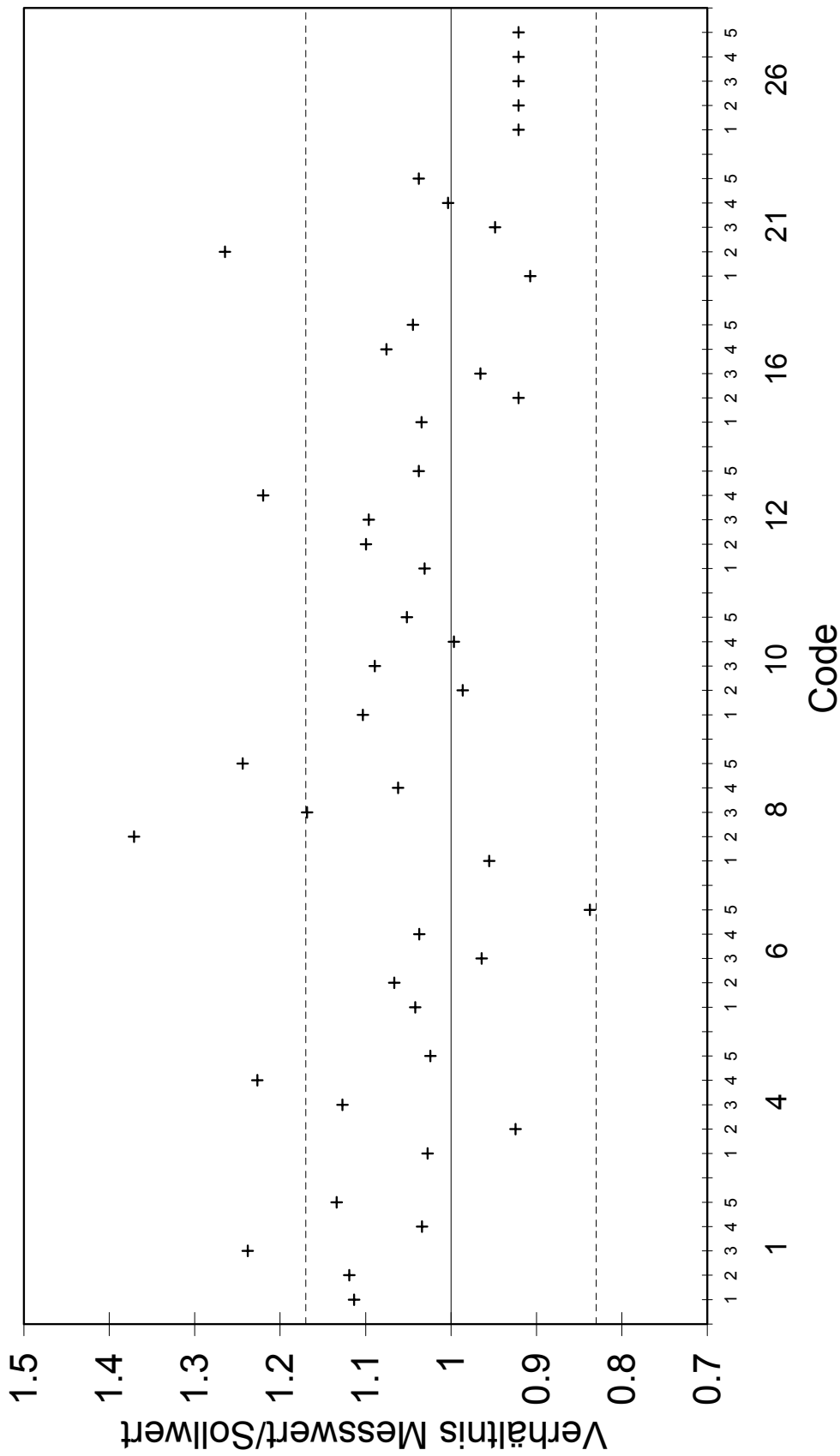
Figur 1: Vergleichsmessung 1998 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Radonkammer



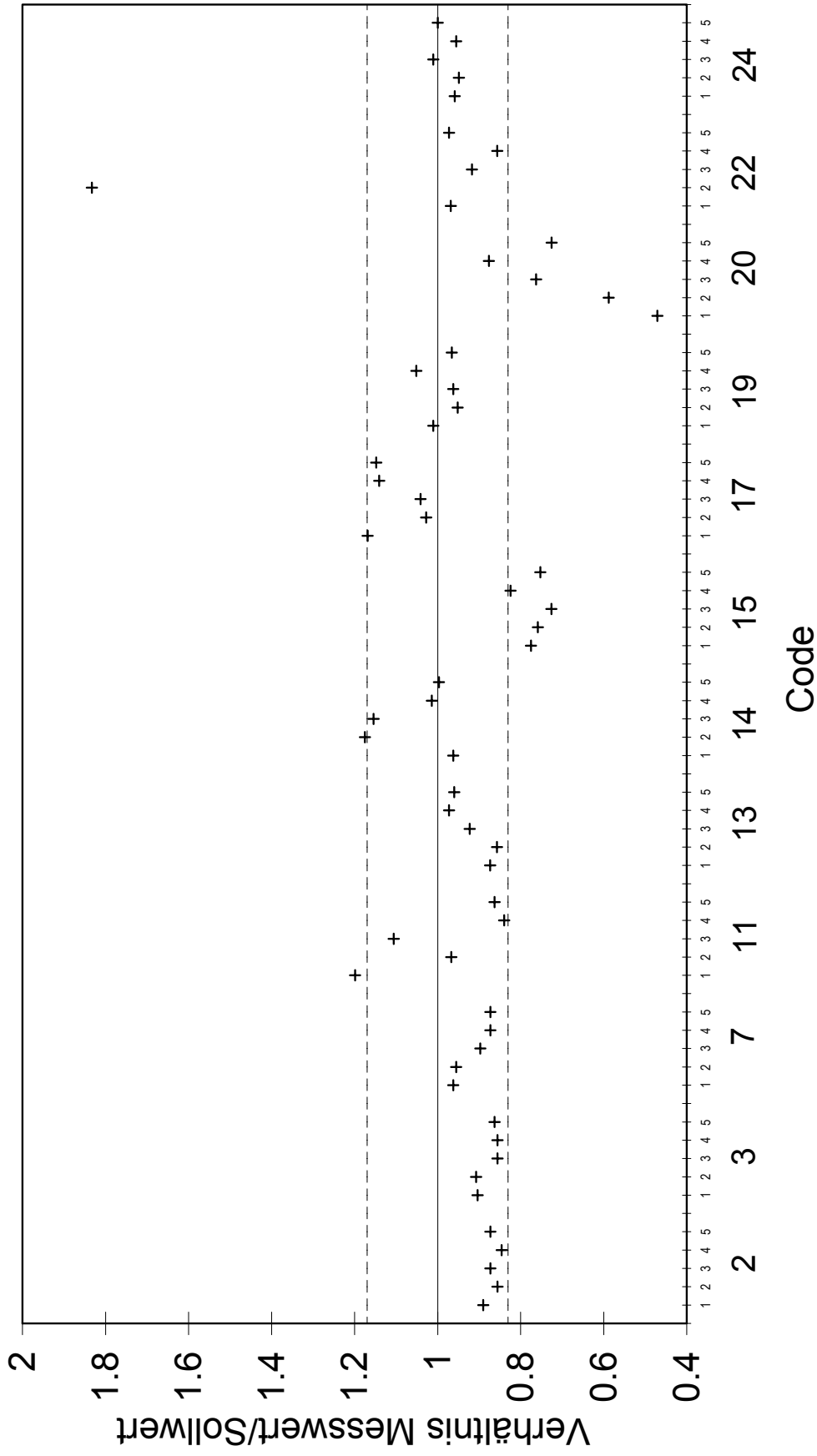
Figur 2: Vergleichsmessung 1998 - Radonkonzentration in der Kammer



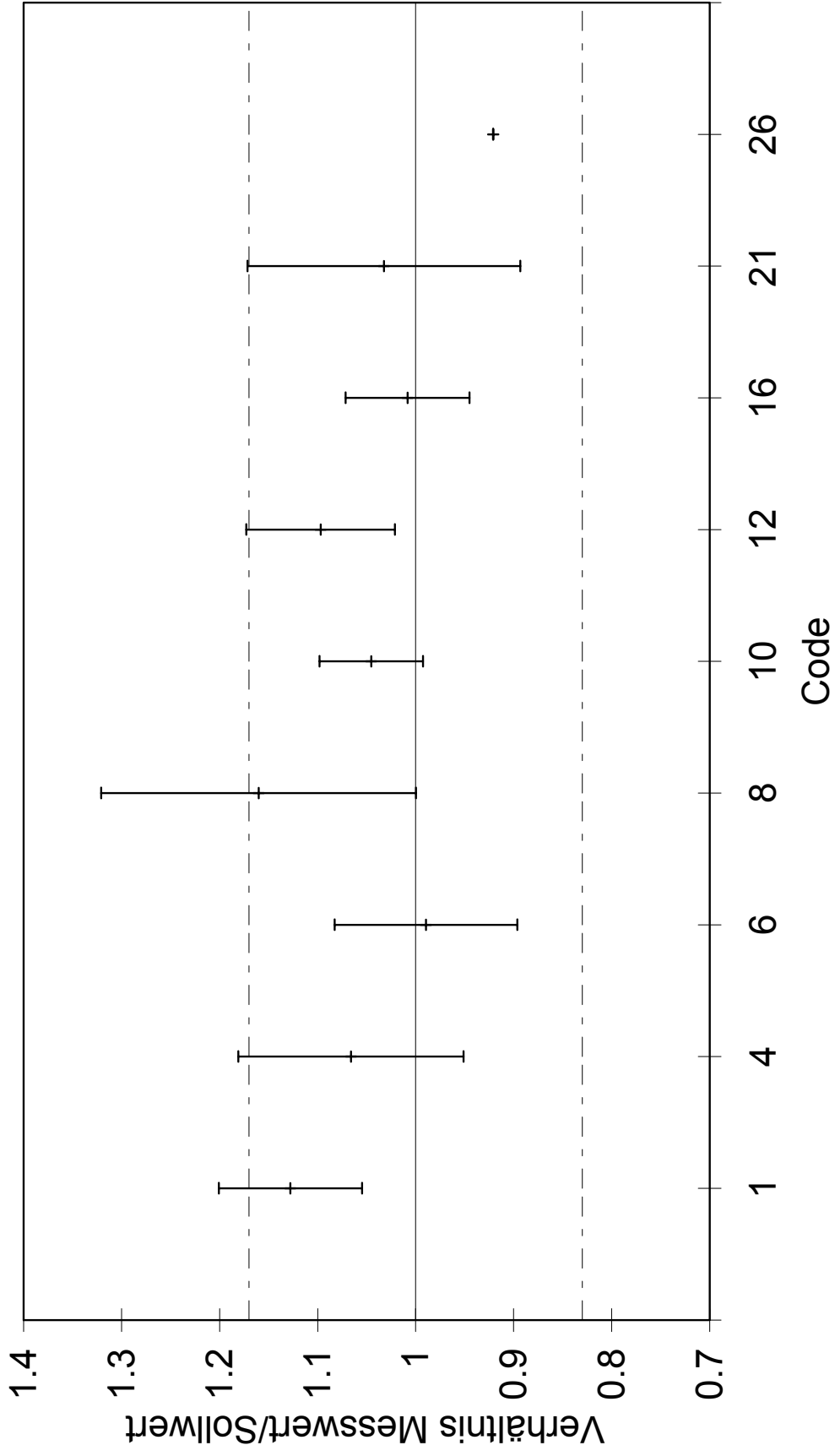
Figur 3: Vergleichsmessung 1998 - Resultate Elektret-Ionisationskammern



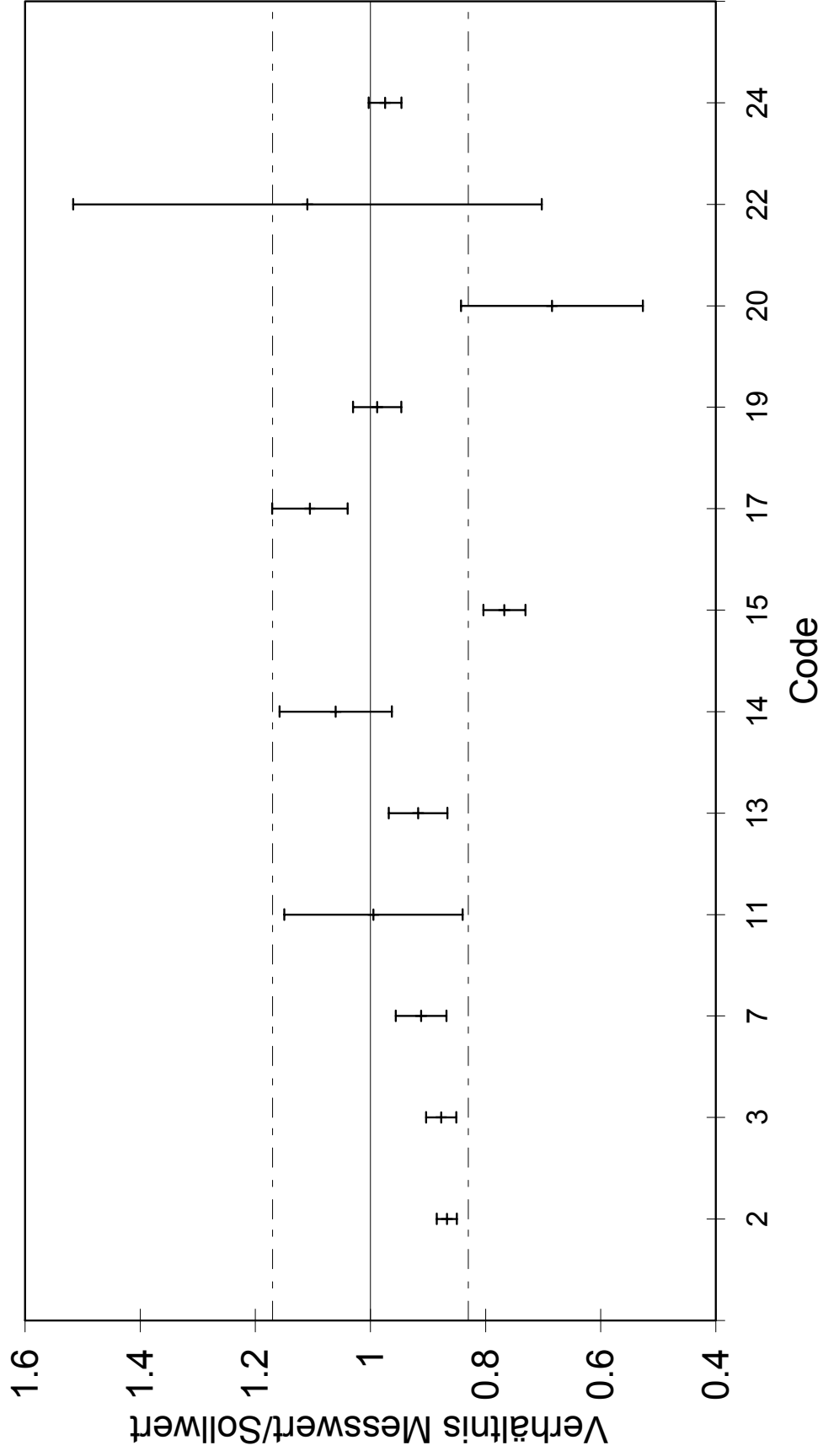
Figur 4: Vergleichsmessung 1998 - Resultate Kernspurdetektoren



Figur 5: Vergleichsmessung 1998 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern



Figur 6: Vergleichsmessung 1998 - Mittelwerte Kernspurdetektoren



Figur 7: Vergleichsmessung 1998 - Resultate Messgeräte

