

# Die Vergleichsmessung 2003 für Radongasmessgeräte am PSI

Gernot Butterweck und Christoph Schuler

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

September 2003



## Zusammenfassung

Kandidaten für diese vom 13. bis 24. März 2003 durchgeführte Vergleichsmessung waren Firmen, Institutionen oder Privatpersonen, welche die Anerkennung des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) als Radonmessstelle besitzen und deshalb nachweisen müssen, dass die Qualität der Messresultate gewährleistet ist. Dem Aufruf des BAG zur Teilnahme folgten neben 10 anerkannten zwei weitere Messstellen. Vier verschiedene Detektor- oder Messgerätearten waren vertreten. Neben Kernspurdetektoren wurden bei den passiven Systemen Elektret-Ionisationskammern eingesetzt, bei den Messgeräten wurden Ionisationskammern und nach dem Prinzip der elektrostatischen Abscheidung arbeitende Geräte geprüft.

Die Detektoren wurden einer Exposition von  $517 \text{ kBqhm}^{-3}$  bei einer durchschnittlichen Radonaktivitätskonzentration von  $1950 \text{ Bqm}^{-3}$  ausgesetzt.

Zudem wurden fünf Elektret-Detektoren einer anerkannten Messstelle im Rahmen eines Blindtests durch das BAG beschafft. Von diesen Detektoren wurden zwei wie oben beschrieben exponiert, zwei erhielten eine niedrigere Exposition von  $247 \text{ kBqhm}^{-3}$  bei einer durchschnittlichen Konzentration von  $1960 \text{ Bqm}^{-3}$  und ein weiterer wurde als Transportdetektor eingesetzt. Die Resultate dieser Detektoren wichen stärker vom Sollwert ab und zeigten auch eine höhere Streuung als die von der gleichen Messstelle für die Vergleichsmessung bereitgestellten Detektoren. Der nicht in der Prüfkammer exponierte Transportdetektor wies ein deutlich zu hohes Messsignal auf.

In der diesjährigen Vergleichsmessung waren keine Detektoren des Typs „Kernspurdetektor offen“ vertreten, so dass auf die Produktion von Aerosolpartikeln mittels brennender Kerzen mit der damit verbundenen Erhöhung der relativen Luftfeuchte verzichtet werden konnte.

## **Abstract**

Twelve radon measurement services participated in the 2003 Radon Intercomparison Exercise performed at the Reference Laboratory for Radon Gas Activity Concentration Measurements at Paul Scherrer Institut (PSI) during March 13<sup>th</sup> to 24<sup>th</sup>, 2003. Ten of these laboratories were approved by the Swiss Federal Office of Public Health and their participation in the intercomparison exercise was a requirement to warrant quality of measurement. Radon gas detectors (etched-track and electret ionisation chambers) and instruments (ionisation chambers and electrostatic precipitation) were exposed in the PSI Radon Chamber in a reference atmosphere with an average radon gas concentration of 1950 Bqm<sup>-3</sup> leading to a radon gas exposure of 517 kBqhm<sup>-3</sup>.

Additional five electret-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 247 kBqhm<sup>-3</sup> at an average radon concentration of 1960 Bqm<sup>-3</sup> 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. The unexposed transport detector showed a notably too high signal.

For the first time in this series of intercomparisons, no open etched-track detectors participated. Thus, the generation of aerosol particles with burning candles was not necessary.

**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 Prüfkammer .....                          | 2 |
| 3.4 Aerosolbedingungen in der Prüfkammer .....                         | 2 |
| 3.5 Resultate der Radongas-Referenzmessungen.....                      | 2 |
| 4 VERWENDETE DETEKTOR- UND MESSINSTRUMENTARTEN<br>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 2003 .....                                                      | 8  |
| Tabelle 3: Expositionsparameter in der Prüfkammer .....                                                | 9  |
| Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung zu den Resultaten der<br>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 .....                                                        | 15 |

**FIGUREN**

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figur 1: Vergleichsmessung 2003 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte<br>in der Prüfkammer.....             | 16 |
| Figur 2: Vergleichsmessung 2003 - Radonkonzentration in der Prüfkammer..                                        | 17 |
| Figur 3: Vergleichsmessung 2003 - Resultate Elektret-Ionisationskammern...                                      | 18 |
| Figur 4: Vergleichsmessung 2003 - Resultate Kernspurdetektoren.....                                             | 19 |
| Figur 5: Vergleichsmessung 2003 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern.                                      | 20 |
| Figur 6: Vergleichsmessung 2003 - Mittelwerte Kernspurdetektoren .....                                          | 21 |
| Figur 7: Vergleichsmessung 2003 - Resultate Messgeräte .....                                                    | 22 |
| Figur 8: Vergleichsmessung 2003 - Übersicht der anerkannten Messstellen<br>mit Elektret-Ionisationskammern..... | 23 |
| Figur 9: Vergleichsmessung 2003 - Übersicht der anerkannten Messstellen<br>mit Kernspurdetektoren.....          | 24 |





## **1 EINLEITUNG**

Gemäss den vom Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (METAS) am 6. Mai 1996 erlassenen "Weisungen über die Rückverfolgbarkeit (Traceability) von Radongas-Konzentrationsmessungen" (EAM 1996) führt das Referenzlabor für Radongas-Konzentrationsmessungen am Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen jährlich eine Vergleichsmessung von Radon-Detektoren und -Messgeräten durch, um die Qualität der Messsysteme, welche die vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) anerkannten Messstellen verwenden, rückverfolgbar auf nationale und internationale Normale zu überprüfen.

Die Vergleichsmessung 2003 für Radongasdetektoren und -messgeräte in der Prüfkammer des Referenzlabors fand vom 13. bis 24. März statt. Es beteiligten sich 12 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen (Tabelle 1) mit total 112 Detektoren und 7 Messgeräten.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Ergebnisse dieser Vergleichsmessung.

## **2 REFERENZ-MESSINSTRUMENTE**

Als Referenzmessinstrumente zur punktwisen Bestimmung der Radongas-Aktivitätskonzentration in der Prüfkammer werden Szintillationszellen (Lucaszellen) verwendet (Model 300A, Pylon Electronic Development, Ottawa (CAN)). Eine solche Zelle verbunden mit einem Szintillationszähler bildet ein sogenanntes Transfernormal I. Für die automatisierte Probenahme der Prüfkammer-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 2003 total 147 Punktmessungen.

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

### **2.1 Kalibrierung der Referenz-Messinstrumente für Radongas**

Um die Rückverfolgbarkeit der Referenzatmosphäre in der Prüfkammer während der Vergleichsmessung 2003 auf international anerkannte Normale zu gewährleisten, wurden die Szintillationszellen mit einem Radongas-Standard der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), Deutschland, kalibriert (Schuler 1998). Das Messgerät mit Durchfluss-Ionisationskammer wurde indirekt über Vergleichsmessungen mit den Szintillationszellen kalibriert.

### **3 EXPOSITIONSPARAMETER**

#### **3.1 Dauer von Expositions- und Ausgasungsperiode**

Beginn und Ende von Expositions- und Ausgasungsperiode sind in Tabelle 2 festgehalten. Eine Ausgasungsdauer von ungefähr 24 Stunden im Anschluss an die Exposition in der Prüfkammer verhindert, dass die exponierten Detektoren nachträglich eine zusätzliche Exposition registrieren, wie das bei 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 Prüfkammer 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  $\gamma$ -Dosisleistung sind ebenfalls in Tabelle 2 angegeben.

#### **3.3 Umweltbedingungen in der Prüfkammer**

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

#### **3.4 Aerosolbedingungen in der Prüfkammer**

Erstmals wurden in diesem Jahr im Gegensatz zu den vergangenen Vergleichsmessungen (Schuler und Butterweck-Dempewolf 1998, Schuler und Butterweck-Dempewolf 1999, Schuler und Butterweck 2000, Butterweck und Schuler 2001, Butterweck und Schuler 2002) keine Detektoren vom Typ "Kernspurdetektor offen" (siehe Anhang 2 des BAG-Gesuchs zur Anerkennung von Radongas-Messstellen) eingesetzt. Daher konnte bei dieser Vergleichsmessung auf eine Produktion von Aerosolpartikeln zur Justierung des Gleichgewichtsfaktors F verzichtet werden.

#### **3.5 Resultate der Radongas-Referenzmessungen**

Der Referenzwert für die Radongas-Konzentration in der Prüfkammer während der Vergleichsmessung 2003 (Tabelle 3) basiert auf dem gewichteten Durchschnittswert von 147 Punktbestimmungen mit drei Transfornormalen I (Tabelle 4), welche nach dem in Tabelle 2 angegebenen Füll- und Messschema durchgeführt wurden. Aus dem Radongas-Konzentrationswert wurde der entsprechende Rn-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 147 Konzentrationsbestimmungen wurden als unabhängige Einzelbestimmungen betrachtet, welche in einem Durchschnittswert zusammengefasst werden können. Die Unsicherheit dieses Durchschnitts wird dann durch Gauss'sche Fehlerfortpflanzung der Unsicherheiten der Einzelwerte erhalten (Schuler 1998). Angaben zur Unsicherheitsabschätzung der Resultate der Radongas-Konzentrationsbestimmungen erscheinen in Tabelle 4.

#### **4 VERWENDETE DETEKTOR- UND MESSINSTRUMENTARTEN DER TEILNEHMER**

Den 12 Teilnehmern der Vergleichsmessung wurden je nach Anzahl der exponierten Detektorgruppen oder Messgeräte ein oder mehrere Codes zugeteilt. Diese Codes sowie der verwendete Detektor- bzw. Messgerättyp 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  $2\sigma$ -Bereich der Unsicherheit des Referenzwertes [siehe Tabelle 4] plus  $\pm 15\%$ , die einem überholten Kriterium des BAG aus 1996 entsprechen und hier zur Vergleichbarkeit mit vergangenen Vergleichsmessungen verwendet werden).

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 Diagramm, dessen x-Achse die relative Abweichung des Ensemblemittels vom Sollwert und

dessen y-Achse die relative Standardabweichung des Ensembles darstellt, fällt dieses Kriterium auf einen Halbkreis. Figur 8 zeigt ein derartiges Diagramm für Elektret-Ionisationskammern und Figur 9 ein Diagramm gleicher Art für Kernspurdetektoren der anerkannten Messstellen. In diesen Abbildungen sind zur besseren Lesbarkeit neben der Grenze von 20% auch Halbkreise für 5%, 10% und 15% eingezeichnet.

## **6 DISKUSSION DER RESULTATE DER VERGLEICHSMESSUNG**

### **6.1 Radongas-Referenzmessungen**

Figur 2 zeigt den Verlauf des Radongas-Konzentrationspegels während der Expositionsperiode.

### **6.2 Teilnehmerresultate**

#### **6.2.1 Elektret-Ionisationskammern**

Die Einzelergebnisse der Elektret-Ionisationskammern sind in Figur 3 dargestellt. Von den 45 mit Kenntnis der Messstellen exponierten Detektoren wichen 6 (13%) um mehr als 18% (horizontal gestrichelte Linien) vom Sollwert ab. Diese Detektoren überschätzten sämtlich die Solldurchschnittskonzentration. Die Mittelwerte über ein Ensemble von 5 Detektoren liegen für alle anerkannten Messstellen innerhalb des Bereichs von 18% um den Sollwert (Figur 5). Das Bewertungskriterium des BAG (Figur 8) ist für alle anerkannten Messstellen erfüllt.

Im Rahmen eines Blindtests wurden fünf Detektoren einer anerkannten Messstelle durch das BAG beschafft (Code 7). Der Messstelle werden für einen Blindtest falsche Angaben über Expositionszeit und Messort gemacht. Das Messergebnis von Elektret-Ionisationskammern hängt unter anderem auch von der Höhe der Messorts über Meer und der eingestrahlten Photonendosis ab. Während bei Kernspurdetektoren die gemessene Exposition trotz der falschen Angaben direkt verwendet werden kann, müssen daher bei Elektret-Ionisationskammern die gemessenen Spannungsdifferenzen komplett neu durch die Messstelle ausgewertet werden.

Die als Blindtest durch das BAG bezogenen Detektoren zeigen eine etwas grössere Streuung und Abweichung vom Sollwert als alle übrigen Elektret-Ionisationskammern (Figur 3 und Figur 5).

Ein Detektor dieser Blindtest-Detektorserie war als Transportdetektor für die Bestimmung der Exposition während der Lagerung ausserhalb der Prüfkammer vorgesehen. Er zeigte eine unerwartet hohe Spannungsdifferenz von 29 V. Diese Spannungsdifferenz liegt deutlich über der Spannungsdifferenz der exponierten Detektoren, die für die normale Expositionsperiode bei 23 V und 26 V und für die kurze Expositionsperiode bei 11 V und 14 V lagen. Daher wurden stattdessen für den Untergrundsabzug Messungen der Radonkonzentration durch das BAG während der Lagerung herangezogen.

### 6.2.2 Kernspurdetektoren

Bei den Einzelmessresultaten der Kernspurdetektoren (Figur 4) wichen die Resultate von vier Kernspurdetektoren der 20 teilnehmenden Detektoren um mehr als 18% vom Sollwert ab. Darunter waren allein drei einer einzigen anerkannten Messstelle (Code 33), von denen wiederum eines mit einem Wert von 2.49 ausserhalb des für Figur 4 gewählten Massstabes liegt. Die relative Streuung der Resultate dieser Messstelle um deren Mittelwert liegt mit 0.76 ausserhalb des für Figur 6 gewählten Massstabes.

Das Bewertungskriterium des BAG (Figur 9) ist für alle anderen Teilnehmer erfüllt. Auch in Figur 9 liegt der Punkt für Code 33 aufgrund der grossen Streuung ausserhalb des gewählten Massstabs.

### 6.2.3 Messgeräte

Die Resultate der Messgeräte erscheinen in Tabelle 8 und Figur 7. Trotz Inbetriebnahme gemäss der Vorgaben der Messstelle wurden mit einem Messgerät (Code 62) keine Daten aufgenommen. Mit dieser Ausnahme zeigen alle an der Vergleichsmessung teilnehmenden Geräte gute Übereinstimmung mit dem Sollwert.

## 7 SCHLUSSFOLGERUNG

Auch nach der Vergleichsmessung 2003 lässt sich konstatieren, dass die Radon-gas-Messtechnik in der Schweiz ihren hohen Qualitätsstandard beibehalten hat. Die pro Messstelle gemittelten Messresultate aller zum Zeitpunkt der Vergleichsmessung vom BAG anerkannten Messstellen (Tabelle 5) erfüllen mit einer Ausnahme das durch das BAG geforderte Qualitätskriterium.

Ein erstmals mit Elektret-Ionisationskammern durchgeführter Blindtest zeigte eine grössere Abweichung vom Sollwert und eine grössere Streuung der Einzelwerte verglichen mit den Ergebnissen von Detektoren der gleichen Messstelle, die mit deren Kenntnis an der Vergleichsmessung teilnahmen. Dieser Sachverhalt wurde bereits in den vergangenen Vergleichsmessungen bei Kernspurdetektoren beobachtet.

## 8 LITERATUR

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

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

Schuler, Ch.

Das Referenzlabor für Radongas-Konzentrationsmessungen am PSI  
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht Nr. 98-08; 1998.

Schuler, Ch.; Butterweck-Dempewolf, G.

Die Vergleichsmessung 1997 für Radongasmessgeräte am PSI  
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 98-05; 1998.

Schuler, Ch.; Butterweck-Dempewolf, G.

Die Vergleichsmessung 1998 für Radongasmessgeräte am PSI  
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 99-01; 1999.

Schuler, Ch.; Butterweck, G.

Die Vergleichsmessungen 1999 und 2000 für Radongasmessgeräte am PSI  
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 00-06; 2000.

Butterweck, G.; Schuler, Ch.

Die Vergleichsmessung 2001 für Radongasmessgeräte am PSI  
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 01-05; 2001.

Butterweck, G.; Schuler, Ch.

Die Vergleichsmessung 2002 für Radongasmessgeräte am PSI  
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Rep. Nr. 02-19; 2002.

**Tabelle 1: Liste der Teilnehmer**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2003****Dauer der Expositionsperiode:**

|                             | kurz exponiert | normal exponiert |
|-----------------------------|----------------|------------------|
| Ende der Vergleichsmessung  | 18.3.03 15:53  | 24.3.03 10:05    |
| Start der Vergleichsmessung | 13.3.03 9:23   | 13.3.03 9:23     |
| Expositionsdauer in h       | 126.5          | 264.7            |

**Dauer der Ausgasperiode:**

|                  |               |
|------------------|---------------|
| Ende Ausgasung   | 25.3.03 14:48 |
| Start Ausgasung  | 24.3.03 10:10 |
| Ausgasdauer in h | 28.6          |

**Messungen der Umweltparameter in den Vorbereitungsräumen A997 und 104:**

| Ort  | Start          | Ende           | Rn-Konz.<br>[Bqm <sup>-3</sup> ] | Temp.<br>[°C] | Feuchte<br>[%RH] | Bem.         |
|------|----------------|----------------|----------------------------------|---------------|------------------|--------------|
| A997 | 31.01.03 09:50 | 12.03.03 12:20 | 27 ± 17                          | 22            | 27               | Lagerung     |
| 104  | 12.03.03 12:40 | 12.03.03 17:30 | 19 ± 12                          | 24            | 32               | Vorbereitung |
| A997 | 24.03.03 12:10 | 25.03.03 17:20 | 34 ± 20                          | 23            | 34               | Ausgasung    |

**Messungen  $\gamma$ -Dosisleistungen mit Automess AD4:**

| Ort       | Start         | Ende          | Dauer<br>[h] | D<br>[nSv] | DL<br>[nSv/h] | Bem.       |
|-----------|---------------|---------------|--------------|------------|---------------|------------|
| A997      | 19.2.03 9:50  | 13.3.03 8:48  | 527.0        | 29600      | 56            | Lagerung   |
| Rn-Kammer | 13.3.03 9:31  | 24.3.03 10:04 | 264.6        | 111000     | 420           | Exposition |
| A997      | 24.3.03 10:18 | 25.3.03 17:23 | 31.1         | 1700       | 55            | Ausgasung  |

**LC-Füllungen:**

|                                               |         |                     |
|-----------------------------------------------|---------|---------------------|
| Konsequente Füllung einer LC nach dem Schema: | TN #515 | $\Delta t$ (Min)= 0 |
|                                               | TN #539 | 100                 |
|                                               | TN #576 | 100                 |
|                                               | TN #515 | 120                 |
|                                               | TN #539 | 100                 |
|                                               | TN #576 | 100                 |
|                                               | TN #515 | 120                 |
|                                               | usw.    | usw.                |



**Tabelle 3: Expositionsparameter in der Prüfkammer**

| Rn-Konzentration<br>[Bqm <sup>-3</sup> ]                                                                    | Rn-<br>Exposition<br>[kBqhm <sup>-3</sup> ] | Temperatur<br>[°C] | Relative<br>Feuchte<br>[%] | γ-Dosis-<br>leistung<br>[nSv/h] |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Referenzwert 1:<br>13.03.03 9:23 - 24.03.03 10:05<br>(Durchschnitt von 147 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)  |                                             |                    |                            |                                 |
| <b>1951 ± 61</b>                                                                                            | <b>517 ± 16</b>                             | 19 ± 1             | 30 ± 6                     | 420                             |
| Referenzwert 2:<br>13.03.03 9:23 - 18.03.2003 15:53<br>(Durchschnitt von 80 Punktbestimmungen der Rn-Konz.) |                                             |                    |                            |                                 |
| <b>1956 ± 61</b>                                                                                            | <b>247 ± 8</b>                              | 19 ± 1             | 34 ± 7                     | 420                             |

**Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung zu den Resultaten der Radongas-Referenzmessungen in Bqm<sup>-3</sup>**

|                                                       |           |         |         |
|-------------------------------------------------------|-----------|---------|---------|
| <b>Referenzwert 1: 13.03.03 9:23 - 24.03.03 10:05</b> |           |         |         |
| Messung mit Transfornormal:                           | TN #515   | TN #539 | TN #576 |
| Durchschnitt der Punktbestimmungen:                   | 1940      | 1975    | 1939    |
| „Statistische“ Unsicherheit (u <sub>A</sub> ):        | 5         | 5       | 4       |
| „Systematische“ Unsicherheit (u <sub>B</sub> ):       | 22        | 22      | 22      |
| Gesamtunsicherheit (u <sub>C</sub> ):                 | 22        | 22      | 22      |
| Gewichteter Durchschnittswert:                        | 1951      |         |         |
| <b>Gesamtunsicherheit des gew. DW</b>                 |           |         |         |
| <b>(95%-Vertrauensintervall):</b>                     | <b>61</b> |         |         |
| Gesamtunsicherheit in %:                              | 3.1       |         |         |
| <b>Referenzwert 2: 13.03.03 9:23 - 18.03.03 15:53</b> |           |         |         |
| Messung mit Transfornormal:                           | TN #515   | TN #539 | TN #576 |
| Durchschnitt der Punktbestimmungen:                   | 1943      | 1983    | 1943    |
| „Statistische“ Unsicherheit (u <sub>A</sub> ):        | 7         | 7       | 6       |
| „Systematische“ Unsicherheit (u <sub>B</sub> ):       | 22        | 22      | 22      |
| Gesamtunsicherheit (u <sub>C</sub> ):                 | 23        | 23      | 23      |
| Gewichteter Durchschnittswert:                        | 1956      |         |         |
| <b>Gesamtunsicherheit des gew. DW</b>                 |           |         |         |
| <b>(95%-Vertrauensintervall):</b>                     | <b>61</b> |         |         |
| Gesamtunsicherheit in %:                              | 3.1       |         |         |

**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)                  | Ch. Böhm-Biäuer                     |
| 2                         | Elektret-Ionisationskammer | LST E-Perm (Rad Elec)                  | Institut de Radiophysique Appliquée |
| 3                         | Elektret-Ionisationskammer | LLT E-Perm (Rad Elec)                  | Uehlinger-Pfiffner AG               |
| 4                         | Elektret-Ionisationskammer | LLT E-Perm (Rad Elec)                  | Laboratorio Cantonale Ct. Ticino    |
| 5                         | Elektret-Ionisationskammer | LLT E-Perm (Rad Elec)                  | Kantonales Laboratorium Kt. Thurgau |
| 6                         | Elektret-Ionisationskammer | LLT E-Perm (Rad Elec)                  |                                     |
| 7                         | Elektret-Ionisationskammer | LLT E-Perm (Rad Elec)                  | Blindtest                           |
| 8                         | Elektret-Ionisationskammer | LLT E-Perm (Rad Elec)                  | Geotest AG                          |
| 9                         | Elektret-Ionisationskammer | LLT E-Perm (Rad Elec)                  | Kantonales Laboratorium Kt. Luzern  |
| 10                        | Elektret-Ionisationskammer | LLT E-Perm (Rad Elec)                  | Institut de Radiophysique Appliquée |
| 31                        | Kernspurdetektor           | Radtrak (Landauer)                     | Dragan Consultants Int              |
| 32                        | Kernspurdetektor           | Kodalpha (Dosirad)                     | G+S applicazioni SA                 |
| 33                        | Kernspurdetektor           | REM AT-100 (Radiation Env. Monitoring) | Im Rank Engineering                 |
| 34                        | Kernspurdetektor           | Alpha Track (Gammadata Mättechnik)     | Uehlinger-Pfiffner AG               |

**Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente (Forts.)**

| Code              | Detektor-/Messgerättyp                          | Produkt (Hersteller)              | BAG-anerkannte Messstelle |
|-------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| <i>Messgeräte</i> |                                                 |                                   |                           |
| 61                | Ionisationskammer                               | Alphaguard (Genitron Instruments) |                           |
| 62                | Elektrostatische<br>Sammlung/Halbleiterdetektor | Radim 5 (SMM Jiri Plch)           |                           |
| 63                | Elektrostatische<br>Sammlung/Halbleiterdetektor | Radim 3 (SMM Jiri Plch)           |                           |
| 64                | Elektrostatische<br>Sammlung/Halbleiterdetektor | Radim 3 (SMM Jiri Plch)           |                           |
| 65                | Ionisationskammer                               | Alphaguard (Genitron Instruments) |                           |
| 66                | Elektrostatische<br>Sammlung/Halbleiterdetektor | Rad 7 (Niton)                     |                           |
| 67                | Elektrostatische<br>Sammlung/Halbleiterdetektor | Radim 3 (SMM Jiri Plch)           |                           |

**Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern**

| Teilnehmer-<br>code | Detektor-<br>code | Messwert<br>[Bq m <sup>-3</sup> ] | Verhältnis<br>Messwert/<br>Referenzwert | Mittelwert | Standard-<br>abweichung |
|---------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|------------|-------------------------|
| 1                   | 1                 | 1888                              | 0.968                                   | 1.049      | 0.093                   |
|                     | 2                 | 2042                              | 1.047                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 2328                              | 1.193                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 2092                              | 1.072                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 1888                              | 0.968                                   |            |                         |
| 2                   | 1                 | 2351                              | 1.205                                   | 1.105      | 0.084                   |
|                     | 2                 | 2056                              | 1.054                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 1931                              | 0.990                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 2222                              | 1.139                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 2223                              | 1.139                                   |            |                         |
| 3                   | 1                 | 2167                              | 1.111                                   | 1.080      | 0.034                   |
|                     | 2                 | 2031                              | 1.041                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 2150                              | 1.102                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 2039                              | 1.045                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 2147                              | 1.100                                   |            |                         |
| 4                   | 1                 | 2129                              | 1.091                                   | 1.077      | 0.062                   |
|                     | 2                 | 2225                              | 1.140                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 1991                              | 1.020                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 1960                              | 1.004                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 2201                              | 1.128                                   |            |                         |
| 5                   | 1                 | 2520                              | 1.292                                   | 1.046      | 0.140                   |
|                     | 2                 | 2005                              | 1.028                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 1891                              | 0.969                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 1908                              | 0.978                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 1878                              | 0.963                                   |            |                         |

**Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern (Forts.)**

| Teilnehmer-<br>code | Detektor-<br>code | Messwert<br>[Bq m <sup>-3</sup> ] | Verhältnis<br>Messwert/<br>Referenzwert | Mittelwert | Standard-<br>abweichung |
|---------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|------------|-------------------------|
| 6                   | 1                 | 1854                              | 0.950                                   | 1.083      | 0.095                   |
|                     | 2                 | 2154                              | 1.104                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 2039                              | 1.045                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 2154                              | 1.104                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 2362                              | 1.211                                   |            |                         |
| 7                   | 1                 | 2057                              | 1.052                                   | 1.231      | 0.165                   |
|                     | 2                 | 2230                              | 1.143                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 2556                              | 1.310                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 2778                              | 1.421                                   |            |                         |
| 8                   | 1                 | 1980                              | 1.015                                   | 0.964      | 0.044                   |
|                     | 2                 | 1865                              | 0.956                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 1870                              | 0.959                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 1754                              | 0.899                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 1939                              | 0.994                                   |            |                         |
| 9                   | 1                 | 1928                              | 0.988                                   | 1.101      | 0.106                   |
|                     | 2                 | 2380                              | 1.220                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 2024                              | 1.037                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 2056                              | 1.054                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 2357                              | 1.208                                   |            |                         |
| 10                  | 1                 | 1789                              | 0.917                                   | 1.017      | 0.081                   |
|                     | 2                 | 2082                              | 1.067                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 1881                              | 0.964                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 1975                              | 1.012                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 2190                              | 1.122                                   |            |                         |

**Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren**

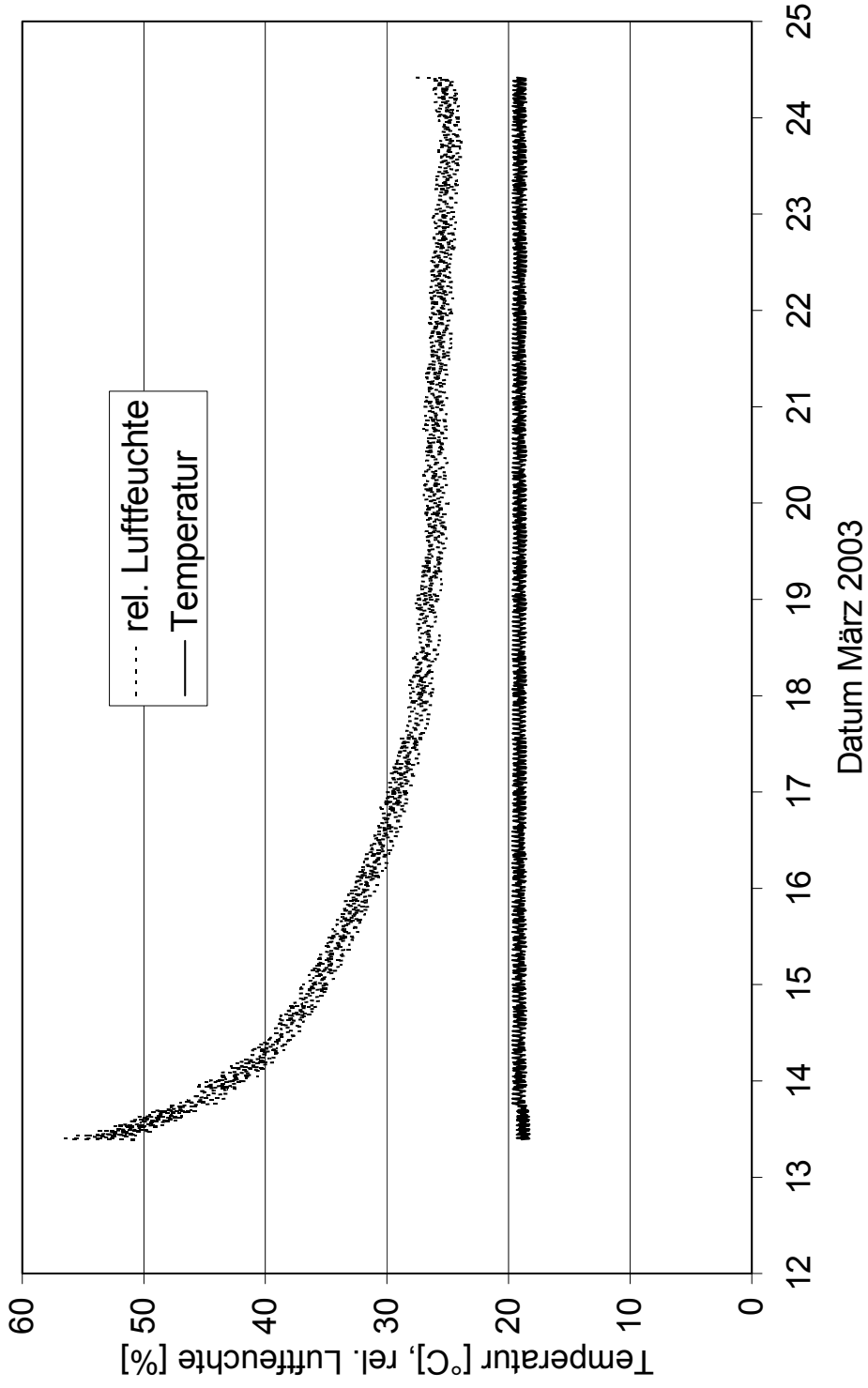
| Teilnehmer-<br>code | Detektor-<br>code | Messwert<br>[kBq h m <sup>-3</sup> ] | Verhältnis<br>Messwert/<br>Referenzwert | Mittelwert | Standard-<br>abweichung |
|---------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|------------|-------------------------|
| 31                  | 1                 | 564                                  | 1.092                                   | 1.079      | 0.087                   |
|                     | 2                 | 539                                  | 1.044                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 613                                  | 1.186                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 579                                  | 1.120                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 492                                  | 0.952                                   |            |                         |
| 32                  | 1                 | 498                                  | 0.964                                   | 0.980      | 0.032                   |
|                     | 2                 | 521                                  | 1.009                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 514                                  | 0.995                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 481                                  | 0.931                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 517                                  | 1.001                                   |            |                         |
| 33                  | 1                 | 518                                  | 1.003                                   | 1.158      | 0.760                   |
|                     | 2                 | 473                                  | 0.916                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 1288                                 | 2.494                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 338                                  | 0.654                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 372                                  | 0.720                                   |            |                         |
| 34                  | 1                 | 509                                  | 0.986                                   | 1.000      | 0.028                   |
|                     | 2                 | 521                                  | 1.009                                   |            |                         |
|                     | 3                 | 495                                  | 0.958                                   |            |                         |
|                     | 4                 | 525                                  | 1.017                                   |            |                         |
|                     | 5                 | 531                                  | 1.028                                   |            |                         |

**Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte**

| Teilnehmercode | Konzentrations-<br>mittelwert<br>[Bq m <sup>-3</sup> ] | Standard-<br>abweichung<br>[Bq m <sup>-3</sup> ] | Verhältnis<br>Messwert/<br>Referenzwert | Standard-<br>abweichung <sup>1</sup> |
|----------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| 61             | 2012                                                   | 80                                               | 1.031                                   | 0.030                                |
| 62             |                                                        |                                                  |                                         |                                      |
| 63             | 2158                                                   | 119                                              | 1.106                                   | 0.100                                |
| 64             | 1834                                                   | 93                                               | 0.940                                   | 0.100                                |
| 65             | 1963                                                   | 74                                               | 1.006                                   | 0.030                                |
| 66             | 1974                                                   | 100                                              | 1.012                                   | 0.050                                |
| 67             | 2107                                                   | 111                                              | 1.080                                   | 0.100                                |

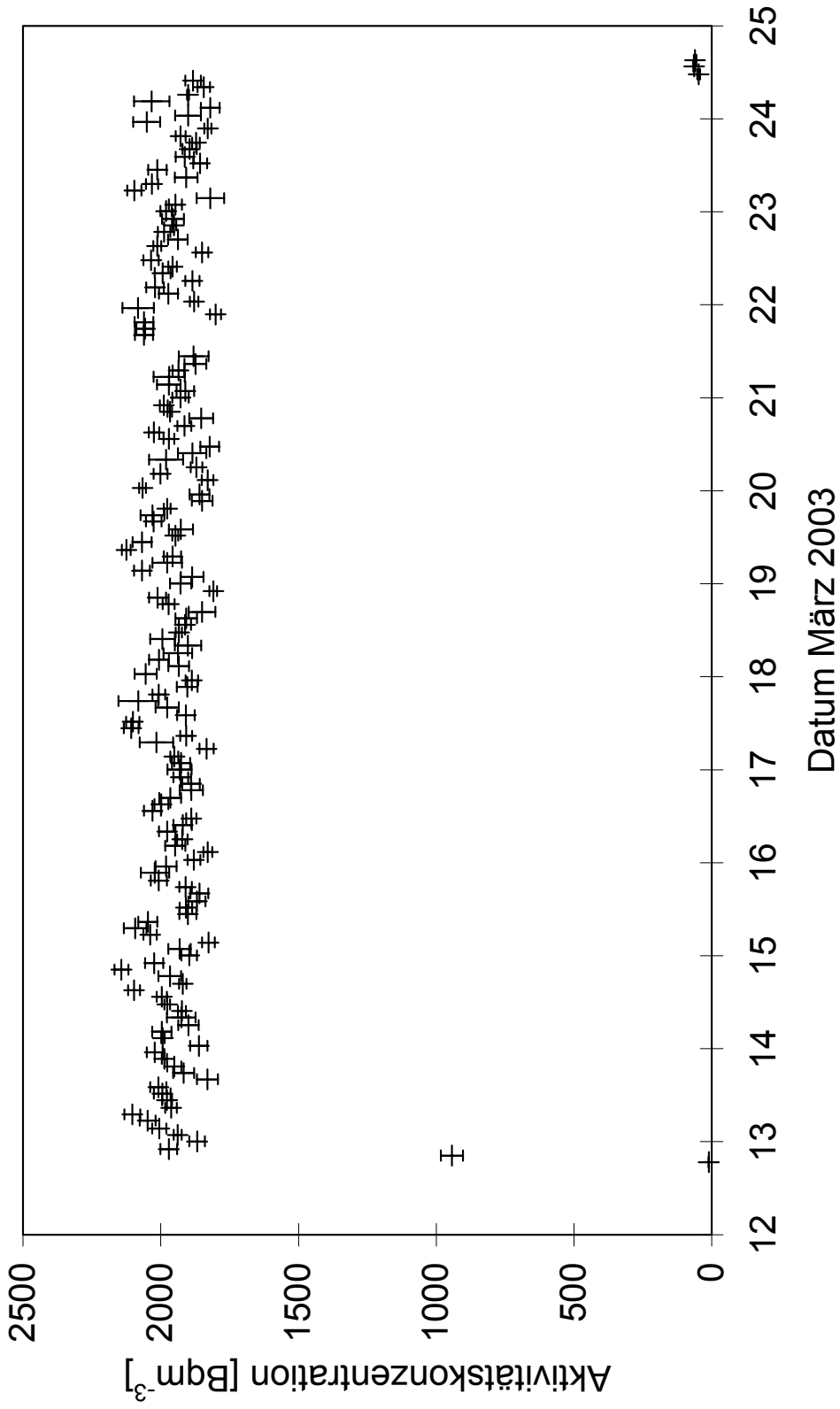
<sup>1</sup> Vom PSI eingesetzter Wert für die systematische Unsicherheit der Messresultate (nach Angaben der Hersteller).

Figur 1: Vergleichsmessung 2003 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Prüfkammer

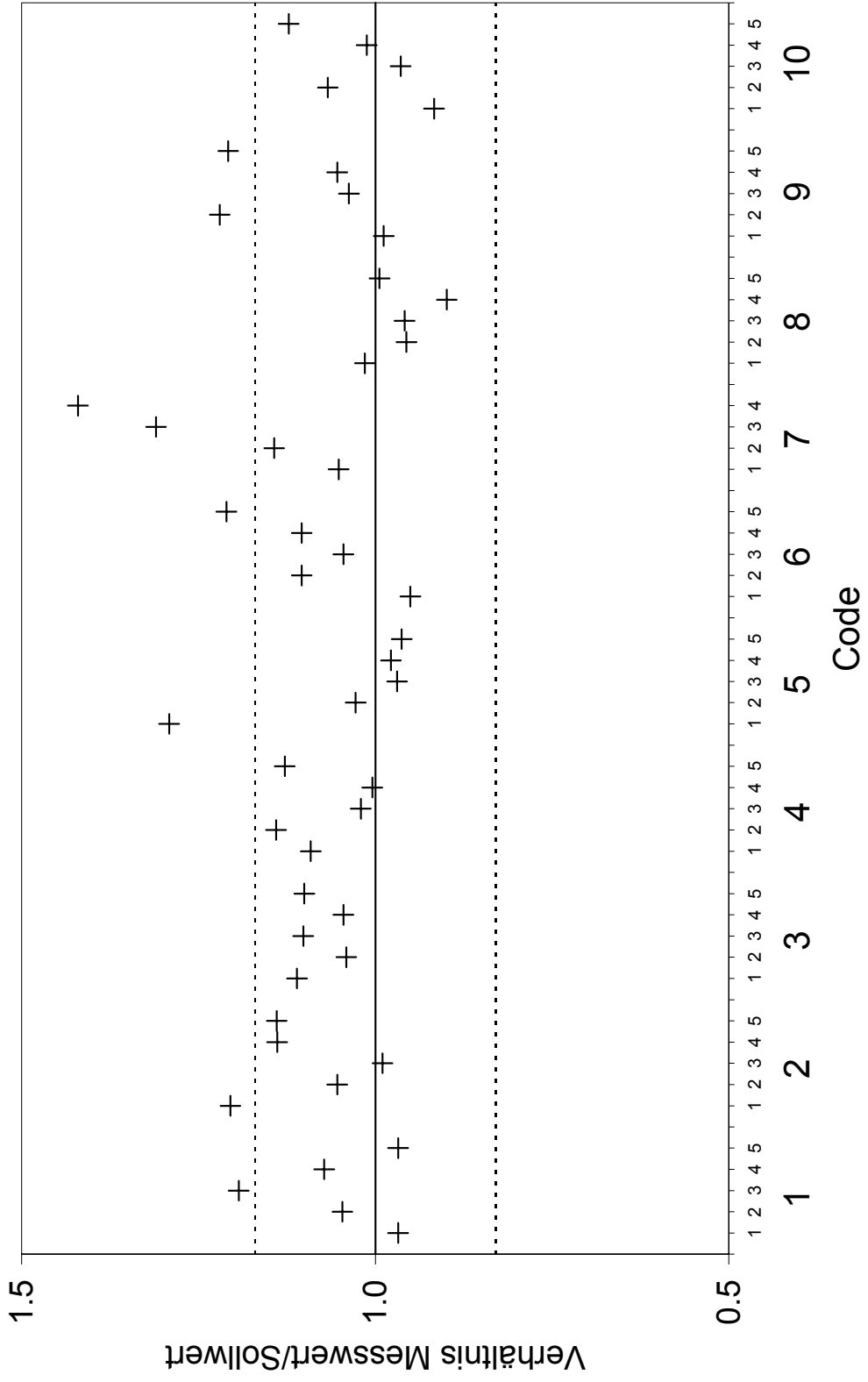




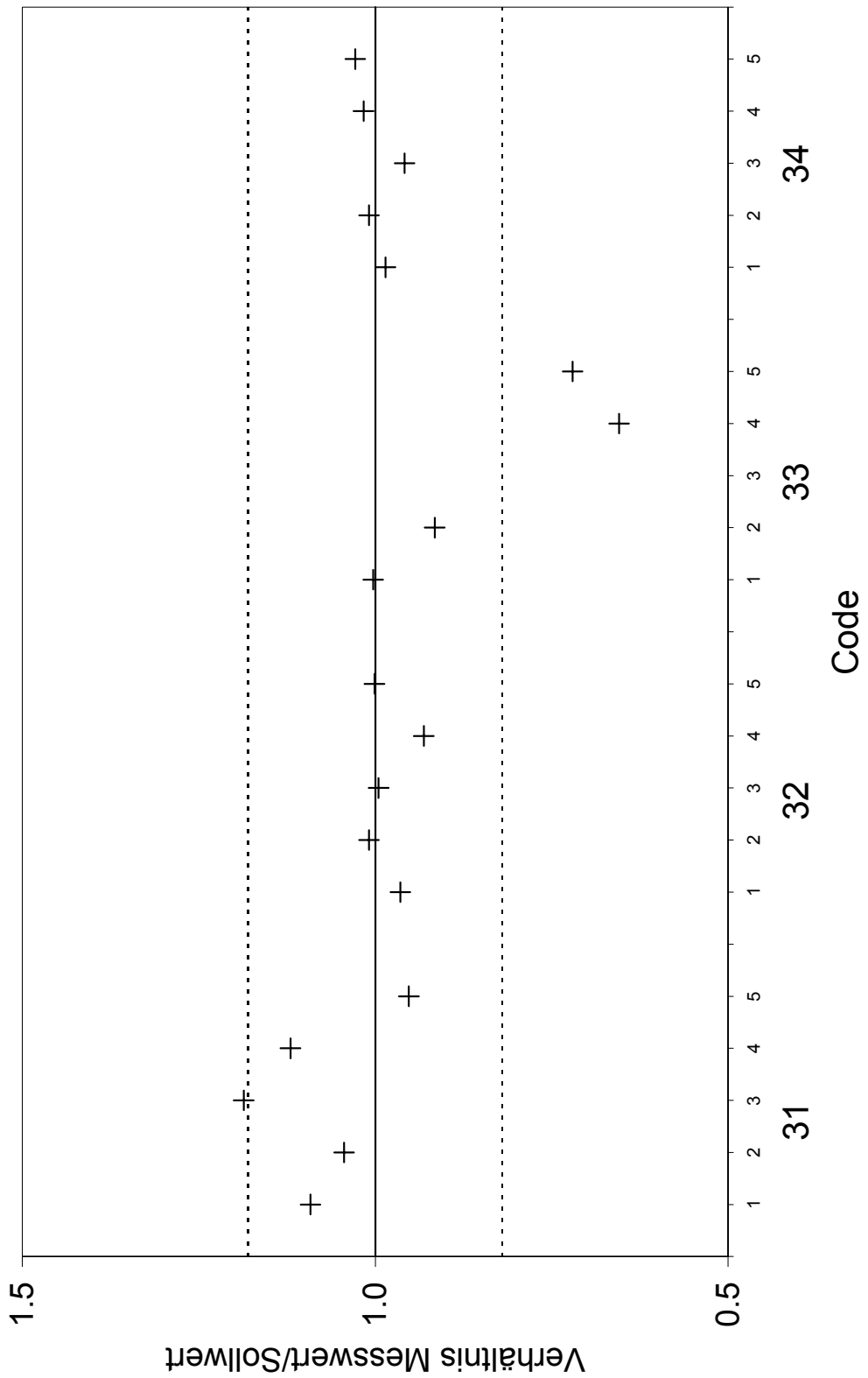
Figur 2: Vergleichsmessung 2003 - Radonkonzentration in der Prüfkammer



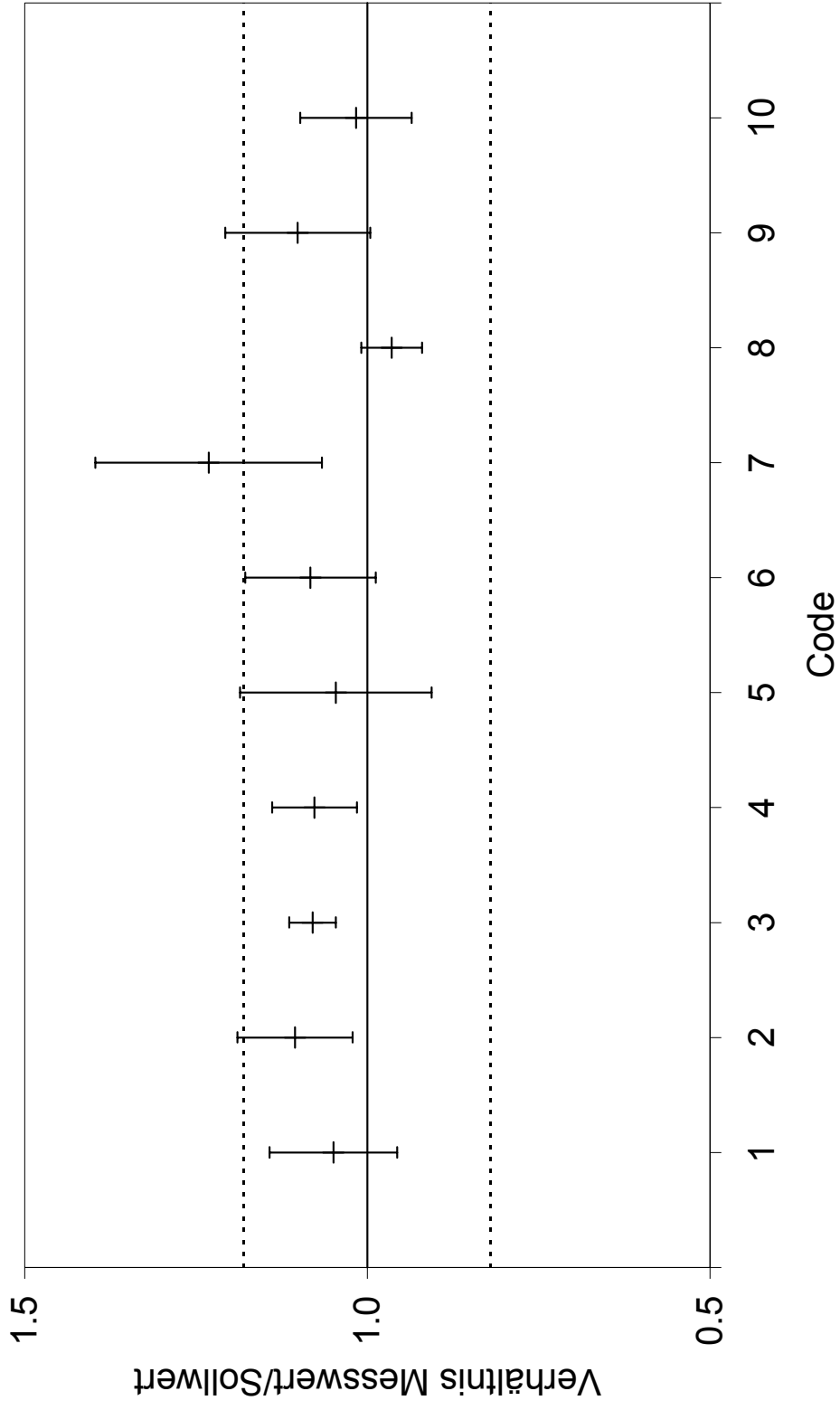
Figur 3: Vergleichsmessung 2003 - Resultate Elektret-Ionisationskammern



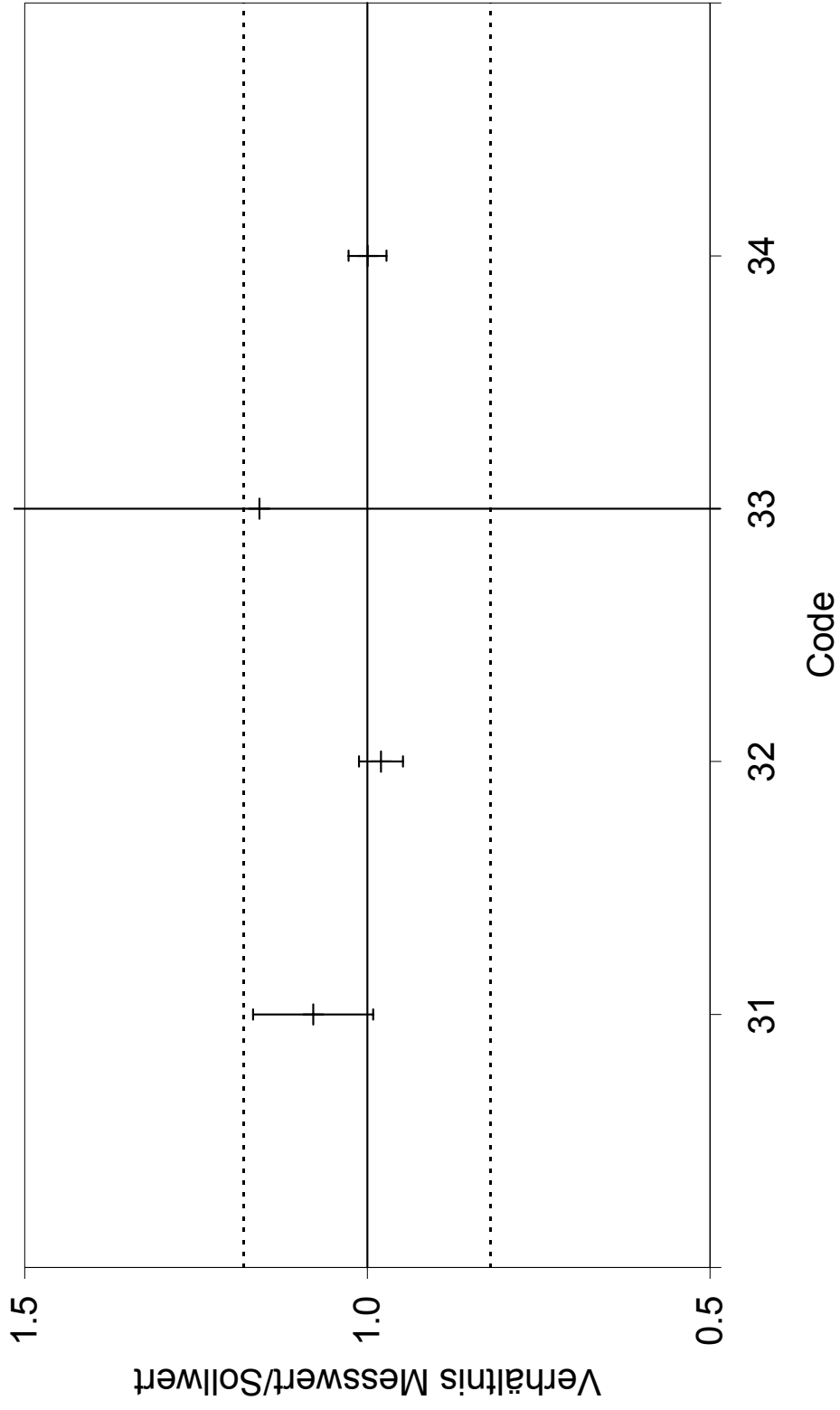
Figur 4: Vergleichsmessung 2003 - Resultate Kernspurdetektoren

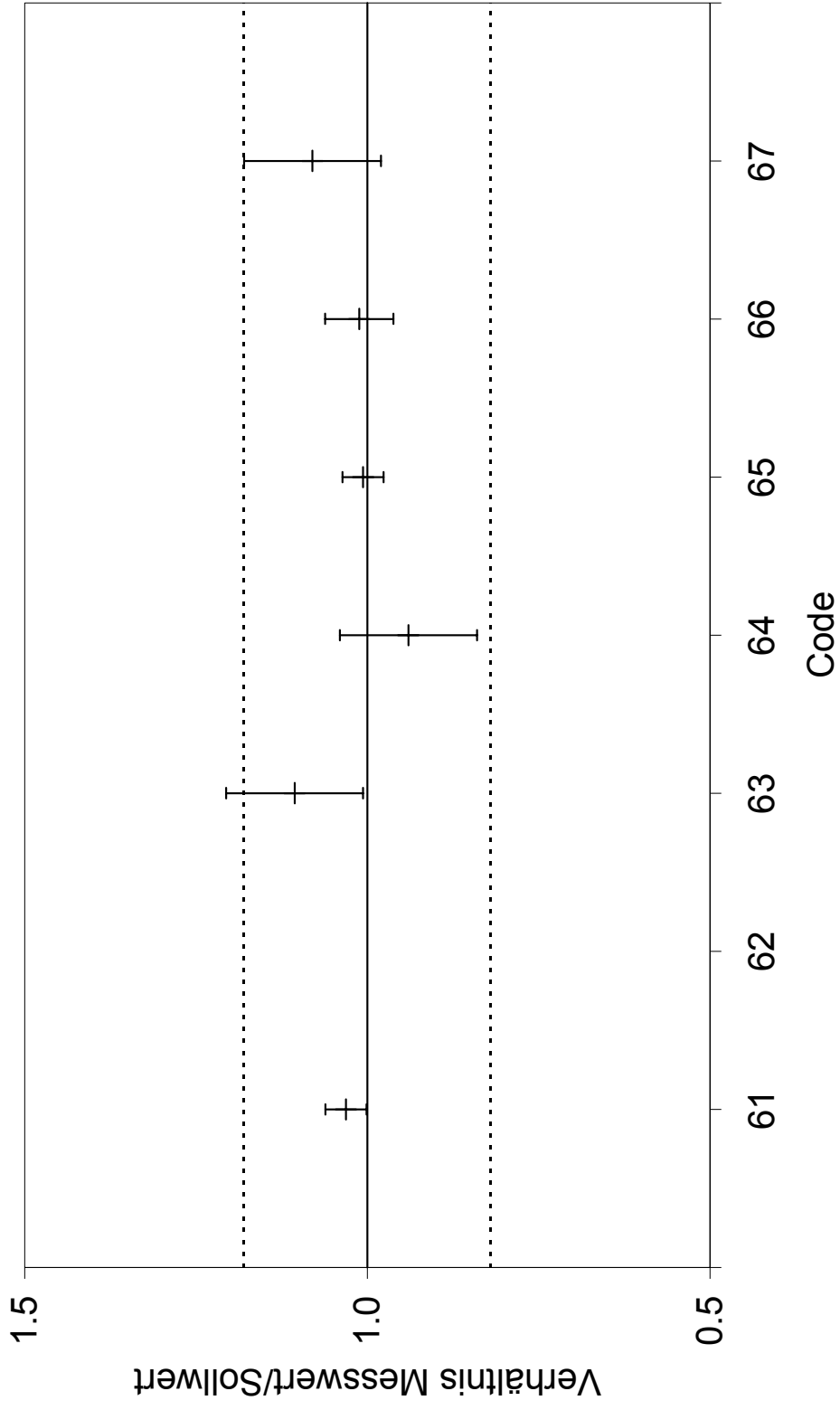


Figur 5: Vergleichsmessung 2003 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern

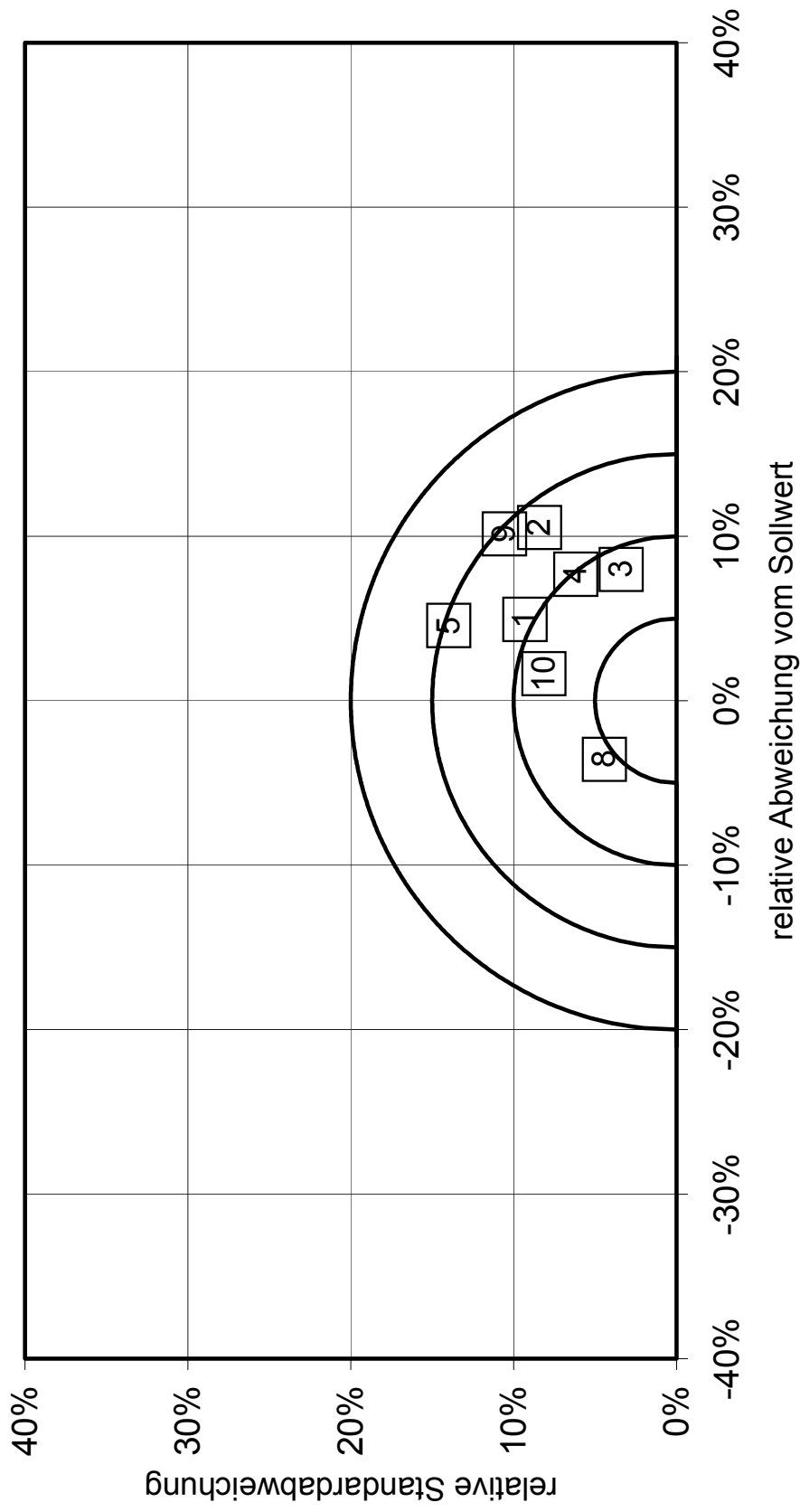


Figur 6: Vergleichsmessung 2003 - Mittelwerte Kernspurdetektoren



**Figur 7: Vergleichsmessung 2003 - Resultate Messgeräte**

Figur 8: Vergleichsmessung 2003 - Übersicht der anerkannten Messstellen mit Elektret-Ionisationskammern



Figur 9: Vergleichsmessung 2003 - Übersicht der anerkannten Messstellen mit Kernspurdetektoren

