

# Die Vergleichsmessung 1996 für Radongasmessgeräte am PSI

Christoph Schuler und Gernot Butterweck-Dempewolf

Abteilung für Strahlenhygiene  
Paul Scherrer Institut, CH-5232 Villigen PSI

Mai 1997



## **Zusammenfassung**

Die Vergleichsmessung 1996 für Radongasdetektoren und -messgeräte wurde vom Referenzlabor für Radongas-Konzentrationsmessungen des Paul Scherrer Instituts vom 27. Nov. bis 4. Dez. durchgeführt. Es beteiligten sich 14 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen mit total 199 Detektoren und 4 Messgeräten. Angeboten wurde eine siebentägige Exposition in einer Referenzatmosphäre der PSI-Radonkammer mit einer Radongaskonzentration von  $6032 \text{ Bq m}^{-3}$ .

Die Resultate von Elektret-Ionisationskammern, Kernspurdetektoren und Messgeräten erfüllten alle die für die Anerkennung von Messstellen geforderten Kriterien für Rückführbarkeit und Reproduzierbarkeit. Die Exposition von mehr als einem Jahr gelagerten Kernspurdetektoren zeigte, dass Detektoren dieses Typs durch die Lagerung an Empfindlichkeit verlieren können.

**Abstract:**

The 1996 Radon Intercomparison Exercise at Paul Scherrer Institut was organized by the PSI Reference Laboratory for Radon Gas Activity Concentration Measurements. A total of 14 laboratories, companies and institutions participated with radon gas detectors and measuring instruments. The detectors and instruments were exposed in the PSI radon chamber during seven days in a reference atmosphere with an average radon gas concentration of about 6000 Bqm<sup>-3</sup>.

Comparison of the results of electret ionization chambers, track etch detectors and measuring instruments with the PSI target value showed the criteria for traceability and reproducibility demanded by the Federal Office for Health for the acknowledgement of Swiss Radon Gas Measurement Laboratories to be fulfilled for all participants. Exposure of track etch detectors stored for more than one year demonstrated that this detector type can suffer sensitivity loss by a too long storage period.

## 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 Resultate der Radongas-Referenzmessungen.....	2
4 VERWENDETE DETEKTOR- UND MESSINSTRUMENTARTEN DER TEIL- NEHMER.....	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 Kernspurdetektoren .....	4
6.2.3 Messgeräte.....	5
7 SCHLUSSFOLGERUNG.....	5
8 LITERATUR .....	5

## TABELLEN

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer .....	6
Tabelle 2: Resultate von Teilnahmen des PSI-Referenzlabors an Vergleichs- messungen des Environmental Measurements Laboratory, New York .....	7
Tabelle 3: Daten zur Vergleichsmessung 1996 .....	8
Tabelle 4: Expositionsparameter in der Radonkammer 27.11.96 15:55 - 04.12.96 14:35 .....	9
Tabelle 5: Fehlerabschätzung zu den Resultaten der Radongas- Referenzmessungen in Bqm <sup>-3</sup> .....	10
Tabelle 6: Verwendete Detektoren und Messinstrumente.....	11
Tabelle 7: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern.....	13

Tabelle 8: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren.....	15
Tabelle 9: Teilnehmerresultate Messgeräte .....	17

## FIGUREN

Figur 1: EML-Vergleichsmessung - PSI-Resultate .....	18
Figur 2: Vergleichsmessung 1996 - Lufttemperatur in der Radonkammer .....	19
Figur 3: Vergleichsmessung 1996 - Relative Feuchte in der Radonkammer....	20
Figur 4: Vergleichsmessung 1996 - Radonkonzentration in der Kammer .....	21
Figur 5: Vergleichsmessung 1996 - Resultate Elektret-Ionisationskammern....	22
Figur 6: Vergleichsmessung 1996 - Resultate Kernspurdetektoren .....	23
Figur 7: Vergleichsmessung 1996 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern .	24
Figur 8: Vergleichsmessung 1996 - Mittelwerte Kernspurdetektoren .....	25
Figur 9: Vergleichsmessung 1996 - Resultate Messgeräte .....	26

## 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) wird das Referenzlabor für Radongas-Konzentrationsmessungen vom Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen unterhalten.

Das PSI-Referenzlabor muss gemäss Strahlenschutzverordnung und EAM-Weisung jährlich eine Vergleichsmessung von Radon-Detektoren und -Messgeräten durchführen, um die Rückführbarkeit der Messsysteme, welche die vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) anerkannten Messstellen verwenden, auf nationale und internationale Normale zu überprüfen.

Die Vergleichsmessung 1996 für Radongasdetektoren und -messgeräte in der Radonkammer des Referenzlabors fand vom 27. Nov. bis 4. Dez. statt. Es beteiligten sich 14 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen (Tab. 1) mit total 199 Detektoren und 4 Messgeräten.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Ergebnisse dieser Vergleichsmessung.

## 2 REFERENZ-MESSINSTRUMENTE

Als Referenzmessinstrumente zur punktwisen Bestimmung der Radongas-Aktivitätskonzentration in der Radonkammer wurden Szintillationszellen (Lucaszellen) verwendet (Model 300 resp. 300A, Pylon Electronic Development, Ottawa (CAN)). Diese werden in einem Zug von vier Stück in einen Kreislauf mit der Radonkammer geschaltet für minimal 20 Minuten mit der Radonkammeratmosphäre durchspült. Anschliessend werden die Zellen von der Kammer abgekoppelt und die  $^{222}\text{Rn}$ -Aktivitätskonzentration gemessen. Die Schwankungen des Pegels in der Radonkammer wurden mit einer Durchfluss-Ionisationskammer registriert (ATMOS-12 DPX, Gammadata Mättechnik, Uppsala (S)). Das Gerät pumpt in einem Kreislauf an die Radonkammer gekoppelt kontinuierlich ca.  $1 \text{ l min}^{-1}$  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 1996 auf international anerkannte Normale zu gewährleisten, wurden die Szintillationszellen vorgängig mit einem Radongas-Standard des National Institute of Standards and Technology (NIST), U.S.A., kalibriert. Die Qualität dieser Kalibrierung wurde mit einer zweiten Kalibrierung mit einer Ra-Lösung (NIST SRM 4965) bestätigt (Schuler 1997).

Die Durchfluss-Ionisationskammer wurde indirekt über Vergleichsmessungen mit den Szintillationszellen kalibriert (Schuler 1997).

Tabelle 2 und Fig. 1 zeigen die Resultate, welche vom PSI-Referenzlabor an den vom Environmental Measurements Laboratory (EML), New York, durchgeführten Vergleichsmessungen (Fisenne et al., 1992a) erzielt wurden. Vier Szintillationszellen wurden zur Füllung in der EML-Radonkammer an das EML gesandt und die an das PSI-Referenzlabor als Blindproben retournierten Zellen

gemessen. Die an das EML gesandten Resultate (Mittelwert der vier Szintillationszellen-Messungen) sowie die Abweichung vom Sollwert der EML-Radonkammer werden durch das EML publiziert.

### **3 EXPOSITIONSPARAMETER**

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

Beginn und Ende von Expositions- und Ausgasungsperiode sind in Tab. 3 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 Einschuss 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. 3 die Daten von Radonkonzentrations-, Temperatur- und Feuchtemessungen. Die Daten der für die Korrektur der Messdaten von Elektret-Ionisationskammern notwendigen Messungen der  $\gamma$ -Dosisleistung sind ebenfalls in Tab. 3 angegeben.

#### **3.3 Umweltbedingungen in der Radonkammer**

Tabelle 4 führt die Ergebnisse der Messungen der Umweltparameter in der Radonkammer während der Exposition auf. Figur 2 und Fig. 3 zeigen Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf während der Exposition. Der Feuchtigkeitsanstieg zu Beginn der Exposition in der Radonkammer ist auf die Anwesenheit von zwei Personen in der Kammer (Plazierung der Detektoren) zurückzuführen. Da die interne Kammerluftumwälzung nicht für die Trocknung der Luft ausgelegt ist, erfolgte ein relativ langsamer Abfall der Feuchte (Fig. 3).

#### **3.4 Resultate der Radongas-Referenzmessungen**

Der Referenzwert für die Radongas-Konzentration in der Radonkammer während der Vergleichsmessung 1996 basiert auf dem Mittelwert von fünf Punktbestimmungen mit Szintillationszellen (Tab. 4), welche an den in Tab. 3 angegebenen Daten durchgeführt wurden. Tab. 4 enthält auch den Mittelwert der kontinuierlichen Messung der Radongas-Konzentration sowie als Ergänzung die aus Tab. 3 entnommenen Umweltparameter während der Exposition. Aus den Radongas-Konzentrationswerten wurden die entsprechenden Rn-Expositionswerte abgeleitet.

In Fig. 4 ist der Verlauf der kontinuierlichen Radongas-Konzentrationsmessung während der Exposition dargestellt.



Angaben zur Fehlerabschätzung der Resultate der Radongas-Konzentrationsbestimmungen erscheinen in Tab. 5. Massgebend für die Grösse der angegebenen Gesamtunsicherheiten ist die systematische Unsicherheit, welche sich aus Unsicherheiten der Kalibrierung, wie z.B. die Unsicherheit des verwendeten Kalibriernormals, zusammensetzt (Schuler 1997).

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

Den 14 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. 6 aufgeführt. Gemäss Auflage 5.5 der Verfügung für die Anerkennung einer Radongas-Messstelle durch das BAG enthält Tab. 6 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 7, 8 und 9 führen die Teilnehmerresultate für Elektret-Ionisationskammern, Kernspurdetektoren und Messgeräte auf. In den Tabellen 7 und 8 sind die gemeldeten Einzelresultate nach Detektorbezeichnung aufsteigend in alphanumerischer Reihenfolge geordnet angegeben und zusätzlich noch mit einem Detektorcode versehen. Die Tabellen 7, 8 und 9 enthalten auch das Verhältnis Messwert/Referenzwert pro Detektor oder Messgerät sowie Mittelwert und Standardabweichung dieser Verhältnisse. In den Figuren 5 und 6 sind die Einzelverhältnisswerte und in den Figuren 7, 8 und 9 die Verhältnismittelwerte sowie deren Standardabweichung pro Teilnehmercode dargestellt.

Gemäss Formular „Gesuch zur Anerkennung als Radonmessstelle“ des BAG ist die Rückführbarkeit von Messresultaten erfüllt, wenn das Resultat bei Teilnahme an einer Vergleichsmessung in der PSI-Radonkammer nicht mehr als  $\pm 15\%$  vom Referenzwert abweicht. In den Figuren 5 - 9 wurden deshalb zur Illustration dieser Grenzen bei  $+ 18\%$  und bei  $- 18\%$  Linien eingetragen ( $\pm 3\%$  für den  $1\sigma$ -Bereich der Unsicherheit des Referenzwertes [siehe Tab. 5] plus  $\pm 15\%$ ).

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

##### **6.1 Radongas-Referenzmessungen**

Bei den zur Herleitung der Referenzradongaskonzentration und -exposition dieser Vergleichsmessung herangezogenen Punktbestimmungen mit Szintillationszellen ist die gegenüber der kontinuierlichen Messung geringe Zahl der Messwerte (siehe Tab. 5) zu beanstanden. Nur fünf Punktmessungen beschreiben statistisch die Variation des Radongas-Pegels in der PSI-Radonkammer ungenauer als die fast tausend Werte der kontinuierlichen Messung.

Eine Verbesserung würde die Umstellung von manueller auf automatische Probenahme und Messung bringen. Die dazu notwendige komplexe computergesteuerte Anlage ist allerdings erst im Projektstadium.

Eine EML-Vergleichsmessung, wie unter 2.1 beschrieben, wurde bis zum Abschluss dieses Berichts nicht veranstaltet, so dass Resultate des PSI-Referenzlabors für dieses Jahr fehlen.

## 6.2 Teilnehmerresultate

### 6.2.1 Elektret-Ionisationskammern

Alle Messresultate der Teilnehmer mit Elektret-Ionisationskammern erfüllen das oben unter 5. erwähnte Rückführbarkeitskriterium. Auffallend ist aber, dass die Mehrheit der Resultate wenn auch nicht durchweg signifikant, so doch deutlich oberhalb der Sollwertlinie liegen (Figur 5 und 7). Dies kann auf den vom Hersteller dieses Detektorsystems empfohlenen Kalibrierfaktor zurückzuführen sein. Da aber das Rückführbarkeitskriterium erfüllt ist, wird von einer Anpassung dieses Kalibrierfaktors aufgrund der Resultate dieser Vergleichsmessung abgeraten.

Die Standardabweichung des Mittelwerts kann als Mass für die Reproduzierbarkeit von Einzelmessresultaten angesehen werden (DIN 1989). Die Standardabweichung der Detektorresultate liegt unterhalb der vom BAG verlangten 15% und bewegt sich zwischen 3% und 10% (Tab. 7); es liegt also bei den Elektret-Ionisationskammern eine gute Reproduzierbarkeit vor.

### 6.2.2 Kernspurdetektoren

Bei diesem Detektortyp bieten die Resultate sowohl bezüglich Anordnung um den Sollwert als auch bezüglich Streuung der Einzelwerte ein anderes Bild als die Elektret-Ionisationskammern. Es liegen aber auch bei diesem Detektortyp alle Resultate innerhalb der für das Rückführbarkeitskriterium relevanten Grenzen von  $\pm 18\%$ . Die Streuung variiert zwischen 2% und 17% (Tab. 8); sie weist also einen grösseren Schwankungsbereich auf als diejenige der Elektret-Ionisationskammern. Allerdings treten einige Messresultatmittelwerte mit einer sehr geringen Streuung und damit einer sehr guten Reproduzierbarkeit der Einzelwerte hervor (Code 7, 9, 13 und 22 in Fig. 8).

Ein Teilnehmer dieser Vergleichsmessung sandte auch Detektoren zur Exposition ein, welche mehr als ein Jahr verschweisst in radondichten Originalbeuteln gelagert wurden. Der Mittelwert dieser Detektoren (Code 20 in Fig. 8) liegt signifikant um mehr als 15% tiefer als der Mittelwert des gleichen Produkts neuen Datums (Code 9 in Fig. 8). Laut Angaben des Teilnehmers vermutet der Hersteller dieses Produkts (Gammadata Mättechnik), dass die Detektoren mit zunehmender Lagerungszeit an Empfindlichkeit verlieren. Aufgrund des Resultats dieses Experiments und ähnlichen Erfahrungen des BAG im Kt. Graubünden mit Landauer-Detektoren muss den Vertreibern von Kernspurdetektoren geraten werden, nur so viele Detektoren anzukaufen, wie sie auch verbrauchen können. Von einer länger dauernden Lagerung dieses Detektortyps ist abzusehen.

### 6.2.3 Messgeräte

Die Resultate der Messgeräte zeigen sehr geringe Abweichungen vom Sollwert (Figur 9). Für die Standardabweichung der Mittelwerte wurden die Angaben der Teilnehmer übernommen. Die vergleichsweise grössere Standardabweichung des Mittelwerts von Code 10 ist der Einrechnung des systematischen Fehlers durch den Teilnehmer zuzuschreiben.

## 7 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Resultate der Vergleichsmessung 1996 zeigen, dass die Radongas-Messtechnik in der Schweiz bezüglich Rückführbarkeit auf einem sehr hohen Niveau steht. Insbesondere erfüllen die Messresultate aller zum Zeitpunkt der Vergleichsmessung vom BAG anerkannten Messstellen (Tab. 6) das geforderte Rückführbarkeitskriterium auf nationale Normale.

## 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.

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.

Fisenne, I.M.; George, A.C.; Perry, P.M.; Keller, H.W.  
The April 1990 through November 1991 Radon Intercomparisons at EML  
New York, NY: Dep. of Energy; EML-550; 1992b.

Fisenne, I.M.; George, A.C.; Perry, P.M.; Keller, H.W.  
The April 1992 and November 1992 Radon Intercomparisons at EML  
New York, NY: Dep. of Energy; EML-555; 1993.

Fisenne, I.M.; George, A.C.; Perry, P.M.; Keller, H.W.  
The April 1993 and November 1993 Radon Intercomparisons at EML  
New York, NY: Dep. of Energy; EML-562; 1994.

Fisenne, I.M.; George, A.C.; Perry, P.M.; Keller, H.W.  
The April 1994 and October 1994 Radon Intercomparisons at EML  
New York, NY: Dep. of Energy; EML-568; 1995.

Schuler, Ch.

Das Referenzlabor für Radongas-Konzentrationsmessungen am PSI  
Villigen: Paul Scherrer Institut; PSI-Bericht; in Vorbereitung; 1997.

**Tabelle 1: Liste der Teilnehmer**

Airmes AG  
Fr. C. Müller  
Burgstr. 3  
8750 **Glarus**

Beratender Geologe/Hydrogeologe  
Hr. Ch. Böhm  
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. J. Abrecht  
Birkenstr. 15  
3052 **Zollikofen**

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  
8501 **Frauenfeld**

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

Ökoscience Lufthygiene AG  
Hr. Dr. St. Scherrer  
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 **Küsnacht**

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

**Tabelle 2: Resultate von Teilnahmen des PSI-Referenzlabors an Vergleichsmessungen des Environmental Measurements Laboratory, New York**

EML-Nr.	Datum	Eingesetzte Anzahl SZ	EML-Sollwert [Bqm <sup>-3</sup> ] ± 1 SD	PSI-Konz./EML-Konz. ± 1 SD	Referenz
20	04.11.91	1 <sup>(1)</sup>	650 ± 14	0.99 ± 0.07	Fisenne et al. 1992b
	04.11.91	2	827 ± 10	0.99 ± 0.03	
22	09.11.92	4	1650 ± 28	0.96 ± 0.02	Fisenne et al. 1993
23	26.04.93	4	925 ± 22	0.98 ± 0.06	Fisenne et al. 1994
24	15.11.93	4	675 ± 12	0.96 ± 0.04	Fisenne et al. 1994
26	31.10.94	4	945 ± 15	1.01 ± 0.05	Fisenne et al. 1995
27	17.04.95	4	1040 ± 20	1.04 ± 0.04	-- <sup>(2)</sup>
28	15.04.96	4	440 ± 12	0.94 ± 0.04	-- <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Die zweite eingesetzte SZ erwies sich als schadhaft, sodass dieser Messwert nicht an das EML gemeldet wurde.

<sup>(2)</sup> Resultate noch nicht publiziert.

**Tabelle 3: Daten zur Vergleichsmessung 1996****Dauer der Expositionsperiode:**

Ende der Vergleichsmessung	04.12.96 14:35
Start der Vergleichsmessung	27.11.96 15:55
Expositionsdauer in h	166.67

**Dauer der Detektor-Ausgasperiode:**

Ende Ausgasung	05.12.96 16:10
Start Ausgasung	04.12.96 14:40
Ausgasdauer in h	25.50

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

Ort	Start	Ende	Rn-Konz. [Bqm <sup>-3</sup> ]	Temp. [°C]	Feuchte [%RH]	Messung während:
A997	22.11.96 09:08	26.11.96 14:20	22 ± 9	21	30	Lagerung
104	26.11.96 14:20	26.11.96 16:30	16 ± 8	22	34	Vorbereitung
A997	26.11.96 16:30	27.11.96 09:17	19 ± 11	22	33	Vorbereitung
104	27.11.96 09:17	27.11.96 14:10	11 ± 7	22	32	Vorbereitung
A997	04.12.96 18:10	06.12.96 15:20	31 ± 11	19	34	Ausgasung Detektoren

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

Ort	Start	Ende	Dauer [h]	D [nSv]	DL [nSv/h]	Messung während:
A997	15.11.96 14:35	27.11.96 14:36	288.02	17800	62	Lagerung/ Vorbereitung
Rn-Kammer	27.11.96 15:55	04.12.96 14:35	166.67	42600	256	Exposition
A997	04.12.96 14:40	05.12.96 16:10	25.50	1660	65	Ausgasung

**LC-Füllungen:**

1. Flg.	28.11.96 10:32 - 11:00
2. Flg.	29.11.96 10:41 - 11:09
3. Flg.	02.12.96 09:53 - 10:23
4. Flg.	03.12.96 10:52 - 11:13
5. Flg.	04.12.96 11:08 - 11:50

**Tabelle 4: Expositionsparameter in der Radonkammer 27.11.96 15:55 - 04.12.96 14:35**

Rn-Konzentration [Bqm <sup>-3</sup> ]	Rn-Exposition [kBqhm <sup>-3</sup> ]	Temperatur [°C]	Relative Feuchte [%]	γ-Dosisleistung [nSv/h]
Referenzwert (Mittel von 5 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)				
<b>6032 ± 367</b>	<b>1005 ± 61</b>	20 ± 2	78 - 37	256
Mittel der kontinuierlichen Messung der Rn-Konz.				
<b>5948 ± 278</b>	<b>991 ± 46</b>			

**Tabelle 5: Fehlerabschätzung zu den Resultaten der Radongas-Referenzmessungen in Bqm<sup>-3</sup>**

---

Punktbestimmungen:	6128
	5872
	6110
	6010
	6040
<b>Mittelwert der Punktbestimmungen:</b>	<b>6032</b>
Standardabweichung:	102
Anzahl Werte:	5
t-Faktor:	1.42
Statistische Unsicherheit:	65
Systematische Unsicherheit:	172
<b>Gesamtunsicherheit (95%-Vertrauensintervall):</b>	<b>367</b>
Gesamtunsicherheit in %:	6.1

---

<b>Mittelwert der kontinuierlichen Bestimmung:</b>	<b>5948</b>
Standardabweichung:	235
Anzahl Werte:	996
t-Faktor:	1
Statistische Unsicherheit:	7
Systematische Unsicherheiten:	
Kalibrierung der Szintillationszellen:	123
Kalibrierung des Messgeräts:	65
<b>Gesamtunsicherheit (95%-Vertrauensintervall):</b>	<b>278</b>
Gesamtunsicherheit in %:	4.7

---



**Tabelle 6: Verwendete Detektoren und Messinstrumente**

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	BAG-anerkannte Messstelle
<i>Passive Detektoren</i>			
2	Elektret-Ionisationskammer Kernspurdetektor	LLT E-Perm (Rad Elec)	Kantonales Laboratorium Kt. Thurgau
3			
4	Elektret-Ionisationskammer Kernspurdetektor	LLT E-Perm (Rad Elec) Radtrak (Landauer)	Airmes AG Dr. R. Müller
6	Kernspurdetektor	Typ B (Altrac)	Ökoscience Lufthygiene AG
7			
8	Elektret-Ionisationskammer Kernspurdetektor	LLT E-Perm (Rad Elec)	Ch. Böhm
9			
11	Elektret-Ionisationskammer Kernspurdetektor		
12			
13	Kernspurdetektor	Alpha-Track (Gammadata Mättechnik)	Uehlinger-Pfiffner AG
14	Elektret-Ionisationskammer Kernspurdetektor	LLT E-Perm (Rad Elec) LLT E-Perm (Rad Elec)	Institut de Radiophysique Appliquée Laboratorio Cantonale Ct. Ticino
15			
16			
17	Elektret-Ionisationskammer Kernspurdetektor	LLT E-Perm (Rad Elec) Radtrak (Landauer)	Kantonales Laboratorium Kt. Luzern TCI Transcommerce International AG
18			
19	Kernspurdetektor		
20	Kernspurdetektor		
21	Elektret-Ionisationskammer Kernspurdetektor	LST E-Perm (Rad Elec)	Institut de Radiophysique Appliquée
22			

**Fortsetzung Tabelle 6: Verwendete Detektoren und Messinstrumente**

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	BAG-anerkannte Messstelle
24	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Geotest AG
25	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Kantonales Laboratorium Kt. Thurgau
<i>Messgeräte</i>			
1	Ionisationskammer		
5	Ionisationskammer		
10	Elektrostatische Sammlung/Halbleiter-detektor	Rad 7 (Niton)	Dr. R. Müller
23	Ionisationskammer		

**Tabelle 7: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern**

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm <sup>-3</sup> ]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
2	1	1069	1.064	1.105	0.109
	2	1102	1.097		
	3	1067	1.062		
	4	1105	1.100		
	5	1071	1.066		
	6	1041	1.036		
	7	1375	1.368		
	8	1053	1.048		
4	1	1137	1.131	1.053	0.045
	2	1034	1.029		
	3	1008	1.003		
	4	1051	1.046		
	5	1106	1.100		
	6	1037	1.032		
	7	1038	1.033		
8	1	1003	0.998	1.028	0.049
	2	1046	1.041		
	3	1088	1.083		
	4	974	0.969		
	5	997	0.992		
	6	1090	1.085		
11	1	1033	1.028	1.019	0.074
	2	970	0.965		
	3	1020	1.015		
	4	1018	1.013		
	5	1160	1.154		
	6	945	0.940		
14	1	1121	1.115	1.108	0.045
	2	1093	1.088		
	3	1188	1.182		
	4	1094	1.089		
	5	1071	1.066		
15	1	1065	1.060	1.071	0.044
	2	1105	1.100		
	3	1108	1.102		
	4	1099	1.094		
	5	1003	0.998		

Fortsetzung Tabelle 7: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm <sup>-3</sup> ]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
17	1	1064	1.058	1.046	0.031
	2	1091	1.086		
	3	1039	1.033		
	4	1033	1.028		
	5	1091	1.085		
	6	1009	1.003		
	7	1033	1.027		
18	1	1187	1.181	1.111	0.046
	2	1071	1.066		
	3	1083	1.078		
	4	1119	1.113		
	5	1121	1.115		
	6	1072	1.067		
	7	1166	1.160		
21	1	1140	1.134	1.081	0.044
	2	1102	1.097		
	3	1087	1.082		
	4	1087	1.082		
	5	1017	1.012		
24	1	1069	1.064	1.055	0.061
	2	1096	1.091		
	3	973	0.968		
	4	1131	1.125		
	5	1031	1.026		
25	1	1040	1.035	1.150	0.120
	2	1156	1.150		
	3	1137	1.131		
	4	1149	1.143		
	5	1179	1.173		
	6	1086	1.081		
	7	1072	1.067		
	8	1431	1.424		

**Tabelle 8: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren**

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm <sup>-3</sup> ]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
3	1	1085	1.080	1.092	0.041
	2	1147	1.141		
	3	1090	1.085		
	4	1068	1.063		
	5	1159	1.153		
	6	1087	1.082		
	7	1047	1.042		
6	1	1053	1.048	1.081	0.047
	2	1030	1.025		
	3	1149	1.143		
	4	1116	1.110		
	5	1084	1.079		
7	1	987	0.982	0.999	0.021
	2	1031	1.026		
	3	994	0.989		
	4	981	0.976		
	5	1012	1.007		
	6	994	0.989		
	7	994	0.989		
	8	1040	1.035		
9	1	1051	1.046	1.008	0.034
	2	969	0.964		
	3	1019	1.014		
	4	1015	1.010		
12	1	788	0.784	0.838	0.146
	2	868	0.864		
	3	914	0.909		
	4	954	0.949		
	5	604	0.601		
	6	622	0.619		
	7	970	0.965		
	8	924	0.919		
	9	892	0.888		
	10	965	0.960		
	11	1030	1.025		
	12	638	0.635		
	13	962	0.957		
	14	632	0.629		
	15	863	0.859		

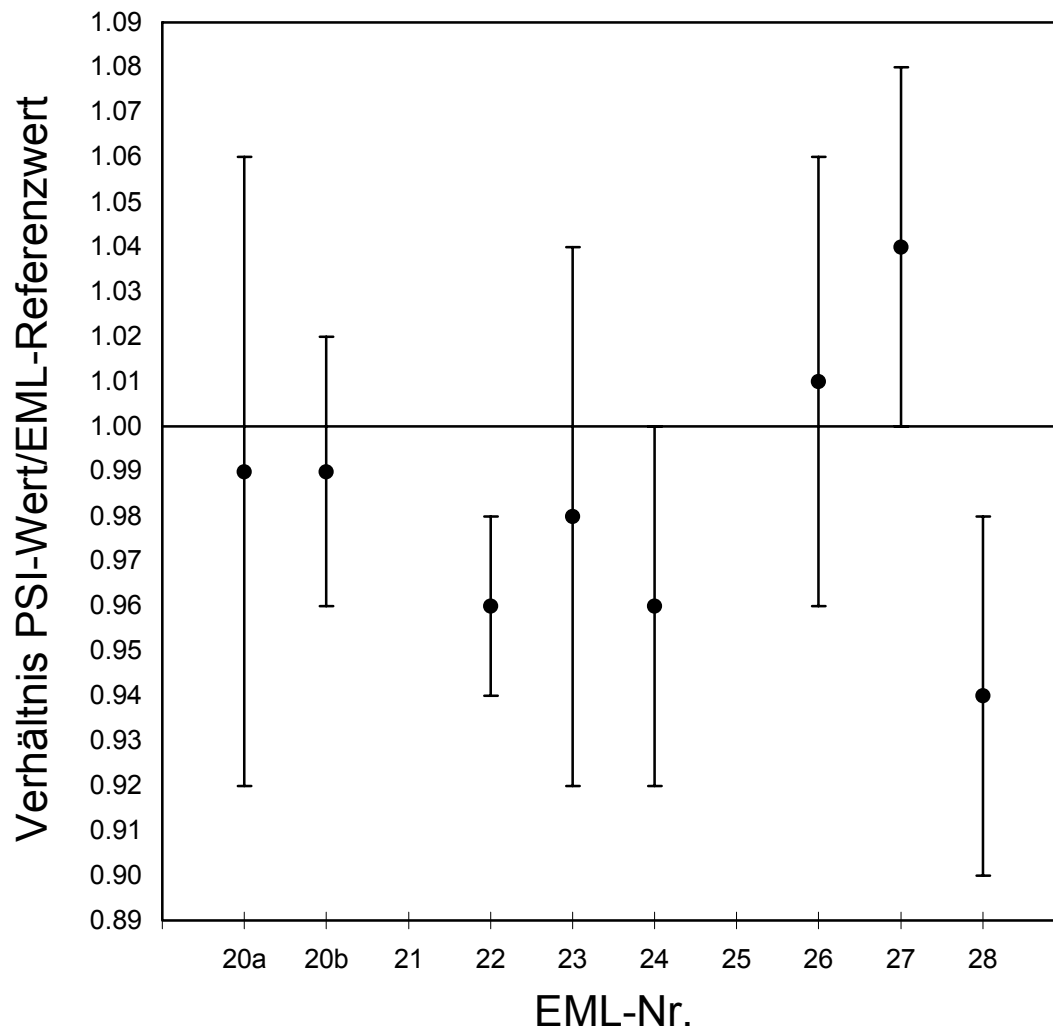
Fortsetzung Tabelle 8: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm <sup>-3</sup> ]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
13	1	1042	1.037	1.043	0.023
	2	1081	1.076		
	3	1060	1.055		
	4	1023	1.018		
	5	1033	1.028		
16	1	1154	1.148	1.134	0.065
	2	1150	1.144		
	3	1139	1.133		
	4	1142	1.136		
	5	1144	1.138		
	6	1237	1.231		
	7	1014	1.009		
19	1	1065	1.060	1.104	0.066
	2	1201	1.195		
	3	1155	1.149		
	4	1084	1.079		
	5	1043	1.038		
20	1	809	0.805	0.827	0.040
	2	823	0.819		
	3	884	0.880		
	4	770	0.766		
	5	813	0.809		
	6	867	0.872		
	7	841	0.837		
22	1	1004	0.999	0.971	0.024
	2	939	0.934		
	3	955	0.950		
	4	955	0.950		
	5	978	0.973		
	6	991	0.986		
	7	1007	1.002		
	8	977	0.972		

**Tabelle 9: Teilnehmerresultate Messgeräte**

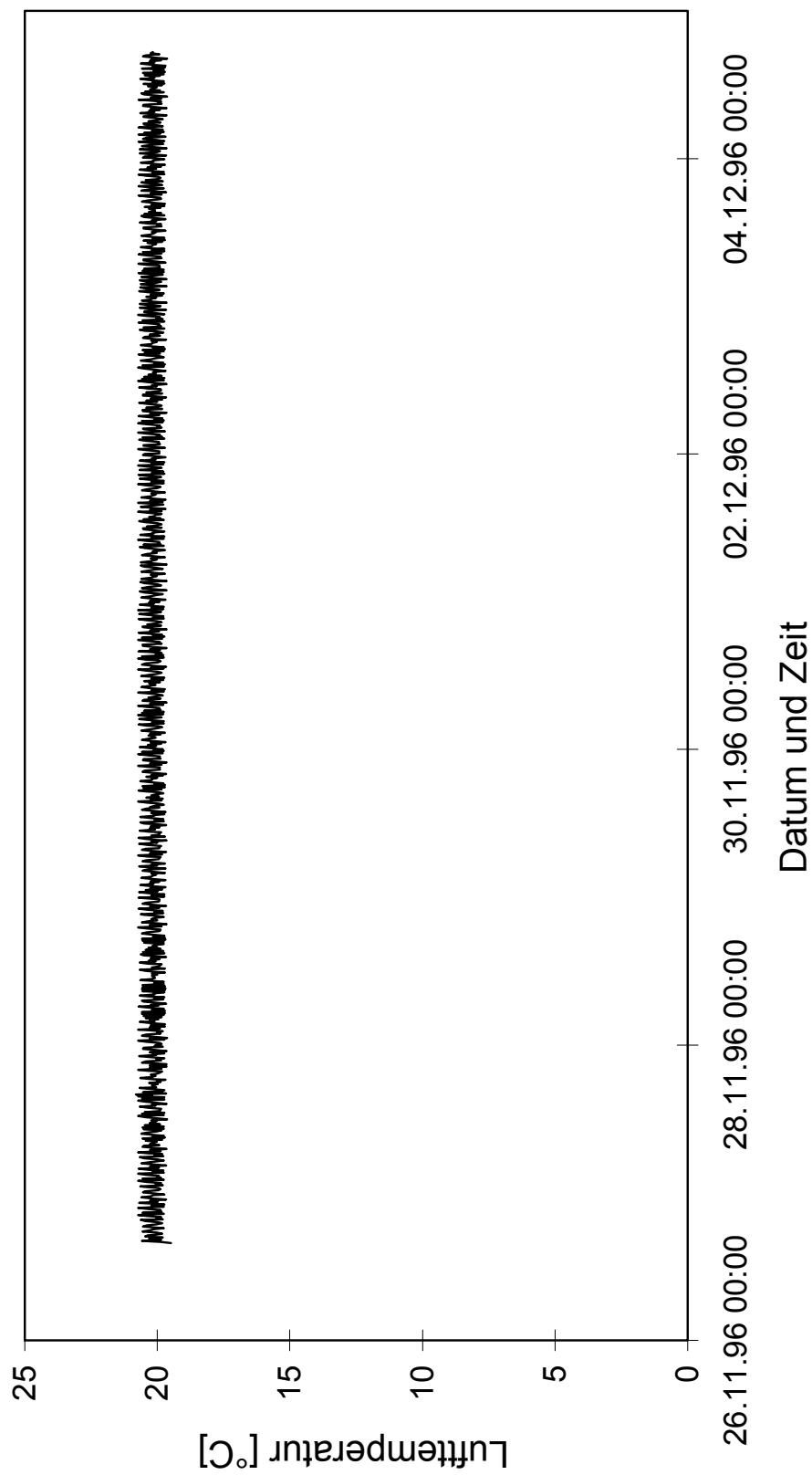
Teilnehmercode	Messwerte- Mittelwert [kBqhm <sup>-3</sup> ]	Standard- abweichung [kBqhm <sup>-3</sup> ]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
1	1018	24	1.013	1.013	0.024
5	1004	25	0.999	0.999	0.025
10	1070	53	1.065	1.065	0.053
23	1012	22	1.007	1.007	0.022

Figur 1: EML-Vergleichsmessung - PSI-Resultate

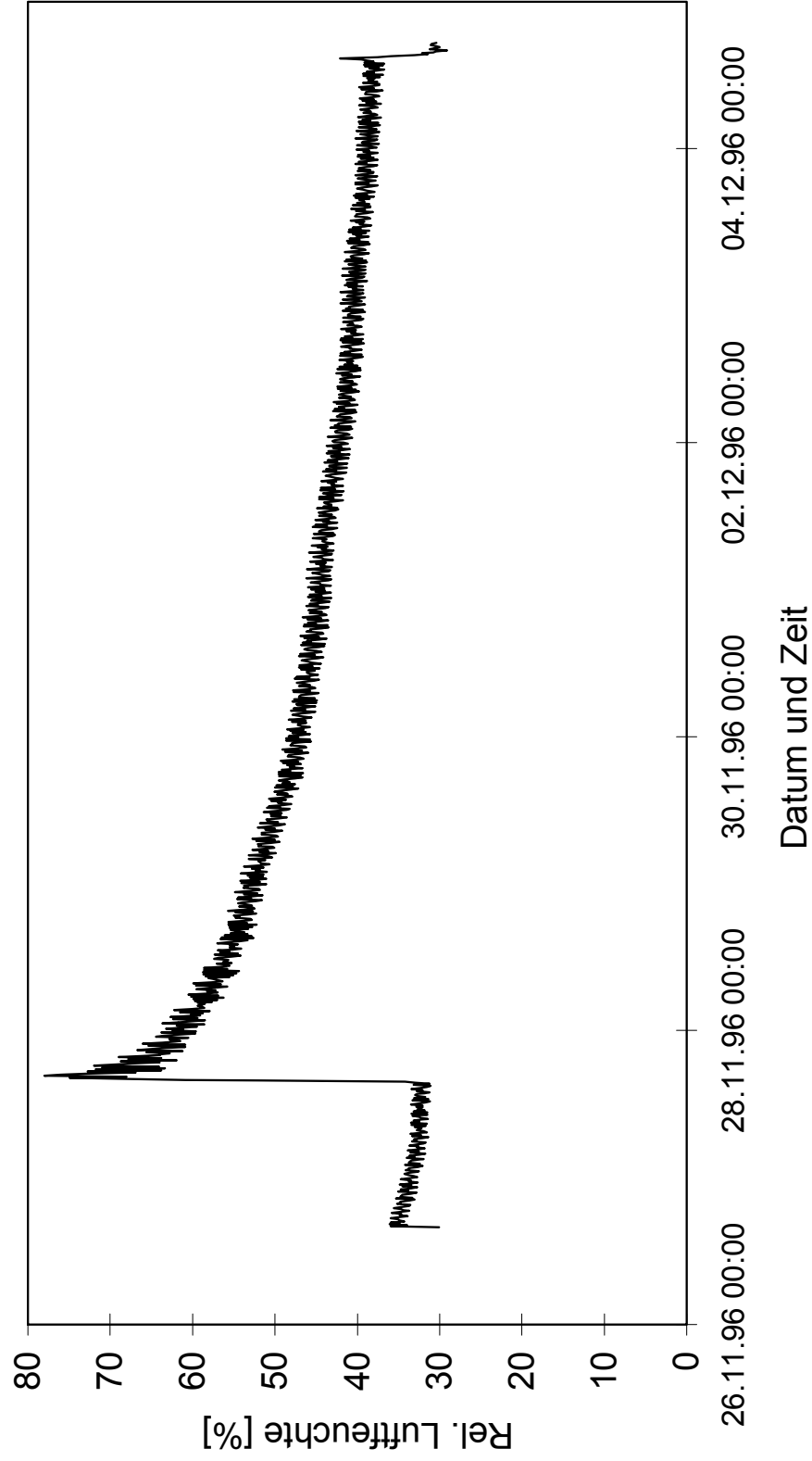




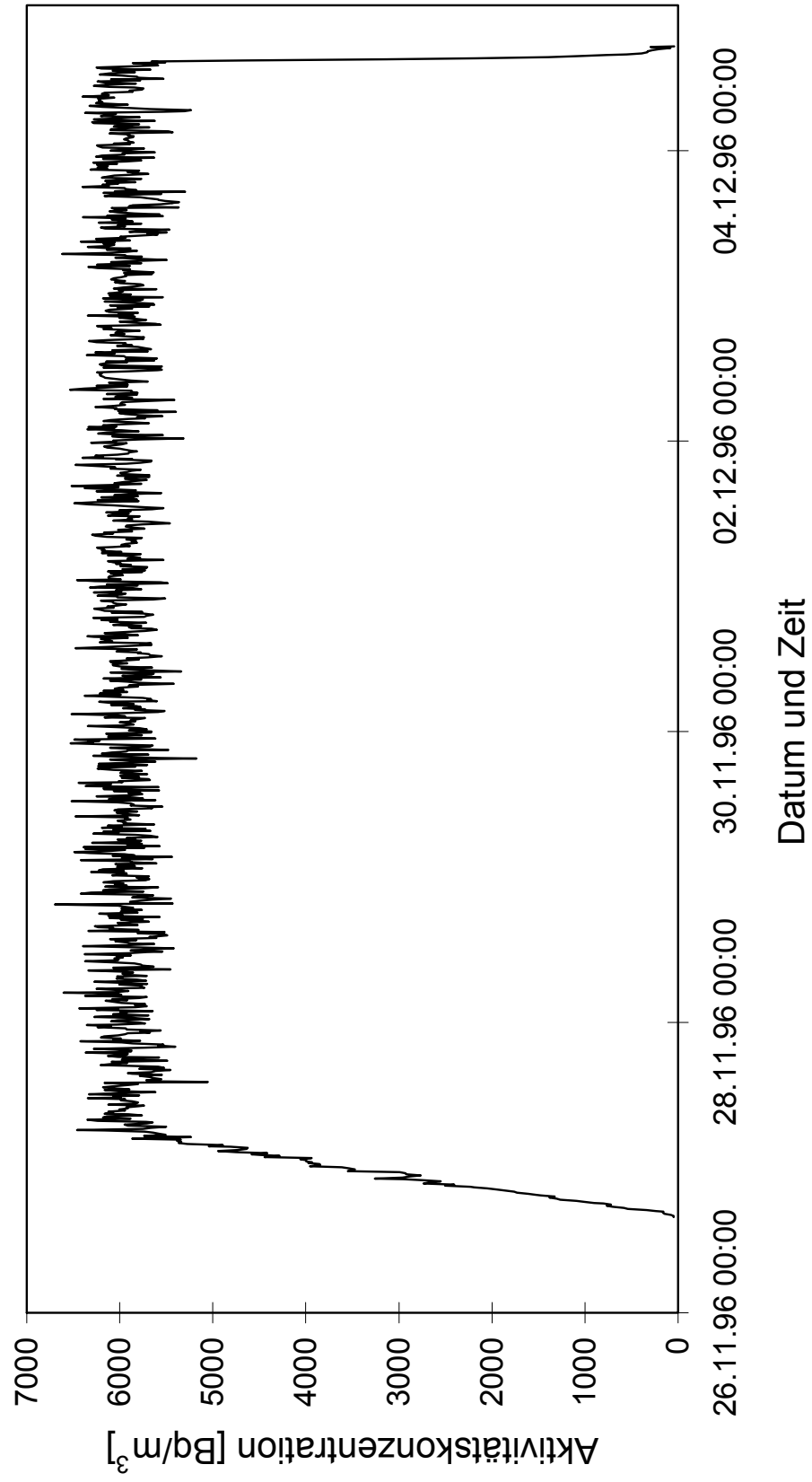
Figur 2: Vergleichsmessung 1996 - Lufttemperatur in der Radonkammer



Figur 3: Vergleichsmessung 1996 - Relative Luftfeuchte in der Radonkammer

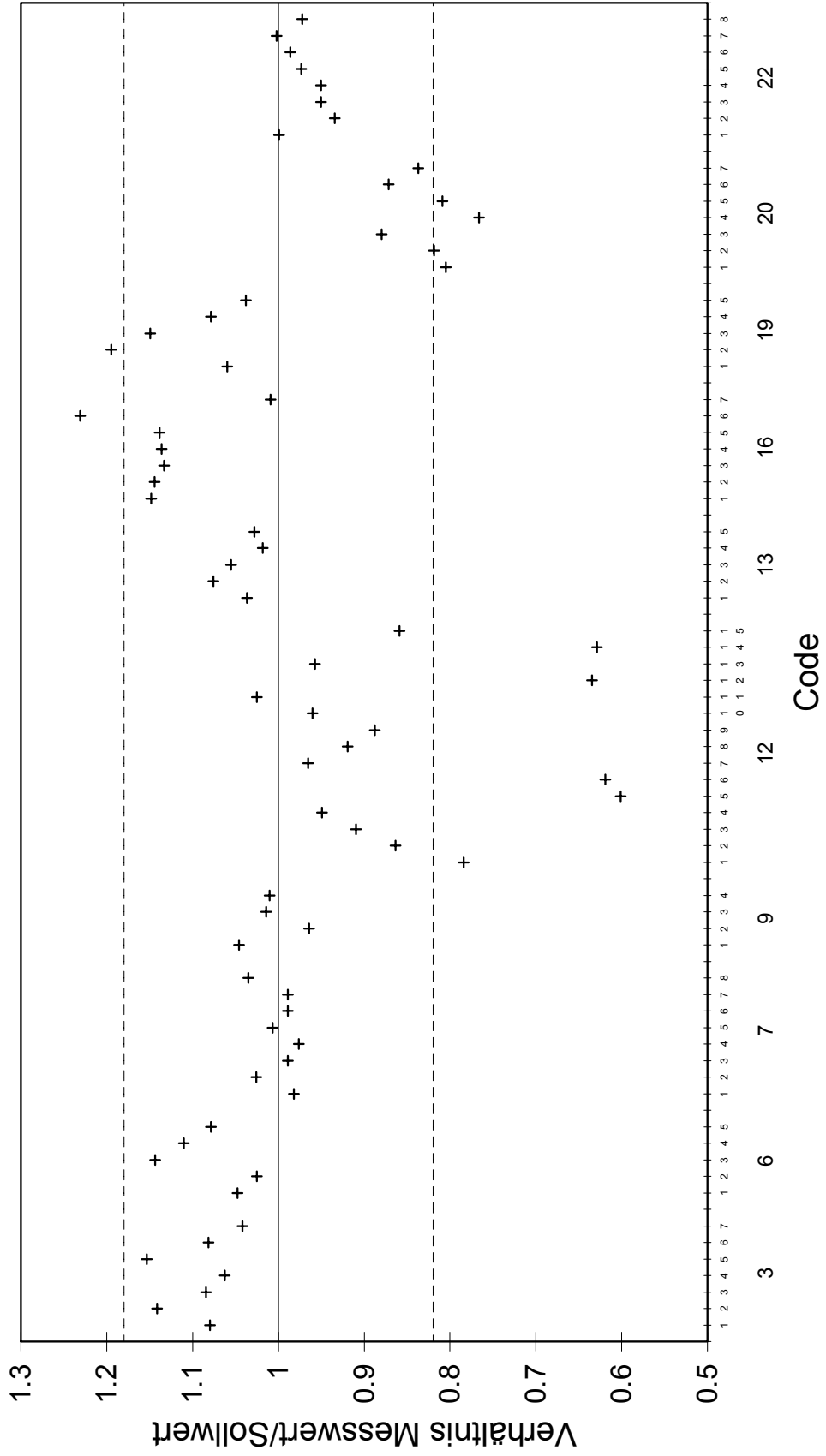


Figur 4: Vergleichsmessung 1996 - Radonkonzentration in der Kammer

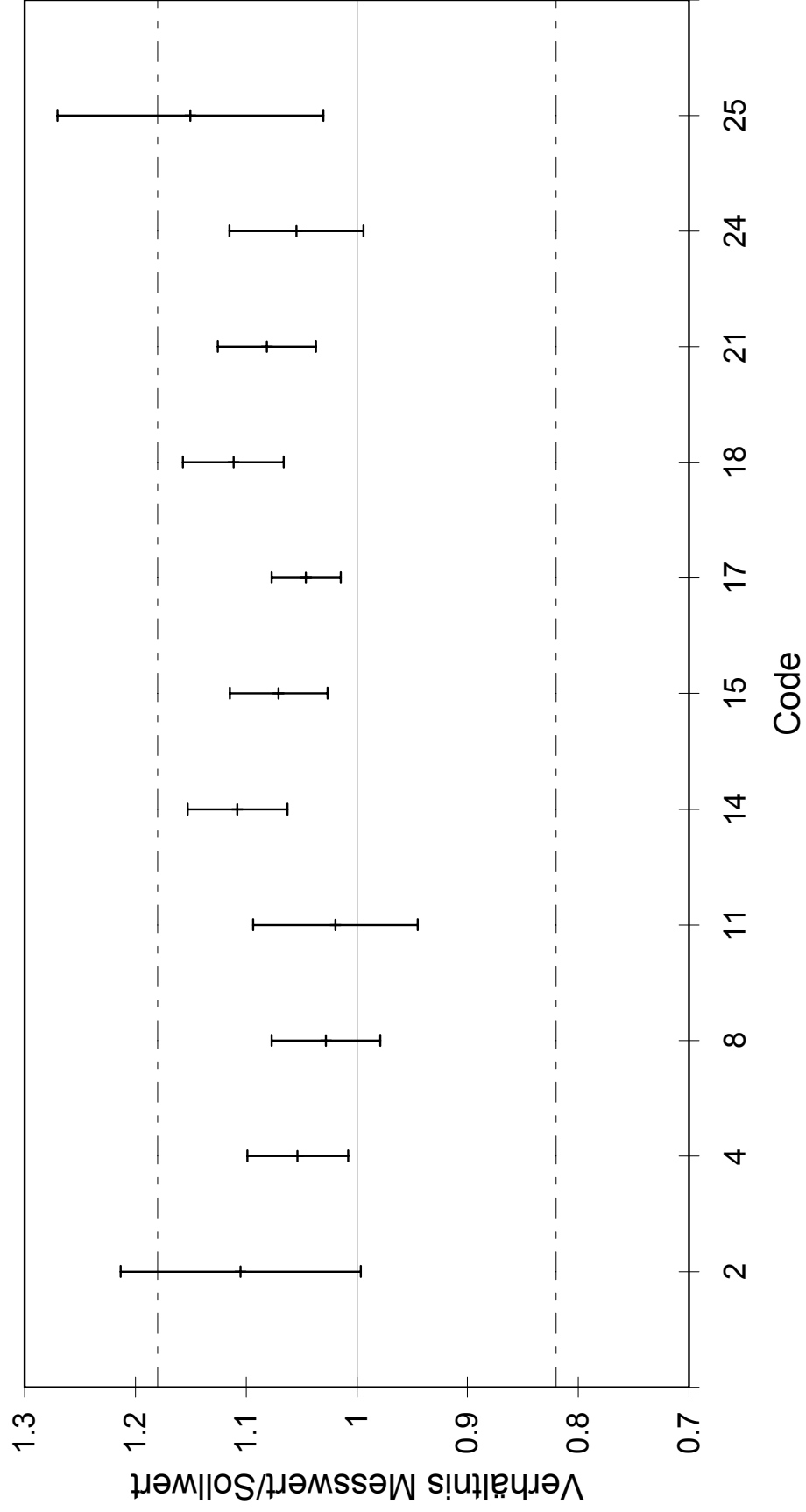




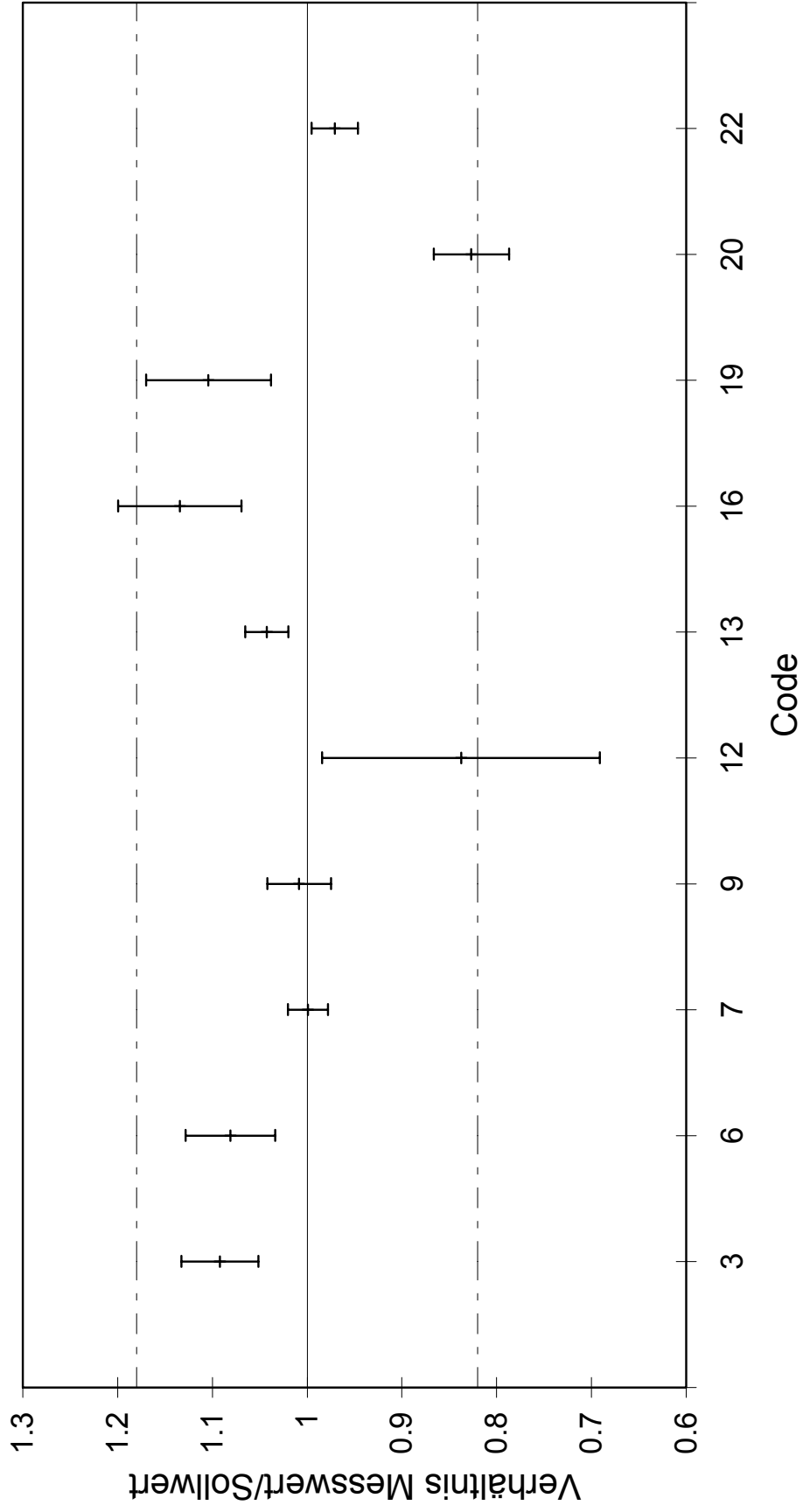
Figur 6: Vergleichsmessung 1996 - Resultate Kernspurdetektoren



Figur 7: Vergleichsmessung 1996 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern



Figur 8: Vergleichsmessung 1996 - Mittelwerte Kernspurdetektoren



**Figur 9: Vergleichsmessung 1996 - Resultate Messgeräte**

