

Die Vergleichsmessung 2001 für Radongasmessgeräte am PSI

Gernot Butterweck und Christoph Schuler

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

Juni 2001

Zusammenfassung

Kandidaten für diese vom 2. bis 11. März 2001 durchgeführte Vergleichsmessung waren Firmen, Institutionen oder Privatpersonen, welche die Anerkennung des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) als Radonmessstelle besitzen und deshalb nachweisen müssen, dass die geforderte Rückverfolgbarkeit der Messresultate auf national oder international anerkannte Normale gewährleistet ist. Dem Aufruf des BAG zur Teilnahme folgten neben 11 anerkannten vier weitere Messstellen. Sechs verschiedene Detektor- oder Messgerätearten waren vertreten. Neben Kernspurdetektoren wurden bei den passiven Systemen Elektretionisationskammern eingesetzt, bei den Messgeräten nahmen Ionisationskammern und nach dem Prinzip der elektrostatischen Abscheidung arbeitende Geräte teil. Die Detektoren wurden einer Exposition von 1300 kBqhm^{-3} bei einer durchschnittlichen Radonaktivitätskonzentration von 6100 Bqm^{-3} ausgesetzt.

Aufgrund der niedrigen Aerosolkonzentration in der Radonkammer während dieser Vergleichsmessung zeigten offene Kernspurdetektoren deutlich vom Sollwert abweichende Messwerte auf. Zudem nahm die Streuung zwischen den Resultaten einzelner Detektoren zu.

Neu auf dem Schweizer Markt eingeführte Messgeräte nach dem Prinzip der elektrostatischen Abscheidung wiesen Mängel der Werkskalibrierung und der Korrektur des bei diesem Messprinzip vorhandenen Einflusses der Luftfeuchte auf das Messergebnis auf.

Abstract

Fifteen radon measurement services participated in the 2001 Radon Intercomparison Exercise performed at the Reference Laboratory for Radon Gas Activity Concentration Measurements at Paul Scherrer Institut (PSI) during March 2nd to 11th, 2001. Eleven of these laboratories were approved by the Swiss Federal Office of Public Health and their participation in the intercomparison exercise was a requirement to warrant traceability to national or international standards. Radon gas detectors (etched-track and electret ionisation chambers) and instruments (ionisation chambers and electrostatic precipitation) were exposed in the PSI Radon Chamber in a reference atmosphere with an average radon gas concentration of 6100 Bqm⁻³ leading to a radon gas exposure of 1300 kBqm⁻³.

Due to the low aerosol concentration during this intercomparison exercise, etched-track detectors without diffusion chamber showed a significant deviation to the reference exposure and an increase of the standard deviation of an ensemble of five detectors compared to intercomparisons with aerosol concentration in the specified range of these detectors.

Radon monitors with electrostatic precipitation, which were recently introduced on the Swiss market, showed insufficient factory calibration and correction of the influence of air humidity on the measured radon gas activity concentrations.

INHALT

1	Einleitung.....	1
2	Referenz-Messinstrumente.....	1
2.1	Kalibrierung der Referenz-Messinstrumente für Radongas.....	1
3	Expositionsparameter.....	2
3.1	Dauer von Expositions- und Ausgasungsperiode.....	2
3.2	Umweltbedingungen in den Vorbereitungsräumen.....	2
3.3	Umweltbedingungen in der Radonkammer.....	2
3.4	Aerosolbedingungen in der Radonkammer.....	2
3.5	Resultate der Radongas-Referenzmessungen.....	2
4	Verwendete Detektor- und Messinstrumentarten der Teilnehmer.....	3
5	Resultate der Vergleichsmessung.....	3
6	Diskussion der Resultate der Vergleichsmessung.....	4
6.1	Radongas-Referenzmessungen.....	4
6.2	Teilnehmerresultate.....	4
6.2.1	Elektret-Ionisationskammern.....	4
6.2.2	Kernspurdetektoren.....	4
6.2.3	Messgeräte.....	4
7	Schlussfolgerung.....	5
8	Literatur.....	5

TABELLEN

Tabelle 1: Liste der Teilnehmer	6
Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2001	7
Tabelle 3: Expositionsparameter in der Radonkammer.....	8
Tabelle 4: Unsicherheitsabschätzung.....	8
Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente.....	9
Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern.....	11
Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren	13
Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte	15

FIGUREN

Figur 1: Vergleichsmessung 2001 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte ...	16
Figur 2: Vergleichsmessung 2001 - Radonkonzentration in der Kammer	17
Figur 3: Vergleichsmessung 2001 - Resultate Elektret-Ionisationskammern ...	18
Figur 4: Vergleichsmessung 2001 - Resultate Kernspurdetektoren	19
Figur 5: Vergleichsmessung 2001 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern .	20
Figur 6: Vergleichsmessung 2001 - Mittelwerte Kernspurdetektoren	21
Figur 7: Vergleichsmessung 2001 - Resultate Messgeräte	22
Figur 8: Vergleichsmessung 2001 - Übersicht Elektret-Ionisationskammern ...	23
Figur 9: Vergleichsmessung 2001 - Übersicht 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 Rückverfolgbarkeit der Messsysteme, welche die vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) anerkannten Messstellen verwenden, auf nationale und internationale Normale zu überprüfen.

Die Vergleichsmessung 2001 für Radongasdetektoren und -messgeräte in der Radonkammer des Referenzlabors fand vom 2. bis 11. März statt. Es beteiligten sich 15 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen (Tabelle 1) mit total 119 Detektoren und 6 Messgeräten.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Ergebnisse dieser Vergleichsmessung.

2 REFERENZ-MESSINSTRUMENTE

Als Referenzmessinstrumente zur punktwisen Bestimmung der Radongas-Aktivitätskonzentration in der Radonkammer werden Szintillationszellen (Lucaszellen) verwendet (Model 300A, Pylon Electronic Development, Ottawa (CAN)). Eine solche Zelle verbunden mit einem Szintillationszähler bildet ein sogenanntes Transfernormal I. Für die automatisierte Probenahme der Radonkammer-Atmosphäre kommen am PSI-Referenzlabor drei Transfernormale I zum Einsatz. Für die Punktmessung der Radongas-Konzentration mit diesen Transfernormalen wird eine 20-minütige Füllung der Szintillationszelle eines Transfernormalen zeitlich versetzt im Abstandszyklus 100, 100, 120, 100, 100, 120,... Minuten vorgenommen. Auf diese Weise resultierten für die Vergleichsmessung 2001 total 121 Punktmessungen.

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

2.1 Kalibrierung der Referenz-Messinstrumente für Radongas

Um die Rückverfolgbarkeit der Referenzatmosphäre in der Radonkammer während der Vergleichsmessung 2001 auf international anerkannte Normale zu gewährleisten, wurden die Szintillationszellen mit einem Radongas-Standard der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), Deutschland, kalibriert (Schuler 1998). Die Qualität dieser Kalibrierung wurde mit einer zweiten Kalibrierung mit einer Ra-Lösung (NIST SRM 4965) bestätigt.

Das Messgerät mit Durchfluss-Ionisationskammer wurde indirekt über Vergleichsmessungen mit den Szintillationszellen kalibriert.

3 EXPOSITIONSPARAMETER

3.1 Dauer von Expositions- und Ausgasungsperiode

Beginn und Ende von Expositions- und Ausgasungsperiode sind in Tabelle 2 festgehalten. Eine Ausgasungsdauer von ungefähr 24 Stunden im Anschluss an die Exposition in der Radonkammer verhindert, dass die exponierten Detektoren nachträglich eine zusätzliche Exposition registrieren, wie das bei Einschluss der Detektoren in die Verpackungsbeutel unmittelbar nach der Exposition der Fall wäre.

3.2 Umweltbedingungen in den Vorbereitungsräumen

Die für die Exposition vorgesehenen Detektoren wurden im Raum A997 gelagert. Die Vorbereitung für die Exposition (Registrierung der Detektornummer und Kennzeichnung der Platzierungsstelle auf dem Tisch in der Radonkammer während der Exposition) erfolgte in den Räumen A997 und 104. Für beide Räume erscheinen in Tabelle 2 die Daten von Radonkonzentrations-, Temperatur- und Feuchtemessungen. Die Resultate der für die Korrektur der Messdaten von Elektret-Ionisationskammern notwendigen Messungen der γ -Dosisleistung sind ebenfalls in Tabelle 2 angegeben.

3.3 Umweltbedingungen in der Radonkammer

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

3.4 Aerosolbedingungen in der Radonkammer

Wie bei den vergangenen Vergleichsmessungen (Schuler und Butterweck-Dempewolf 1998, Schuler und Butterweck-Dempewolf 1999, Schuler und Butterweck 2000) wurden auch bei dieser Vergleichsmessung Detektoren vom Typ „Kernspurdetektor offen“ (siehe Anhang 2 des BAG-Gesuchs zur Anerkennung von Radongas-Messstellen) eingesetzt (Code 6 in Tabelle 5). Diese Detektoren messen die Radonkonzentration nur für einen eingeschränkten Bereich der Partikelkonzentration korrekt. Bei der Vergleichsmessung 2001 wurde bewusst eine Atmosphäre mit äusserst geringer Partikelkonzentration ausserhalb der Detektorspezifikation eingesetzt, um das Verhalten dieser Detektoren im Vergleich zu den in Diffusionskammern befindlichen Kernspurdetektoren zu prüfen. Derartige Aerosolbedingungen wurden vereinzelt auch in Wohnhäusern gemessen (Porstendorfer 1994).

3.5 Resultate der Radongas-Referenzmessungen

Der Referenzwert für die Radongas-Konzentration in der Radonkammer während der Vergleichsmessung 2001 (Tabelle 3) basiert auf dem gewichteten Durchschnittswert von 121 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 121 Konzentrationsbestimmungen wurden als unabhängige Einzelbestimmungen betrachtet, welche in einem Durchschnittswert zusammengefasst werden können. Die Unsicherheit dieses Durchschnitts wird dann durch Gauss'sche Fehlerfortpflanzung der Unsicherheiten der Einzelwerte erhalten (Schuler 1998). Angaben zur Unsicherheitsabschätzung der Resultate der Radongas-Konzentrationsbestimmungen erscheinen in Tabelle 4.

4 VERWENDETE DETEKTOR- UND MESSINSTRUMENTARTEN DER TEILNEHMER

Den 15 Teilnehmern der Vergleichsmessung wurden je nach Anzahl der exponierten Detektorgruppen oder Messgeräte ein oder mehrere Codes zugeteilt. Diese Codes sowie der verwendete Detektor- bzw. Messgerätyp sind in Tabelle 5 aufgeführt. Gemäss Auflage 5.5 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 Einzelverhältnismittelwerte 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 Rückverfolgbarkeit 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 Tabelle 4] plus $\pm 15\%$).

Als weiteres Kriterium zur Bewertung der anerkannten Messstellen 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 derartiges Diagramm für Kernspurdetektoren der anerkannten Messstellen.

6 DISKUSSION DER RESULTATE DER VERGLEICHSMESSUNG

6.1 Radongas-Referenzmessungen

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

6.2 Teilnehmerresultate

6.2.1 Elektret-Ionisationskammern

Sowohl die Einzelwerte (Figur 3) als auch die Mittelwerte (Figur 6) zeigen, dass die Elektret-Detektorresultate aller Teilnehmer das Rückverfolgbarkeitskriterium (Abschnitt 5) erfüllen. Von dem LST E-Perm-Detektoren verwendenden Teilnehmer (Code 21) wurde mitgeteilt, dass diese Detektoren während der Exposition die obere Expositionsmessgrenze überschritten hatten.

6.2.2 Kernspurdetektoren

Bei den Einzelmessresultaten der Kernspurdetektoren (Figur 4) liegt, wenn man von den Resultaten der offenen Kernspurdetektoren absieht (siehe Abschnitt 3.4), nur das Resultat eines einzigen Detektors ausserhalb der Grenzen von $\pm 17\%$.

Aufgrund der niedrigen Aerosolkonzentration in der Radonkammer während dieser Vergleichsmessung zeigten offene Kernspurdetektoren deutlich vom Sollwert abweichende Messwerte auf. Zudem nahm die Streuung zwischen den Resultaten einzelner Detektoren zu.

6.2.3 Messgeräte

Die Resultate der Messgeräte erscheinen in Tabelle 8 und Figur 7. Neben den bereits seit einigen Jahren in der Schweiz eingesetzten Messgeräten (Codes 4, 7 und 10) nahmen drei Messgeräte (Codes 3, 12 und 22) eines neuen Herstellers teil. Die Resultate dieser Geräte lagen zwischen 7% und 15% über dem Referenzwert, was auf eine unzureichende Werkskalibrierung hinweist. Diese Messgeräte verwenden das Messprinzip der elektrostatischen Abscheidung. Dieses Messprinzip ist einem Einfluss der Luftfeuchte unterworfen, der hier nicht durch Trocknung der Messluft, sondern durch Messung der absoluten Luftfeuchte und eine numerische Korrektur eliminiert wird. Aus dem zeitlichen Verlauf der Abweichung zwischen Messwert und Referenzwert im Vergleich zur gemessenen Luftfeuchte (Figur 1) kann der Schluss gezogen werden, dass der Luftfeuchteinfluss noch nicht ausreichend kompensiert wurde.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Auch nach der Vergleichsmessung 2001 lässt sich konstatieren, dass die Radongas-Messtechnik in der Schweiz bezüglich Rückverfolgbarkeit ihren hohen Qualitätsstandard beibehalten hat. Die pro Messstelle gemittelten Messresultate aller zum Zeitpunkt der Vergleichsmessung vom BAG anerkannten Messstellen (Tabelle 5) erfüllen das geforderte Rückverfolgbarkeitskriterium auf national und international anerkannte Normale.

8 LITERATUR

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

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

Porstendörfer, J.

Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air

J. Aerosol Sci. 25(2):219-263; 1994.

Schuler, Ch.

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

Schuler, Ch.; Butterweck-Dempewolf, G.

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

Schuler, Ch.; Butterweck-Dempewolf, G.

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

Schuler, Ch.; Butterweck, G.

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

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
Obere Gasse 40
7000 **Chur**

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

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

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

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

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**

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

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

ökoscience Lufthygiene AG
Hr. Dr. S. Scherer
Quellenstr. 31
8031 **Zürich**

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

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

Tabelle 2: Daten zur Vergleichsmessung 2001**Dauer der Expositionsperiode:**

Ende der Vergleichsmessung	11.3.2001 8:24
Start der Vergleichsmessung	2.3.2001 9:41
Expositionsdauer in h	214.7

Dauer der Ausgasperiode:

Ende Ausgasung	12.3.2001 12:53
Start Ausgasung	11.3.2001 8:36
Ausgasdauer in h	28.3

Messungen der Umweltparameter in den Vorbereitungsräumen A997 und 104:

Ort	Start	Ende	Rn-Konz. [Bqm ⁻³]	Temp. [°C]	Feuchte [%RH]	Bem.
A997	7.2.01 11:00	1.3.01 11:10	39 ± 20	21	31	Lagerung
104	1.3.01 11:30	1.3.01 17:50	38 ± 22	23	29	Vorbereitung
A997	11.3.01 10:30	12.3.01 13:40	35 ± 22	19	47	Ausgasung

Messungen γ -Dosisleistungen mit Automess AD4:

Ort	Start	Ende	Dauer [h]	D [nSv]	DL [nSv/h]	Bem.
A997	7.2.01 10:20	2.3.01 9:30	551.2	31300	57	Lagerung/ Vorbereitung
Rn-Kammer	2.3.01 9:36	11.3.01 8:21	214.8	38100	177	Exposition
A997	11.3.01 8:31	12.3.01 12:53	28.4	1450	51	Ausgasung

LC-Füllungen:

Konsequente Füllung einer LC nach dem Schema:	TN #515	Δt (Min) = 0
	TN #539	100
	TN #576	100
	TN #515	120
	TN #539	100
	TN #576	100
	TN #515	120
	usw.	usw.

Tabelle 3: Expositionsparameter in der Radonkammer 2.3.01 9:41 – 11.3.01 8:24

Rn-Konzentration [Bqm ⁻³]	Rn-Exposition [kBqhm ⁻³]	Temperatur [°C]	Relative Feuchte [%]	γ-Dosisleistung [nSv/h]
Referenzwert (Durchschnitt von 121 Punktbestimmungen der Rn-Konz.)				
6105 ± 300	1311 ± 64	19 ± 1	35 ± 16	177

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

Messung mit Transfernnormal:	TN #515	TN #539	TN #576
Durchschnitt der Punktbestimmungen:	6002	6101	6218
„Statistische“ Unsicherheit (u _A):	8	8	8
„Systematische“ Unsicherheit (u _B):	67	68	70
Gesamtunsicherheit (u _C):	68	69	70
Gewichteter Durchschnittswert:	6105		
Gesamtunsicherheit des gew. DW (95%-Vertrauensintervall):	300		
Gesamtunsicherheit in %:	4.9		

Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	BAG-anerkannte Messstelle
<i>Passive Detektoren</i>			
1	Kernspurdetektor	Radtrak (Landauer)	Dragan Consultants Int
2	Kernspurdetektor		
5	Kernspurdetektor	Alpha Track (Gammadata Mätttechnik)	Uehlinger-Pfiffner AG
6	Kernspurdetektor offen	Kodalpha (Dosirad)	G+S applicazioni SA
8	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Institut de Radiophysique Appliquée
9	Kernspurdetektor		
11	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Geotest AG
13	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Laboratorio Cantonale Ct. Ticino
14	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Uehlinger-Pfiffner AG
15	Kernspurdetektor		
16	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Ch. Böhm-Bläuer
17	Kernspurdetektor	REM AT-100 (Radiation Env. Monitoring)	Im Rank Engineering
18	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Kantonales Laboratorium Kt. Luzern
19	Elektret-Ionisationskammer	LLT E-Perm (Rad Elec)	Kantonales Laboratorium Kt. Thurgau
20	Kernspurdetektor	Typ B97 (Altrac)	Ökoscience Lufthygiene AG
21	Elektret-Ionisationskammer	LST E-Perm (Rad Elec)	Institut de Radiophysique Appliquée
23	Kernspurdetektor		

Fortsetzung Tabelle 5: Verwendete Detektoren und Messinstrumente

Code	Detektor-/Messgerättyp	Produkt (Hersteller)	BAG-anerkannte Messstelle
<i>Messgeräte</i>			
3	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor		
4	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor		
7	Ionisationskammer		
10	Ionisationskammer		
12	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor		
22	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor		

Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
8	1	1293	0.987	1.010	0.067
	2	1330	1.015		
	3	1442	1.100		
	4	1350	1.030		
	5	1202	0.917		
11	1	1245	0.949	1.003	0.056
	2	1274	0.972		
	3	1306	0.996		
	4	1437	1.096		
	5	1310	1.000		
13	1	1294	0.987	1.012	0.030
	2	1349	1.029		
	3	1276	0.974		
	4	1364	1.041		
	5	1349	1.029		
14	1	1327	1.013	1.001	0.020
	2	1330	1.014		
	3	1332	1.016		
	4	1297	0.990		
	5	1272	0.970		
16	1	1250	0.954	0.997	0.036
	2	1285	0.981		
	3	1287	0.982		
	4	1341	1.023		
	5	1368	1.043		
18	1	1447	1.104	1.019	0.064
	2	1324	1.010		
	3	1264	0.965		
	4	1250	0.954		
	5	1390	1.060		
19	1	1268	0.967	0.961	0.059
	2	1269	0.968		
	3	1255	0.957		
	4	1362	1.039		
	5	1143	0.872		

Fortsetzung Tabelle 6: Teilnehmerresultate Elektret-Ionisationskammern

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
21	1	1318	1.005	1.070	0.048
	2	1392	1.062		
	3	1383	1.055		
	4	1489	1.136		
	5	1429	1.090		

Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren

Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
1	1	1397	1.066	1.066	0.018
	2	1366	1.042		
	3	1409	1.075		
	4	1386	1.057		
	5	1428	1.089		
2	1	1465	1.118	1.051	0.046
	2	1361	1.038		
	3	1323	1.009		
	4	1411	1.077		
	5	1325	1.011		
5	1	1269	0.968	1.000	0.036
	2	1300	0.992		
	3	1302	0.993		
	4	1392	1.062		
	5	1291	0.985		
6	1	1176	0.897	0.702	0.160
	2	1119	0.854		
	3	785	0.599		
	4	747	0.570		
	5	771	0.588		
9	1	1373	1.048	1.053	0.050
	2	1474	1.125		
	3	1316	1.004		
	4	1412	1.077		
	5	1324	1.010		
15	1	1466	1.118	1.046	0.054
	2	1313	1.002		
	3	1302	0.993		
	4	1421	1.084		
	5	1356	1.035		
17	1	1738	1.326	1.173	0.087
	2	1511	1.153		
	3	1495	1.141		
	4	1476	1.126		
	5	1467	1.119		

Fortsetzung Tabelle 7: Teilnehmerresultate Kernspurdetektoren

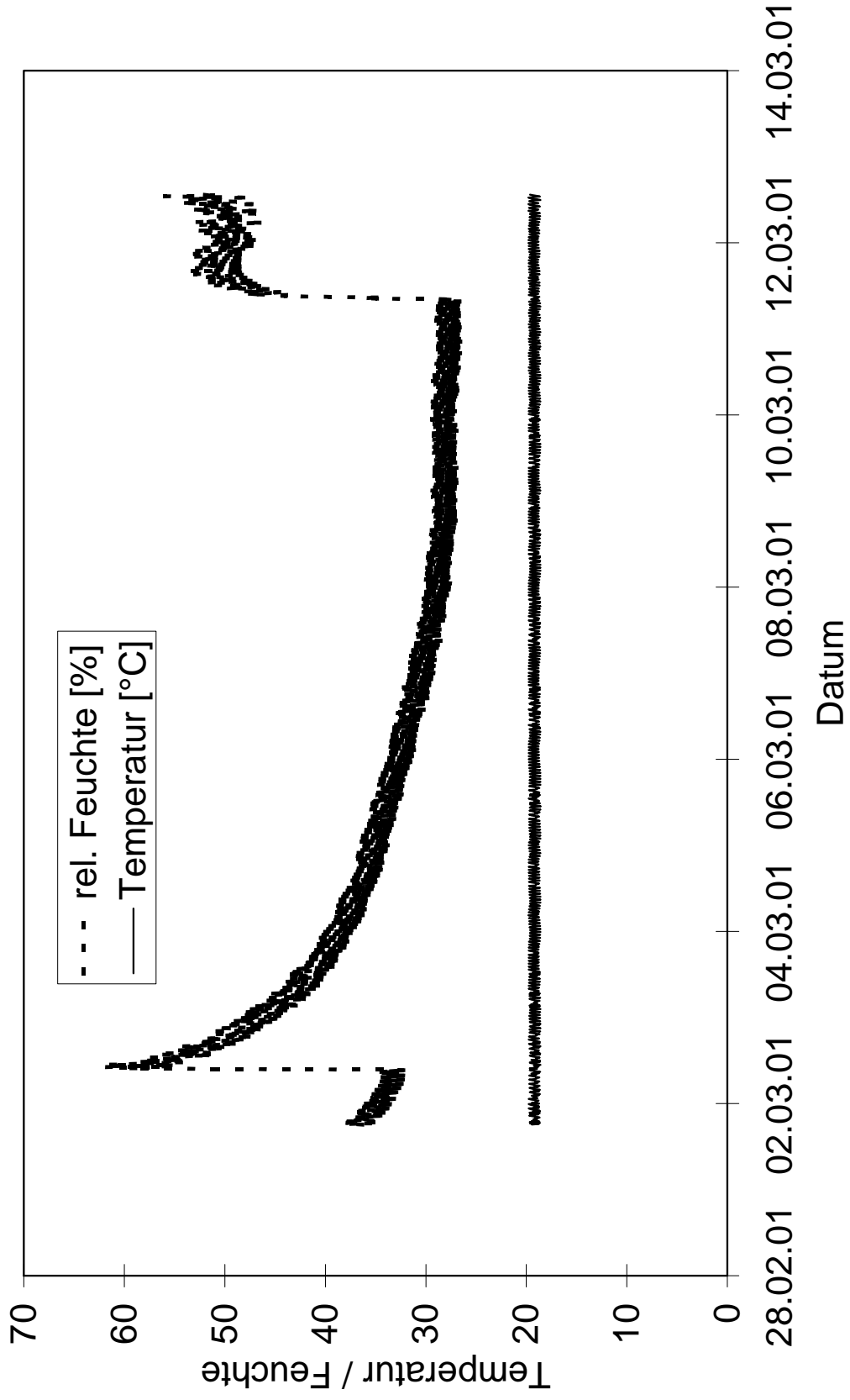
Teilnehmercode	Detektorcode	Messwert [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Mittelwert	Standard- abweichung
20	1	1514	1.155	1.084	0.058
	2	1470	1.122		
	3	1313	1.002		
	4	1416	1.080		
	5	1394	1.064		
23	1	1372	1.047	1.020	0.031
	2	1381	1.054		
	3	1310	0.999		
	4	1338	1.021		
	5	1285	0.980		

Tabelle 8: Teilnehmerresultate Messgeräte

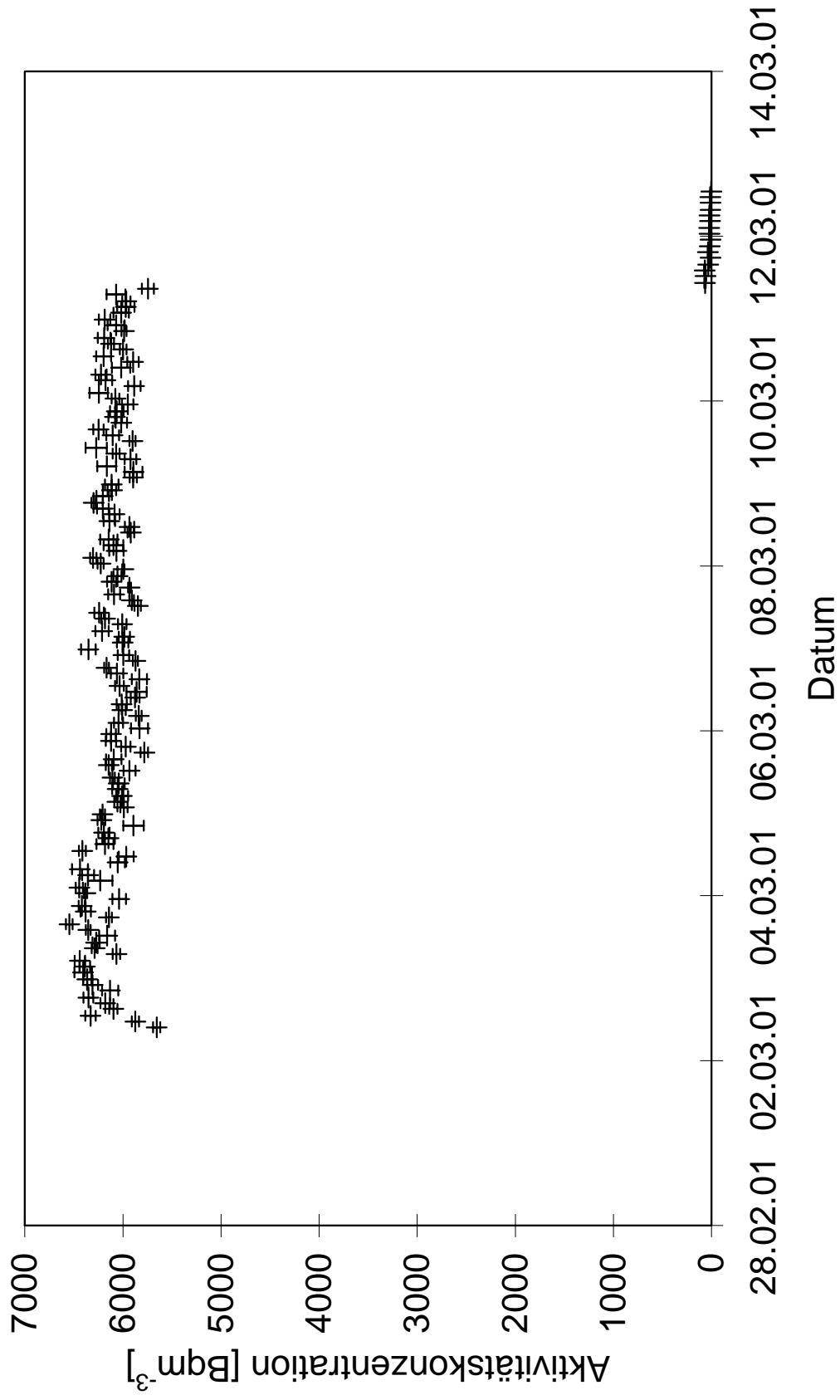
Teilnehmercode	Expositions- mittelwert [kBqhm ⁻³]	Standard- abweichung [kBqhm ⁻³]	Verhältnis Messwert/ Referenzwert	Standard- abweichung ¹⁾
3	1467	62	1.119	0.10
4	1333	33	1.017	0.05
7	1252	29	0.955	0.03
10	1272	28	0.970	0.03
12	1506	38	1.149	0.10
22	1400	55	1.068	0.10

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

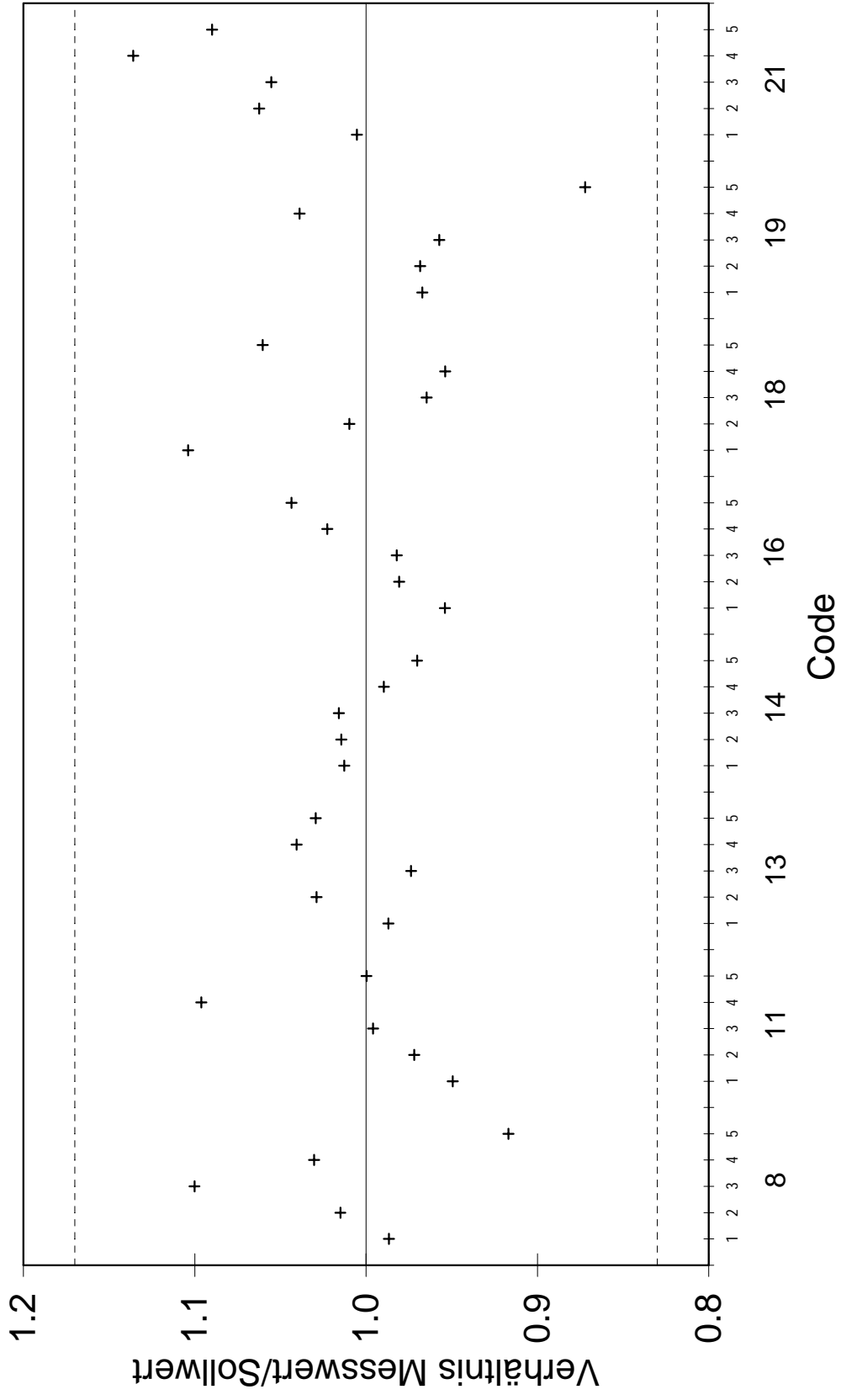
Figur 1: Vergleichsmessung 2001 - Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in der Radonkammer



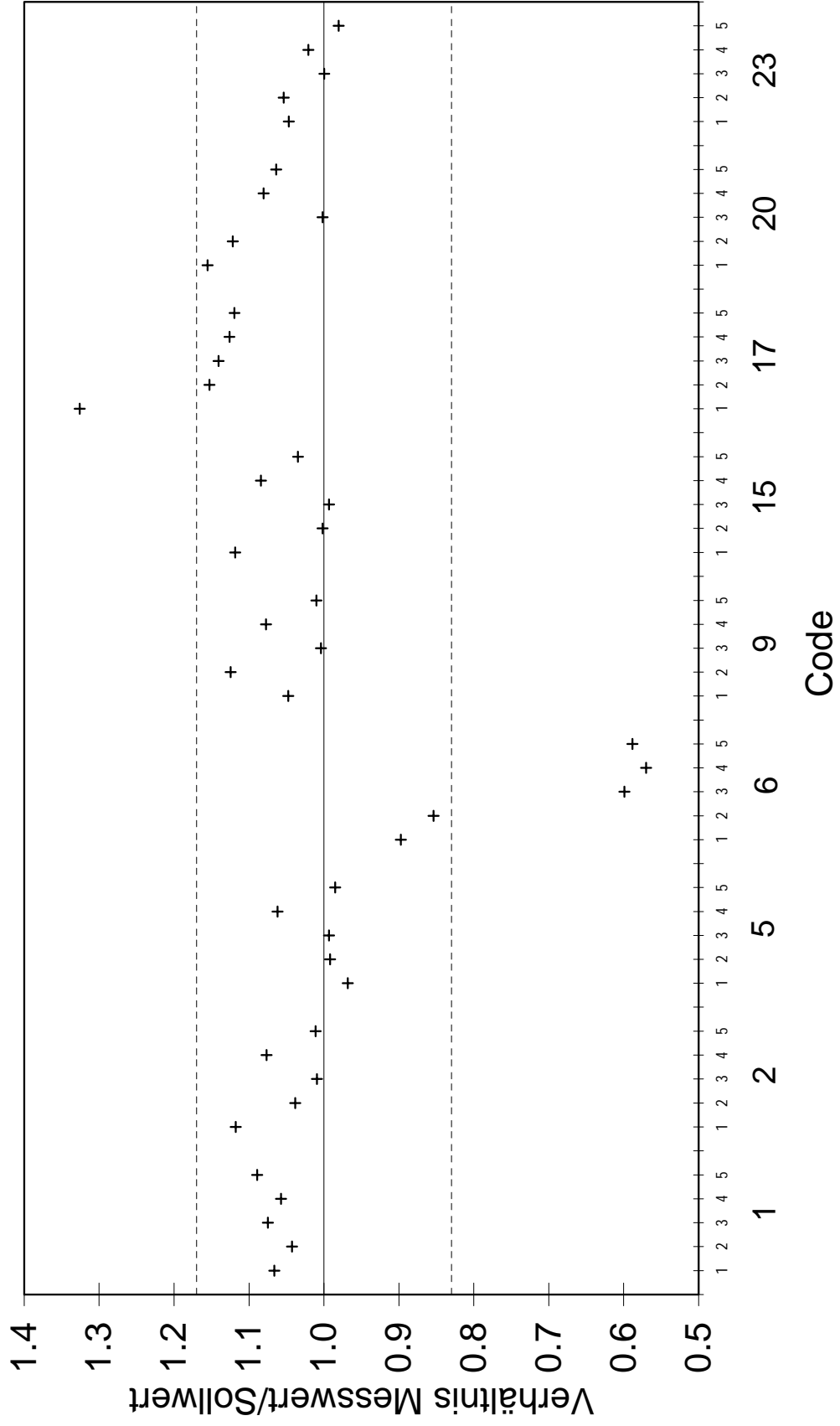
Figur 2: Vergleichsmessung 2001 - Radonkonzentration in der Kammer



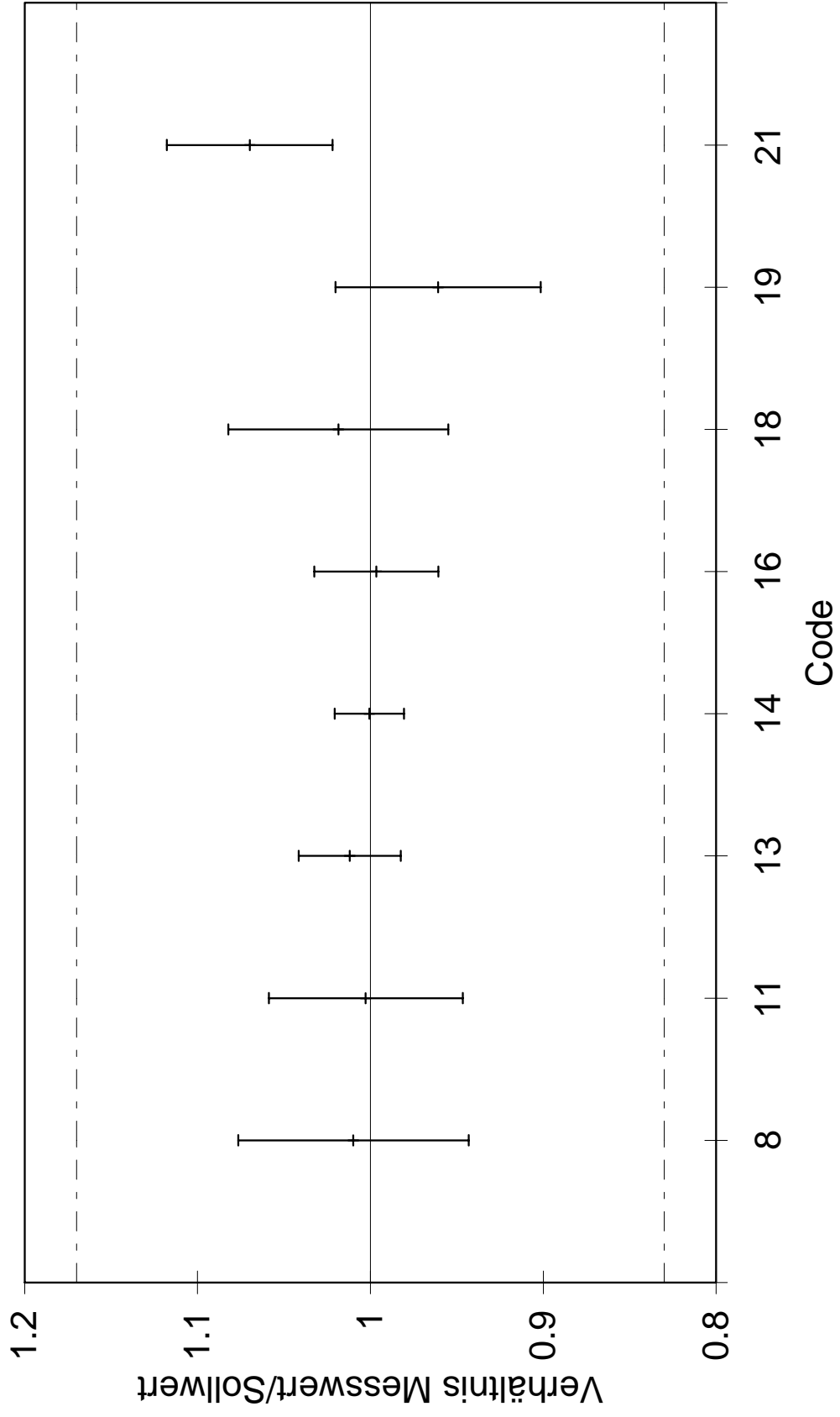
Figur 3: Vergleichsmessung 2001 - Resultate Elektret-Ionisationskammern



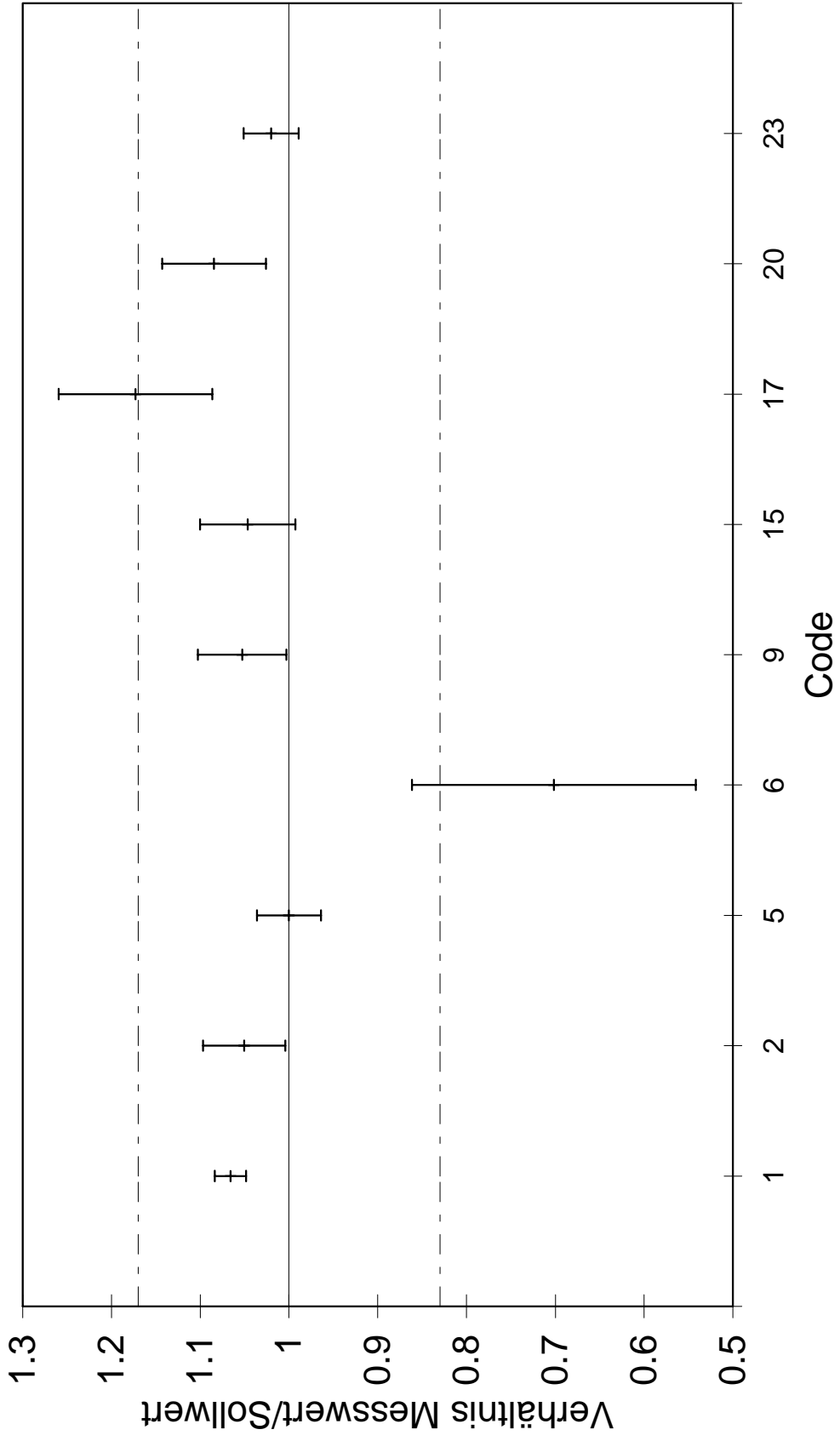
Figur 4: Vergleichsmessung 2001 - Resultate Kernspurdetektoren



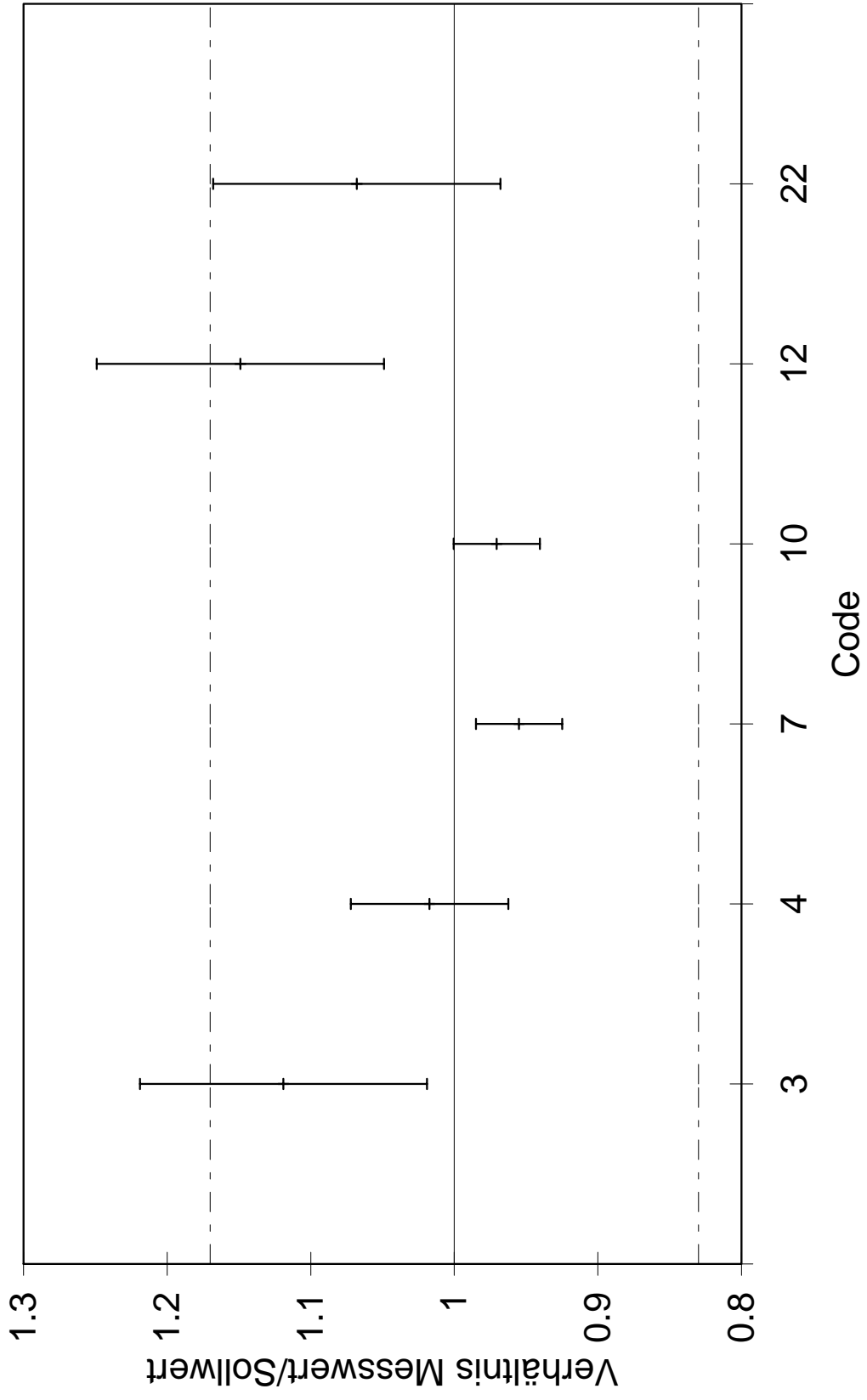
Figur 5: Vergleichsmessung 2001 - Mittelwerte Elektret-Ionisationskammern



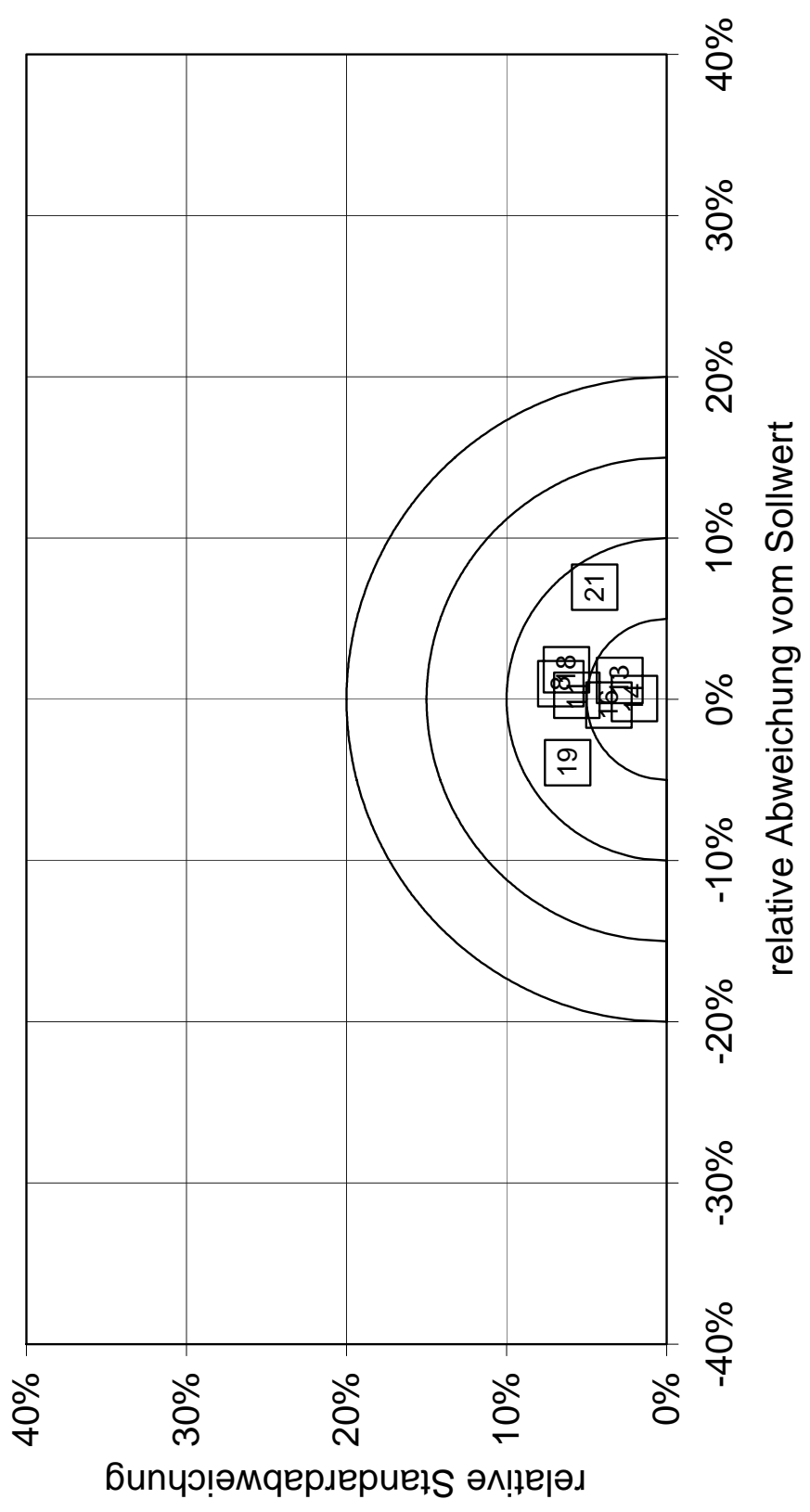
Figur 6: Vergleichsmessung 2001 - Mittelwerte Kernspurdetektoren



Figur 7: Vergleichsmessung 2001 - Resultate Messgeräte



Figur 8: Vergleichsmessung 2001 - Übersicht der anerkannten Messstellen mit Elektret-Ionisationskammern



Figur 9: Vergleichsmessung 2001 - Übersicht der anerkannten Messstellen mit Kernspurdetektoren

