

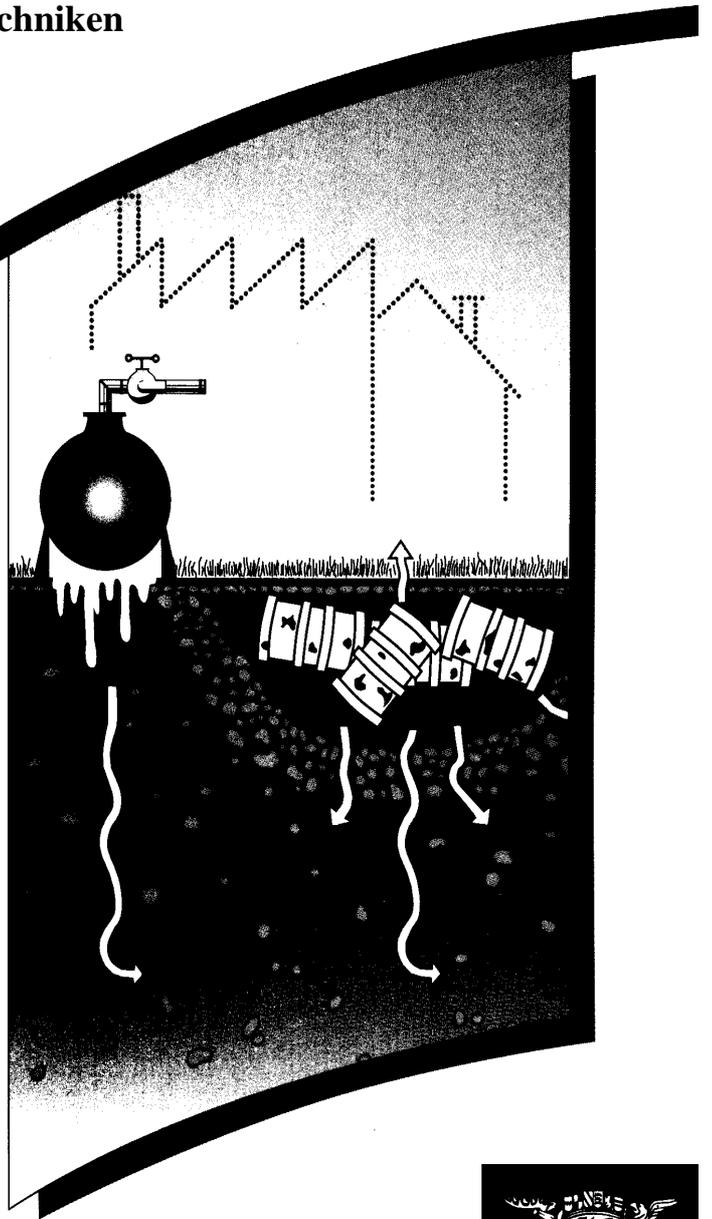
Zentraler Fachdienst Wasser - Boden - Abfall - Altlasten bei
der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

**Handbuch Altlasten
und Grundwasserschadensfälle**

Validierung der Analysenergebnisse von Bodenluftproben

- bei Anwendung unterschiedlicher Probennahme-
und Analysetechniken

Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung



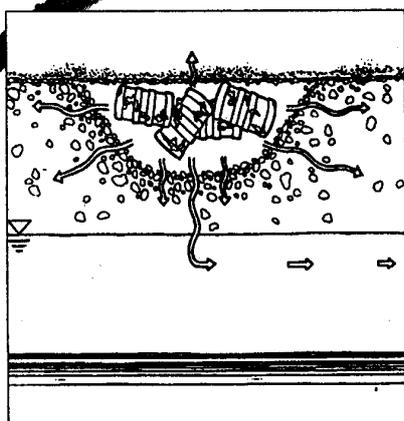
**BODEN
ABFALL
ATLASTEN**



**MINISTERIUM
FÜR UMWELT
UND VERKEHR**

Validierung der Analyseergebnisse von Bodenluftproben

- bei Anwendung unterschiedlicher Probennahme-
und Analysetechniken



Herausgegeben von der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
1. Auflage

Karlsruhe 1993



Altlastenfachinformation im WWW

Impressum

Herausgeber: Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
Griesbachstr. 1
76185 Karlsruhe

Redaktion: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Abteilung Boden, Abfall, Altlasten
Referat 54 – Altlastensanierung
Dr. Iris Blankenhorn

Verfasser: Wolfgang Schulz
Kommunale Vereinigung für Wasser-, Abfall- und
Energiewirtschaft r.V. (vedewa)
Werfmershalde 22
70190 Stuttgart

Karlsruhe, August 1993

Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage. Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt. Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind -auch auszugsweise- nur für eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1. AUFGABENSTELLUNG - ZIELSETZUNG | 1 |
| 2. EINLEITUNG | 2 |
| 3. DURCHFÜHRUNG DER PROBENAHMEN | 4 |
| 3.1 XAD-HARZ | 6 |
| 3.2 TENAX/AKTIVKOHLE | 7 |
| 3.3 GASBEUTEL | 7 |
| 3.4 PASTEURPIPETTE, GLASAMPULLE (LFU) | 7 |
| 3.5 ANALYSENVERFAHREN..... | 8 |
| 4. ERGEBNISSE | 9 |
| 4.1 METHODENABHÄNGIGE KORRELATION | 9 |
| 4.2 SUBSTANZABHÄNGIGE KORRELATION | 10 |
| 4.3 STANDARDABWEICHUNG | 10 |
| 5. ZUSAMMENFASSUNG | 11 |
| ANHANG A: KORRELATIONS DIAGRAMME, METHODENABHÄNGIG | 12 |
| ANHANG B: KORRELATIONS DIAGRAMME, SUBSTANZABHÄNGIG | 20 |
| ANHANG C: STANDARDABWEICHUNG | 25 |
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 26 |
| TABELLENVERZEICHNIS | 26 |
| INDEXVERZEICHNIS | 27 |

1. Aufgabenstellung - Zielsetzung

Die Bestimmung von chlorierten Kohlenwasserstoffen (CKW) in der Bodenluft ist ein seit vielen Jahren eingesetztes Verfahren um Grad und Ausdehnung von CKW-Verunreinigungen im Untergrund zu ermitteln. Hierzu wurden in der Vergangenheit verschiedene Methoden der **Probenahme** und Analytik entwickelt. Prinzipiell können zwei Techniken unterschieden werden:

- Adsorption der CKW's an ein geeignetes Sorbens
- Abfüllen der Bodenluft in ein geeignetes Behältnis

Vergleichende Untersuchungen zu verschiedenen Probenahmetechniken lagen bisher nicht vor, obwohl es für die Beurteilung und Bewertung der Analysendaten von Bodenluftuntersuchungen und der hiervon abhängigen Maßnahmen für das weitere Vorgehen von großer Wichtigkeit ist. Es ist erforderlich, daß die mit unterschiedlichen Probenahmetechniken und Analysenverfahren erhaltenen Daten gleichwertig sind.

Die v e d e w a - Kommunale Vereinigung für Wasser-, Abfall- und Energiewirtschaft r. V. hat im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg einen Methodenvergleich ausgearbeitet und durchgeführt, wobei wegen der Vergleichbarkeit die Probenahme im Labor unter nahezu identischen Bedingungen an einer Gasmischapparatur durchgeführt wurde, um vergleichbare Analysendaten zu erhalten.

2. Einleitung

Unter **Bodenluftproben** versteht man alle gasförmigen Proben, die durch geeignete Probenahmevorrichtungen aus dem Boden unterhalb ca. 1 m Geländeoberkante und oberhalb des Grundwasserspiegels entnommen werden. Die Hauptbestandteile der Bodenluft sind die Permanentgase Stickstoff (N_2) und Sauerstoff (O_2).

Neben diesen Hauptbestandteilen der Bodenluft können noch Spurenbestandteile auftreten (Gehalt $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bis mg/m^3), die Hinweise auf Art (welche Substanzen) und Ausmaß (welche Konzentrationen) einer Kontamination des Untergrundes oder des Grundwassers geben. Es stellt sich im Boden ein Gleichgewicht zwischen den Verunreinigungen des Bodens bzw. des Grundwassers und der Bodenluft ein. Die Lage dieses Gleichgewichtes wird entscheidend durch den Dampfdruck bzw. durch die Löslichkeit der Substanz im Wasser beeinflusst. Damit sind der Bodenluftmessung die leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffe (CKW) und Frigene, sowie die niedrigsiedenden Kohlenwasserstoffe zugänglich. Die Nachweisgrenze für eine Substanz ist u. a. abhängig von Dampfdruck (Lage des Verteilungsgleichgewichtes), dem verwendeten Detektionssystem und dem Probenahmeverfahren.

Die Bodenluftmessung stellt eine Methode zur schnellen, orientierenden Untersuchung von Kontaminationen des Untergrundes dar.

Wie oben bereits aufgeführt, ist für die Nachweisgrenze und damit für die Aussagekraft der Untersuchung die Probenahmetechnik mit von entscheidender Bedeutung. Die Methode muß praktikabel sein, d. h. die Probenahme muß unter den Bedingungen vor Ort ohne großen technischen Aufwand auch bei ungünstiger Witterung durchführbar sein. Ferner soll sich pro Tag eine größtmögliche Anzahl von Probenahmen durchführen lassen.

In Abb. 1 ist schematisch der Ablauf für Entnahme und Untersuchung der Bodenluft sowie mögliche Fehler dargestellt.

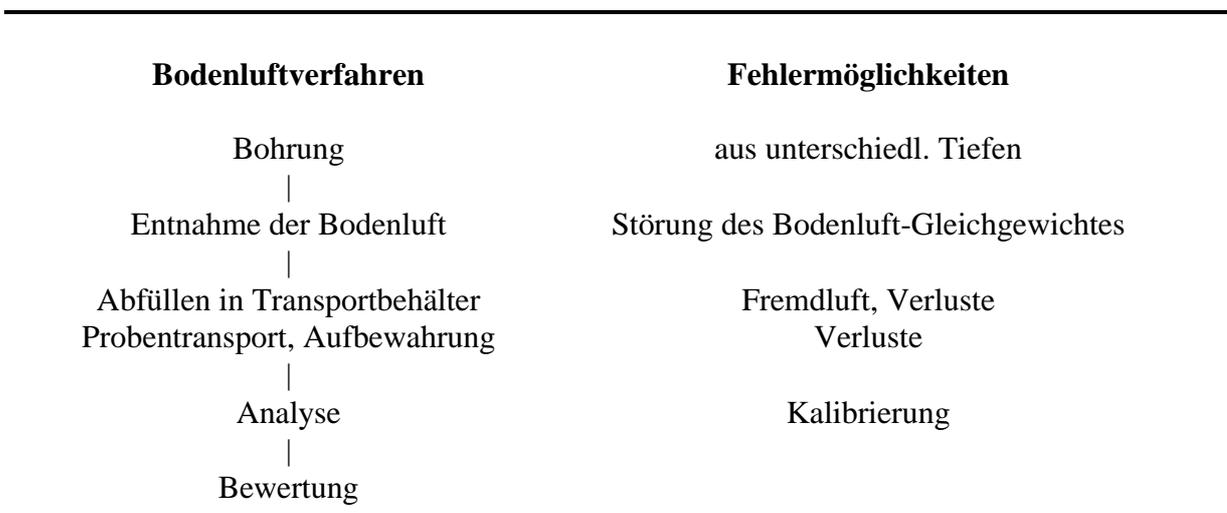


Abb. 1: Verfahrensablauf der Bodenluftanalyse

Die CKW-Konzentration in der Bodenluft ist von vielen Randbedingungen beispielsweise von der Witterung und Temperatur abhängig. Dies führt dazu, daß vor Ort auf einem kontaminierten Gelände für einen Vergleich von sechs verschiedenen Probenahmetechniken keine vergleichbaren Bedingungen eingehalten werden können.

Deshalb wurde für den Methodenvergleich mittels einer Gasmischapparatur ein Gasstrom konstanter CKW-Konzentration im Labor hergestellt. Die Probenahme beschränkt sich somit auf die Entnahme der Gasmenge aus dem Gasstrom und der Adsorption bzw. dem Abfüllen in ein geeignetes Behältnis. Probentransport, Aufbewahrung und Analyse wurden wie bei normalen Bodenluftproben durchgeführt (vgl. Abb. 1).

Folgende **Probenahmetechniken** wurden miteinander verglichen:

| | |
|-------------------|--|
| Adsorption | XAD-Harz, Tenax ^R , Aktivkohle |
| Direkt | Pasteurpipette, (Neumayr), Glasampulle (LFU) alukaschierte Kunststoffgas- beutel |

An den Messungen beteiligten sich die Modellstandort Labors Berghof, TAUW, Battelle und vedewa jeweils mit ihren Methoden.

3. Durchführung der Probenahmen

Die Probenahmen wurden an einer Gasmischapparatur im Labor der vedewa durchgeführt. In Tabelle 1 sind die untersuchten Substanzen mit den verwendeten Abkürzungen zusammengestellt.

Voraussetzung für einen Methodenvergleich von Probenahme und Analyse ist eine Luftprobe konstanter Zusammensetzung. Hierfür stehen zwei prinzipielle Verfahren zur Verfügung:

- Statisches Verfahren,
- dynamisches Verfahren.

Beim Statischen Verfahren wird in einer Gasmaus oder in einem Glaskolbenprober eine Luftprobe mit CKW's versetzt und gut durchmischt. Von dieser Gasmischung wird dann eine Probe entnommen und analysiert. Der Nachteil dieses Verfahrens besteht in der Schwierigkeit bei der Bereitstellung großer Volumina, da bei Anwendung des Adsorptionsverfahrens bis 10 l Gas über das Adsorbens gesaugt werden.

Deshalb wurde für die Labormessung das dynamische Verfahren eingesetzt.

Zur Herstellung der Gasmischungen wurde mittels eines Perfusors ein konzentrierter CKW-Gasstandard in einen Verdünnungsgasstrom dosiert. Am Ende einer Mischstrecke erfolgt die Probenahme durch die mit der Probenahmetechnik vertrauten Mitarbeiter des jeweiligen Labors.

Das Prinzip des Verfahrens besteht in der kontinuierlichen Dosierung eines konzentrierten Gasstandards in einen Verdünnungsgasstrom. Als Verdünnungsgasstrom wird synthetische Luft verwendet. Das Schema der Gasmischapparatur ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die Herstellung der Gasstandards erfolgte durch Injektion eines methanolischen CKW-Standards in einen mit synthetischer Luft gefüllten alukaschierten Kunststoffgasbeutel. Zur vollständigen Verdampfung wird der Gasbeutel bei ca. 40 °C temperiert. Aus der so hergestellten Gasmischung kann der Glaskolbenprober mehrmals gefüllt werden.

Hierdurch wird gewährleistet, daß für mehrere Verdünnungsläufe konstante Ausgangskonzentrationen vorliegen.

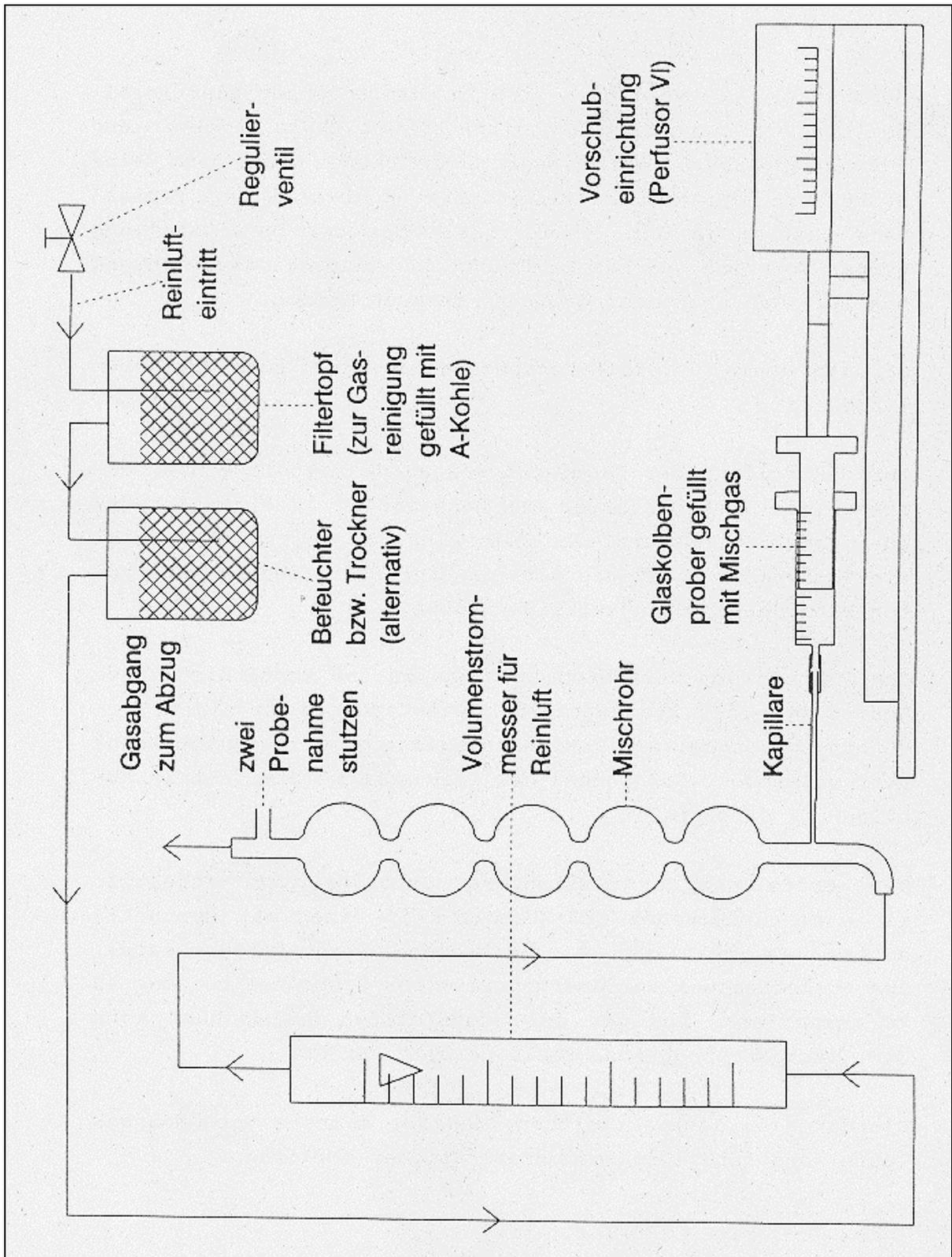


Abb. 2: Gasmischapparatur

Die Ermittlung der CKW-Konzentrationen nach der Verdünnung erfolgt durch Direktmes-sung. Am Probennahmestutzen wird mittels einer gasdichten Spritze eine Probe von 500 µl entnommen und direkt in einen Gaschromatographen eingespritzt. Während eines Verdün-

nungslaufes sind so drei Kontrollmessungen möglich. Der Mittelwert dieser Messungen wird im folgenden als **Referenzmessung** bezeichnet.

Die Messungen erfolgten an drei verschiedenen Konzentrationsniveaus:

| | | |
|---------------------------|--------------------|--------------------------|
| Konzentrationsniveau I, | ca. 100 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| Konzentrationsniveau II, | ca. 1.000 - 5.000 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| Konzentrationsniveau III, | ca. 5.000 - 10.000 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |

Zur Kontrolle der Reproduzierbarkeit der Injektion mittels dasdichter Spritze wurden von den Standards 100 und 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Mehrfachinjektionen aus einer Gasmaus durchgeführt. Zwischen den Injektionen wurde die Spritze mit synthetischer Luft gespült. Die Standardabweichungen lagen bei der Konzentration 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen 0,5 und 6 % je nach Substanz; bei der Konzentration 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen 1,4 und 17,1 %.

Tabelle 1: Zusammenstellung der untersuchten chlorierten Kohlenwasserstoffe

| Substanz | Abkürzung |
|------------------------|-----------|
| Trichlorfluormethan | TCFM |
| Trichlortrifluorethan | TCTF |
| Dichlormethan | MCL |
| 1,2-cis-Dichlorethen | DCEC |
| 1,2-trans-Dichlorethen | DCET |
| Trichlormethan | CLF |
| 1,1,1-Trichlorethan | TCE |
| Tetrachlormethan | Tetra |
| Trichlorethen | Tri |
| Tetrachlorethen | Per |

3.1 XAD-Harz

Die XAD Adsorptionsröhrchen werden vom analysierenden Labor selbst hergestellt. Das **XAD-Harz** wird mit Lösungsmittel gereinigt, in eine Pasteurpipette abgefüllt und diese zugeschmolzen, wobei von jeder Charge der Blindwert kontrolliert wird.

Vor der Probenahme wird das Röhrchen aufgebrochen und mit Gasuhr und Pumpe an den Probenahmestutzen der Gasmischapparatur angeschlossen. Der Volumenstrom beträgt 0,5 - 1 l/min; das Probenahmenvolumen 5 l. Die Röhrchen werden nach der Probenahme mit Kunststoffkappen verschlossen und ins Labor transportiert.

Die Elution erfolgt mit Pentan über Nacht. Durch direkt auf das XAD-Harz aufgebene Flüssigkeitsstandards konnte eine Elutionsausbeute von > 95 % ermittelt werden. Dies gilt auch für 1,1,2-Trichlortrifluorethan (TCTF) und Trichlorfluormethan (TCFM). Da für diese Substanzen aber noch keine Erfahrungen hinsichtlich des Adsorptionsgrades aus der Gasphase vorliegen werden für diese Substanzen keine Ergebnisse angegeben.

3.2 Tenax/Aktivkohle

Die Probenahme mit **Tenax- bzw. Aktivkohleröhrchen** erfolgt analog zur Probenahme mit XAD-Röhrchen. Das durchgesaugte Gasvolumen ergibt sich über die Flußrate und die Pumpdauer. Das Probevolumen wird zur Vermeidung von Überladung der Röhrchen der zu erwartenden Konzentrationen angepaßt (0,5 - 1l).

Bei den Tenaxröhrchen handelt es sich um ca. 100 mm lange Metallröhrchen in die ca. 500 mg Tenax, gepackt wird. Die Röhrchen werden durch Aluminiumkappen mit Dichtring verschlossen. Die Desorption der adsorbierten Substanzen erfolgt thermisch in einer speziellen Apparatur.

Bei den Aktivkohleröhrchen handelt es sich um Glasröhrchen mit ca. 100 mg Aktivkohle ohne Sicherheitsschicht. Die Desorption erfolgt durch Elution mit Benzylalkohol/Pentan.

3.3 Gasbeutel

Bei der Probenahme in **Gasbeuteln** wurde die Gasprobe mit Hilfe eines 1 l Glaskolbenprobers über einen 3-Wege-Hahn langsam aus dem Probenahmestutzen der Gasmischapparatur gezogen. Die erste Entnahme wurde über den 3-Wege-Hahn verworfen, die zweite Füllung wird über den Hahn in den Gasbeutel gedrückt. Zwischen Probenahmen unterschiedlicher Konzentrationsniveaus wurde der Glaskolbenprober mit Stickstoff gespült. Bei einem Verdünnungsgasstrom von 4 l/min war bei der Probenahme darauf zu achten, daß zur Vermeidung von Fremdluft die Gasprobe nicht zu schnell mit dem Glaskolbenprober angesaugt wird. Die verwendeten Gasbeutel waren zuvor im Labor ausgeheizt und mit Stickstoff gespült worden.

Vor Entnahme der Probe aus dem Gasbeutel für die Analytik wird dieser 30 min auf 60 °C erwärmt. Mit einer beheizten 10 ml Gasspritze wird die Probe in die Gasschleife des Probenaufgabesystems gespritzt. Bei zu hohen Konzentrationen kann die Gasprobe verdünnt werden.

3.4 Pasteurpipette, Glasampulle (LfU)

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Probenahmetechniken wird bei der Verwendung einer **Pasteurpipette oder einer Glasampulle** ein wesentlich geringeres Gasvolumen benötigt (ca. 10 ml). Mit Hilfe einer Polypropylenspritze (5 ml) mit Stahlkanüle (5 cm) wurde über den Probenahmestutzen der Gasmischapparatur eine Gasprobe gezogen.

Dieses Gasvolumen wird langsam direkt in die Glasampulle gedrückt und diese anschließend zugeschmolzen. Bei Abfüllung in eine Pasteurpipette wird zuvor die Kanüle gegen eine von 10 cm Länge ausgetauscht. Dadurch ist es möglich, die Pasteurpipette vom geschlossenen Ende her zu füllen und somit die Luft weitgehend vollständig zu verdrängen.

Für die Analyse wird das Glasbehältnis aufgebrochen, mit einer gasdichten Spritze 500 µl entnommen und in den Gaschromatographen injiziert.

Die Pasteurpipette wird nach der Gasentnahme wieder zugeschmolzen. Eine zweite Gasentnahme ist möglich, wobei die ermittelten Konzentrationen 20 - 30 % unter der Erstinjektion liegen.

3.5 Analysenverfahren

Die angewandten **Analysenverfahren** sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Analysenverfahren für die Bestimmung von CKW's in Bodenluftproben

| | Pasteurpipette / Glasampulle | XAD-Harz | Tenax / Aktivkohle | Gasbeutel |
|-------------------|---|--|---|--|
| Gaschromatograph | Carlo Erba HRGC 5300 | Packard 436 Sigma 2000 | Perkin Elmer | Carlo Erba |
| Trennsäule | DB 624 30m x 0,32 1,8 µm | CB SIL 8 50m x 0,32 1,2 µm | WCOT CP SiL 5 CB x 0,32 1,2 µm | DB 624 30m x 0,32 1,8 µm |
| Detektor | ECD-FID in Reihe | ECD | Split FID : ECD 9 : 1 | Split FID : ECD 1 : 10 |
| Proben-aufgabe | gasdichte Spritze 0,5 ml Dosiervol. Split | 1 µl On Column 4 ml Pentan auf Harz | Tenax TA Säule thermische Desorption Split | Gas- schleife |
| Kalibrie- rung | Gasstandard 1.000 µg/m ³ ECD 100.000 µg/m ³ FID Einpunkt- kalibriert. | 0,2/0,02 ppm CKW in Pentan Verdünnung im Meß- bereich | Standard- lösung in Methanol FID 0,2 µg/µl ECD 0,01 µg/µl - 0,5 µg/µl Einpunktkalibr. | Gas- standard (Druckgas- flasche) |

4. Ergebnisse

In den Anhängen A - C sind die **Ergebnisse** graphisch dargestellt.

Im Fall des XAD-Harzes wurden die Werte von TCFM und TCTF nicht mit aufgenommen, da kein Adsorptionsgrad für diese Gase vorliegt. Wegen hohen Nachweisgrenzen aufgrund von Blindwertproblemen werden im Fall der Aktivkohle die Werte für MCL, DCET, DCEC nicht berücksichtigt.

4.1 Methodenabhängige Korrelation

Zur Ermittlung von Unterschieden, Abhängigkeiten und Trends wurde in einem xy-Diagramm für jede Substanz bzw. Probenahmetechnik der Mittelwert der **Labormessung (y-Achse)** dem Mittelwert der **Referenzmessung (x-Achse)** zugeordnet. Gleichzeitig ist zur Orientierung auch die Gerade mit der Steigung Eins eingezeichnet. Zur Vermeidung der Diskriminierung kleiner Konzentrationen bei der Darstellung wird zusätzlich die logarithmische Skalierung mit dargestellt. Im Anhang A sind die entsprechenden Diagramme getrennt für die einzelnen Probenahmetechniken sowie alle Techniken in einem Diagramm zusammengestellt.

Liegen die Punkte auf oder dicht an der eingezeichneten Winkelhalbierenden so stimmen Labormessung und Referenzmessung gut überein. Punkte die oberhalb dieser Linie liegen, deuten auf Mehrbefund der Labormessung, Punkte die unterhalb der Winkelhalbierenden liegen auf Minderbefund der Labormessung hin.

Auch in dieser Darstellung ist deutlich zu erkennen, daß bei der logarithmischen Achseneinteilung bei hohen Konzentrationen die Abweichungen "unterdrückt" werden. Dagegen "verstärken" sich die Abweichungen bei kleineren Konzentrationen.

Die Gesamtdarstellung zeigt die Übereinstimmung von Labor- und Referenzmessung. Die Mehrzahl der Punkte gruppieren sich um die Gerade. Zu beachten ist, daß bei dieser Darstellung keine Unterscheidung hinsichtlich Substanz erfolgt.

Bei den Probenahmetechniken Tenax (●), Aktivkohle (+) und Gasbeutel (x) treten deutliche Mehrbefunde auf. Bei hohen Referenzkonzentrationen erkennt man anhand des Diagrammes für alle Probenahmetechniken eine deutliche Tendenz von Minderbefunden.

Bei der Beurteilung dieser Kenndaten der methodenabhängigen Korrelation müssen die unterschiedlichen Analysenverfahren mit in Betracht gezogen werden. Die Kalibrierung der einzelnen Labors erfolgte sowohl mit Gas- als auch Flüssigstandards, welche jeweils selbst hergestellt wurden. Deshalb zeigt die gute Übereinstimmung von Labor- und Referenzwert auch die sehr gute Vergleichbarkeit der Analytik.

4.2 Substanzabhängige Korrelation

Während bei der methodenabhängigen Korrelation die Mittelwerte für die einzelnen Substanzen geordnet nach Probenahmetechnik den Referenzwerten gegenübergestellt wurden, sind bei der substanzabhängigen Korrelation die Mittelwerte für eine Substanz aus unterschiedlichen Probenahmetechniken den Referenzwerten gegenübergestellt.

Im Anhang B sind die Korrelationsdiagramme für die einzelnen Substanzen dargestellt. Die Regressionskoeffizienten R liegen für alle Substanzen außer den fluorierten Verbindungen TCFM und TCTF über 0,93. Der geringere Korrelationskoeffizient für die beiden fluorierten Verbindungen ist Ausdruck stark schwankender Meßwerte und u. U. eines Blindwertes.

Der Vergleich der Steigungen a für die einzelnen Substanzen zeigt einen Abfall zum Tetrachlorethen, der Substanz mit dem höchsten Siedepunkt.

4.3 Standardabweichung

Im Anhang C sind die relativen Standardabweichungen methoden- und substanzabhängig dargestellt. Aus dem Vergleich der Abbildungen sind folgende Tendenzen zu erkennen:

- Die relative Standardabweichung ist für Gasbeutel, Pasteurpipette und Glasampulle (Direktmethoden) für nahezu alle Substanzen geringer als für XAD-Harz, Tenax und Aktivkohle (Adsorptionsmethoden).
- Für TCFM und TCTF bestehen sehr große Standardabweichung bei Tenax.
- Im allgemeinen ist für das Konzentrationsniveau III die Standardabweichung am geringsten.

5. Zusammenfassung

Aufgrund der umfangreichen Messungen können folgende Aussagen über den Vergleich der Probenahmetechniken gemacht werden:

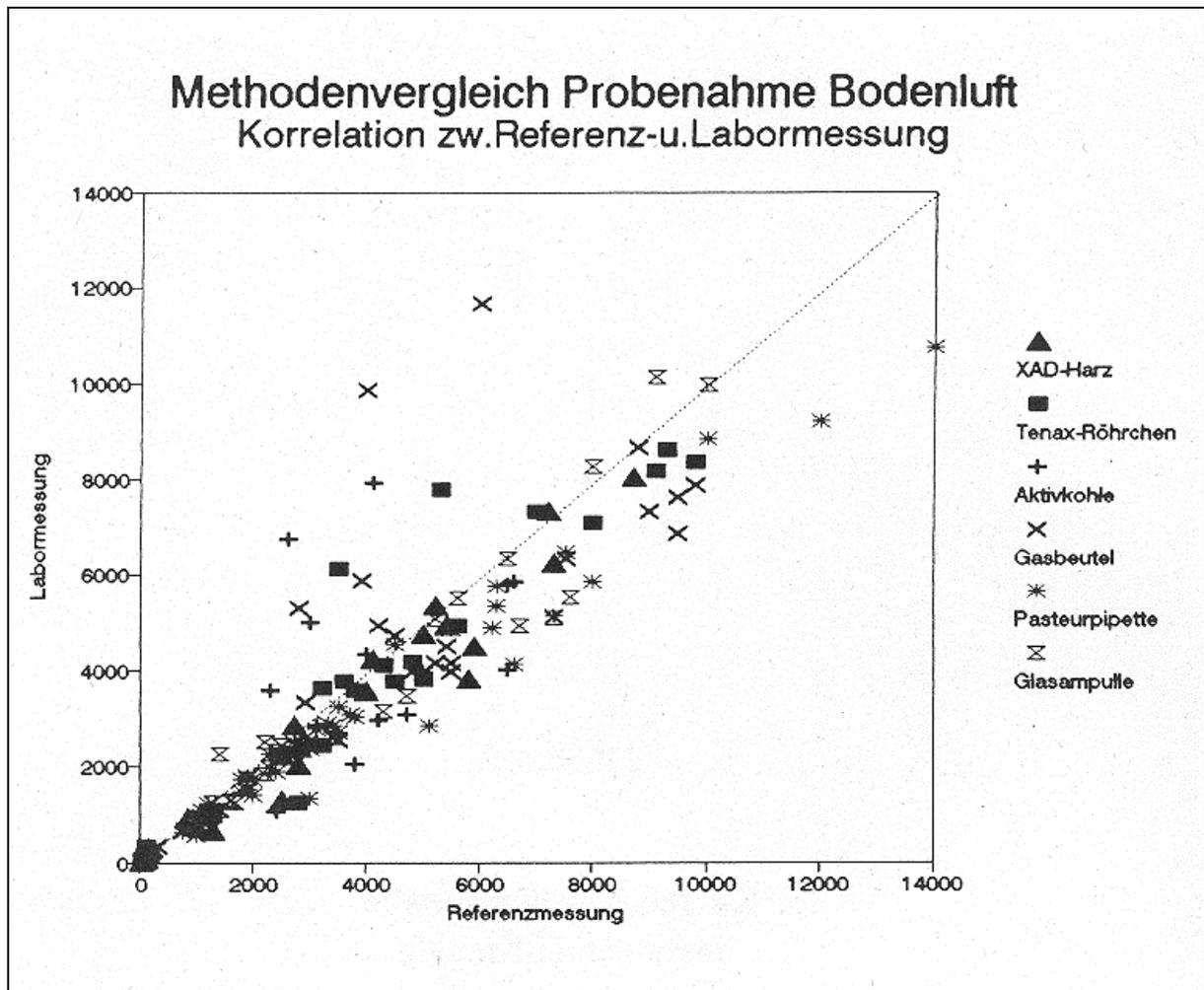
- Die angewandte Methode der Gasverdünnung ist geeignet zur Durchführung eines Methodenvergleichs für die Bodenluftprobenahme. Dies wird durch die Konstanz der hergestellten Gasmischung und die erreichten Standardabweichungen bei Direktinjektion gezeigt.
- Einflüsse bei der Probenahme vor Ort sind ausgeschlossen.
- Für alle Probenahmetechniken wird im allgemeinen eine sehr gute Übereinstimmung von Labor- zu Referenzmessung erzielt. Da bei diesem Methodenvergleich nicht nur die unterschiedliche Probenahmetechnik sondern auch die unterschiedlichen Analyseverfahren mit eingehen, wird durch die vorliegenden Meßergebnisse auch die Vergleichbarkeit der Analyseverfahren bestätigt.
- Lediglich für die Substanzen TCFM und TCTF treten bei Tenax und Aktivkohle Schwierigkeiten auf. Bei XAD-Harz liegen für diese Substanzen keine Meßwerte vor.
- Die Standardabweichungen für die Gesamtverfahren liegen im allgemeinen unter 15 %.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse können alle in die Untersuchung einbezogenen Probenahmetechniken als gleichwertig hinsichtlich der Qualität der erhaltenen Meßwerte betrachtet werden, auch wenn hinsichtlich anderer Beurteilungskriterien wie z. B. Bestimmungsgrenze oder notwendiges Probenvolumen naturgemäß große Unterschiede vorliegen. Zudem richtet sich das einzusetzende Verfahren nach der Fragestellung hinsichtlich punktueller oder flächenhafter Aussage.

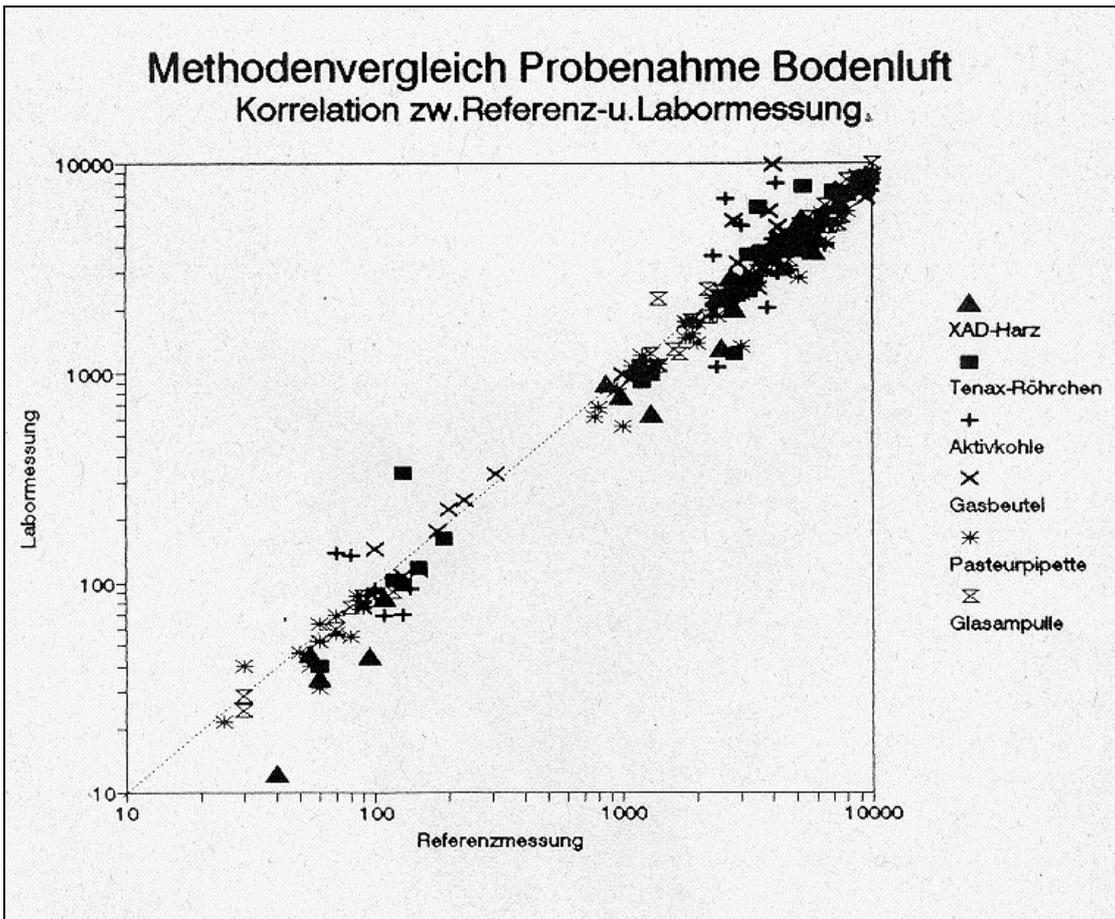
Auch die im vorliegenden Probenahmevergleich bewußt ausgeschalteten unterschiedlichen Bedingungen vor Ort können über die Richtigkeit der Analysenergebnisse hinaus durchaus eine entscheidende Rolle bei der Wahl der am besten geeigneten Probenahmetechnik spielen, dann nämlich wenn z. B. auch die Praktikabilität der Methode unter Feldbedingungen, der Ausbildungsgrad und die Erfahrung der Probenehmer u. a. Gesichtspunkte mit in die Entscheidung einbezogen werden.

Ferner muß für die Auswahl einer geeigneten Probenahmetechnik auch die gewünschte Aussage berücksichtigt werden. So wird für die Direktmethoden (Pasteurpipette, Glasampulle und Gasbeutel) ein geringes Probenahmevervolumen von wenigen ml bis 1 benötigt während die Adsorptionstechniken bis 10 l Gas benötigen.

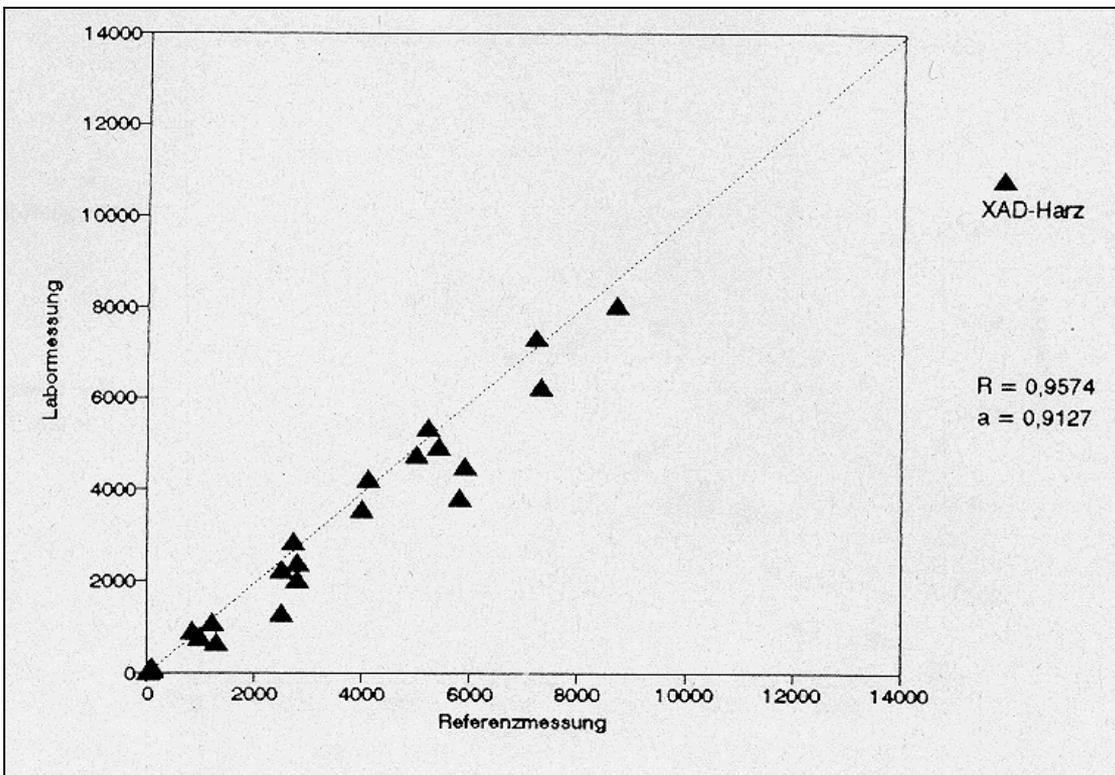
Anhang A: Korrelationsdiagramme, methodenabhängig



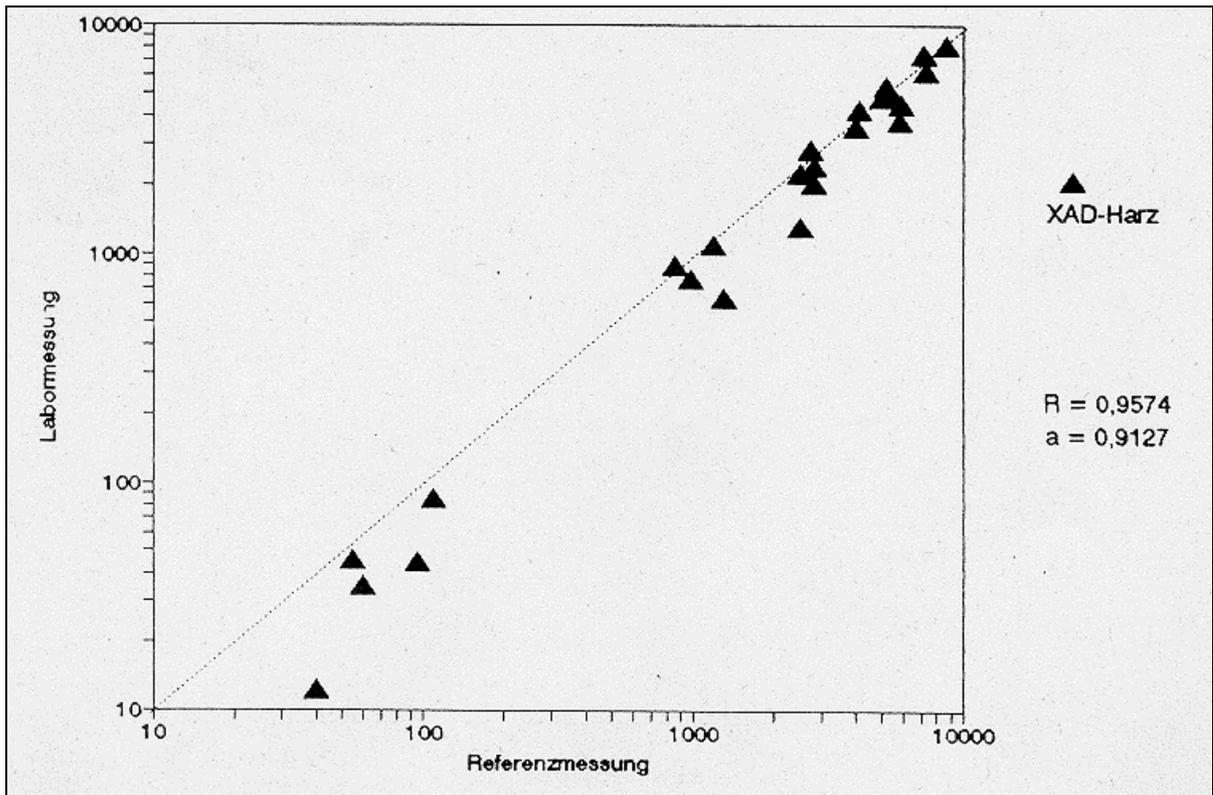
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung



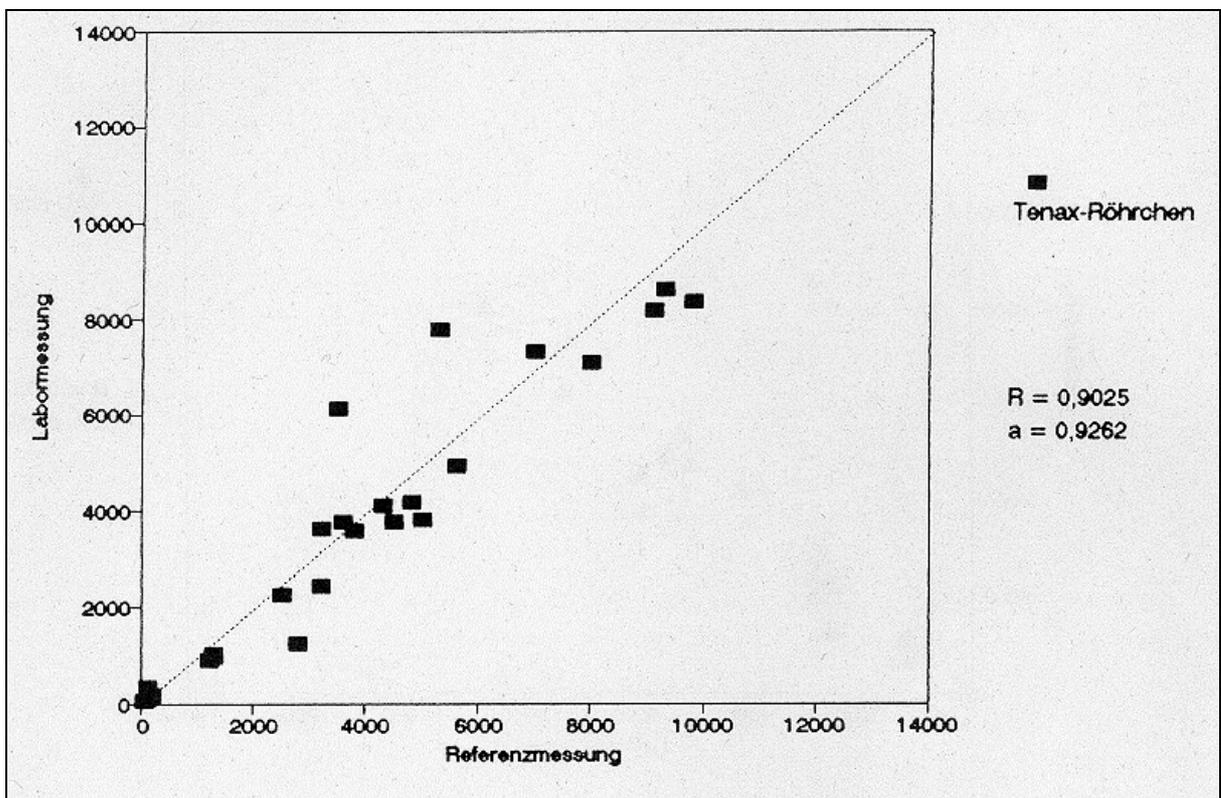
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung



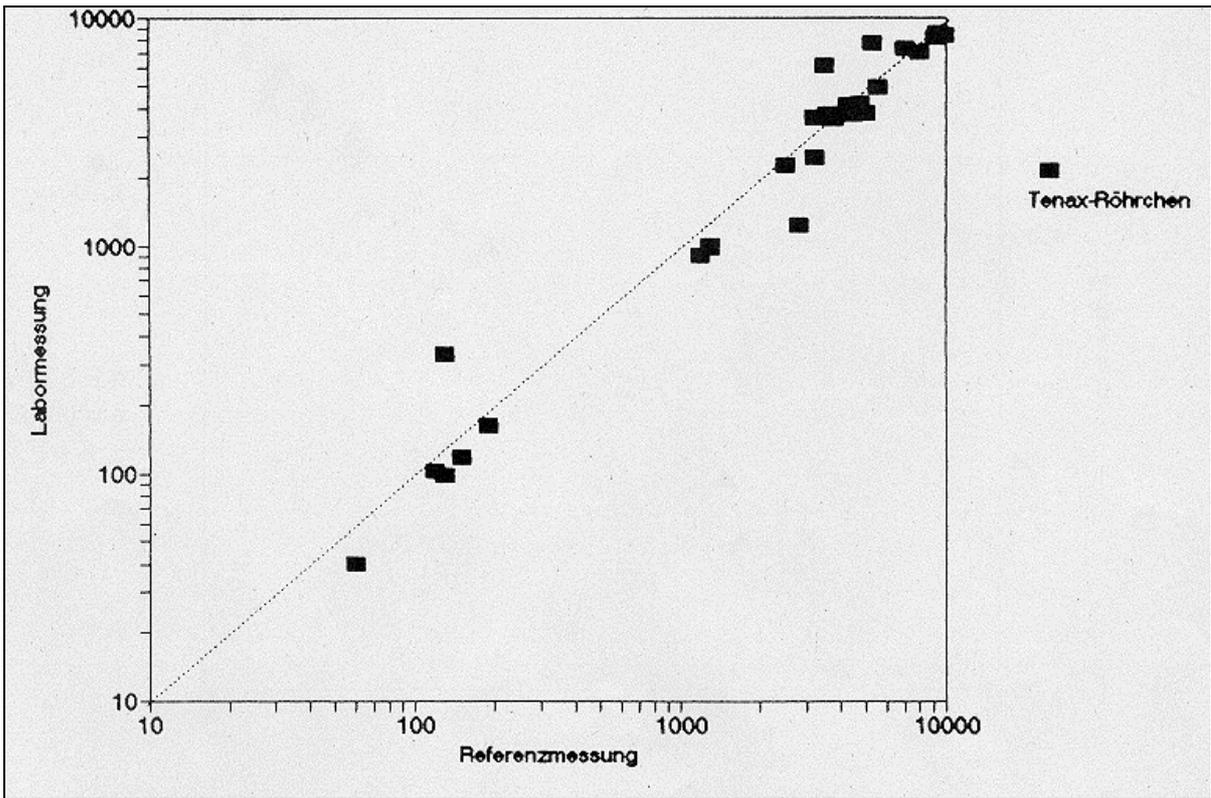
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung



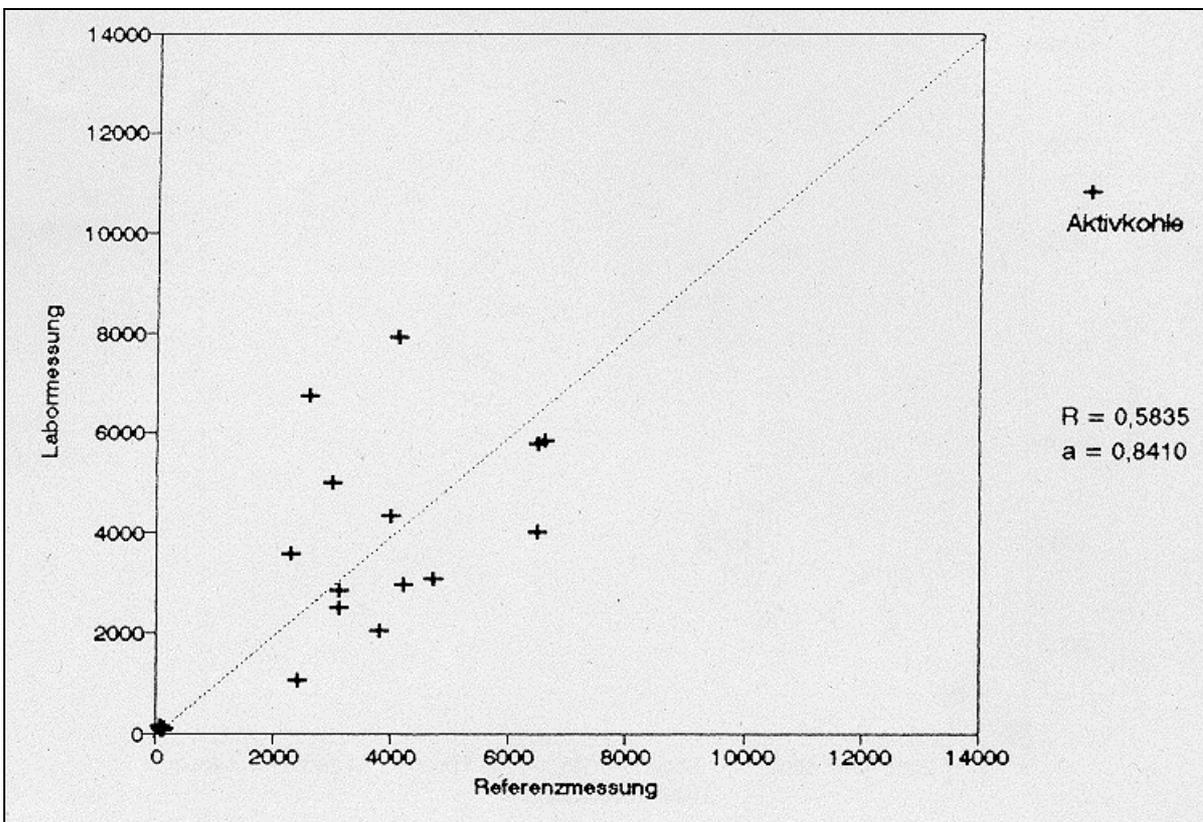
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung



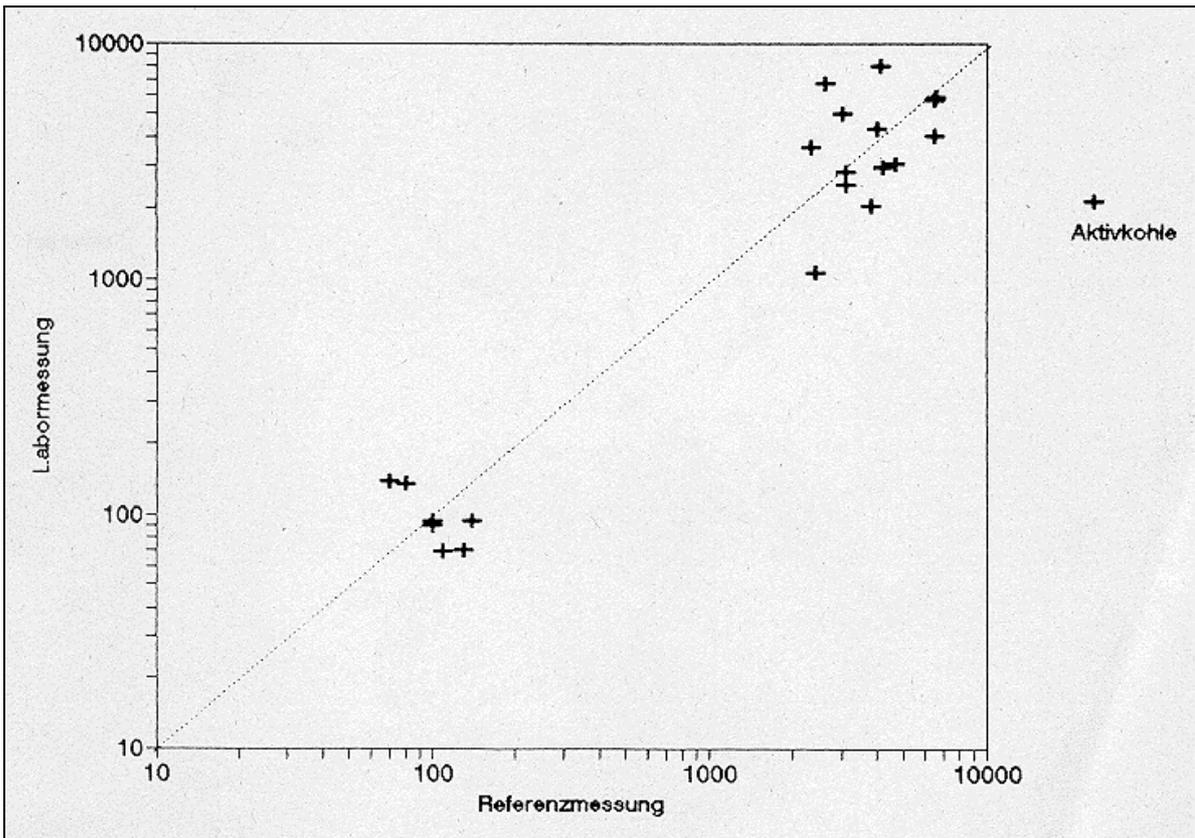
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung



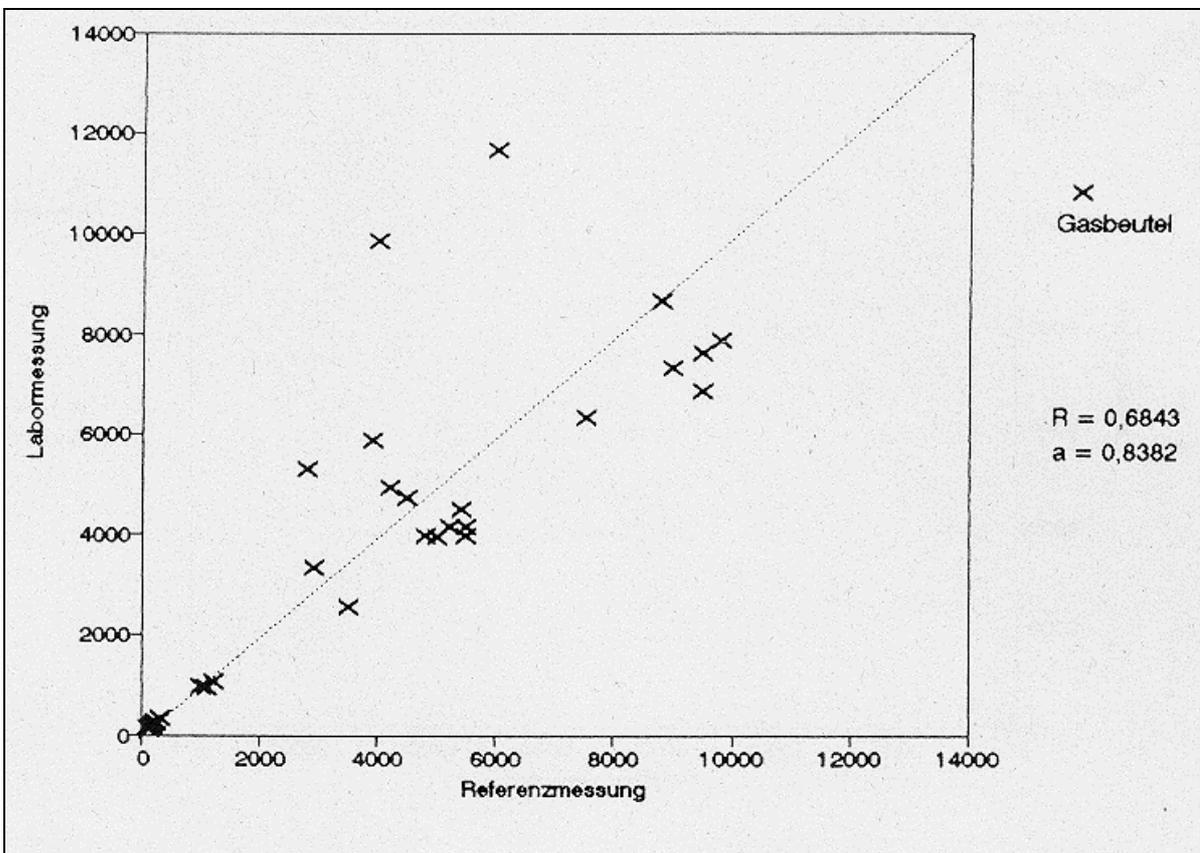
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung



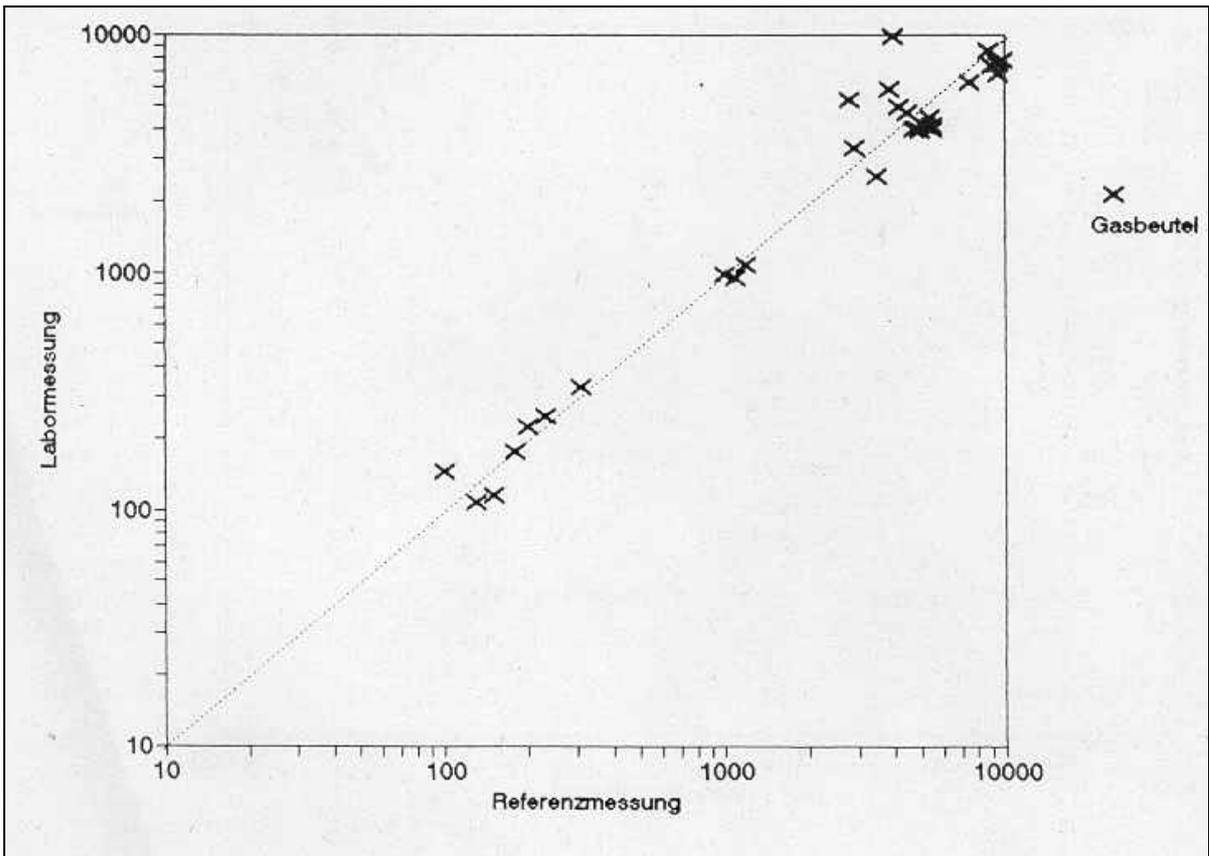
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung



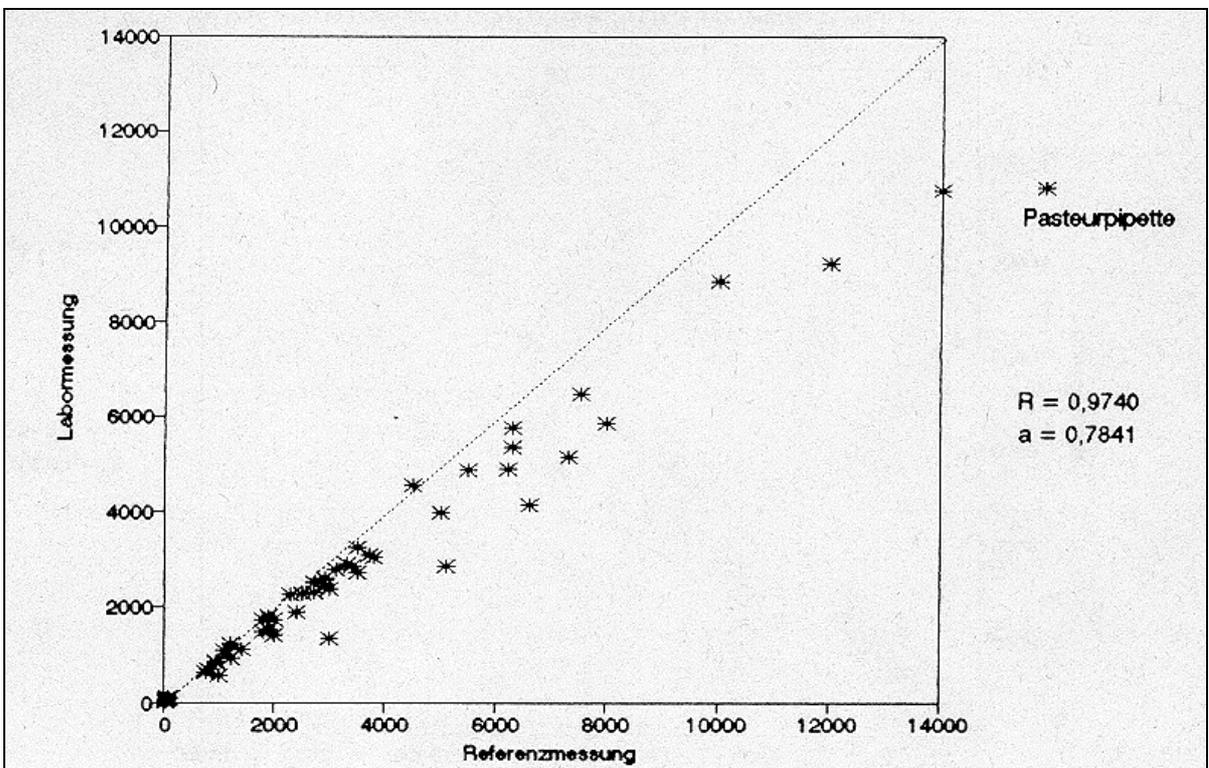
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung



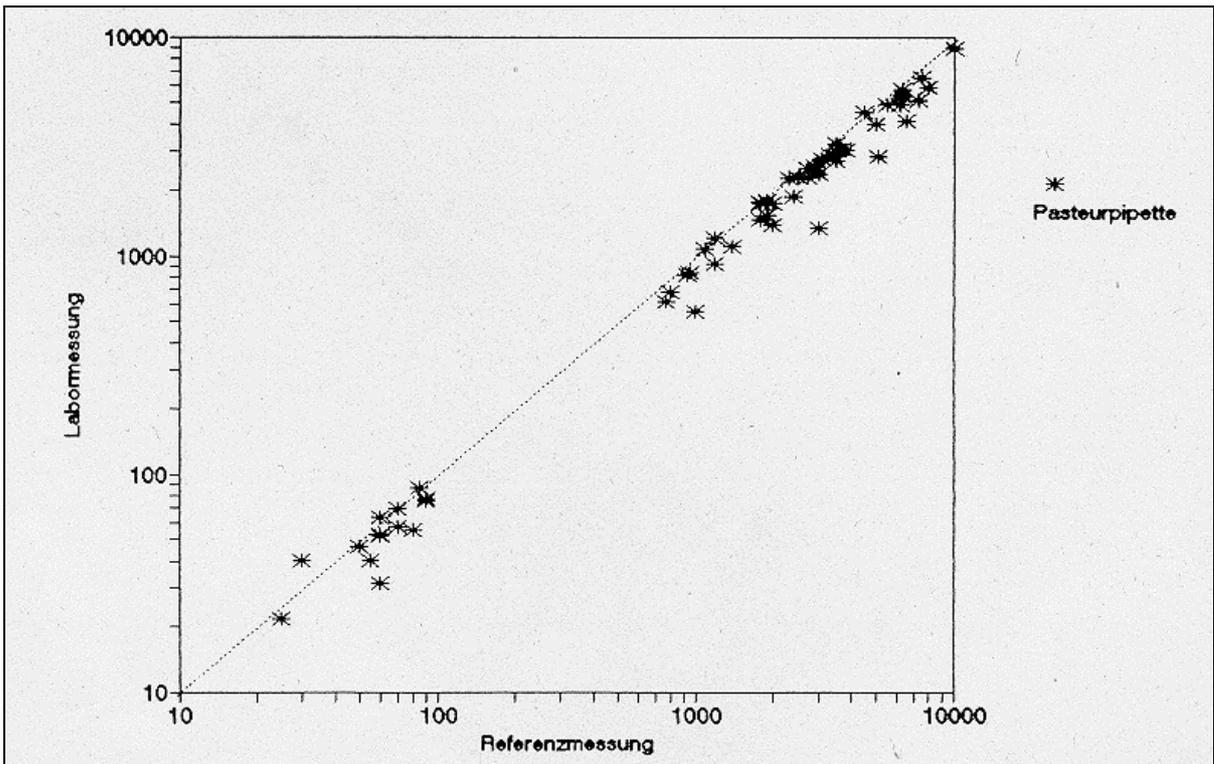
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung



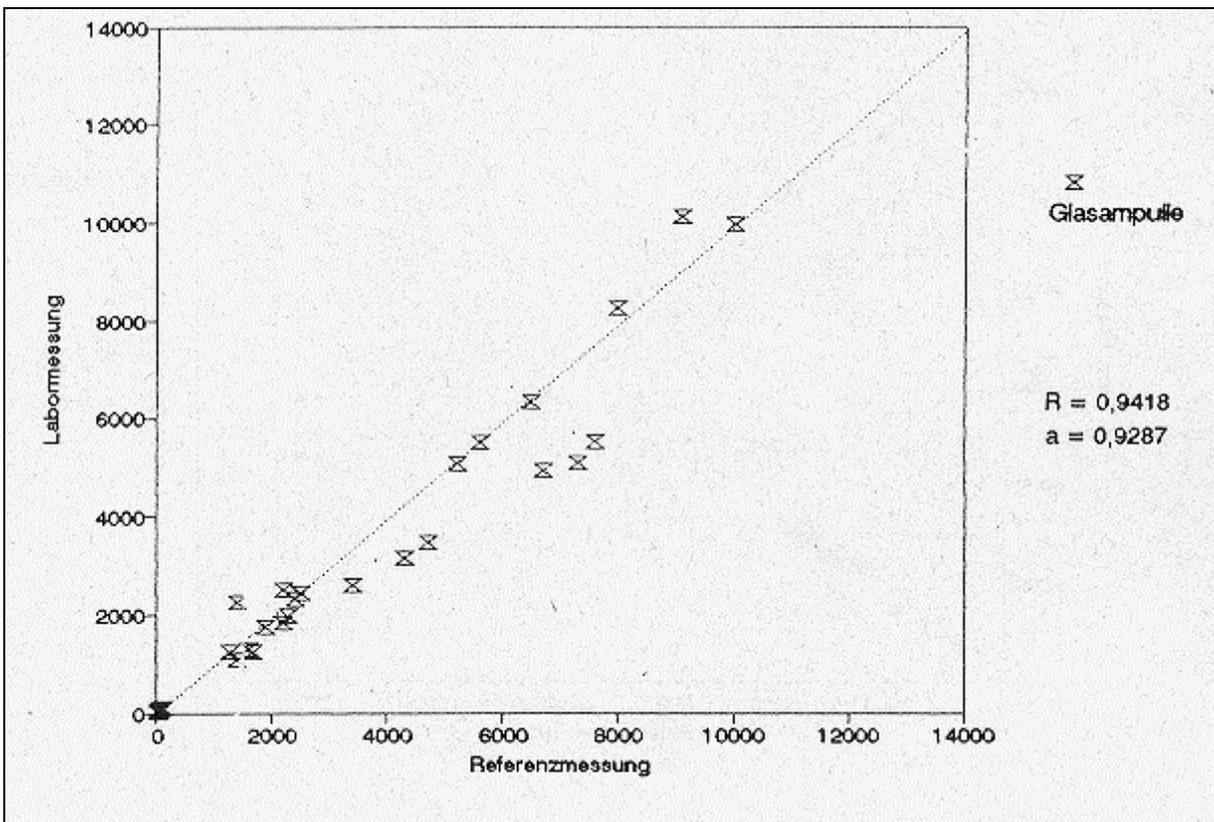
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung



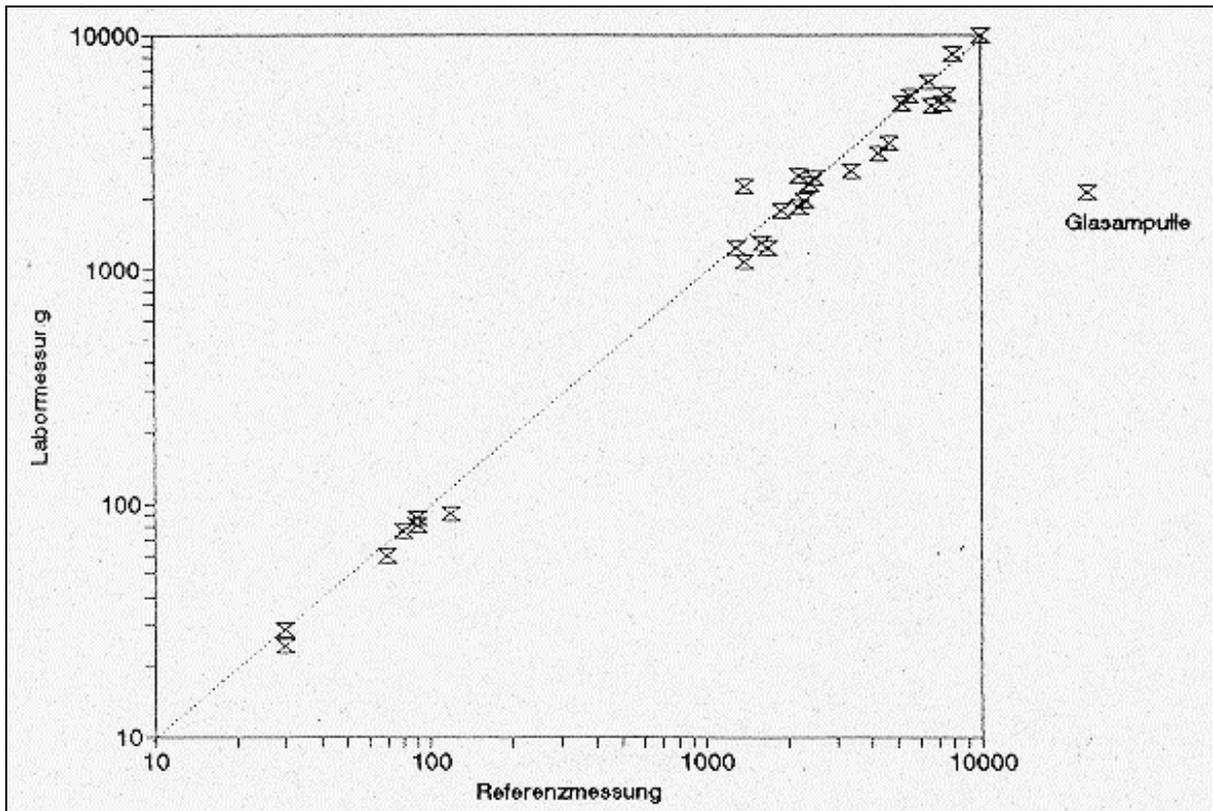
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung



Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung

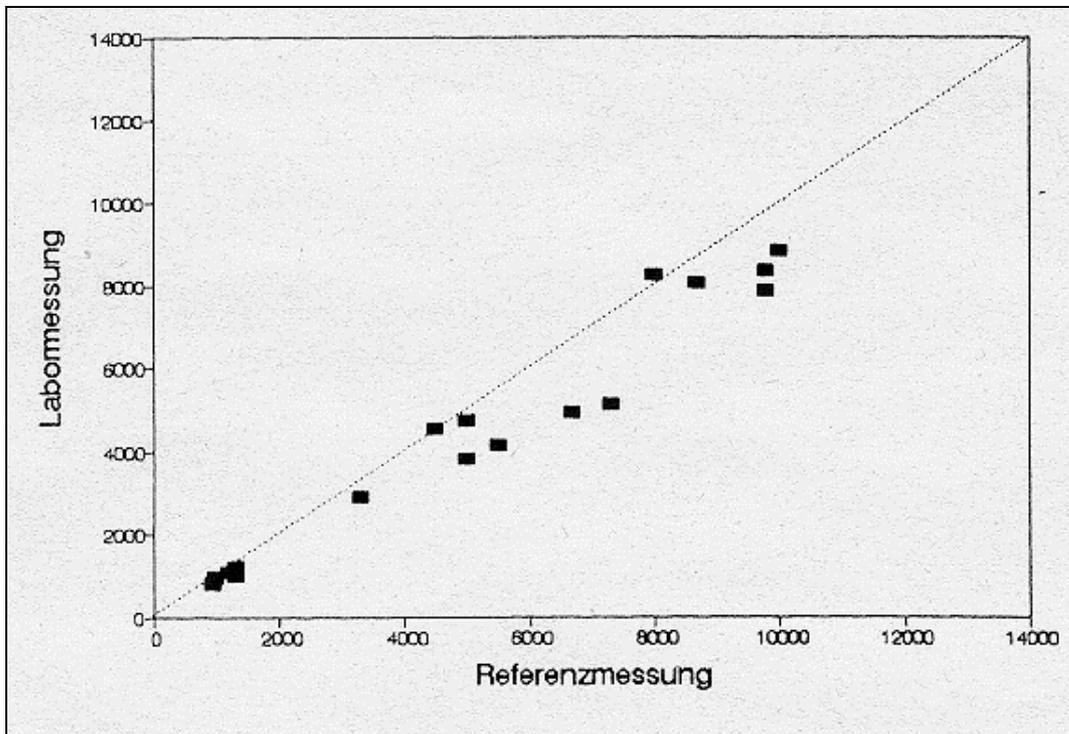


Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung

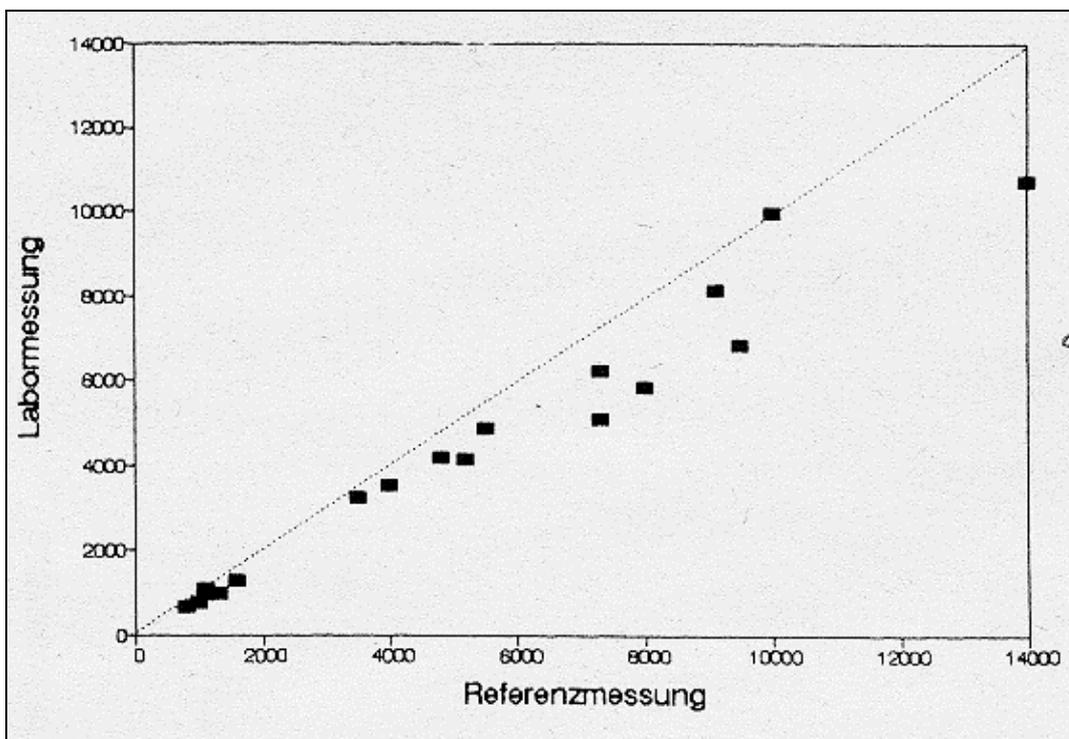


Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung

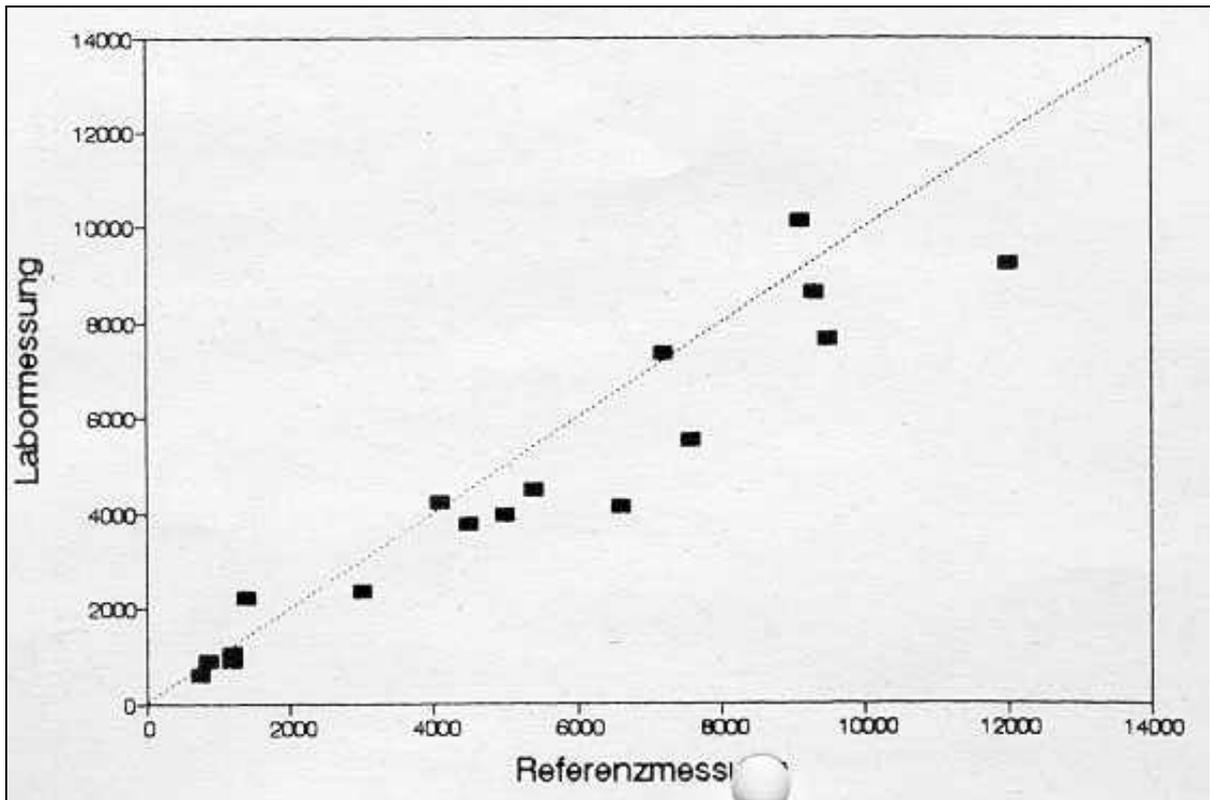
Anhang B: Korrelationsdiagramme, substanzabhängig



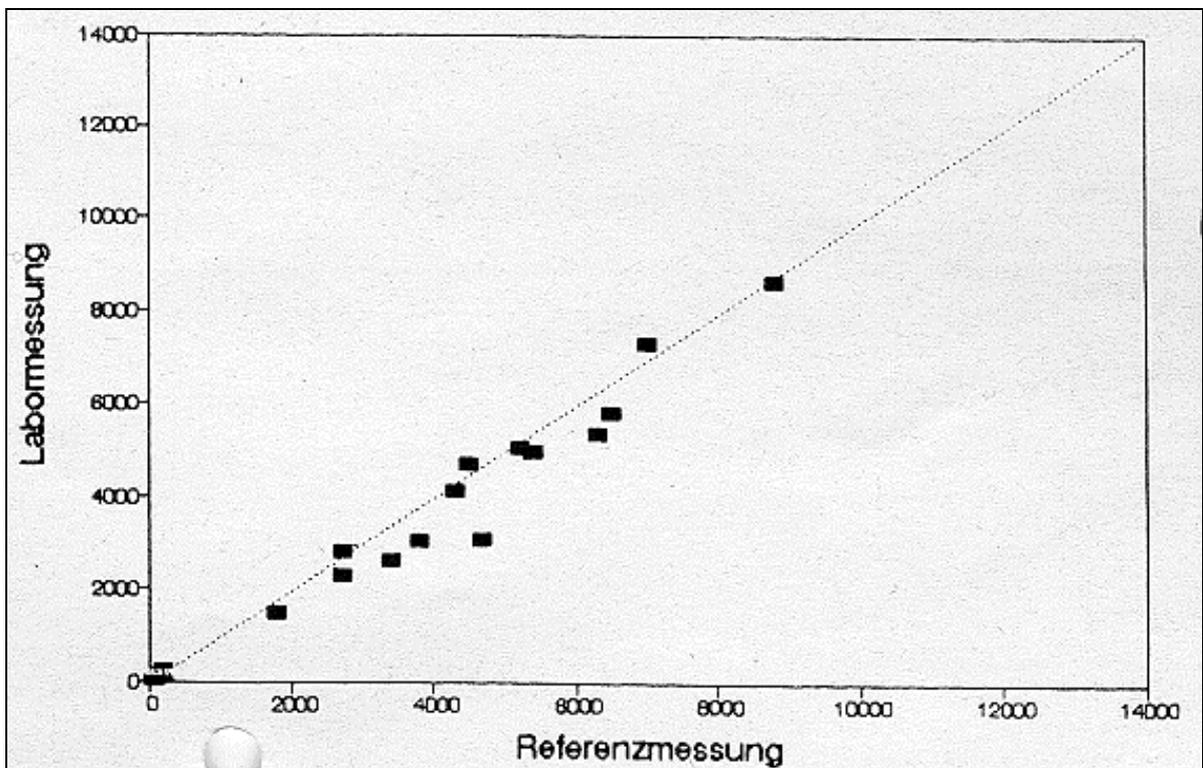
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Dichlormethan



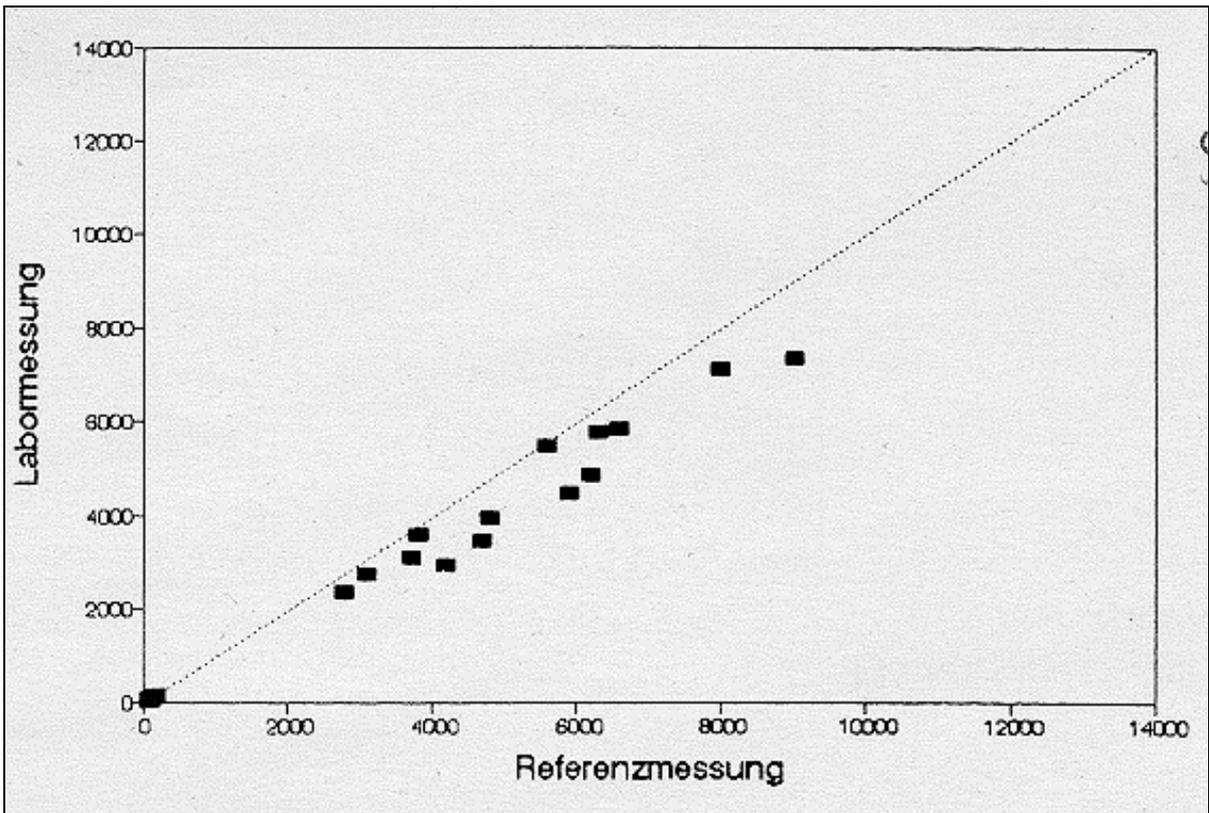
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, cis-1,2-Dichlorethen



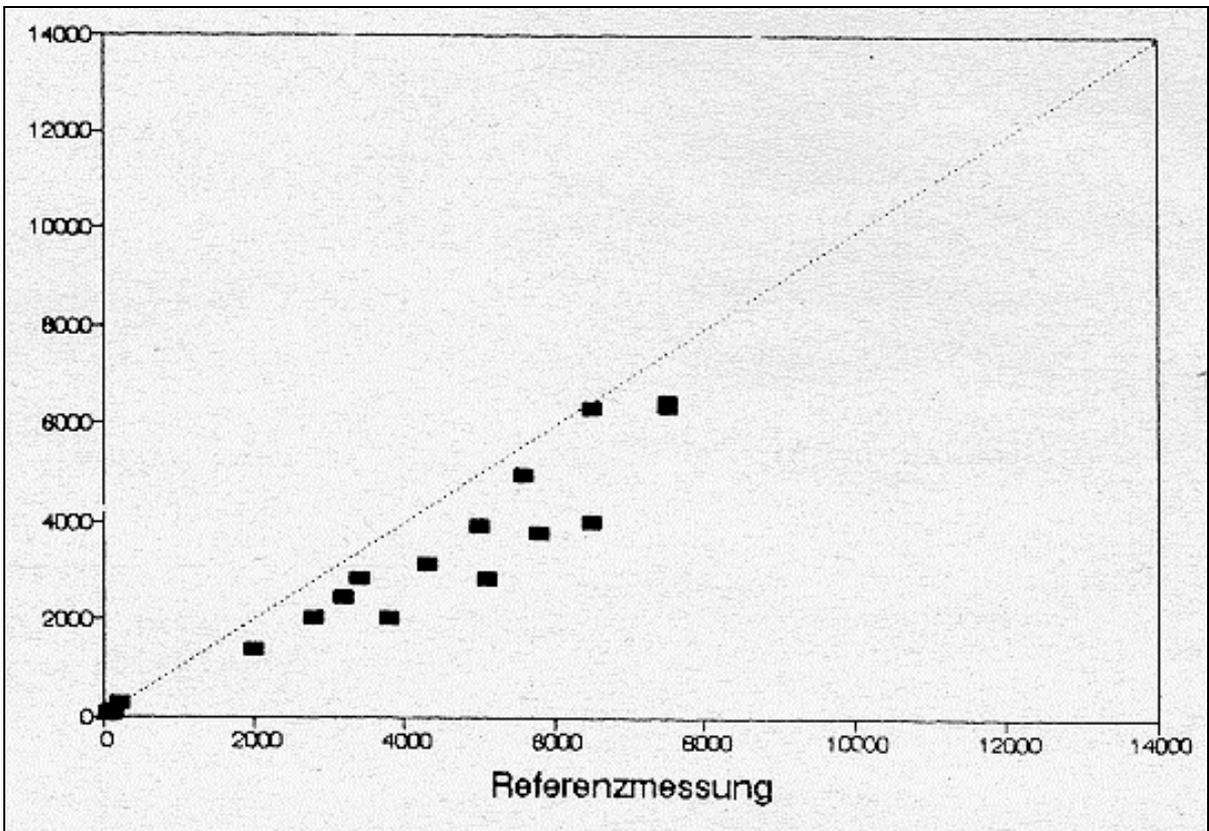
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, trans- 1,2-Dichlorethen



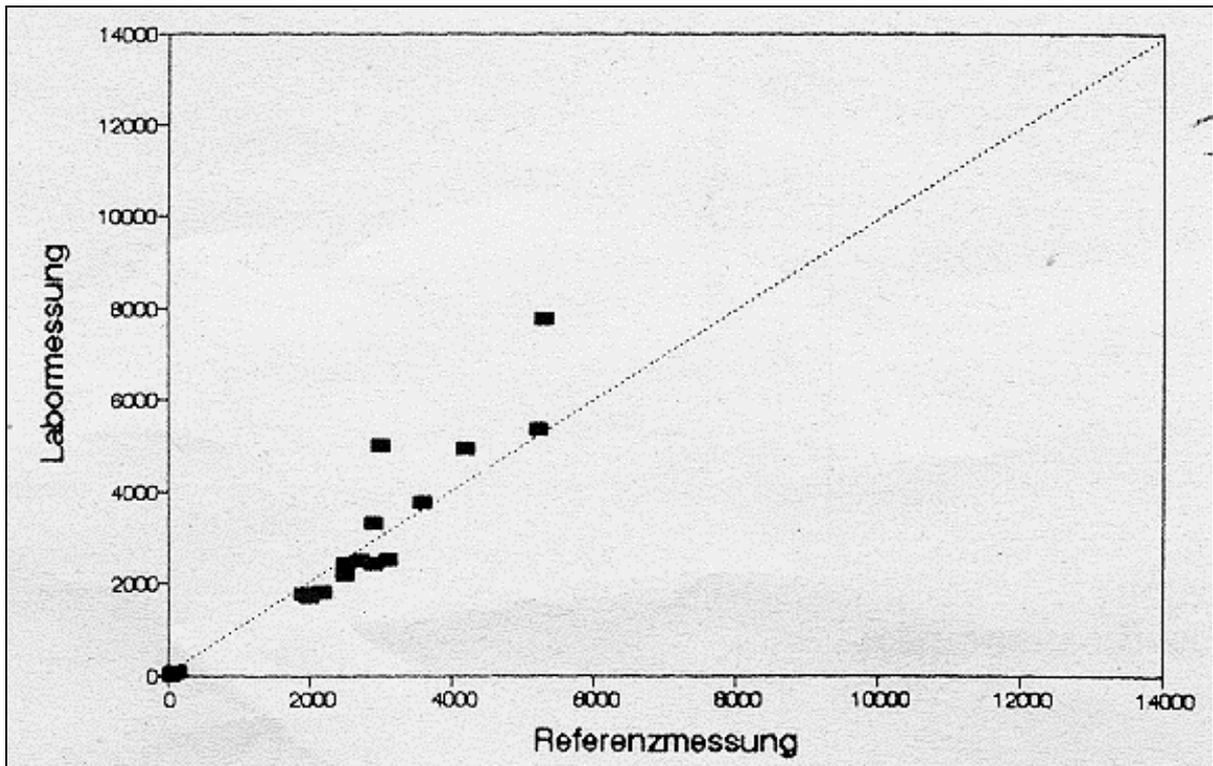
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Trichlormethan



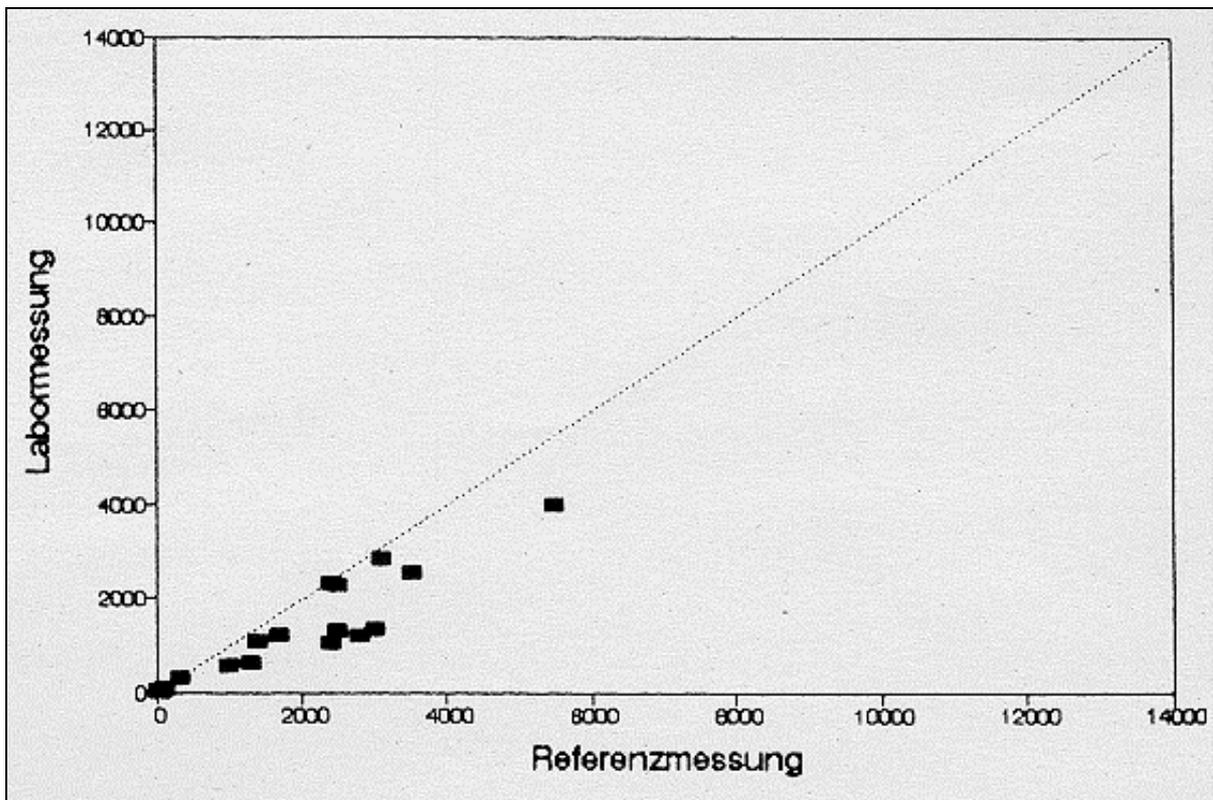
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, 1,1,1-Trichlorethan



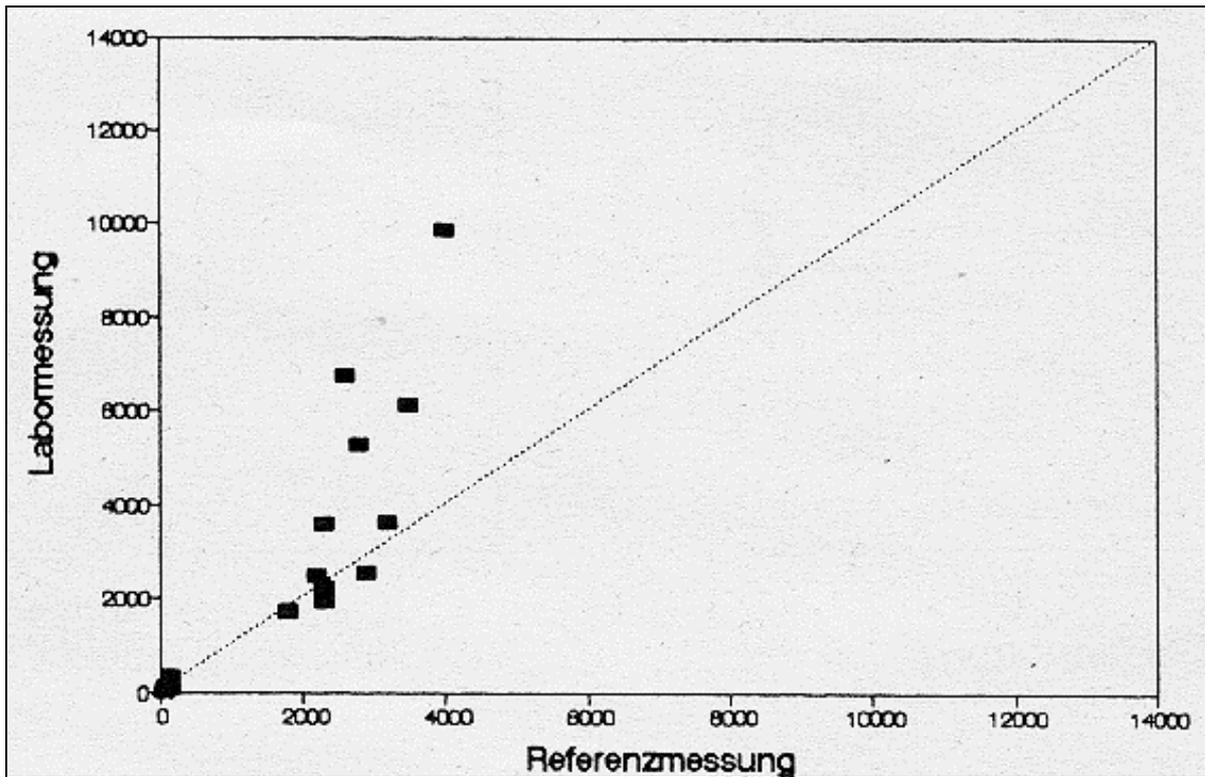
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Trichlorethen



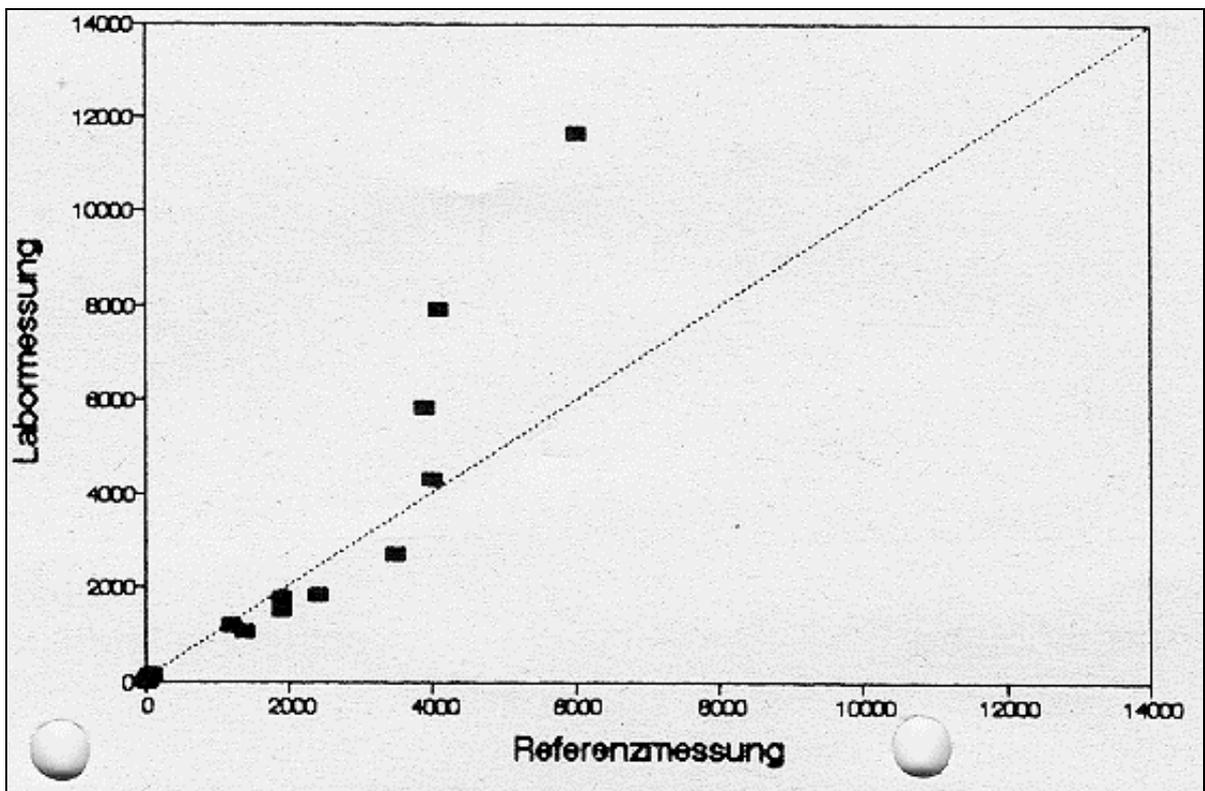
Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Tetrachlormethan



Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Tetrachlorethen

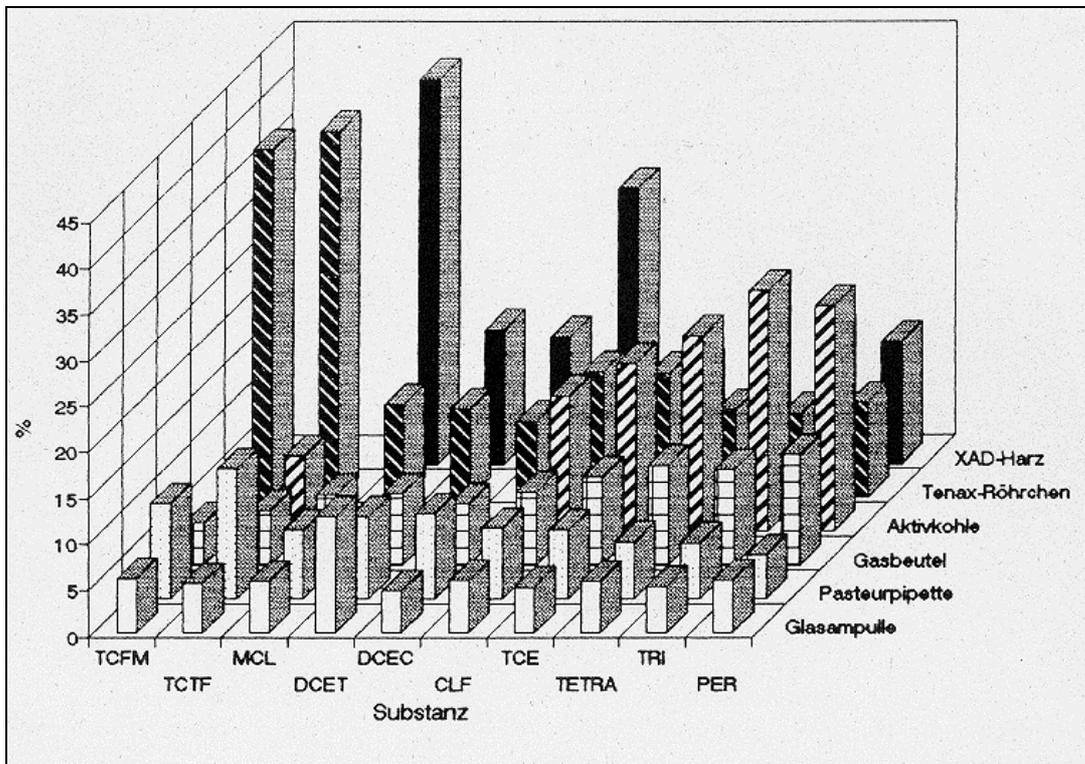


Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Trichlorfluormethan

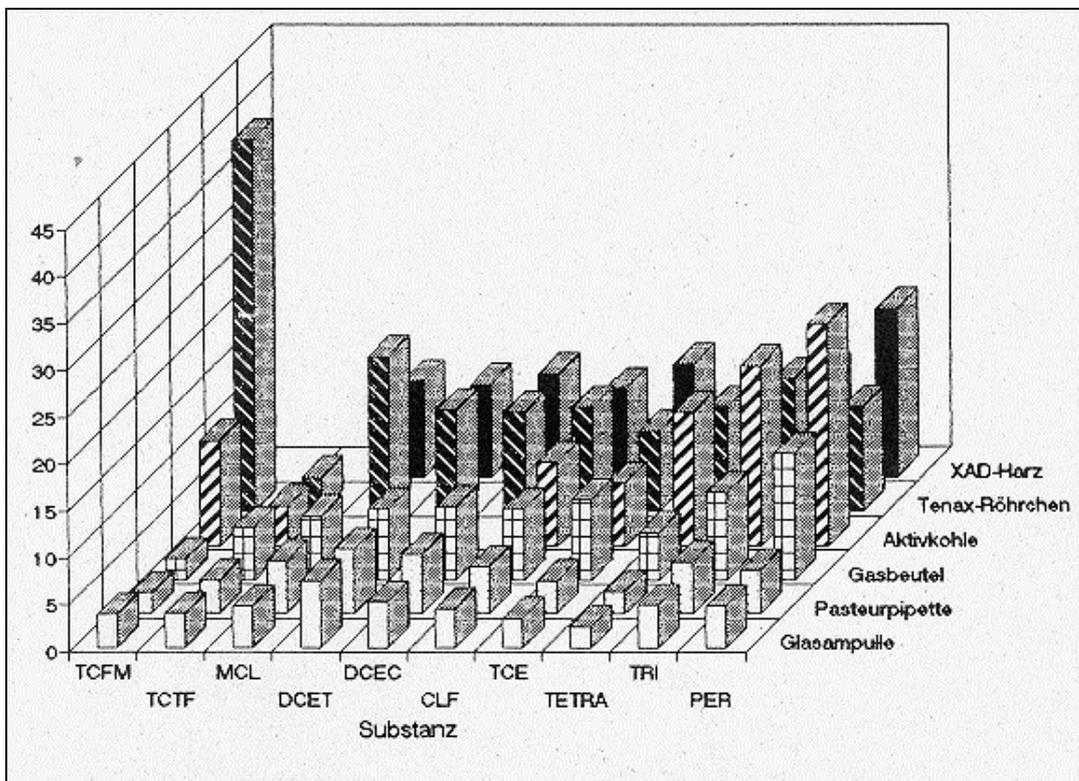


Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Trichlortrifluorethan

Anhang C: Standardabweichung



Relative Standardabweichung, Konzentrationsniveau 1



Relative Standardabweichung, Konzentrationsniveau 3

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1: Verfahrensablauf der Bodenluftanalyse | 2 |
| Abb. 2: Gasmischapparatur | 5 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 12 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 13 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 13 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 14 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 14 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 15 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 15 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 16 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 16 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 17 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 17 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 18 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 18 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Korrelation zw. Referenz- u. Labormessung ... | 19 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Dichlormethan | 20 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, cis-1,2-Dichlorethen | 20 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, trans- 1,2-Dichlorethen | 21 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Trichlormethan | 21 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, 1,1,1-Trichlorethan | 22 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Trichlorethen..... | 22 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Tetrachlormethan..... | 23 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Tetrachlorethen..... | 23 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Trichlorfluormethan..... | 24 |
| Methodenvergleich Probennahme Bodenluft, Trichlortrifluorethan | 24 |
| Relative Standardabweichung, Konzentrationsniveau 1 | 25 |
| Relative Standardabweichung, Konzentrationsniveau 3 | 25 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|---|
| Tabelle 1: Zusammenstellung der untersuchten chlorierten Kohlenwasserstoffe | 6 |
| Tabelle 2: Zusammenstellung der Analysenverfahren für die Bestimmung von CKW's in Bodenluftproben..... | 8 |

Indexverzeichnis

| | | | |
|-----------------------------------|-------|-------------------------------------|----|
| B | | | |
| Bodenluftanalyse | | | |
| Allgemeines | 2 | | |
| Ergebnisse..... | 9 | | |
| Methodenabhängigkeit | 9, 12 | | |
| Substanzabhängigkeit | 10 | | |
| Zusammenfassung | 11 | | |
| Bodenluftprobe | | | |
| Adsorption | 3 | | |
| Allgemeines | 2, 4 | | |
| direkt..... | 3 | | |
| Gasbeutel | 7 | | |
| Gasmischapparatur | 4 | | |
| Pasteurpipette, Glasampulle | 7 | | |
| Probenahmetechnik | 3 | | |
| Tenax/Aktivkohle | 7 | | |
| | | XAD-Harz..... | 6 |
| | | Zusammenfassung..... | 11 |
| | | C | |
| | | chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) | |
| | | Allgemeines | 6 |
| | | Analyseverfahren | 8 |
| | | Probennahme..... | 1 |
| | | G | |
| | | Gasbeutel..... | 7 |
| | | Gasmischapparatur..... | 4 |
| | | P | |
| | | Pasteurpipette, Glasampulle..... | 7 |
| | | T | |
| | | Tenax/Aktivkohle | 7 |
| | | X | |
| | | XAD-Harz..... | 6 |