



# UFZ-Bericht

UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht

forschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Nr. 20/1996

---

**Analytische Untersuchungen zum  
Schadstoffeintrag durch den  
Hausbrand - Auswirkungen des  
gegenwärtigen Strukturwandels auf  
die urbane Belastungssituation**

---

Werner Engewald, Thomas Knobloch,  
Arndt Asperger

Universität Leipzig  
Fakultät für Chemie und Mineralogie,  
Institut für Analytische Chemie

Das diesem Bericht zugrundeliegende Forschungs-  
vorhaben wurde mit Mitteln des UFZ-Umwelt-  
forschungszentrums Leipzig-Halle GmbH gefördert.

Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben

Analytische Untersuchungen zum  
Schadstoffeintrag durch den Hausbrand -  
Auswirkungen des gegenwärtigen Strukturwandels  
auf die urbane Belastungssituation

Werner Engewald, Thomas Knobloch, Arndt Asperger

Universität Leipzig, Fakultät für Chemie und Mineralogie, Institut für Analytische Chemie

Projektbereich Urbane Landschaften

---

Das diesem Bericht zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des  
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH gefördert.  
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

# Inhalt

<b>1.</b>	<b>Forschungsplanung</b>	<b>4</b>
1. 1.	Einführung und Zielstellung	4
1. 2.	Personelle und materielle Voraussetzungen	6
1. 3.	Planung und Ablauf des Vorhabens	6
1. 4.	Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen	8
1. 5.	Genutzte Literatur sowie Informations- und Dokumentationsdienste	8
<b>2.</b>	<b>Stand der Wissenschaft</b>	<b>10</b>
2. 1.	Emissionen aus dem Hausbrand von Braunkohle	10
2. 2.	Immissionsmessungen	11
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>14</b>
3. 1.	Methodik der Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen in Luft	14
3. 1. 1.	Überlegungen zur Meßstrategie	14
3. 1. 2.	Festlegung der Meßstrategie	16
3. 1. 3.	Charakterisierung der Probenahmeorte	17
3. 1. 4.	Probenahme	21
3. 1. 4. 1.	Auswahl der Adsorbentien und Präparation der Adsorptionsröhrchen	21
3. 1. 4. 2.	Entwicklung der Probenahmeapparatur	26
3. 1. 4. 3.	Praktische Durchführung der Meßkampagnen	28
3. 1. 5.	Probenaufbereitung und Analytik	29
3. 1. 5. 1.	Der Thermodesorber TDU 890	29
3. 1. 5. 2.	Probentrocknung	31
3. 1. 5. 3.	Thermodesorption	32
3. 1. 5. 4.	Gaschromatographische Trennung	33
3. 1. 5. 5.	Quantitative Analyse	38

3. 2.	Zusammenstellung der erhaltenen Meßwerte und Diskussion	40
3. 2. 1.	Nachgewiesene Verbindungen	40
3. 2. 2.	Vergleich der Probenahmeorte	42
3. 2. 3.	Saisonale Schwankungen	44
3. 2. 4.	Korrelation mit klimatischen Faktoren	44
3. 2. 5.	Zuordnung zu Emissionsquellen	45
3. 2. 6.	Bewertung der Belastungssituation	48
3. 2. 6. 1.	Toxikologische Relevanz der nachgewiesenen Verbindungen	48
3. 2. 6. 2.	Atmosphärenchemische Relevanz der nachgewiesenen Verbindungen	49
3. 2. 6. 3.	Vergleichsmessungen	50
3. 2. 6. 4.	Innenraummessungen	51
3. 2. 6. 5.	Schlußfolgerungen und Perspektiven	52
<b>4.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>54</b>
<b>5.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>57</b>
<b>6.</b>	<b>Liste der Publikationen</b>	<b>59</b>
<b>7.</b>	<b>Anhang</b>	

## Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

GC	Gaschromatographie
HPLC	Hochdruck-Flüssigchromatographie
MSD	Massenselektiver Detektor
FID	Flammenionisations-Detektor
NPD	Stickstoff-Phosphor-Detektor
ECD	Elektronenanlagerungs-Detektor
PLOT	porous layer open tubular column (Adsorptionskapillare)
WCOT	wall coated open tubular column (Verteilungskapillare)
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MIR	maximum incremental reactivity
PAH	polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PAN	Peroxyacetylnitrat
VOC	flüchtige organische Verbindungen
CT	Carbotrap
CT C	Carbotrap C
CO 569	Carboxen 569
BTV	Durchbruchsvolumen
K <sub>p</sub>	Siedepunkt
ID	Innendurchmesser
L	Länge
F	Volumenfluß
ppb (V)	parts per billion (10 <sup>-9</sup> Volumenanteile)
ppt (V)	parts per trillion (10 <sup>-12</sup> Volumenanteile)

# 1. Forschungsplanung

## 1. 1. Einführung und Zielstellung

Die Stadt Leipzig ist aufgrund ihrer historisch gewachsenen Struktur als Teil eines industriellen Ballungsraumes von der Belastung durch ein breites Spektrum von Luftschadstoffen in besonderem Maße betroffen. In der Vergangenheit repräsentierten insbesondere die großen Chemiebetriebe der Region, Großkraftwerke, der Hausbrand auf der Basis einheimischer Braunkohle und Kraftfahrzeuge die wesentlichsten Emissionsquellen. Mit den politischen Umwälzungen des Jahres 1989 veränderte sich die Situation merklich. Infolge der Stilllegung von Produktionsstätten und des Einsatzes umweltschonender Technologien verringerte sich der Anteil der Industrie an der Gesamtimmissionsbelastung. Außerdem setzte die schrittweise Ablösung des bisher für den Hausbrand vorrangig eingesetzten Energieträgers Braunkohle durch andere Brennstoffe (Erdöl, Erdgas) ein.

Diesen, aus lufthygienischer Sicht positiven Tendenzen stehen eine starke Erhöhung der Zahl zugelassener Kraftfahrzeuge, die wesentlich intensivere Nutzung des vorhandenen Fahrzeugbestandes und damit eine rasante Zunahme verkehrsbedingter Emissionen gegenüber. Eine so drastische Dynamik von Art und Anzahl der Emittenten muß sich notwendigerweise nachhaltig auf die Immissionsbelastung des Leipziger Stadtgebiets auswirken. Konflikte zwischen den Erfordernissen neuer Wirtschaftsstrukturen, den Belangen des Umweltschutzes und nicht zuletzt dem sozialen Verhalten der Stadtbewohner sind dabei nicht nur unvermeidlich, sondern spitzen sich - insbesondere auf verkehrspolitischem Gebiet - mehr und mehr zu. Defizite bei der Umsetzung bereits vorliegender wissenschaftlicher Forschungsergebnisse in die Planungs- und Verwaltungspraxis auf kommunaler, Landes- und Bundesebene unterstützen diese Tendenz.

Stadtökologische Forschungen sind erst seit kurzem Gegenstand wissenschaftlicher Betrachtungen. Am Umweltforschungszentrum Leipzig - Halle GmbH wurde mit dem Verbundprojekt "Stadtökologische Forschung im Ballungsraum Leipzig - Halle (ÖKOR)" begonnen, ökologische Probleme in urbanen und industriellen Ökosystemen breitgefächert und durch interdisziplinäre Forschung anzugehen und dabei naturwissenschaftliche Untersuchungen mit sozioökonomischen Veränderungen zu verbinden. Dieser Ansatz wurde mit dem Verbundprojekt "Stadtökologischer Strukturwandel der Stradtregion Leipzig" fortgeführt, an dem der Berichterstatter mit dem Teilprojekt "Untersuchungen zum Schadstoffeintrag durch den Hausbrand - Auswirkungen des gegenwärtigen Strukturwandels auf die urbane Belastungssituation" beteiligt war.

Ziel dieses Teilprojekts war die analytische Begleitung des Wandlungsprozesses der Emissionsstruktur im Großraum Leipzig, wobei dem Hausbrand auf Braunkohlebasis als (neben Verkehr und Industrie) wichtiger Schadstoffquelle eine besondere Bedeutung zugemessen wurde.

In Fortsetzung eines vom Berichtersteller bearbeiteten ÖKOR-Teilprojekts zur chemischen Charakterisierung von Emissionen aus dem Hausbrand von Braunkohle galt es, auf der Basis einer an der Flächennutzung ausgerichteten Untergliederung der Stadtregion Leipzig in unterschiedliche Strukturtypen langfristige Immissionsbeobachtungen zu beginnen mit dem Ziel, eine Zustandsanalyse des Umweltmediums Luft bezüglich des Gehalts an flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) in ihrer gesamten Breite zu ermöglichen. Das verstärkte Interesse an diesen Verbindungen resultiert aus dem für eine Reihe von VOC belegten toxikologischen Gefahrenpotential für den menschlichen Organismus sowie ihrer atmosphärenchemischen Relevanz (u. a. als Vorläufersubstanzen für bodennahes Ozon und andere Oxidantien).

Hieraus ergaben sich für das Teilprojekt die folgenden methodischen Schwerpunkte:

- Entwicklung und Erprobung einer Probenahme- und Analysenmethode zur Bestimmung eines möglichst breiten Spektrums von Spuren flüchtiger organischer Verbindungen im Immissionsbereich
- Erarbeiten einer Meßstrategie, die Ergebnisse hoher Repräsentanz und Aussagekraft gewährleistet
- Installation und Betrieb von Immissionsmeßplätzen in ausgewählten, für Leipzig typischen Stadtstrukturen
- Durchführung jeweils mehrwöchiger Meßkampagnen an den ausgewählten Standorten in Sommer- und Winterperioden
- Diskussion der Meßergebnisse hinsichtlich:
  - Vergleich der Probenahmeorte untereinander; Wirkung verschiedener Einflußfaktoren auf die jeweilige Belastungssituation (Flächennutzung, Bebauungsdichte, Lage im Stadtgebiet)
  - Zuordnung der identifizierten Probeinhaltsstoffe zu dominierenden Emissionsquellen
  - Abschätzung des Anteils der Hausbrandemissionen an der Gesamt-Immissionsbelastung im Stadtgebiet
  - Einfluß kurzzeitiger klimatischer Faktoren (Wind, Regen, Feuchte)
  - saisonale Schwankungen
  - längerfristige Trends

## **1. 2. Personelle und materielle Voraussetzungen**

Zur Realisierung des Vorhabens standen uns über die Projektlaufzeit hinweg Personalmittel für eine Wissenschaftlerstelle (BAT-O II a) zur Verfügung, die auch entsprechend besetzt wurde. Ein Teilthema des Vorhabens war Gegenstand einer Diplomarbeit.

Zur materiell-technischen Absicherung des Vorhabens wurden aus den Zuwendungen folgende Analysengeräte beschafft:

- 1 Gaschromatograph HP 5890 II mit FID und NPD (Hewlett-Packard)
- 1 Konditioniergerät für Adsorptionsröhrchen (6 Stck. parallel) (Supelco)
- Aufrüstung des vorhandenen MSD HP 5971 A (SEV und Software) (Hewlett-Packard)
- 3 elektronische Gasflußmesser (Restek)
- Ausheizmäntel für Konditioniergerät (Supelco)
- 2 Druckluft-Kühlgeräte (Kager)

Die bereitgestellten Mittel zur Auftragsvergabe wurden für die Anfertigung der Probenahmeverrichtungen sowie zur logistischen Absicherung der Meßkampagnen (Betreuung der Meßstationen sowie Transport der Proben ins Labor) verwendet.

Aus dem Bestand des Arbeitskreises Chromatographie standen für die Arbeiten im Rahmen dieses Projektes weitere Gaschromatographen (incl. GC-MSD-Kopplung), ein Thermodesorber, diverse Pumpen zur Probenahme sowie einige Verbrauchsmaterialien zur Verfügung.

Einer kostenneutralen Verlängerung der Projektlaufzeit bis 31.08.1996 wurde von der Geschäftsführung des UFZ zugestimmt, wobei hier insbesondere systematische Laboruntersuchungen zur Bestimmbarkeit reaktiver, ungesättigter Kohlenwasserstoffe in Gegenwart von Ozon Gegenstand der Arbeiten sind (vgl. 1. 3.).

## **1. 3. Planung und Ablauf des Vorhabens**

Das Vorhaben wurde im Mai 1993 rückwirkend zum 01.04.1993 für eine Gesamtlaufzeit von drei Jahren bewilligt. Ein geeigneter Wissenschaftler mit Erfahrungen auf dem Gebiet der Bestimmung organischer Verbindungen in gasförmigen Proben stand jedoch erst ab 01.07.1993 zur Verfügung, so daß mit den Arbeiten zur Projektdurchführung im Sommer 1993 begonnen wurde.

Entsprechend der Vorhabensplanung ergab sich zunächst die Aufgabe, aufbauend auf den Erfahrungen bei der Bestimmung von organischen Verbindungen in Emissionsströmen mittels adsorptiver Anreicherung - Thermodesorption - Kapillargaschromatographie ein Probenahme- und Analysenverfahren zu erarbeiten, das die richtige und reproduzierbare Bestimmung von VOC in komplexen Immissionsproben im unteren ppb(V)- und ppt(V)-Bereich gestattet. Hierzu wurden umfangreiche und z. T. sehr zeitaufwendige Laboruntersuchungen zu folgenden Schwerpunkten durchgeführt:

- Charakterisierung des Adsorptions- / Desorptionsverhaltens unterschiedlicher Adsorbentien unter Berücksichtigung möglicher Störungen durch Luftfeuchte
- Auswahl geeigneter Adsorbentien zur Bestimmung von VOC im Flüchtigkeitsbereich von Propen bis Hexadecan
- Optimierung der Probenahmeparameter (Probenahmevermögen, Ansaugrate, Anreicherungstemperatur)
- Optimierung der Parameter der thermischen Desorption und kapillargaschromatographischen Auftrennung
- zweifelsfreie Identifizierung der getrennten Einzelverbindungen

Der zur Identifizierung der Probeinhaltsstoffe eingesetzte Massenselektive Detektor HP 5971 A erwies sich hierbei als zu unempfindlich und wurde nach Genehmigung der Umwidmung nicht genutzter Personalmittel durch das UFZ mit einem hochempfindlichen SEV ausgestattet, so daß das Gerät fortan für qualitative Analysen auch im unteren Spurenbereich eingesetzt werden konnte. Ebenso wurde die Anschaffung eines Gaschromatographen HP 5890 II realisiert, da die große Probenanzahl mit den am Institut vorhandenen Geräten nicht mehr abgedeckt werden konnte.

Basierend auf einer von den Partnern am UFZ erstellten Strukturtypenkarte der Stadt Leipzig wurden unter Berücksichtigung der vorhandenen Laborkapazitäten drei Standorte in Stadtstrukturen mit unterschiedlicher Flächennutzung ausgewählt. Nach dem Erarbeiten einer Meßstrategie, die auf eine möglichst hohe Repräsentanz der Messungen für den entsprechenden Strukturtyp ausgerichtet war, wurden geeignete Probenahmeorte acquirit und deren Betrieb während der geplanten Meßkampagnen logistisch abgesichert. An den gewählten Standorten wurden jeweils identische, speziell konstruierte und erprobte Probenahmestationen installiert.

Entsprechend der modifizierten Meßplanung wurden im Winter 1994/95, im Sommer 1995 und im Winter 1995/96 jeweils zweiwöchige Intensivmeßkampagnen parallel an den drei Standorten ausgeführt, die jeweils eine mehrwöchige Analysen- und Auswerteperiode im Labor nach sich zogen. Neben der Weiterentwicklung der analytischen Methodik wurden die Perioden zwischen den Meßkampagnen dazu genutzt, Vergleichsmessungen exemplarisch an einem verkehrsreichen Platz (Bayrischer Platz) und einem naturnahen Areal (Südlicher

Leipziger Auwald) sowie Messungen der Innenraumbelastung mit flüchtigen organischen Verbindungen an den drei Standorten durchzuführen.

In allen Etappen der Projektdurchführung wurde eine effiziente Rückkopplung zwischen dem erzielten Erkenntniszuwachs auf analytisch-methodischem Gebiet und den konkreten Messungen der lufthygienischen Situation sichergestellt.

Aufgrund von Defiziten bei der Bestimmung reaktiver Luftinhaltsstoffe, die im Verlauf der Projektbearbeitung erkannt wurden und einer eingehenden Untersuchung bedürfen, wurde eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit um 5 Monate (bis zum 31.08.1996) beantragt und vom UFZ genehmigt. Gegenstand der Arbeiten werden hierbei Untersuchungen zur Bestimmbarkeit von ungesättigten Kohlenwasserstoffen im Bereich von C3 bis C5 in Gegenwart von Ozon sein.

#### **1. 4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen**

Während der gesamten Laufzeit des Vorhabens gab es eine enge Zusammenarbeit mit Partnern im Verbundprojekt, insbesondere mit der ebenfalls analytisch-chemisch tätigen Arbeitsgruppe Dr. Popp / Dr. Freyer (Sektion Analytik des UFZ) sowie Dr. Müller (Sektion Expositionsforschung des UFZ) zum Transfer der klimatischen Daten. In enger Abstimmung mit den Partnern am UFZ wurde eine gemeinsame Meßaktion im Gewerbegebiet Wachau am 07.09.1994 durchgeführt, die neben der Ermittlung entsprechender Immissionsdaten auch zur Validierung der eingesetzten Meßtechnik genutzt wurde. Ein Vergleich der dabei von den Arbeitsgruppen Engewald bzw. Popp/Freyer unabhängig voneinander ermittelten Gehalte an VOC ergab eine sehr gute Übereinstimmung.

Mit dem Institut für Troposphärenforschung Leipzig (Dr. K. Müller), das in Melpitz bei Torgau eine Meßstation u. a. auch für VOC betreibt, wurde ein Austausch der entsprechenden Meßergebnisse vereinbart.

#### **1. 5. Genutzte Literatur sowie Informations- und Dokumentationsdienste**

Dem Inhalt des Vorhabens entsprechend wurde die Fachliteratur vorzugsweise auf den Gebieten der Chromatographie, der Atmosphärenchemie und der Luftanalytik erfaßt und ausgewertet. Dazu wurden insbesondere in der Phase der Projektplanung, aber auch im

weiteren Verlauf des Vorhabens, Literaturrecherchen zur Spurenanalytik von flüchtigen organischen Verbindungen in gasförmigen Proben durchgeführt und ausgewertet, wofür vornehmlich der on-line Recherchedienst des Chemical Abstract Service (CAS) genutzt wurde. Parallel hierzu erwies sich der Erwerb spezieller, ausgewählter Fachliteratur zur ständigen Nutzung am Arbeitsplatz als überaus hilfreich.

## 2. Stand der Wissenschaft

### 2. 1. Emissionen aus dem Hausbrand von Braunkohle

Als Maß für den Schadstoffeintrag in die Atmosphäre werden in Deutschland bereits seit mehreren Jahren anorganische Leitkomponenten ( $\text{SO}_2$ , NO,  $\text{NO}_2$ , CO, Schwebstaub sowie bedingt  $\text{H}_2\text{S}$  und Ozon) kontinuierlich bestimmt (in Sachsen: LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE 1996). Den dabei gewonnenen, fundierten Kenntnissen über die klassischen anorganischen Emissionen (WEBER et al. 1975, RATAJCZAK & AHLAND 1987) steht nach wie vor ein Wissensdefizit bezüglich Art und Menge der aus der unvollständigen Verbrennung fester Brennstoffe resultierenden Belastung der Atmosphäre mit organischen Substanzen gegenüber.

In der DDR durch Deklaration zum "Staatsgeheimnis" im Jahre 1982 der Forschung völlig entzogen, standen in der Bundesrepublik wie auch in anderen westeuropäischen Staaten bereits in den 70er Jahren die Untersuchung der bei unvollständigen Verbrennungsprozessen nachgewiesenen sowie als mutagen und kanzerogen erkannten, hochsiedenden polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) und deren S-, N- und O-Analoga im Mittelpunkt des Interesses (GRIMMER et al. 1983 und 1985, SCHMIDT et al. 1987, MORISKE et al. 1985, 1987 und 1988). Das Potential des Hausbrandes von Braunkohle als Quelle polychlorierter Dioxine und Furane wurde von EHRlich & KALKOFF 1993 untersucht und ist Gegenstand einer laufenden Promotionsarbeit am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (THUB 1996). Aufgrund ihres niedrigen Dampfdrucks werden diese Stoffe meist schon partikelgebunden emittiert, wodurch ihre Mobilität eng an den jeweiligen Träger gebunden ist. Über das Auftreten mittelflüchtiger organischer Verbindungen beim kontrollierten Abbrand verschiedener Kohlen im Labormaßstab berichten BRUINSMA et al. 1988. Die hier an unterschiedlichen Steinkohlen und Rheinischer Braunkohle unter Standardbedingungen (DIN 18 890) ermittelten Werte lassen sich jedoch nicht uneingeschränkt auf die Emissionssituation in Ostdeutschland übertragen, da sich einerseits die eingesetzten Kohlen aufgrund ihrer Herkunft stark unterscheiden. Andererseits erlaubt der diskontinuierliche Betrieb der vorhandenen Feuerstätten oftmals nur eine ungünstige Feuerführung, so daß es zur typischen, von einer ausgeprägten Schwelphase begleiteten Niedertemperaturverbrennung der eingesetzten Braunkohlebriketts kommt.

Rauchgasemissionen stellen aufgrund ihrer komplexen Stoffzusammensetzung, des hohen Feuchtegehaltes und den am Probenahmeort herrschenden hohen Temperaturen besondere Anforderungen an Probenahme, Probeaufbereitung und Analytik. Grundlegende Untersuchungen hierzu wurden vom Berichtersteller bereits im Zeitraum 1991 - 1993 in einem

vom BMFT und vom Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH geförderten Forschungsverbundprojekt vorgenommen. Im Ergebnis der methodisch ausgerichteten Arbeiten wurde eine Probenahme- und Analysenstrategie erarbeitet und an Rauchgasemissionen aus dem Hausbrand von Braunkohle an einer Punktquelle (Einfamilienhaus mit Schwerkraftheizung) verifiziert. In den Rauchgasen wurden neben einer Vielzahl von Kohlenwasserstoffen auch Sauerstoff-, Stickstoff- und Schwefel-Heteroverbindungen nachgewiesen, wobei neben Hauptkomponenten mit z. T. nachweislich hohem toxikologischen Gefährdungspotential (Benzol, Styrol, Phenole u. a.) auch eine Reihe äußerst reaktiver Nebenbestandteile und Spuren bestimmt wurde, die für atmosphärenchemische Prozesse große Bedeutung besitzen (niedermolekulare, ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Aldehyde, Ketone, C2- bis C5-Alkylaromaten). Die Emissionsfaktoren von mehr als 150 identifizierten Probeinhaltsstoffen wurden semiquantitativ ermittelt und gestatteten erstmals eine auf realen Messungen basierende, grobe Abschätzung der aus dem Hausbrand resultierenden Belastung des Leipziger Stadtgebiets mit VOC (KNOBLOCH et al. 1993, KNOBLOCH & ENGEWALD 1993, ENGEWALD et al. 1993 und 1994, KNOBLOCH & ENGEWALD 1995).

## 2. 2. Immissionsmessungen

Resultate von Immissionsmessungen im Stadtluftbereich sind seit Mitte der 70er Jahre immer wieder in Publikationen dargelegt worden. Aus den oben schon besprochenen Gründen konzentrierten sich diese Messungen anfänglich wiederum auf die Bestimmung der als mutagen und kanzerogen erkannten PAH und anderer hochsiedender Verbindungen im Stadt aerosol. Die Probenahme erfolgt meist durch Abscheiden der Aerosole an Glasfaser- oder Polyurethanschaumfiltern mit anschließender Lösungsmittlextraktion der organischen Komponenten (MORISKE et al. 1987, LEE et al. 1976, GRIMMER et al. 1982, WAUTERS et al. 1979).

Spurenbestimmungen flüchtiger organischer Verbindungen in der Außenluft sind von wachsendem Interesse, seitdem die Bedeutung dieser Substanzen für die Bildung von Photooxidantien in der Troposphäre (Ozon, PAN etc.) sowie als wesentliche Glieder in atmosphärenchemischen Reaktionsabläufen erkannt wurde, die möglicherweise auch zur Bildung von troposphärischem Aerosol beitragen.

Im Immissionsbereich liegen die Konzentrationen der Analyten im Bereich von ng / m<sup>3</sup> bis zu einigen µg / m<sup>3</sup> (WARNECK 1988, CECINATO & CICCIOLO 1995, DOLLARD et al. 1995). Um die Nachweisgrenzen der heute im Einsatz befindlichen Analysenverfahren zu erreichen, ist

daher für die meisten Verbindungen die Anreicherung aus einem größeren Probenvolumen vor der eigentlichen Analyse erforderlich. Zur Bestimmung einer Vielzahl flüchtiger organischer Verbindungen im Immissionsbereich hat sich die Methodenkombination von adsorptiver Anreicherung, thermischer Desorption und hochauflösender Kapillar-Gaschromatographie durchgesetzt.

Zum Zweck der Anreicherung von Spurenkomponenten wurde eine Vielzahl von Probenahmetechniken entwickelt, von denen die adsorptive Anreicherung an unterschiedlichen, festen Adsorbentien die größte Bedeutung erlangt hat. Eine zusammenfassende Darstellung der Anreicherungsverfahren geben KLOCKOW 1987 sowie CAMEL & CAUDE 1995; kommerziell erhältliche Adsorbentien wurden von FIGGE et al. 1987 charakterisiert. Als Adsorbens findet hauptsächlich das poröse Polymer Tenax TA Anwendung, obwohl es hinsichtlich Temperaturbeständigkeit und Breite des an diesem Adsorbens anzureichernden Substanzspektrums wesentliche Nachteile gegenüber alternativen Adsorbentien aufweist (BROWN & PURNELL 1979). Aus diesem Grunde werden in neueren Arbeiten Anwendungen von Adsorbentien auf Kohlenstoffbasis beschrieben, die aufgrund ihrer ausgeprägten Hydrophobie auch für die Anreicherung von Proben mit erhöhtem Feuchtegehalt geeignet sind (CICCIOLI et al. 1986 und 1992). Für die angestrebte quantitative Probenahme eines möglichst breiten Spektrums, z. T. auch reaktiver Verbindungen sind Methoden zur Entfernung von - den gesamten analytischen Prozeß störender - Feuchtigkeit aus dem Probestrom, die auf der Anwendung von Trockenmitteln bzw. semipermeablen Membranen beruhen, nicht geeignet, da hierbei mit dem Wasser immer auch ein Teil der Probekomponenten entfernt wird (COX & EARP 1982, DOSKEY 1991).

Methode der Wahl für die Überführung der angereicherten Komponenten von den Probenahmeröhrchen in den Gaschromatographen ist die thermische Desorption (SCHAEFFER 1989, FIGGE et al. 1987). Die Thermodesorption bietet im Vergleich zur alternativen Lösungsmitteldesorption einige entscheidende Vorteile. So werden die angereicherten Komponenten bei der Desorption nicht wieder durch ein Lösungsmittel verdünnt, wodurch eine erhebliche Senkung der Nachweisgrenze erreicht wird. Ebenso sind Kontaminationen der Probe durch Lösungsmittelverunreinigungen sowie Probeverluste bei i. A. notwendigen Aufbereitungs- und Einengeschritten der Probelösung ausgeschlossen, was insbesondere für die Spurenanalytik von entscheidender Bedeutung ist.

Prinzip der Methode ist es, das Adsorptionsröhrchen entgegen der Probenahmerichtung in den Gasweg zwischen Trägergasversorgung und chromatographischer Säule einzubringen und anschließend die adsorbierten Komponenten durch Zufuhr von Wärme freizusetzen, so daß sie mit dem Trägergasstrom zum Säulenanfang transportiert werden. Die thermische Desorption geschieht aber nicht schlagartig, sondern die Komponenten werden nach und nach freigesetzt,

so daß die für eine gute chromatographische Auftrennung notwendige schmale Startbandbreite nicht erreicht wird. Die desorbierten Komponenten müssen folglich vor der Trennsäule oder aber auf den ersten Windungen der Trennkapillare selbst nochmals fokussiert werden. Dabei erweist sich das bei den meisten kommerziell erhältlichen Thermodesorbern realisierte Prinzip der Fokussierung mittels zwischengeschaltener Kühlfalle beim Umgang mit feuchten Proben als wenig geeignet, da immer wieder über das Zufrieren der engen Kühlkapillaren bei der Desorption von Wasserspuren und somit den Verlust der gesamten Probe berichtet wird (SCHAEFFER 1989, STOTTMEISTER 1992).

Der vom Berichtersteller zum Transfer der Probekomponenten in den Gaschromatographen eingesetzte Thermodesorber arbeitet ohne eine sonst übliche Kryofokussierung der desorbierten Komponenten. Erfahrungen aus umfangreichen methodischen Untersuchungen belegen, daß zusätzlich zum blitzartigen Aufheizen der Adsorptionsröhrchen die Filmdicke der verwendeten Trennkapillaren an die Flüchtigkeit der zu untersuchenden Substanzen angepaßt werden muß, um die für eine chromatographische Trennung erforderliche schmale Startbandbreite zu erreichen. Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnis ist es möglich, nahezu das gesamte, der GC zugängliche und in Immissionsproben zu erwartende Spektrum organischer Verbindungen zu erfassen und ohne weitere Probevorbereitungsschritte der Analyse zugänglich zu machen (KNOBLOCH & ENGEWALD 1995, KNOBLOCH 1993).

Unter Nutzung der beschriebenen Methodenkombination wurden punktuelle Kurzzeitmessungen von mehreren Arbeitsgruppen ausgeführt und finden sich in der Literatur (CICCIOLI et al. 1992, HASSOUN et al. 1994, COURSIMAULT et al. 1993) . Unter den dabei in Proben unterschiedlicher Herkunft nachgewiesenen Verbindungen befindet sich eine Reihe von Substanzen, die vom Berichtersteller auch in den Emissionen aus dem Hausbrand von Braunkohle nachgewiesen wurde 1.

Kontinuierliche Langzeitmessungen von Schadstoffkonzentrationen werden auch im internationalen Maßstab vornehmlich von den zuständigen Landes- bzw. Bundesbehörden im Rahmen der installierten Meßnetze ausgeführt (DOLLARD 1995) und betreffen daher meist nur Verbindungen, die einer gesetzlichen Regelung unterliegen (anorganische Schadgase sowie partiell Benzol, Toluol und Xylol).

Arbeiten bezüglich der an Flächennutzungsstrukturen orientierten, langfristigen Immissionsmessung eines breiten Spektrums flüchtiger organischer Verbindungen , die einen stadtökologischen Strukturwandel größeren Ausmaßes begleiten, sind nicht bekannt.

### **3. Ergebnisse**

#### **3. 1. Methodik der Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen in Luft**

##### **3. 1. 1. Überlegungen zur Meßstrategie**

In der Umweltanalytik werden verschiedene Verfahren zur Bestimmung flüchtiger organischer Verbindungen in Luft angewandt. Ziel dieser Untersuchungen ist generell der Erhalt verlässlicher Ergebnisse, die gemäß der Aufgabenstellung eine repräsentative und möglichst detaillierte Beurteilung des jeweiligen Belastungszustandes erlauben. Dabei ist es von größter Wichtigkeit, auch und vor allem im Spurenbereich reproduzierbare und richtige Befunde erzielen zu können. Daraus leiten sich als Anforderungen an moderne Analysenverfahren ab:

- verlustfreie Anreicherung der Analyten
- vollständige Überführung der Probe in das Trennsystem
- optimale Auftrennung des Probengemisches
- zweifelsfreie Identifizierung der Probeninhaltsstoffe
- Vermeidung der Bildung von Artefakten
- Möglichkeit der reproduzierbaren und richtigen Quantifizierung mit Hilfe geeigneter Kalibrierverfahren

Um aussagekräftige Daten über die Belastungssituation der Luft eines beprobten Gebietes zu erzielen, ist es von grundlegender Bedeutung, daß die einzelnen Teilschritte innerhalb des Bestimmungsverfahrens einerseits in sich keine Mängel bergen, die das Analyseergebnis negativ beeinflussen können, sowie andererseits so aufeinander abgestimmt sind, daß der analytische Prozeß als Ganzes praktikabel bleibt. Dabei sind Vorüberlegungen zu den folgenden Punkten anzustellen.

##### Langzeitmessung oder Stichprobe ?

In Abhängigkeit von der gewählten Zeitdauer, während der das Probenmaterial gewonnen wird, ergeben sich unterschiedliche Aussagen im Ergebnis der Messungen. Wird die Probe innerhalb eines kurzen Zeitraumes (im Bereich von Minuten) genommen, so ist der zeitliche Aufwand zwar gering, dafür ist jedoch die Aussage des Analysenbefundes eingeschränkt. Es kann bei kurzzeitiger Probenahme nicht ausgeschlossen werden, daß am Probenahmeort zum betreffenden Zeitpunkt die zu bestimmenden Luftschadstoffe zufällig ein Konzentrationsminimum bzw. - maximum durchlaufen. Da temporäre Schwankungen der

Immissionskonzentrationen infolge des Einflusses von klimatischen (wechselnde Winde, Temperaturschwankungen, Niederschläge) sowie anthropogenen Faktoren (z.B. schwankende Verkehrsdichte) beträchtlich sein können, sind Stichproben für den jeweiligen Probenahmeort wenig repräsentativ.

Alternativen zur Erlangung repräsentativer und aussagekräftiger Ergebnisse bieten die zyklische Durchführung einer großen Zahl von Messungen in einem bestimmten zeitlichen Rahmen (z.B. kurzzeitige Probenahme zu jeder vollen Stunde) bzw. die Ausdehnung der Probenahme auf ein größeres Zeitintervall (mehrere Stunden). Durch eine solche Meßstrategie wird eine Wichtung des Einflusses zeitlich begrenzter Extrema von Schadstoffkonzentrationen auf das Gesamtergebnis der Analyse und somit der Erhalt integraler Meßwerte ermöglicht. Auf dieser Basis ist eine Beurteilung von mittleren Belastungswerten möglich. Limitierend wirken sich die u. U. sehr große Zahl der durchzuführenden Analysen bzw. ein hoher zeitlicher Aufwand für die Beaufsichtigung der Probenahmeapparatur sowie apparative Schwierigkeiten bei Langzeitmessungen (Gewährleistung der Konstanz der Probenahmeparameter über mehrere Stunden) gegenüber.

#### Umfang der Messungen

Aus Einzelmessungen auf den durchschnittlichen Grad der Immissionsbelastung eines Gebietes zu schließen, ist aufgrund wechselnden Einflusses einer Vielzahl von Faktoren im allgemeinen nicht zulässig.

Meßkampagnen, die über einen längeren Zeitraum die Belastungssituation aufzeichnen, sind in mehrfacher Hinsicht von großem Vorteil. Die Ermittlung der Belastungswerte an einer möglichst großen Zahl zusammenhängender Tage berechtigt zur Angabe von Mittelwerten (Wochenmittel, Monatsmittel), durch die eine konkrete Einschätzung der Luftqualität am jeweiligen Probenahmeort am sichersten vorgenommen werden kann. Von Interesse ist zudem die Ermittlung von Belastungstrends, die sowohl in Form zeitlicher Verläufe der Schadstoffkonzentrationen über begrenzte Perioden (Wochen-, Monatsgänge) wie auch durch die Dokumentation saisonaler Schwankungen aufschlußreich sind.

#### Probenahmeort

Auch für die Auswahl eines geeigneten Probenahmeortes haben die angestrebte Aussagekraft und die Repräsentanz der Ergebnisse als Kriterien oberste Priorität. Soll die Immissionsituation größerer Areale möglichst umfassend charakterisiert werden, so ist man gezwungen, den innerhalb solcher Gebiete zum Teil stark differierenden Schadstoffkonzentrationen in der Luft Rechnung zu tragen, indem die Probenahme zeitgleich an mehreren Orten, für die bereits vorher eine gewisse Spezifik der Luftbelastung postuliert werden kann, durchgeführt wird. Die gleichzeitige Beprobung von Meßpunkten, die sich in ihrer Infrastruktur, der Bebauung, gewerblichen Nutzung bzw. der räumlichen Lage zu potentiellen Emittenten (z.B. in Luv und

in Lee zur Emissionsquelle) signifikant unterscheiden, ist vor allem deshalb sinnvoll, da im Ergebnis der Untersuchungen vergleichende Betrachtungen durchgeführt werden können. Diese sind unter Umständen hilfreich, um die Frage nach dominierenden Emissionsquellen zumindest teilweise beantworten zu können.

Neben der topographischen Lage der Probenahmeorte ist auch die Höhe, in der die Luftproben gesammelt werden, als Einflußfaktor zu berücksichtigen. Die Durchführung der Probennahme in "Nasenhöhe" kommt der realen Exposition des Menschen bezüglich der zu messenden Schadstoffe am nächsten. Allerdings ist damit zu rechnen, daß in so niedriger Höhe und damit in unmittelbarer Nähe von Emittenten, wie z.B. dem Kraftfahrzeugverkehr, die Belastungssituation durch lokale Maxima bzw. Minima geprägt ist, so daß es schwierig erscheint, den geeigneten Platz für den Erhalt repräsentativer Proben zu bestimmen.

Plaziert man die Probenahmeapparatur dagegen in einigen Metern Höhe, so kann erreicht werden, daß der schon eingetretene Durchmischungsprozeß bereits zu einer gewissen Homogenisierung des Belastungsniveaus in dieser Höhenregion geführt hat, was wiederum eine gesteigerte Repräsentanz der Meßwerte für die Umgebung des Probenahmeortes im Vergleich zur bodennahen Beprobung zur Folge hat. Die erzielte Repräsentanz ist auch Grundlage für einen Vergleich der zeitgleich an mehreren Orten im Stadtgebiet erhaltenen, durchschnittlichen Belastungswerte.

### 3. 1. 2. Festlegung der Meßstrategie

Entsprechend der Zielstellung des Vorhabens wird folgende Meßstrategie festgelegt:

#### Probenahme

- Durchführung von zweiwöchigen Langzeit-Meßkampagnen parallel an drei Standorten im Leipziger Stadtgebiet, die sich in ihrer Flächennutzung wesentlich unterscheiden
- Meßkampagnen in Sommer- und Winterperioden
- Probenahme durch adsorptive Anreicherung an geeigneten Adsorbentien
- Probenahmeparameter:

Probenahmezeit: täglich 07:00 bis 17:00

(integrale Messung zur Miterfassung der morgendlichen und abendlichen Verkehrsspitzen sowie des Anheizverhaltens beim Hausbrand)

Probenahmehöhe: ca. 15 m über Erdboden

(Repräsentanz über den eigentlichen Ort der Probenahme hinaus)

Probenvolumen: ca 10-12 l

(Erreichen der Bestimmungsgrenze für relevante Spurenstoffe im unteren ppb (V) - und im ppt (V) - Bereich)

### Analytik

- Probetransfer in den Gaschromatographen durch thermische Desorption ohne Kryofokussierung
- temperaturprogrammierte Auftrennung der Proben an Trennkapillaren mit geeigneter Retentionscharakteristik
- Identifizierung der getrennten Probeinhaltsstoffe mittels GC-MS-Kopplung sowie unter Einbeziehung chromatographischer Retentionsdaten
- Quantifizierung der nachgewiesenen Verbindungen nach externer Kalibration anhand ausgewählter Referenzsubstanzen

### **3. 1. 3. Charakterisierung der Probenahmeorte**

Entsprechend den unter 3.1.1. besprochenen Kriterien zur Auswahl repräsentativer Probenahmeorte wurden drei Meßpunkte, die sich in ihrer Bebauungsstruktur, dem Verkehrsaufkommen und dem vorherrschenden Heizungstyp wesentlich unterscheiden derart ausgewählt, daß sie zueinander annähernd auf einer Linie, die durch die Hauptwindrichtung von Südwest nach Nordost vorgegeben wird, liegen. Ebenfalls wurde die vom UFZ vorgegebene Transsekt bei der Auswahl der Meßpunkte berücksichtigt. Die Lage der Probenahmeorte im Leipziger Stadtgebiet ist **Abb. 1** zu entnehmen. Im folgenden werden weitere stadtstrukturelle Merkmale der Meßpunkte beschrieben (siehe auch **Abb.n 2 - 4**).

#### Meßpunkt 1 - Deiwitzweg

Dieser Probenahmeort liegt im Neubaugebiet Grünau im Westen der Stadt Leipzig. Das Wohngebiet entstand zwischen der Mitte der siebziger Jahre und dem Ende der achtziger Jahre. Die Bebauung ist locker, setzt sich aus Wohnblocks mit 5 bis 11 Geschossen zusammen. Zwischen den Häusern sind Grünanlagen (hauptsächlich Rasenflächen und Rabatten mit Heckencharakter), nur vereinzelte Bäume sowie Parkflächen für Kraftfahrzeuge zu finden. Entsprechend der hohen Einwohnerzahl existiert ein umfangreicher Bestand an privaten Kraftfahrzeugen. Hinsichtlich des Verkehrs im Wohngebiet kann von einer für Satellitenstädte typischen Situation ausgegangen werden. Diese besteht in einer morgendlichen Verkehrsspitze und einer Hauptverkehrszeit am frühen Abend, wenn ein großer Teil der hier lebenden, werktätigen Bevölkerung von der Arbeit heimkehrt. Dazwischen liegt eine Zeit relativ geringen Verkehrsaufkommens. Lediglich die in ca. 300 m Entfernung verlaufende Hauptverkehrsstraße (Ratzelstraße) wird ganztägig stark befahren. Das Gebiet ist hinsichtlich öffentlicher Nahverkehrsmittel durch Stadtschnellbahn und Straßenbahn sehr gut erschlossen. Bedeutende gewerbliche Ansiedlungen, von einigen Einzelhandelseinrichtungen abgesehen, fehlen. Das

gesamte Gebiet wird durch Fernwärme beheizt. Nennenswerte Einzelofenfeuerstätten existieren in der näheren Umgebung nicht. Ein wesentliches Landschaftsmerkmal ist der im Westen des Wohngebietes liegende Kulkwitzer See.

Die Meßvorrichtung befindet sich auf der Südseite eines 6-stöckigen Hauses in Höhe des obersten Geschosses (ca. 15 m über dem Erdboden).

#### Meßpunkt 2 - Brandvorwerkstraße

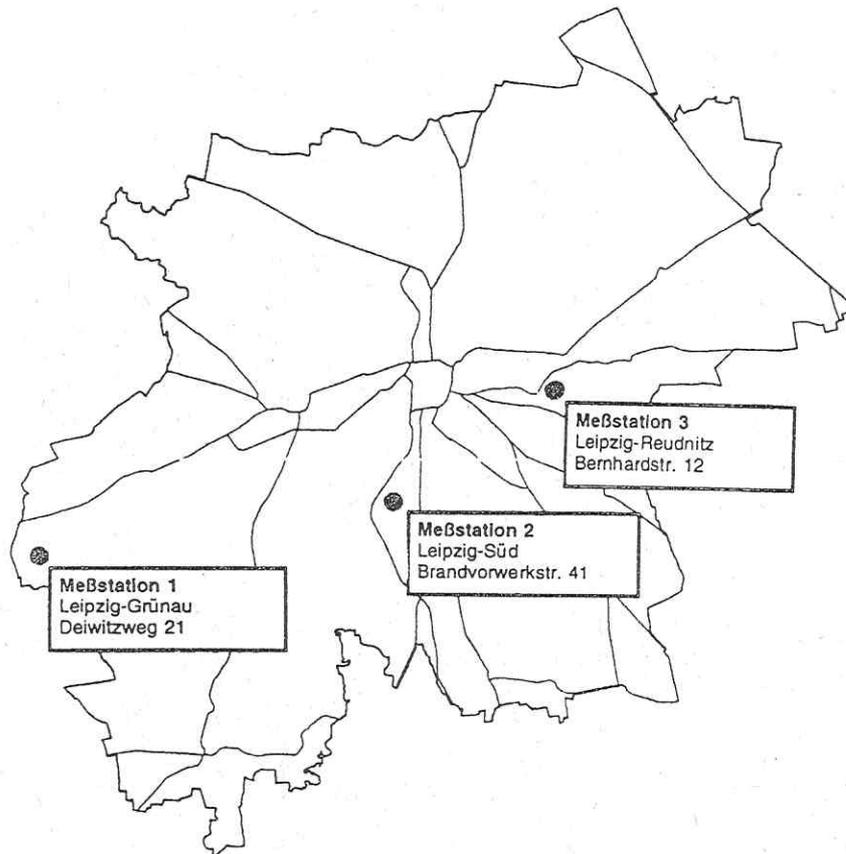
Die Brandvorwerkstraße befindet sich in der Leipziger Südvorstadt. Sie ist Teil eines Stadtviertels, das von alter Bausubstanz gekennzeichnet ist. Straßen mit zusammenhängender Blockbebauung dominieren. Die bauliche Struktur am Probenahmeort kann als Blockrandbebauung bezeichnet werden. Entsprechend dem Anteil an nicht sanierten Gebäuden wird ein wesentlicher Teil der Wohnungen noch mit Braunkohlenbriketts in zahlreichen Einzelfeuerungsanlagen beheizt. Das Viertel wird von allen Seiten durch stark frequentierte Verkehrsstrassen (Karl-Liebknecht-Straße; Kurt-Eisner-Straße; Richard-Lehmann-Straße; Bundesstraße 2) eingeschlossen. Auch hier kommt es morgens und am frühen Abend zu Spitzen des Verkehrsaufkommens. Im Unterschied zu Meßpunkt 1 herrscht jedoch auch tagsüber, vor allem auf der Kurt-Eisner-Straße, ein reger Durchgangsverkehr. Es besteht eine gute Anbindung an das Verkehrsnetz der öffentlichen Beförderungsmittel (Bus; Straßenbahn). Westlich und südwestlich dieses Probenahmeortes liegen umfangreiche Areale, die naturnahen Charakter haben (Clara-Zetkin-Park; Südlicher Leipziger Auwald).

Die Meßstation ist straßenseitig, in Richtung Nordwest zeigend, im 4. Geschosß in etwa 15 m Höhe angebracht.

#### Meßpunkt 3 - Bernhardstraße

Der Meßpunkt 3 liegt im Stadtteil Reudnitz, östlich vom Leipziger Stadtzentrum. Es dominiert enge Blockbebauung. Die Bernhardstraße trägt echten Straßenschluchtcharakter. Der Anteil alter, zu großen Teilen noch nicht sanierter Bausubstanz ist hoch. Somit ist auch der prozentuale Anteil der noch mit Braunkohlebriketts betriebenen Einzelfeuerstätten als erheblich einzuschätzen. In ca. 100 m Entfernung zum Probenahmeort führt eine der am meisten befahrenen Straßen Leipzigs vorüber (Wurzener Str.). In etwa der gleichen Entfernung befinden sich zwei Kreuzungen, die für ständig sehr hohes Verkehrsaufkommen bekannt sind. Dies bedingt einen ganztagig starken Straßenverkehr in unmittelbarer Nähe zum Meßplatz. In der Umgebung dieses Meßpunktes existieren mehrere gewerblich genutzte Flächen (Autohandel; Tankstelle; Brauerei). Die Verkehrsanbindung an das Stadtzentrum ist durch die Nähe zu mehreren Straßenbahnlinien gewährleistet. Im Umkreis um den Probenahmeort existieren nur wenige Grünflächen.

Die Probenahmeapparatur ist hier an der nach Nordwest zur Straße zeigenden Hauswand, in Höhe der Dachgeschoßwohnung (ca. 15 m über der Erde) angebracht.



**Abb. 1:** Lage der Probenahmeorte im Leipziger Stadtgebiet  
(Basiskarte mit freundlicher Genehmigung von Frau Dr. Kindler, UFZ)



**Abb. 2:** Meßpunkt 1 - Deiwitzweg (Leipzig - Grünau)



**Abb. 3: Meßpunkt 2 - Brandvorwerkstraße (Südvorstadt)**



**Abb. 4: Meßpunkt 3 - Bernhardstraße (Leipzig - Reudnitz)**

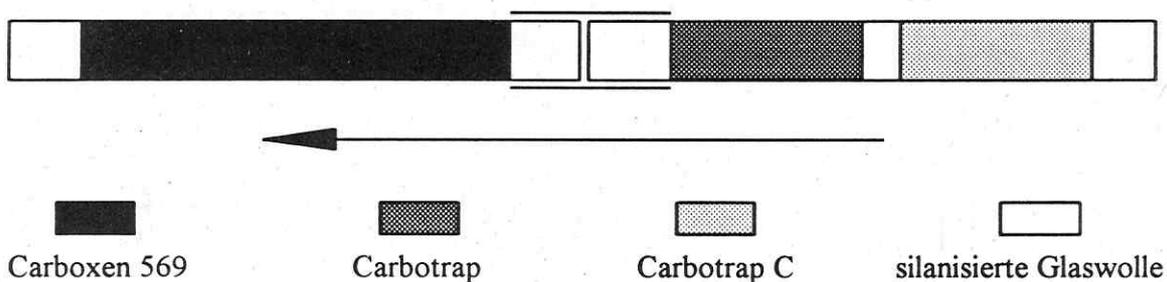
### 3. 1. 4. Probenahme

#### 3. 1. 4. 1. Auswahl der Adsorbentien und Präparation der Adsorptionsröhrchen

Im Ergebnis von Literaturstudien und entsprechenden Vorversuchen waren bei der Durchführung der Immissionsmessungen sehr komplexe Probengemische hinsichtlich der Konzentrationen und der Flüchtigkeit der enthaltenen Komponenten zu erwarten. Um dieses breite Spektrum von Luftinhaltsstoffen erfassen zu können, war der kombinierte Einsatz mehrerer, unterschiedlich starker Adsorbentien unabdingbar.

Die Eigenschaften einer Reihe kommerziell erhältlicher Adsorbentien wurden eingehend untersucht und sind in **Tab. 1** zusammengestellt. Aufgrund ihrer ausgeprägten Hydrophobie, der hohen thermischen Belastbarkeit sowie der weitgehend unspezifischen Adsorptionswechselwirkungen unterschiedlicher Stärke wurden für die Probenahme zwei graphitierte Ruße (Carbotrap C und Carbotrap) und ein Kohlenstoffmolekularsieb (Carboxen 569) ausgewählt.

Die Adsorbentien wurden in zwei silanisierten Glasröhrchen (ID = 4 mm; L = 115 mm) in Reihenfolge zunehmender Adsorptionskraft angeordnet und mit silanisierter Glaswolle fixiert. Zur Probenahme erfolgte die Verbindung beider Adsorptionsröhrchen mittels Verbindern aus Teflon - Schrumpfschlauch. Im ersten Röhrchen wurden, in Probenahmerichtung betrachtet, zuerst Carbotrap C und dahinter folgend Carbotrap angeordnet. Im zweiten Röhrchen wurde Kohlenstoffmolekularsieb CO 569 fixiert (**Abb. 5**). Analog erfolgte die Packung der Fokussierröhrchen (ID = 2 mm; L = 115 mm) - vgl. 3. 1. 5. 3. .



**Abb. 5:** Serielle Kopplung zweier Adsorbensröhrchen mit verschiedenen Adsorbentien zur aktiven Luftprobenahme (Probenahmerichtung durch Pfeil angezeigt)

Tab. 1: Charakteristika ausgewählter Adsorbentien

Handelsname	Typ	Elementare Zusammensetzung						Porengrößenverteilung a)			Spezif. OF b)	BTV (H <sub>2</sub> O, 30°C) [ml/g]	Anreich.-bereich
		C	H	N	S	O	micro < 1nm	meso 1-25nm	macro > 25nm				
CARBOTRAP F 1)	GTCB	99.6	-	-	-	-	-	(+)	+++	7	---> 0	> C <sub>9</sub>	
CARBOTRAP C 1)	GTCB	99.7	0.1	-	-	-	-	(+)	+++	11	---> 0	C <sub>6</sub> -C <sub>13</sub>	
CARBOTRAP 1)	GCB	99.6	-	0.2	-	-	-	+	+++	103	---> 0	C <sub>5</sub> -C <sub>9</sub>	
CARBOXEN 563 1)	CMS	82.2	2.4	< 1	10.8	3.0	+	+++	+	513	n. d.	C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub>	
CARBOXEN 564 1)	CMS	82.1	0.6	< 1	6.3	-	+	+++	+	426	n. d.	C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub>	
CARBOXEN 569 1)	CMS	92.2	0.2	< 1	2.8	-	+	+++	+	387	45	C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub>	
CARBOXEN 1000 1)	CMS	93.0	0.5	< 1	2.3	-	+	+++	+	906	139	C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub>	
CARBOSIEVE S III 1)	CMS	96.8	0.5	< 1	-	-	+	+++		835	111	C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub>	
TENAX TA 2)	PP	88.5	5.0	-	-	6.3	+	+++	+	20	32	C <sub>6</sub> -C <sub>14</sub>	

1) SUPELCO Inc., Bellefonte, USA

2) GÜNTER KARL OHG, Geisenheim, Deutschland

a) Microporenanalyse nach HORVATH & KAWAZOE, BJH-Methode zur Meso- und Makroporenanalyse  
 b) BET-Oberflächenbestimmung (N<sub>2</sub>)

GTCB Graphitized Thermal Carbon Black  
 GCB Graphitized Carbon Black  
 CMS Carbon Molecular Sieve  
 PP Porous Polymer  
 n. d. not determined

Für ein Röhrchen jeder Packungsart wurden die Adsorbensmassen ausgewogen. Die Packung aller weiteren Röhrchen erfolgte durch Vergleich der Füllstandshöhe, so daß die ermittelten Massen als repräsentativ für alle Röhrchen eines Typs angesehen werden können. Die Adsorbensmassen sind in **Tab. 2** aufgeführt.

**Tab. 2: Packungsmassen der Adsorbentien in den verwendeten Röhrchen**

	Probenahmeröhr - chen (ID = 4 mm)	Fokussieröhrchen (ID = 2 mm)
CO 569	496 mg	124 mg
Carbotrap	238 mg	60 mg
Carbotrap C	267 mg	38 mg

Um das Adsorptionsverhalten der so gepackten Röhrchen zu charakterisieren, wurden Untersuchungen zum Durchbruchverhalten und zur Desorptionseffizienz durchgeführt.

#### Bestimmung von Durchbruchsvolumina

Die Bestimmung von Durchbruchsvolumina erfolgte exemplarisch anhand zweier Modellverbindungen, wofür n-Butan zur Charakterisierung des mit Kohlenstoff-Molekularsieb CO 569 gefüllten Röhrchens und Benzol für das Multiadsorbensröhrchen ausgewählt wurde. Beide Verbindungen standen in Form zertifizierter Prüfgase der Firma Linde mit einer Konzentration von 10 ng / ml in Stickstoff zur Verfügung. Die Bestimmung der Durchbruchsvolumina erfolgte auf elutionschromatographischem Wege. Um den zeitlichen Aufwand zu minimieren, wurde bei erhöhter Temperatur gemessen (zwischen 100 °C und 150 °C). Dazu wurde das Adsorptionsröhrchen im Ofen des Gaschromatographen installiert. Nach dem Auftragen der logarithmierten Volumenwerte gegen den Reziprokwert der absoluten Temperatur konnte linear auf Raumtemperatur extrapoliert werden. Die erhaltenen Ergebnisse der linearen Regression sind in **Abb. 6** dargestellt. Sie weisen eine sehr gute Korrelation bezüglich der Linearität des Zusammenhanges der Meßgrößen auf.

Die Extrapolation der ermittelten Werte auf eine Probenahmetemperatur von 20 °C ergibt für die Probenahmeröhrchen (ID = 4 mm) die folgenden Durchbruchsvolumina:

Kombination CTC - CT:	BTV <sub>Benzol</sub>	=	105 Liter
CO 569 - Röhrchen:	BTV <sub>Butan</sub>	=	325 Liter

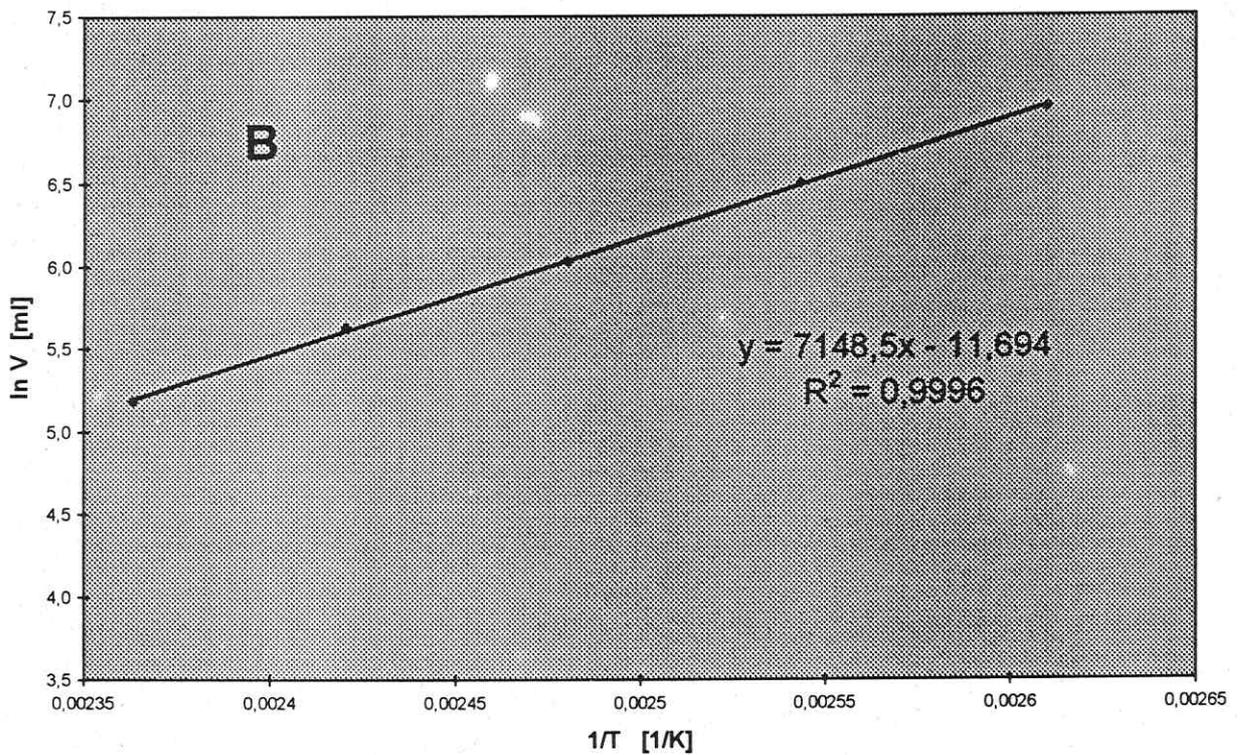
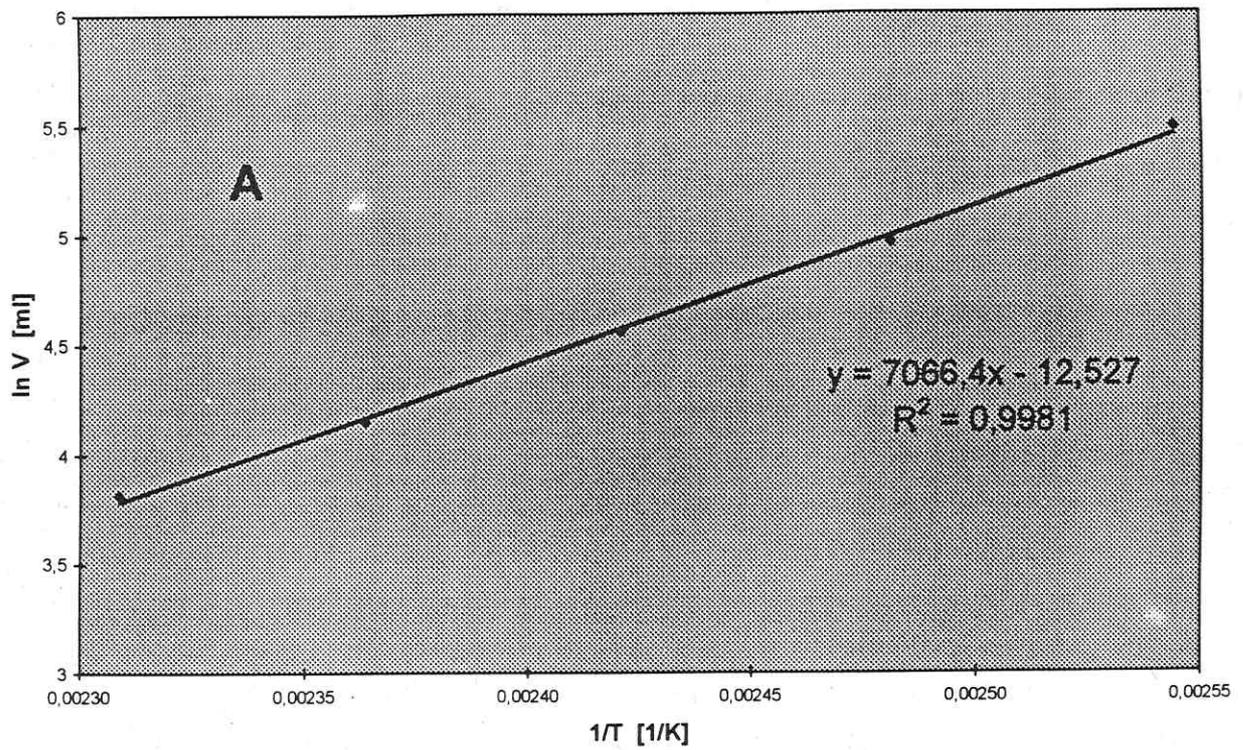
Für angestrebte Probenahmevolumina von maximal 20 Litern läßt sich aus den Ergebnissen der Durchbruchversuche ableiten, daß für beide Modellverbindungen während der Probenahme keine Gefahr des Durchbruches besteht.

Bestimmung der Desorptionseffizienzen

Neben einer vollständigen Anreicherung der Analyten ist für den analytischen Prozeß die quantitative Desorption der angereicherten Verbindungen von der Adsorbensoberfläche von ebenso großer Bedeutung. Exemplarisch wurde die Desorptionseffizienz einer Reihe von n-Alkanen, 1-Olefinen und Aromaten an den verwendeten Adsorbentien untersucht. Die Adsorbentien wurden hierfür mit den Testverbindungen im Konzentrationsbereich der Realproben belegt und nachfolgend unter Einhaltung der im analytischen Prozeß verwendeten Parameter desorbiert und chromatographiert. Durch den Vergleich mit Flüssigproben bekannter Konzentration, die mittels split- bzw. on-column-Dosierung auf die Trennsäule gegeben wurden, konnte die Vollständigkeit der Desorption für jede Testverbindung ermittelt werden. Die Resultate sind in Tab. 3 zusammengefaßt.

**Tab. 3: Desorptionseffizienzen ausgewählter Modellverbindungen auf den verwendeten Adsorbentien (Angaben in %)**  
(B-Benzol, T-Toloul, E-Ethylbenzol, P-Propylbenzol, Na-Naphthalin)

Substanz	CARBOXEN 569		CARBOTRAP		CARBOTRAP C	
	n-Alkane	1-Olefine	n-Alkane	Aromaten	n-Alkane	Aromaten
C 1	100					
C 2	100	100				
C 3	100	100				
C 4	100	100				
C 5	97	88				
C 6	80	52		100 - B		100 - B
C 7	39			100 - T		100 - T
C 8				100 - E		100 - E
C 9			100	100 - P		100 - P
C 10			100	100 - Na	100	100 - Na
C 11			94		100	
C 12			93		100	
C 13			90		100	
C 14			83		100	
C 15			83		100	
C 16					94	
C 17					88	
C 18					83	
C 19					66	
C 20					53	



**Abb. 6:** Experimentell bestimmte Temperaturabhängigkeit der Durchbruchvolumina der zur Probenahme verwendeten Adsorbensröhrchen  
**A:** Benzol auf Kombination Carbotrap C - Carbotrap  
**B:** n - Butan auf Carboxen 569

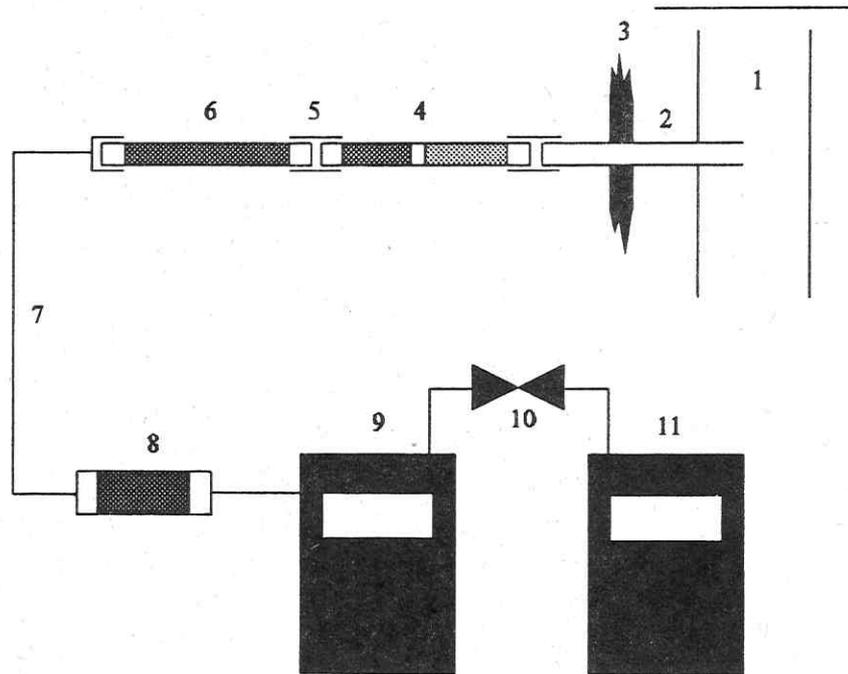
### 3. 1. 4. 2. Entwicklung der Probenahmeapparatur

Bei der Konstruktion einer für Immissionsmessungen geeigneten Probenahmeapparatur waren, neben der Absicherung einer reproduzierbaren und richtigen Probenahme, weitere wichtige Kriterien zu berücksichtigen:

- unkomplizierte Durchführbarkeit der Probenahme
- wartungsfreie Arbeitsweise
- ausreichende mechanische Belastbarkeit durch äußere Einflüsse (z.B. Wind, Regen)
- Vermeidung der Notwendigkeit ständiger Beaufsichtigung

Im Ergebnis dieser Überlegungen entstand die in den **Abb.n 7 und 8** dargestellte Geräteanordnung.

Vorausgegangen, orientierende Messungen, bei denen bei paralleler Probenahme auf zwei ungeschützt im Freien befindliche Adsorbensröhrchen Differenzen im Ergebnis der chromatographischen Analyse hinsichtlich der relativen Intensitäten der einzelnen Probeninhaltsstoffe aufgetreten waren, gaben den Anlaß für die Konstruktion eines Homogenisierungsschachtes (1). Er wurde aus einem Rohrsegment, bestehend aus feuerverzinktem Stahlblech, gebaut und zur Vermeidung des Eindringens von Niederschlagswasser mit einer Abdeckung versehen. Dieser Schacht wurde in seinen Abmaßen (ID = 10 cm; L = 60 cm) so konzipiert, daß einerseits ein ständiger Luftaustausch ungehindert erfolgen konnte, andererseits der Einfluß von Mikroheterogenitäten der umgebenden Luft (z.B. Windböen) auf die Gewinnung der Proben minimiert wurde. Der Schacht wurde über eine Halterung in ca. 50 cm Abstand von der Hauswand am Fensterrahmen des jeweiligen Probenahmeortes in ca. 15 m Höhe verschraubt. Der Abstand zwischen Schacht und Gebäudewand genügt damit zwar nicht den Anforderungen der TA Luft, welche eine Minstdistanz von 1,5 m vorschreibt, stellt aber hinsichtlich der mechanischen Stabilität und der Belastbarkeit der Fensterkonstruktionen vor Ort die Grenze des praktisch Möglichen dar. An dem Probenahmeschacht wurde in etwa halber Höhe eine Bohrung angebracht, durch welche ein Edelstahlrohr (ID = 3,5 mm; L  $\approx$  85 cm) in den Schacht hineinragt. Dieses Ansaugrohr (2) führt, den Fensterrahmen (3) durchstoßend, in das Rauminnere. Die Entscheidung zur Durchführung der adsorptiven Anreicherung im Inneren eines Raumes fiel aufgrund der Tatsache, daß auf diesem Wege die Konstanz der Probenahmetemperatur ausreichend und am wenigsten aufwendig gewährleistet werden konnte. Dies ist hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Sommer- und Wintermessungen von Vorteil, da bei ungeschützter Probenahme im Freien mit Differenzen der Probenahmetemperatur von bis zu 40 K (Sommer/Winter) zu rechnen ist.



**Abb. 7: Schematische Darstellung der Probenahmeverrichtung für Immissionsmessungen**

1: Homogenisierungsschacht ; 2: Ansaugrohr ; 3: Fensterrahmen ;  
 4: Multibettrohrchen ; 5: Schrumpfschlauchverbinder ; 6: Adsorbensrohrchen ;  
 7: Verbindungsschläuche ; 8: Trockenrohr (Molsieb 4A) ; 9: elektronischer  
 Strömungsmesser ; 10: Nadelventfl ; 11: Pumpe



**Abb. 8: Probenahmeapparatur am Meßpunkt 2 - Brandvorwerkstraße**

Über ein Stück Siliconschlauch wurde die Verbindung zwischen Ansaugrohr und dem ersten Adsorbensröhrchens (4) hergestellt. Nach Austritt der Luft aus dem zweiten Adsorptionsrohr (6) (Kopplung der beiden Röhrchen mittels Teflon-Schrumpfschlauchverbinder (5)) führt der Gasweg über ein Trockenrohr (8) (als Korrosionsschutz der nachfolgenden Geräte) zum elektronischen Strömungsmesser (9) und von dort über ein Nadelventil (10) zur Pumpe (11).

Bei der Auswahl der für diese Zwecke geeigneten Pumpe war es von besonderer Bedeutung, daß die Förderung niedriger Gasströme über einen Zeitraum von mehreren Stunden mit ausreichender Konstanz möglich war. Die Regelung des bei eingestellter Saugleistung über die Apparatur fließenden Gasstromes wird mittels des vorgeschalteten Nadelventils durchgeführt.

Die Verbindung aller Teile der Geräteanordnung vom Austritt der Luft aus dem zweiten Adsorbensrohr an erfolgte zum Zwecke der Minimierung des Totvolumens der Anlage über Schlauchleitungen (7) mit 2 mm Innendurchmesser.

### **3. 1. 4. 3. Praktische Durchführung der Meßkampagnen**

An den drei beschriebenen Meßstandorten im Stadtgebiet wurden Meßkampagnen in den folgenden Zeiträumen durchgeführt:

- Wintermessung 1994/95: 06.03. - 17.03.1995
- Sommermessung 1995: 14.08. - 25.08.1995
- Wintermessung 1995/96: 29.01. - 07.02.1996

Durch die Wahl dieser Untersuchungszeiträume sollte die Dokumentation der für die jeweilige Jahreszeit typischen Belastungssituation an den Probenahmeorten ermöglicht werden. Die Probenahme erfolgte täglich von 07:00 - 17:00 Uhr, um integrale Tagesmittelwerte unter Berücksichtigung der morgendlichen und abendlichen Verkehrsspitzen sowie des Anheizverhaltens beim Hausbrand in Einzelfeuerstätten zu erhalten.

Vergleichsmessungen wurden in Form von Stichprobenmessungen (Probenahmezeit ca. 20 min) an einer stark befahrenen Kreuzung (Bayrischer Platz) sowie einem naturnahen Areal (Südlicher Leipziger Auwald) durchgeführt. Ebenfalls stichprobenartig wurden Innenraumlüftmessungen an den drei Probenahmeorten durchgeführt.

Vor jedem Einsatz wurden die Adsorbensröhrchen neunzig Minuten lang auf einer Ausheizereinheit der Firma Supelco bei 390 °C im Stickstoffstrom konditioniert. Dies gilt sowohl für neu gepackte als auch für bereits mehrfach genutzte Röhrchen.

Bei einem angestrebten Probenahmenvolumen von 10-12 Litern wurde für die Probenahme eine Flußrate von 20 ml / min als Richtwert festgelegt. Aufgrund von Unterschieden in der Dichte

der Packung der Adsorptionsröhrchen bzw. durch Schwankungen der Pumpleistung traten dabei von Tag zu Tag geringe Schwankungen auf, die zwischen 17 ml / min und 23 ml / min, d.h. zwischen 10,6 und 14,0 Litern Probenahmeverolumen, lagen. Die Messung der aktuellen Sammelrate erfolgte mit einem elektronischen Strömungsmesser stets 10 min nach Start der Pumpe. Stichprobenartige Flußratenmessungen im Verlauf und kurz vor Beendigung der Probenahme belegten, daß sich der Gasfluß über den gesamten Zeitraum der Probenahme um maximal 1 ml / min änderte. Dies entspricht einem relativen Fehler des Probenahmeverolumens von ca. 5%.

Nach abgeschlossener Probenahme wurden die Adsorbensröhrchen in speziellen, verschließbaren Transportbehältern verpackt und am darauffolgenden Morgen ins Labor transportiert. Hier wurde unverzüglich mit der Aufarbeitung des Probenmaterials begonnen.

### **3. 1. 5. Probenaufbereitung und Analytik**

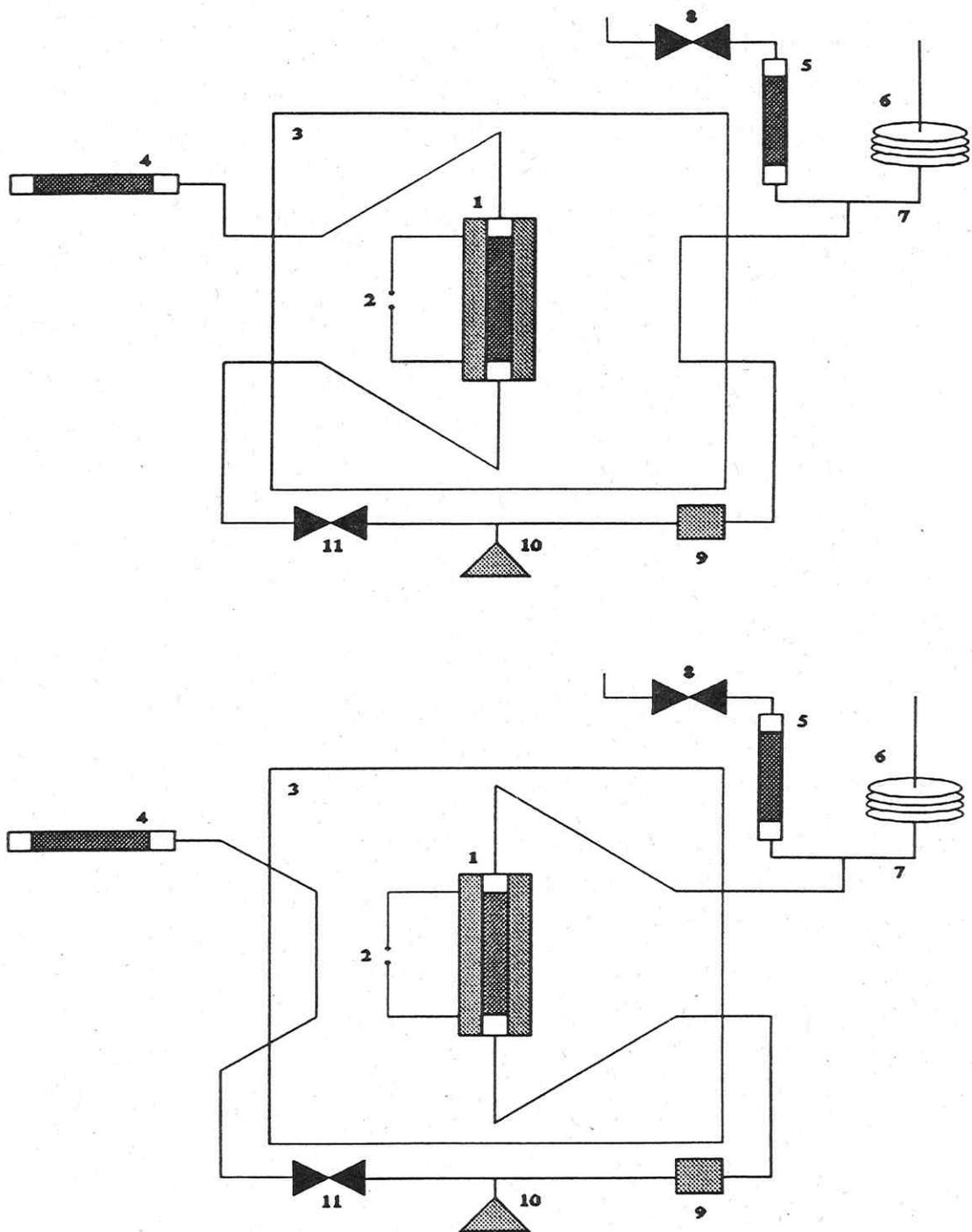
#### **3. 1. 5. 1. Der Thermodesorber TDU 890**

Für alle Arbeiten der Probenaufbereitung (Probentrocknung, Fokussierung) und den Transfer der Probe auf das kapillargaschromatographische Trennsystem wurde ein Thermodesorber TDU 890 der Firma Supelco eingesetzt. Die Wirkungsweise des Geräts soll daher kurz erläutert werden. **Abb. 9** zeigt eine Prinzipskizze dieses Gerätes.

Das Instrument arbeitet in zwei verschiedenen Betriebsarten, welche durch die jeweilige Schaltstellung des zentralen 6 - Wege - Ventils (3) vorgegeben sind.

In der Präpationsstellung (**Abb. 9** oben) werden die Probenahmeröhrchen getrocknet und fokussiert. Dabei ist der Gasstrom durch das 6 - Wege - Ventil so geregelt, daß das Trägergas über die Desorptionszelle (1) direkt zum Seitenausgang (4) fließt. Die Kapillare des nachgeschalteten Gaschromatographen (6) wird in dieser Schaltstellung separat, von den Vorgängen in der Desorptionskammer unbeeinflusst, mit Trägergas versorgt.

Durch Umlegen des Hebels am 6 - Wege - Ventil wird die Aufheizung der Desorptionszelle gestartet und gleichzeitig fließt der Trägergasstrom von der Desorptionszelle über eine beheizte Transferline (7) (unbelegte, desaktivierte fused-silica-Kapillare) der chromatographischen Säule zu (**Abb. 9** unten). Optional kann an dieser Stelle eine Strömungsteilung zum Saver (5) hin realisiert werden. Das Verhältnis beider Flußraten kann mittels des Flußreglers (9) und des Nadelventils (11) eingestellt werden. Durch die Absplittung eines Teiles des Desorptionsgasflusses auf den Saver kann eine Probe im Prinzip mehrmals analysiert werden, wobei jedoch nur das Ergebnis der ersten Desorption zur quantitativen Auswertung genutzt werden sollte. Diese Option wurde für die quantitativen Bestimmungen im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nicht genutzt.



**Abb. 9:      Prinzipskizze des Thermodesorbers TDU 890 der Firma Supelco**

**oben: Präparation**

**unten: Thermodesorption**

1: Desorptionszelle ; 2: Widerstandsheizung ; 3: 6 - Wege - Ventil ; 4: Seitenausgang (Side port) ; 5: Saverausgang ; 6: GC - Säule ; 7: beheizte Transferline ; 8 und 11: Nadelventile ; 9: Flußregler ; 10: Trägergasversorgung

Das Aufheizen der Desorptionszelle erfolgt über eine Widerstandsheizung (2) mit hoher Heizleistung. Ausgehend von etwa 40 °C Starttemperatur und 390 °C Zieltemperatur wurde eine Aufheizdauer von weniger als 20 Sekunden bestimmt (Verfolgung der am Steuerteil angezeigten Temperaturwerte).

### 3. 1. 5. 2. Probentrocknung

Um auf dem Adsorbens zurückgehaltene Reste von Luftfeuchtigkeit zu entfernen, wurden die Probenahmeröhrchen nach dem Eintreffen im Labor umgehend einem Trockenschritt unterworfen. Dazu wurden sie in Probenahmerichtung in den Thermodesorber eingesetzt und unter den in **Tab. 4** aufgeführten Bedingungen durch Spülen mit hochreinem Helium getrocknet.

**Tab. 4:        Arbeitsparameter für die Trocknung der Probenahmeröhrchen**

	CO - 569 - Röhrchen	CTC - CT - Kombiröhrchen
Trägergas (Helium)	30 ml / min	30 ml / min
Temperatur der Desorptionszelle	80 °C	70 °C
Temperatur Ventileinheit	240 °C	240 °C
Zeit	4 min	3 min

Zunächst wurde das Multibettrohrchen getrocknet, während das CO 569 enthaltende Probenahmerohr am Seitenausgang des Thermodesorbers installiert wurde. So konnte ein Durchbruchverlust von Teilen der Probe bei der Trocknung des Kombiröhrchens vermieden werden. Im zweiten Schritt wurde das mit CO 569 gefüllte Rohr vom Seitenausgang entfernt und in die Desorptionszelle überführt und nach den in **Tab. 4** angegebenen Parametern getrocknet.

Nach Installation eines Kontrollröhrchens (Packung: Carboxen 569) am Seitenausgang während des Trocknungsprozesses wurden bei dessen nachfolgender Desorption keine Signale detektiert, so daß ein Verlust von Probeinhaltsstoffen für diesen Arbeitsschritt ausgeschlossen werden kann.

### 3. 1. 5. 3. Thermodesorption

Um die Notwendigkeit einer kryogenen Refokussierung der desorbierten Verbindungen vor der Trennkapillare zu umgehen, wurde zur Thermodesorption ein zweistufiges Verfahren angewendet:

In einem ersten Schritt erfolgte die Fokussierung der Analyten am Thermodesorber TDU 890 zum Zweck der Erreichung einer möglichst schmalen Startpeakbreite durch Desorption der durch thermischen Transfer der Analyten vom Probenahmeröhrchen (ID = 4 mm) auf ein speziell dafür gefertigtes Fokussieröhrchen, das in Material und äußeren Abmessungen mit dem Probenahmeröhrchen identisch ist, jedoch einen Innendurchmesser von nur 2 mm aufweist. Durch Halbierung des Innendurchmessers verringert sich das erforderliche Desorptionsvolumen auf ein Viertel.

Das zu fokussierende Probenahmeröhrchen wurde entgegengesetzt zur ursprünglichen Probenahmerichtung in der Desorptionszelle installiert, während am Seitenausgang ein entsprechendes Fokussieröhrchen angeschlossen war. Die apparativen Bedingungen für die Fokussierung sind nachfolgend aufgeführt und gelten sowohl für das CO-569 - als auch für das

Multibettröhrchen:	Fokussierzeit:	4 min
	Trägergas (Helium):	30 ml / min
	Desorptionstemperatur:	390 °C.

Die Fokussieröhrchen wurden bis zur gaschromatographischen Analyse in den bereits erwähnten Transportbehältern unter Inertgasatmosphäre bei Raumtemperatur aufbewahrt.

Zwischen Trocknung und Fokussierung der Proben (beide Arbeitsschritte wurden unmittelbar aufeinanderfolgend ausgeführt) und der gaschromatographischen Analyse lag maximal ein Zeitraum von 4 Tagen.

Die Desorptionsparameter zum Transfer der Probeinhaltsstoffe von den Fokussieröhrchen in den Gaschromatographen sind in **Tab. 5** angegeben.

Zur Analytik der auf dem Kombi-Röhrchen angereicherten Verbindungen war der Thermodesorber mit der GC - MS - Verbundmethode gekoppelt, wobei eine Paralleldetektion MSD / FID nach Strömungsteilung des Eluats realisiert wurde. Aufgrund dieser speziellen Gerätekonstellation erwies sich das in **Tab. 5** angegebene zweistufige Temperaturprogramm bei der Desorption als vorteilhaft.

**Tab. 5: Apparativer Parameter der thermischen Desorption**

	CO - 569 - Röhrchen	CTC - CT - Kombiröhrchen
Trägergas (Helium)	Säulenfluß: 4 ml /min	Säulenfluß: 1,5 - 2 ml / min
Zeit	5 min	6 min
Desorptionstemperatur	390 °C	1 min 40 °C, 5 min 390 °C
Temperatur Ventileinheit	240 °C	240 °C
Transferlinetemperatur	240 °C	240 °C

### 3. 1. 5. 4. Gaschromatographische Trennung

Während der Anreicherung der organischen Luftinhaltsstoffe auf den unterschiedlich starken, seriell angeordneten Kohlenstoff - Adsorbentien erfolgte eine Vorfraktionierung der komplexen Immissionsproben. Im Ergebnis dessen fanden sich die organischen Verbindungen der C<sub>1</sub> - bis C<sub>5</sub> - Fraktion auf Kohlenstoffmolekularsieb CO 569; die höheren Kohlenwasserstoffe auf der Adsorbenskombination Carbotrap C - Carbotrap. Entsprechend den unterschiedlichen Siedepunkten der Analyten in beiden Teilproben mußten die beiden Fraktionen auch hinsichtlich der chromatographischen Analyse unterschiedlich behandelt werden.

Tab. 6 sind die apparativen Bedingungen, unter denen die Trennung der desorbierten Komponenten vorgenommen wurde, zu entnehmen. Die auf CO 569 angereicherten, leichtflüchtigen Verbindungen wurden an einer Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - PLOT -Kapillare getrennt und mit dem FID detektiert. Die Identifizierung der getrennten Einzelverbindungen erfolgte durch den Vergleich mit Retentionsdaten von Standardsubstanzen. Zu diesem Zweck wurden Referenzgasgemische der Firma Supelco eingesetzt. Abb. 10 zeigt ein repräsentatives FID-Chromatogramm der niedrigsiedenden, auf CO 569 angereicherten Fraktion einer Immissionsprobe.

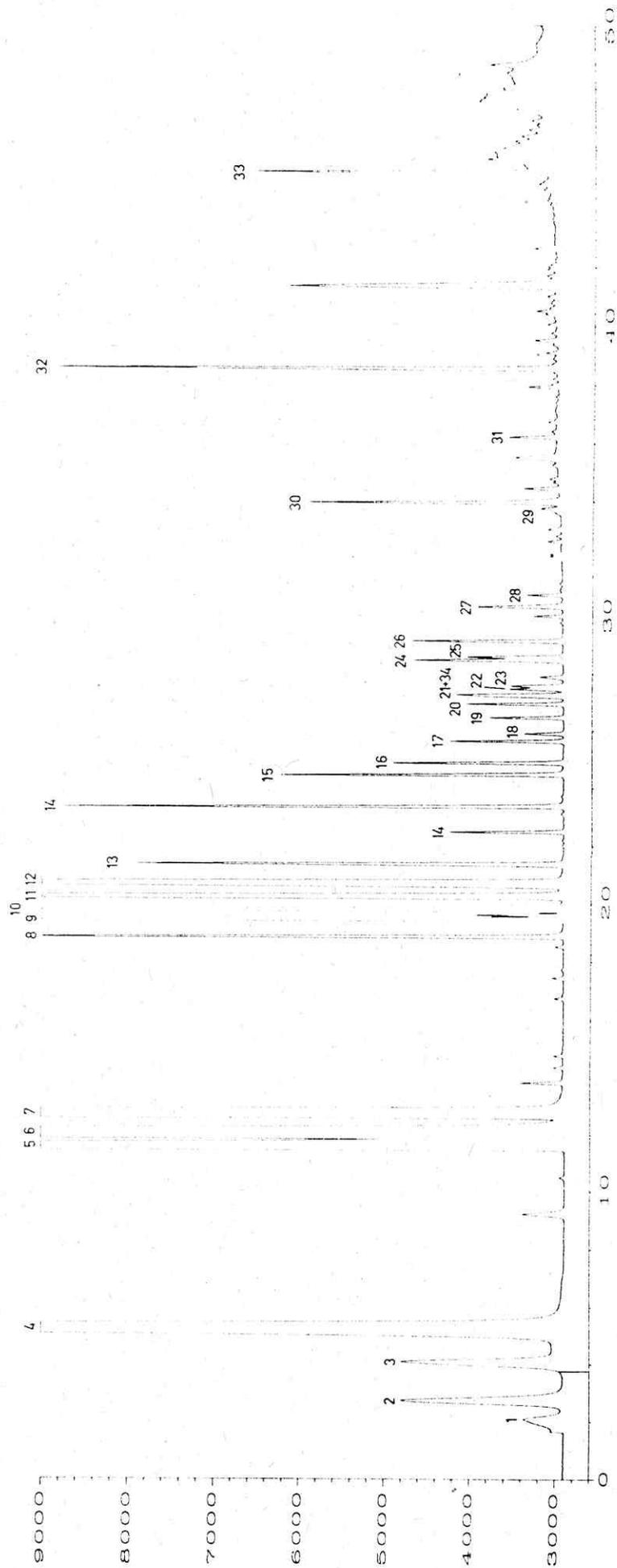
**Tab. 6: Apparative Bedingungen der kapillargaschromatographischen Analyse der beiden Teilproben**

	CO - 569 - Röhrchen	CTC - CT - Kombination
Gaschromatograph	HP 5890 II	HP 5890 II
Trägergas	Helium ; 4 ml / min	Helium ; 1,5 - 2 ml / min
Säule	PLOT - Adsorptionskapillare ; GS - Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) der Firma J & W Scientific ; L = 30 m ; ID = 0,53 mm	DB - 1 (100 % Polydimethylsil - oxan) der Firma J & W Scien - tific ; L = 60 m ; ID = 0,32 mm ; Filmdicke = 1 µm
Temperaturprogramm	4 min bei 30 °C ; 4 ° / min bis 200 °C ; 15 min bei 200 °C	4 min bei 30 °C ; 3 ° / min bis 280 °C ; 15 min bei 280 °C
Detektion	FID	FID / MSD HP 5971A

Die Auftrennung der vom CTC - CT - Kombiröhrchen desorbierten Komponenten erfolgte an einer unpolaren Dickfilmkapillare. Aufgrund des dicken Trennflüssigkeitsfilmes besitzt diese Säule ein hohes Retentionsvermögen, so daß bei ausreichend niedriger Starttemperatur (im Fall der hier beschriebenen Untersuchungen 30 °C) vor dem Beginn der chromatographischen Trennung am Säulen Anfang eine effektive Fokussierung der Analyten stattfindet. Diesem positiven Effekt steht jedoch eine geringere Trennleistung der Dickfilm-Kapillare im Vergleich zu Standardkapillaren gegenüber. Die Säuleneffizienz erwies sich aber für die hier behandelten Proben als ausreichend.

Als Detektoren wurden für die Untersuchung dieser Teilprobe der massenselektive Detektor HP 5971 A und - nach Strömungsteilung des Eluats parallel hierzu - ein FID eingesetzt. **Abb. 11** zeigt ein FID-Chromatogramm, das unter den in **Tab. 6** aufgeführten Trennbedingungen erhalten wurde. Die Identifizierung der getrennten Verbindungen erfolgte durch Vergleich der Massenspektren mit kommerziellen Bibliotheksspektren. Um die Elutionsreihenfolge der isomeren C<sub>3</sub> - Alkylbenzole feststellen zu können, wurden Standardlösungen dieser Verbindungen chromatographiert. Eine Zusammenstellung der identifizierten Probeinhaltsstoffe ist in **Tab. 7** gegeben.

Zur quantitativen Auswertung wurde bei beiden Teilproben das entsprechende FID-Chromatogramm genutzt.



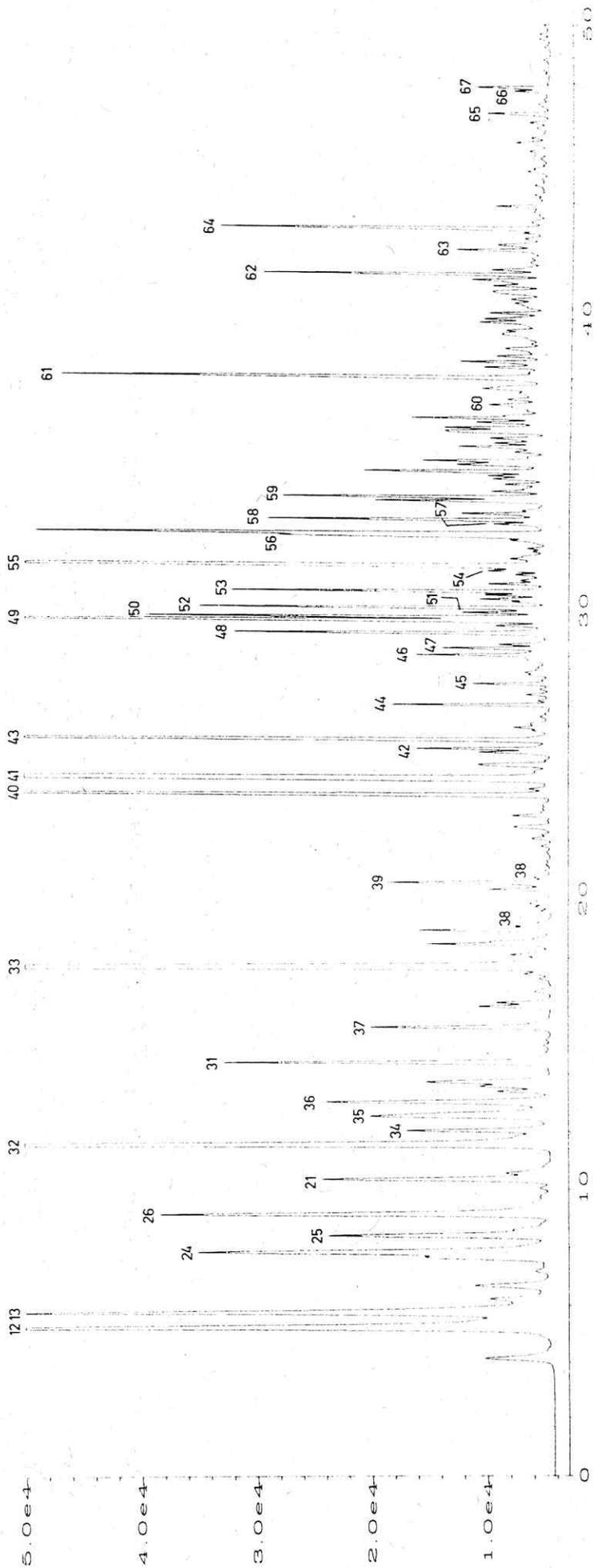
**Abb. 10: FID - Chromatogramm der an CARBOXEN 569 angereicherten Verbindungen**

**Probe**

Ort: innerstädtischer Meßpunkt  
 Volumen: 12 Liter  
 Ansaugrate: 20 ml/min  
 Probenahmezeit: 31.01.1996, 07.00 - 17.00 Uhr

**Chromatographie**

Desorption : 390°C - 5min - 6ml/min He  
 Trennkapillare : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - PLOT (30m\*0.53mm)  
 Temp.-programm : 30°C(3.5min) - 4°C/min - 200°C(10min)  
 Detektion : FID



**Abb. 11: FID - Chromatogramm der an CARBOTRAP / CARBOTRAP C angereicherten Verbindungen**

**Probe**

Ort: innerstädtischer Meßpunkt  
 Volumen: 12 Liter  
 Ansaugrate: 20 ml/min  
 Probenahmezeit: 31.01.1996, 07.00 - 17.00 Uhr

**Chromatographie**

Desorption : 390°C - 5min - 4ml/min He  
 Trennkapillare : DB-1 (60m\*0.32mm\*1µm)  
 Temp.-programm : 30°C(4min) - 3°C/min - 280°C(10min)  
 Detektion : Paralleldetektion FID / MSD

**Tab. 7: Zusammenstellung der identifizierten Probeinhaltsstoffe**

Peak-Nr.	Verbindung	Peak-Nr.	Verbindung
1	Methan	35	2-Methyl-Hexan
2	Ethan	36	3-Methyl-Hexan
3	Ethen	37	Methyl-Cyclohexan
4	Propan	38	Hexanal
5	Propen	39	n-Octan
6	Isobutan	40	Ethylbenzol
7	n-Butan	41	m-/p-Xylol
8	trans-2-Buten	42	Styrol
9	1-Buten	43	o-Xylol
10	Cyclopentan	44	n-Nonan
11	Isobuten	45	Isopropylbenzol
12	Isopentan	46	Benzaldehyd
13	n-Pentan	47	$\alpha$ -Pinen
14	1,3-Butadien	48	n-Propylbenzol
15	Propin	49	3-Methyl-Ethylbenzol
16	Cyclopenten	50	4-Methyl-Ethylbenzol
17	2-Methyl-2-Buten	51	Phenol
18	trans-2-Penten	52	1,3,5-Trimethyl-Benzol
19	2-Methyl-1-Buten	53	2-Methyl-Ethylbenzol
20	1-Penten	54	Octanal
21	Methyl-Cyclopentan	55	1,2,4-Trimethyl-Benzol
22	2,2-Dimethyl-Butan	56	n-Decan
23	cis-2-Penten	57	$\Delta^3$ -Caren
24	2-Methyl-Pentan	58	1,2,3-Trimethyl-Benzol
25	3-Methyl-Pentan	59	Limonen
26	n-Hexan	60	Nonanal
27	Isopren	61	n-Undecan
28	1-Butin	62	Naphthalin
29	1,1,2-Trichlorethylen	63	Decanal
30	1-Hexen / Furan	64	n-Dodecan
31	n-Heptan	65	2-Methyl-Naphthalin
32	Benzol	66	1-Methyl-Naphthalin
33	Toluol	67	n-Tridecan
34	Cyclohexan		

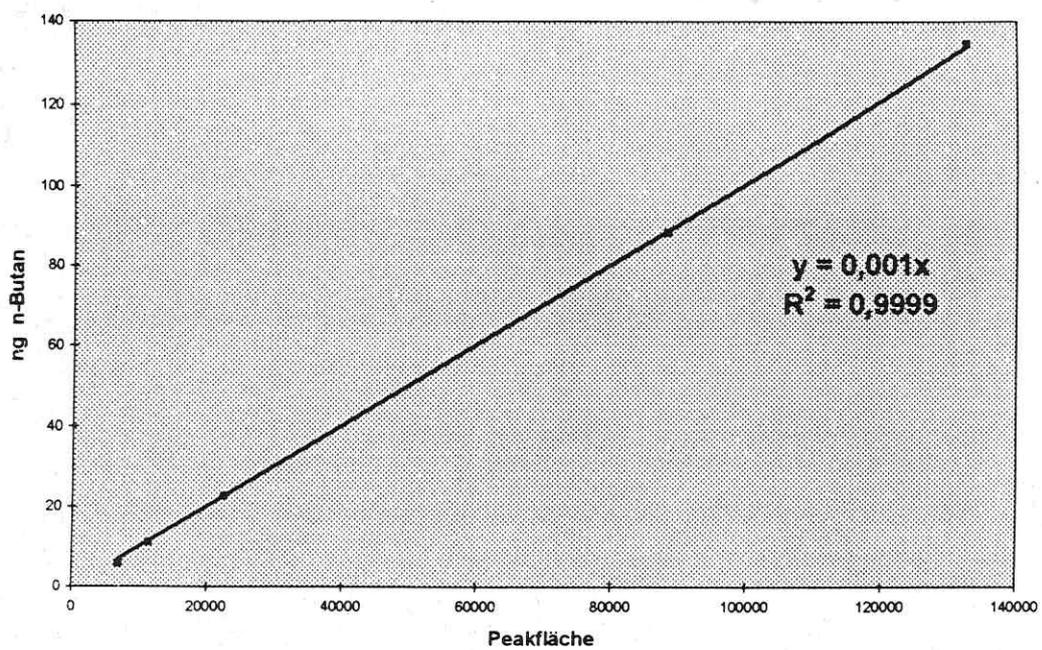
### 3. 1. 5. 5. Quantitative Analyse

Die quantitative Bestimmung der Einzelkomponenten erfolgte nach gaschromatographischer Auftrennung und Detektion am FID anhand ausgewählter, externer Standards. Diese Methode wurde dem Arbeiten mit einem internen Standard aus zwei Gründen vorgezogen. Zum einen steht momentan noch kein praktikabler Weg zum reproduzierbaren Dotieren der Probenahmeröhrchen mit Standardverbindungen in den erforderlichen, niedrigen Konzentrationen zur Verfügung, ohne eine Kontamination der Probe bzw. Probeverluste zu riskieren. Andererseits steht die Komplexität der erzielten Chromatogramme der Forderung entgegen, den internen Standard überlagerungsfrei eluieren zu können.

Aufgrund der komplexen Zusammensetzung der Immissionsproben und der daraus resultierenden unterschiedlichen Analysenparameter für die auf beiden Röhren angereicherten Teilproben wurden zum Erstellen der Kalibriergeraden ebenfalls unterschiedliche, der Flüchtigkeit der jeweiligen Teilprobe entsprechende Kohlenwasserstoffe als Standardverbindungen verwendet (n-Butan zur Kalibration auf Carboxen 569; Benzol zur Kalibration auf dem Kombiröhrchen). Diese wurden auch dahingehend ausgewählt, daß ihr FID-Response möglichst hoch ist. Die Folge hiervon ist, daß für sämtliche Komponenten mit einem niedrigeren FID-Response als dem der jeweiligen Standardverbindung - insbesondere gilt dies für Heteroverbindungen mit großen Korrekturfaktoren - zu niedrige Gehalte ermittelt werden. Dies ist bei einer Wertung der quantitativen Resultate unbedingt zu berücksichtigen. Die exakte Bestimmung der FID-Korrekturfaktoren aller identifizierten Einzelverbindungen war nicht möglich, da lediglich ein Teil der Verbindungen als Reinsubstanz zur Verfügung stand; ebenso wäre der immense Meßaufwand für derartige Bestimmungen nicht zu rechtfertigen gewesen.

Zur externen Kalibration wurden mit Hilfe einer eigens angefertigten Gasdosierstation Kalibrierröhrchen mit bekannten Gehalten an Referenzsubstanz präpariert, die anschließend unter den gleichen Bedingungen wie die Probe selbst desorbiert, aufgetrennt und am FID detektiert wurden. Als Referenzsubstanzen wurden zertifizierte Prüfgase der Firma Linde mit einem Gehalt von 10 ng / ml n-Butan bzw. Benzol in Stickstoff genutzt.

Zur Absicherung der Stabilität des FID-Signals wurde wöchentlich einmal eine komplette Kalibriergerade erstellt sowie täglich vor Beginn der Messungen eine Einpunkt-Kalibration ausgeführt. Die hierbei im zu erwartenden Konzentrationsbereich aufgenommenen Kalibriergeraden weisen eine sehr gute Korrelation auf (**Abb. 12**); der FID-Response zeichnete sich über die gesamten Meßperioden hinweg durch eine gute Stabilität aus.



**Abb. 12:** Kalibrierfunktion zur Quantifizierung der an CO 569 angereicherten Verbindungen; Referenzsubstanz n - Butan

### 3. 2. Zusammenstellung der erhaltenen Meßwerte und Diskussion

Alle Meßergebnisse und Darstellungen, auf die in Abschnitt 3. 2. verwiesen wird, sind im **Anhang** zusammengefaßt.

Das erarbeitete Bestimmungsverfahren gestattet die richtige und reproduzierbare qualitative und quantitative Erfassung flüchtiger organischer Verbindungen im Bereich von Propen bis Hexadecan. Methan, Ethan, Ethylen und Propan, Aldehyde und Ketone im Bereich von C1 bis C5 sowie niedermolekulare Carbonsäuren werden nicht bzw. nicht quantitativ erfaßt.

Aus der Vielzahl identifizierter Einzelverbindungen wurden mehr als 60 Komponenten in die quantitativen Bestimmungen einbezogen. Bei den Meßwerten handelt es sich um 10 - Stunden - Mittelwerte; die Probenahme wurde jeweils von 07:00 bis 17:00 Uhr durchgeführt. Die Meßwerte sind in **Anhang I - IX** für die jeweiligen Probenahmeorte und Meßkampagnen dargestellt, wobei für die Wintermeßkampagne 1995/96 nach nochmaliger Optimierung der analytischen Parameter die bis dahin aufgetretenen Peaküberlagerungen von Propen/Isobutan, 1-Buten/Cyclopentan und Isobuten/Isopentan eliminiert sowie einige zusätzliche Verbindungen quantifiziert werden konnten. Vergleichende Aussagen zwischen den einzelnen Meßkampagnen beziehen sich jedoch immer auf das für die Meßkampagnen Winter 1994/95 bzw. Sommer 1995 angegebene Substanzspektrum.

#### 3. 2. 1. Nachgewiesene Verbindungen

##### Kohlenwasserstoffe

Das Spektrum der nachgewiesenen Verbindungen ist an allen drei Meßpunkten - mit wenigen Ausnahmen - in etwa identisch. Der dominierende Anteil der identifizierten Verbindungen ist dabei der Substanzklasse der Kohlenwasserstoffe zuzuordnen, wobei abgesichert werden konnte, daß die in den Immissionsproben in Konzentrationen von mehr als  $0.5 \mu\text{g} / \text{m}^3$  enthaltenen Kohlenwasserstoffe auch ausnahmslos erfaßt und quantifiziert wurden. Dies gilt nicht für Methan, Ethan, Propan, Ethen und Ethin, die nicht quantitativ angereichert werden konnten.

In den Proben wurden **n-Alkane** im Bereich von Methan bis Hexadecan mit lokal und saisonal stark variierenden Anteilen nachgewiesen, wobei Butan, Pentan und Hexan sowie Decan, Undecan und Dodecan mehrfach in z. T. hohen Konzentrationen gefunden wurden (um  $25 \mu\text{g} / \text{m}^3$  mit einem Spitzenwert von  $65 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ).

In der Gruppe der **iso-Alkane** dominieren leichter flüchtige Verbindungen (isomere C4 - C7 Kohlenwasserstoffe); höhere Homologe sind nur noch partiell als Spuren nachweisbar.

Ungesättigte, z. T. verzweigte **Alkene und Alkine** anthropogenen Ursprungs finden sich lediglich im Konzentrationsbereich von  $0.1 - 2 \mu\text{g} / \text{m}^3$  mit Ausnahme von Propen, für das Maxima der Tagesmittelwerte von bis zu  $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$  gemessen wurden. Auch hier dominieren niedermolekulare Verbindungen bis etwa C6. Mehrfach ungesättigte Alkene biogenen Ursprungs (Isopren und **Terpene**) wurden in allen Proben in stark schwankenden Konzentrationen bestimmt (Spitzenwerte für Limonen von bis zu  $65 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ), wobei eine eindeutige Korrelation des Auftretens dieser Verbindungen mit den Vegetationsperioden nicht nachgewiesen werden konnte.

Die **aromatischen Kohlenwasserstoffe** wurden von Benzol bis einschließlich der isomeren C3-Alkylbenzole lückenlos quantitativ erfaßt; das partielle Auftreten von Alkyларomaten mit C4-Seitenketten wurde nachgewiesen. Im Gegensatz zu den n-Alkanen sind die Verteilungsmuster der aromatischen Kohlenwasserstoffe von einer hohen lokalen und saisonalen Konstanz geprägt, was auf **nur eine** dominierende Emissionsquelle für diese Verbindungen schließen läßt (vgl. 3. 2. 5.). Hohe Konzentrationen wurden für Toluol (bis  $42 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ), Benzol (bis  $60 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ), Ethylbenzol und die isomeren Xylole ermittelt.

#### Heteroverbindungen

An **Sauerstoff-Heteroverbindungen** wurden Nonanal, Decanal, Benzaldehyd sowie Phenol bei sämtlichen Messungen quantitativ bestimmt. Leichtflüchtige Carbonylverbindungen sowie Carbonsäuren im Bereich von C1 bis C5 werden mit dem beschriebenen Anreicherungsverfahren zwar mit erfaßt, konnten an der verwendeten  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -PLOT-Kapillare jedoch nicht chromatographiert werden. Aufgrund des gewählten Quantifizierungsverfahrens (externe Kalibration anhand ausgewählter Referenzsubstanzen ohne Berücksichtigung von FID-Responsefaktoren) sind die heteroatomhaltigen Probeinhaltsstoffe mit Sicherheit minderbestimmt, so daß die angegebenen Werte nur als untere Grenze der realen Belastungssituation zu interpretieren sind. Dabei können die aliphatischen Aldehyde einerseits biogenen Quellen zugeordnet, andererseits jedoch auch als sekundäre Kontaminanten (Produkte der atmosphärischen Oxidation von Alkanen) betrachtet werden. Dagegen ist als Quelle für Benzaldehyd und Phenol die primäre Emission aus Verbrennungsprozessen anzusehen, wofür die stark schwankenden Gehalte in der Außenluft sprechen (Spitzenwerte für Phenol von bis zu  $55 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ). Der Eintrag dieser Verbindungen aus der atmosphärischen Oxidation von Benzol ist dagegen als gering einzuschätzen.

**Halogenierte Verbindungen** wurden in den Immissionsproben qualitativ nachgewiesen (mittels GC-MSD bzw. Vergleich von Retentionswerten), jedoch - mit Ausnahme von Methylenechlorid, für das ein FID-Responsefaktor ermittelt und in die Quantifizierung einbezogen wurde - nicht quantifiziert, da die hierfür erforderliche Kopplung von Thermodesorption, gaschromatographischer Trennung und Detektion mittels ECD nicht realisiert werden konnte. Folgende Verbindungen wurden in den Proben nachgewiesen:

- Dichlordifluor-Methan (R 12)
- Tetrachlor-Methan
- Dichlor-Methan
- 1,1-Dichlor-1,2,2,2-tetrafluor-Ethan (R 114)
- 1,1-Dichlor-Ethen
- 1,1,1-Trichlor-Ethen
- Chlorbenzol
- isomere Dichlorbenzole

### 3. 2. 2. Vergleich der Probenahmeorte

Während der Meßkampagnen wurden für die untersuchten Standorte charakteristische Muster der mittleren Schadstoffbelastung erhalten, die exemplarisch im **Anhang XV - XVII** für die Wintermessung 1996 graphisch dargestellt sind. Dabei ist das an den einzelnen Standorten nachgewiesene Spektrum an flüchtigen organischen Verbindungen nahezu identisch. Lediglich am Meßpunkt Deiwitzweg wurden mehrfach größere Mengen an 2-Butoxy-Ethanol detektiert. Diese Verbindung findet als Lösungsvermittler in Dispersionsfarbstoffen Anwendung und könnte daher aus Sanierungsaktivitäten im Umfeld dieser Probenahmestelle herrühren.

Dagegen sind die Konzentrationen der erfaßten Verbindungen an den untersuchten Standorten im Stadtgebiet unterschiedlich. Aufgrund der gewählten Probenahme- und Meßstrategie können die ermittelten Werte als über den Ort der eigentlichen Probenahme hinaus gültig und somit für den untersuchten Stadtstrukturtyp repräsentativ angesehen werden. Unterschiede im Verteilungsmuster von Probeinhaltsstoffen werden unter Punkt 3. 2. 5. gesondert besprochen.

Für eine generalisierte Bewertung der Belastung der untersuchten Standorte mit flüchtigen organischen Verbindungen wurden die mittleren Konzentrationen der quantifizierten Einzelverbindungen summiert und daraus die durchschnittliche Gesamtbelastung ermittelt (**Anhang XVIII**). Propan und Limonen wurden aus diesen Betrachtungen ausgeklammert, da die quantitative Erfassung von Propan nicht abgesichert werden konnte und es sich beim Limonen um eine Verbindung eindeutig biogenen Ursprungs handelt.

Die niedrigste durchschnittliche Gesamtbelastung wurde stets für den Probenahmeort Deiwitzweg ermittelt. Die innerstädtischen Meßpunkte Bernhardstraße und Brandvorwerkstraße weisen demgegenüber ein vergleichbar hohes Belastungspotential auf, das - saisonal weitgehend unbeeinflusst - um etwa 50 - 150% über der durchschnittlichen Gesamtbelastung am Meßpunkt Deiwitzweg liegt.

Die deutlich geringere Belastung des Neubaugebietes Grünau mit flüchtigen organischen Verbindungen entspricht den Erwartungen. Größere Kraftfahrzeugverkehrsströme bewegen sich nur zu den Hauptabfahrts- und -anfahrtszeiten morgens bzw. am frühen Abend durch das Wohngebiet. Die daraus resultierenden Spitzen verkehrsbedingter Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen können zwar um ein Vielfaches höher als der bestimmte Mittelwert liegen, ihr zeitlich begrenztes Auftreten relativiert jedoch den Einfluß auf die durchschnittliche Immissionsbelastung. Durch die Lage des Gebietes am Stadtrand ist außerdem eine bessere Frischluftzufuhr als in innerstädtischen Bereichen gewährleistet. Die lockere Bebauung läßt auch innerhalb der Wohnsiedlung einen weitgehend ungehinderten Luftaustausch zu und trägt damit wesentlich zur Vermeidung der Akkumulation von Schadstoffen in den unteren Luftschichten bei.

Die vergleichbaren Belastungswerte an den Standorten Brandvorwerkstraße und Bernhardstraße widerspiegeln die Ähnlichkeiten im stadtstrukturellen Umfeld der beiden Meßpunkte. Beide Standorte sind von der Nähe zu verkehrsreichen Straßen bzw. Kreuzungen sowie zusammenhängender Blockbebauung gekennzeichnet. Die besonders hohe Belastung von Straßen mit ausgeprägtem Schluchtprofil ist bekannt und wird in der Literatur beschrieben (POPP 1993). Dabei beeinflußt ein komplexes Gefüge von Faktoren den Grad der Immissionsbelastung. Als wesentliche Einflüsse sind das Verhältnis von Höhe der Bebauung zur Breite der Straße, die Lage zur Hauptwindrichtung und das Vorhandensein von Bebauungslücken zu nennen. Ebenso sind die Schadstoffkonzentrationen in starkem Maße von der Meßhöhe in der Schlucht abhängig (QIN & KOT 1993). Eine Wichtung dieser Einflußfaktoren im Hinblick auf die Immissionsbelastung der beiden innerstädtischen Probenahmeorte ist aufgrund der Komplexität ihres Wirkens nicht möglich. In gewisser Weise widerspricht jedoch die geringfügig höhere Belastung der Brandvorwerkstraße den Erwartungen, da die Bedingungen für Luftaustauschprozesse hier, verglichen mit dem Meßpunkt Bernhardstraße, als günstiger einzuschätzen sind. Insbesondere der Einfluß der südwestlich der Brandvorwerkstraße gelegenen, ausgedehnten Grünflächen des Auwaldes als Frischluftreservoir wirkt sich im Vergleich zur Bernhardstraße nicht positiv auf der Belastungssituation aus. Offenbar wirken andere Faktoren (z.B. ganztägig höheres Verkehrsaufkommen) kompensierend.

Unter Einbeziehung der unter 3. 2. 6. 3. näher besprochenen Vergleichsmessungen erscheint ein strenger Bezug der ermittelten Immissionsdaten auf abgegrenzte Stadtstrukturräume jedoch wenig sinnvoll. Da die emittierten VOC sofortigen Austausch- und Transportprozessen unterliegen, werden auch emissionsseitig wenig bedeutsame Strukturen rasch zu belasteten Arealen.

### 3. 2. 3. Saisonale Schwankungen

Die Gesamtbelastung der Atmosphäre mit flüchtigen organischen Verbindungen unterliegt erwartungsgemäß an allen drei Standorten saisonalen Schwankungen, wobei während der Sommermessungen etwa 50-80 % der im Winter ermittelten Gehalte gefunden wurden (vgl. **Anhang XVIII**). Diese Schwankungen betreffen in mehr oder weniger ausgeprägtem Maße alle detektierten Verbindungen; das Auftreten von Substanzen, die für eine bestimmte Jahreszeit typisch wären, konnte nicht beobachtet werden.

Als Ursachen für die nachgewiesenen saisonalen Schwankungen sind sowohl die unterschiedliche Emissionsstruktur im Sommer- und Winterhalbjahr als auch die verminderte Mächtigkeit der atmosphärischen Grenzschicht im Winter - und damit ein eingeschränktes Verteilungsvolumen für emittierte Verbindungen - zu berücksichtigen.

### 3. 2. 4. Korrelation mit klimatischen Faktoren

Während der Meßkampagnen wurden klimatische Daten mit den am Institut vorhandenen Geräten erhoben und nach Beendigung der Messungen mit den von Dr. Müller (Sektion Expositionsforschung des UFZ) bereitgestellten Daten komplettiert. Die zusammengefaßten Werte sind im **Anhang XII - XIV** dargestellt.

Trotz umfangreicher Auswertungen und Gegenüberstellungen der gemessenen Immissionskonzentrationen mit den Daten für Tagesmitteltemperatur und Windgeschwindigkeit sowie Windrichtung konnten keine signifikanten Korrelationen festgestellt werden. Besonders eingehend wurde der Einfluß der Windrichtung auf die am Standort Deiwitzweg ermittelten Gehalte untersucht, da die Vermutung bestand, daß bei Wind aus Nordost bis Ost das Wohngebiet Leipzig-Grünau einer zusätzlichen Belastung mit Schadstoffen ausgesetzt ist, die im innerstädtischen Bereich emittiert und bei entsprechender Wetterlage in Richtung Südwest bis West verfrachtet werden. Für diese Hypothese fanden sich zwar punktuelle Bestätigungen an ausgewählten Meßtagen, eine signifikante Korrelation zwischen der in Grünau gemessenen Schadstofflast und der vorherrschenden Windrichtung konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Aufgrund der Vielzahl möglicher Einflußfaktoren mit zum Teil gegenläufigen Auswirkungen auf die aktuelle Immissionssituation (Windgeschwindigkeit und -richtung, Niederschläge, Tagesmitteltemperatur, Sonneneinstrahlung, Verkehrsaufkommen, temporäre Emissionen) erscheint eine eindeutige Korrelation des Schadstoffgehalts mit einem einzelnen der genannten Parameter nicht möglich, sofern nicht eine grundlegende Dominanz des betreffenden Parameters angenommen werden kann. In dieser Hinsicht wäre perspektivisch das Verkehrsaufkommen mit der Immissionssituation zu korrelieren.

Einschränkend ist zu bemerken, daß während der drei Meßperioden stets mäßige, in ihrer Richtung wechselnde Winde auftraten, so daß austauscharme bzw. Inversionswetterlagen nicht erfaßt werden konnten. Aufgrund dessen kann zur Abhängigkeit der Immissionskonzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen von klimatischen Faktoren während derartiger "worst-case" Situationen keine gesicherte Aussage gemacht werden.

### 3. 2. 5. Zuordnung zu Emissionsquellen

Ein Ziel des Vorhabens war es, den Anteil der Emissionen aus dem Hausbrand auf der Basis einheimischer Braunkohle an der Gesamt-Immissionsbelastung des Leipziger Stadtgebiets abzuschätzen und die Auswirkungen der laufenden Energieträgerumstellung auf die Belastungssituation über einen längeren Zeitraum hinweg zu dokumentieren. Hierzu war vorgesehen, für Emissionen aus dem Hausbrand typische Leitkomponenten auszuwählen und diese in Immissionsproben analytisch zu charakterisieren.

Eine derartige Abschätzung konnte auch nach intensiven Bemühungen nicht vorgenommen werden, wofür zwei Gründe anzuführen sind, die erst während der Projektbearbeitung im Ergebnis einer Vielzahl von Einzelmessungen offenbar wurden und nunmehr zur sachgerechten Beurteilung der Emissions- und Immissionssituation im Großraum Leipzig einen wesentlichen Beitrag leisten:

Im Vorfeld der Untersuchungen wurde davon ausgegangen, daß sowohl der Straßenverkehr als auch - während der Heizperiode - der Hausbrand einen wesentlichen Beitrag zur Gesamt-Immissionsbelastung des Leipziger Stadtgebietes leisten. Da jedoch sowohl die Emissionen aus dem Hausbrand als auch diejenigen aus dem Straßenverkehr letztlich von prinzipiell ähnlich verlaufenden Verbrennungsprozessen fossiler Brennstoffe herrühren, ist es auch nach umfangreichen Voruntersuchungen und Literaturstudien nicht gelungen, eine oder mehrere Verbindungen als charakteristische Leitkomponente für **nur einen** der Verbrennungsprozesse zu benennen. Hierfür favorisierte Schwefel-Heteroverbindungen (Thiophen, Benzothiophen und Dibenzothiophen sowie deren alkylierte Derivate), die vom Berichtersteller in den Emissionen aus Braunkohle-Einzelfeuerstätten nachgewiesen wurden, konnten in den Immissionsproben auch bei Detektion mit dem MSD im hochempfindlichen single-ion-monitoring - Modus nicht nachgewiesen werden. Perspektivisch könnte diese Aufgabenstellung nochmals mit einem schwefelselektiven und hochempfindlichen Chemilumineszenzdetektor angegangen werden.

Nachdem es sich als nicht realisierbar erwiesen hatte, den Anteil von Emissionen aus dem Hausbrand an der Gesamtbelastung der Leipziger Atmosphäre anhand von Leitkomponenten

zu charakterisieren, wurde der Versuch unternommen, dieser Zielstellung durch den Vergleich normierter Verteilungsmuster ausgewählter Schadstoffgruppen näherzukommen. Basis dieser Überlegungen war einerseits die Kenntnis der relativen Gehalte von Kohlenwasserstoffen in Hausbrand-Emissionen, wie sie vom Berichtersteller im Rahmen des ÖKOR-Teilprojekts "Hausbrandemissionen" ermittelt wurden (KNOBLOCH 1993, ENGEWALD et al. 1993).

Andererseits war durch umfangreiche Immissionsmessungen an einer verkehrsreichen Kreuzung (Bayrischer Platz) außerhalb der Heizperiode ein verkehrstypisches Verteilungsmuster von Kohlenwasserstoffen erhalten worden. Da die Probenahme hierfür über einen Zeitraum von einer Stunde erfolgte, sollte das erhaltene Muster in etwa die damalige Zusammensetzung der Fahrzeugflotte widerspiegeln (Fahrzeuge mit Otto- bzw. Dieselmotoren, PKW, LKW).

Die erhaltenen Muster sind für ausgewählte aromatische Kohlenwasserstoffe in **Anhang XIX** gegenübergestellt. Auffallend ist die Dominanz von Benzol in den Emissionen aus dem Hausbrand, wogegen in den verkehrstypischen Immissionsproben Toluol die Konzentration von Benzol etwa um den Faktor 3 übersteigt. Daher wurde die Hypothese aufgestellt, daß sich ein zunehmender Anteil hausbrandbedingter Emissionen durch eine Verschiebung des Verhältnisses von Benzol zu Toluol zugunsten des Benzol dokumentieren sollte.

An den vom Berichtersteller während der Meßperioden untersuchten Immissionsproben konnte diese Hypothese nicht bestätigt werden, was jedoch möglicherweise primär auf die während der Meßkampagnen vorherrschenden, austauschreichen Wetterlagen zurückzuführen ist. Bei Immissionsmessungen während einer ausgeprägten winterlichen Inversionswetterlage in Halle/Saale wurden von POPP 1996 stark erhöhte Gehalte für Benzol im Vergleich zu Toluol ermittelt, was für obige Hypothese spricht.

Die Analyse der Verteilungsmuster von aromatischen Kohlenwasserstoffen und n-Alkanen in den untersuchten Immissionsproben aus dem Leipziger Stadtgebiet ergab für die Bewertung der Belastungssituation in Leipzig jedoch eine Reihe interessanter Resultate.

In **Anhang XX** sind die relativen Verteilungsmuster der aromatischen Kohlenwasserstoffe für die drei Probenahmeorte exemplarisch für die Meßperiode Winter 1995 graphisch dargestellt. Toluol stellt an allen drei Meßpunkten die Hauptkomponente der aromatischen Verbindungen dar, wogegen Benzol lediglich zwischen vierzig und fünfzig Prozent des Toluolgehaltes ausmacht. Augenfällig ist die fast völlige Deckungsgleichheit der Verteilungsprofile. Aus der Kongruenz dieser Profile läßt sich für das Leipziger Stadtgebiet im Fall der Aromaten die Existenz **einer** stark dominierenden Emissionsquelle ableiten. Aufgrund der ebenfalls guten Kongruenz mit dem eindeutig verkehrsbedingten Aromatenmuster am Bayrischen Platz ist diese Emissionsquelle mit Sicherheit im Kraftfahrzeugverkehr zu sehen. Dies gilt, infolge atmosphärischen Transports aus hochbelasteten Gebieten, auch für Areale, die von stark frequentierten Trassen scheinbar wenig beeinflusst sind, denn das im Ergebnis der

vergleichenden Probenahme im südlichen Leipziger Auwald gefundene Aromatenprofil deckt sich ebenfalls mit dem Muster der drei Langzeitmeßpunkte (vgl. 3. 2. 6. 3.).

**Anhang XXI** zeigt die Verteilungsmuster der n - Alkane. Aufgrund der differierenden Verteilung der Homologen (Hauptkomponenten sind n-Tridecan in Grünau, n-Decan in der Brandvorwerkstraße und n-Butan in der Bernhardstraße) an den untersuchten Standorten scheinen sie mehreren Emissionsquellen unterschiedlicher Wichtung zu entstammen.

In **Anhang XXII** sind die Konzentrationsverläufe für Benzol, Toluol sowie drei weitere Alkylbenzole an den untersuchten Probenahmeorten dargestellt. Für die Meßperiode vom 06.03. - 10.03.95 zeigen die Graphen an jedem der drei Meßpunkte ein konformes Monotonieverhalten. In der zweiten Probenahmewoche vom 13.03. - 17.03.95 ist besonders am Probenahmeort Bernhardstraße eine ausgeprägte Analogie der zeitlichen Änderung der Immissionskonzentrationen dieser Verbindungen zu erkennen. Die dargestellten Belastungstrends untermauern die oben aufgestellte These der Dominanz des Kraftfahrzeugverkehrs als Emissionsquelle aromatischer Kohlenwasserstoffe. Die weniger gute Korrelation der zeitlichen Verläufe der Immissionskonzentrationen von Benzol und Toluol in der zweiten Probenahmewoche in Grünau und der Brandvorwerkstraße kann mit dem zeitlich begrenzten Auftreten zusätzlicher Emissionsquellen erklärt werden, die jedoch nicht konkret lokalisiert werden konnten. So war einmalig am 15.03.95 am Probenahmeort Brandvorwerkstraße eine signifikant erhöhte Benzolkonzentration ( $60 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ) zu verzeichnen. Dieser Extremwert ging mit dem Erreichen eines Maximums der Toluolbelastung in dieser Woche konform, während andere aromatische Verbindungen keine bedeutende Abweichung vom Konzentrationsniveau der restlichen Probenahmetage zeigten.

Bei der Betrachtung der analogen Trenddarstellungen für ausgewählte n - Alkane (siehe **Anhang XXIII**) lassen sich kaum Korrelationen der Kurvenverläufe feststellen. Die Unterschiede in den Belastungstrends weisen darauf hin, daß im Falle dieser Verbindungsklasse offenbar keine einheitliche Emissionsquelle mit ausgeprägter Dominanz existiert.

Gleichlautende Befunde ergaben auch die Analysen der Verteilungsmuster und Belastungstrends aromatischer und aliphatischer Kohlenwasserstoffe für die Meßperioden Sommer 1995 und Winter 1996. Demnach belegen die durchgeführten Messungen eindeutig die dominierende Rolle des Straßenverkehrs als Quelle von luftgetragenen Schadstoffen an allen drei untersuchten Standorten im Stadtgebiet sowohl im Sommer- wie auch im Winterhalbjahr. Ein Einfluß des Hausbrandes auf die Immissionsbelastung mit flüchtigen organischen Verbindungen konnte selbst an den innerstädtischen Meßpunkten nicht belegt werden, da auch hier Emissionen aus dem Straßenverkehr das Spektrum der nachgewiesenen Verbindungen eindeutig bestimmen. Erschwerend auf eine Erfassung möglicherweise gegebener, geringer Beeinflussungen der Immissionssituation durch Hausbrandemissionen wirkten sich die während der Meßperioden gegebenen klimatischen Bedingungen aus.

Wechselnde Winde sorgten für eine rasche Verdünnung und einen zügigen Abtransport der lokal emittierten Verbindungen; eine winterliche Inversionswetterlage wurde nicht erfaßt.

### **3. 2. 6. Bewertung der Belastungssituation**

#### **3. 2. 6. 1. Toxikologische Relevanz der nachgewiesenen Verbindungen**

Unter den nachgewiesenen Verbindungen finden sich einige Substanzen, deren Gefährdungspotential für die menschliche Gesundheit unumstritten ist. In erster Linie betrifft dies die als kanzerogen eingestufteten Stoffe Benzol (MAK IIIA1 - Stoffe, die erfahrungsgemäß beim Menschen bösartige Geschwülste zu verursachen vermögen) und 1,3-Butadien (MAK IIIA2 - Stoffe, die sich bislang nur im Tierversuch als eindeutig krebserregend erwiesen haben). Darüber hinaus wird in der jüngsten Literatur bereits über das Auftreten und den Nachweis von Hämoglobin-Addukten anderer niedermolekularer, ungesättigter Kohlenwasserstoffe bei beruflich exponierten Personen berichtet (NEUMANN 1994 und 1995). Addukte von Schadstoffen an Hämoglobin werden als biochemische Marker einer vom Körper aufgenommenen, bereits biologisch wirksamen Dosis des betreffenden Schadstoffs angesehen. Einige reaktive, ungesättigte Kohlenwasserstoffe stehen weiterhin im Verdacht, als phytotoxische Agenzien negative Auswirkungen auf die Flora in betroffenen Arealen auszuüben (FRANK 1995).

Von den nachgewiesenen Verbindungen unterliegt lediglich das Benzol einer gesetzlichen Reglementierung im Immissionsbereich. Mit dem Inkrafttreten der 23. Bundesimmissionsschutzverordnung gilt ab 07/1995 bundesweit ein Immissionsgrenzwert für Benzol von  $15 \mu\text{g} / \text{m}^3$  (Jahresmittelwert). Es ist vorgesehen, diesen Wert ab 07/1998 auf  $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$  zu beschränken. Die Meßkampagnen an den Probenahmeorten Brandvorwerkstraße und Bernhardstraße ergaben mittlere Benzolkonzentrationen, die diesen kritischen Wert erreichen und teilweise überschreiten. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Messungen in 15 m Höhe über dem Erdboden ausgeführt wurden. Wie sich aus vergleichenden Messungen am Bayrischen Platz ableiten läßt, ist in 1 - 2 m Höhe über dem Erdboden ("Nasenhöhe") eine wesentlich höhere Benzolkonzentration zu erwarten. Folglich kann davon ausgegangen werden, daß im Untersuchungszeitraum die maximal zulässige Benzolkonzentration an beiden Standorten überschritten war.

Das toxikologische Gefährdungspotential aller anderen Verbindungen ist momentan derart zu bewerten, daß aufgrund der geringen Konzentrationen nach dem derzeitigen Stand des Wissens eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit nicht belegt werden kann. Hierbei sei nochmals darauf verwiesen, daß die vom Berichterstatter in 15 m Höhe ermittelten Gehalte an VOC als

repräsentativ für das untersuchte Areal anzusehen sind; die individuelle Belastung exponierter Personen in diesem Gebiet kann wesentlich über den angegebenen Werten liegen.

### 3. 2. 6. 2. Atmosphärenchemische Relevanz der nachgewiesenen Verbindungen

Flüchtige organische Verbindungen tragen zur Bildung von Photooxidantien in der Atmosphäre bei, die zu den wichtigsten sekundären Luftschadstoffen gehören. Dabei handelt es sich um Oxidationsmittel, die in der Atmosphäre auf photochemischem Wege gebildet werden und daher insbesondere in den Sommermonaten zur Ausbildung von photochemischen Smogperioden führen. Das wichtigste Photooxidans ist Ozon, daneben werden auch Peroxyacetylnitrat (PAN) sowie - in weitaus geringeren Mengen - Peroxypropionylnitrat und andere Verbindungen gebildet.

Im Gegensatz zur lebenserhaltenden Wirkung von stratosphärischem Ozon (Absorption kurzwelliger Anteile aus dem Sonnenspektrum) wirkt bodennahes Ozon in der Troposphäre wegen seiner stark oxidierenden Eigenschaften toxisch und ist in höheren Konzentrationen gesundheitsschädlich. Ozon steht zudem im Verdacht, als Phytogift an der Ausbildung von Waldschäden beteiligt zu sein.

Die Bildung von bodennahem Ozon ist eng an den troposphärischen Abbau von VOC - und hier insbesondere von reaktiven Kohlenwasserstoffen - gebunden. Dieser Abbau wird im wesentlichen durch eine Reaktion der Kohlenwasserstoffe mit Hydroxyl-Radikalen initiiert und führt zunächst zur Bildung von Alkyl-Peroxiradikalen, die ihrerseits in das photochemische Gleichgewicht zwischen NO und NO<sub>2</sub> (beide Schadgase sind wesentliche Inhaltsstoffe von Kraftfahrzeug-Emissionen) eingreifen und in einem mehrstufigen Reaktionsablauf zur zusätzlichen Bildung von Ozon führen.

Die diesbezügliche Reaktivität organischer Spezies variiert stark in Abhängigkeit von deren chemischer Struktur und kann anhand der entsprechenden Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten für die Reaktion mit OH-Radikalen abgeschätzt werden (WARNECK 1988). Speziell zur Quantifizierung der Ozonbildungskapazität wurden vom California Air Resources Board MIR-Werte ermittelt. Diese Maximum Incremental Reactivity gibt an, wieviel Gramm Ozon beim atmosphärischen Abbau von einem Gramm der betreffenden organischen Verbindung unter definierten Bedingungen gebildet werden können, wobei die gewählten Bedingungen denen einer Innenstadtatmosphäre während einer Smogperiode entsprechen. Bisher verfügbare MIR-Werte wurden uns von SCHÄFER 1993 zur Verfügung gestellt.

Durch Multiplikation der in den Immissionsproben ermittelten Gehalte einzelner Verbindungen mit den zugehörigen MIR-Werten läßt sich somit aus den Konzentrationsprofilen ein

Reaktivitätsprofil ausgewählter Verbindungen bezüglich ihrer maximalen Ozonbildungskapazität generieren.

In **Anhang XXIV** und **XXV** sind vergleichend die mittleren Schadstoffkonzentrationen und die daraus maximal resultierenden Ozongehalte am Beispiel des Meßpunktes Bernhardstraße dargestellt. Hinsichtlich der Ozonbildung verschieben sich die Belastungsspitzen bei den n - Alkanen in den Bereich der kurzkettigen Kohlenwasserstoffe, da sie mit MIR - Werten um 1 mg Ozon / mg Kohlenwasserstoff die größte Reaktivität besitzen. Ebenso tragen die verzweigten Aliphaten niedriger C - Zahlen wesentlich zur Ozonbildung bei, während die länger-kettigen n - Alkane nur eine geringe Reaktivität zeigen.

Eine äußerst reaktive Substanzklasse sind die ungesättigten Verbindungen. Auch hier haben die kurzkettigen Homologen die größten Ozonbildungspotentiale. Diese Olefine, die in Konzentrationen um 1 µg / m<sup>3</sup> in den Immissionsproben enthalten waren, verursachen anteilig wesentlich mehr Ozon als einige Komponenten, wie z.B. die n - Alkane von Decan bis Hexadecan, die um ein Vielfaches höher konzentriert in den Proben vorlagen.

Eine ähnliche Situation liegt bei den aromatischen Kohlenwasserstoffen vor. Während die beiden Hauptkomponenten Benzol und Toluol bei der Abschätzung ihres Beitrages zur Ozonbildung an Bedeutung verlieren, treten andere, in geringeren Konzentrationen enthaltene Komponenten mit höherer Reaktivität in den Vordergrund. Dies ist besonders für die isomeren Trimethylbenzole der Fall.

Die Einbeziehung der atmosphärenchemischen Reaktivität der erfaßten Verbindungen in die auswertenden Betrachtungen unterstreicht nachdrücklich die Notwendigkeit, quantitative Bestimmungen flüchtiger organischer Verbindungen in Immissionsproben nicht auf wenige Hauptkomponenten zu beschränken. Durch sie wird die Belastungssituation nicht ausreichend charakterisiert. Die Einbeziehung reaktiver Spurenstoffe ist für eine objektive Einschätzung der Luftqualität unerlässlich.

### **3. 2. 6. 3. Vergleichsmessungen**

Im Zuge von Untersuchungen zur Zuordnung von Emissionsquellen sowie zur Regionalisierbarkeit der gewonnenen Werte wurden Vergleichsmessungen an einer stark verkehrsbelasteten Kreuzung (Bayrischer Platz) sowie einem als naturnah eingeschätzten Areal (Leipziger Auwald) durchgeführt.

Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen am Bayrischen Platz liegen erwartungsgemäß um ein Vielfaches über den Mittelwerten der Immissionskonzentrationen an den drei Langzeitprobenahmeorten. Sie charakterisieren einen Standort besonders hoher Belastung durch verkehrsbedingte Emissionen. Die Bebauung des Kreuzungsbereiches ist zwar locker, aber die hohe Verkehrsdichte muß zwangsläufig zu hohen Immissionskonzentrationen führen.

Diese Messungen wurden in ca. 1 m Höhe vorgenommen; die Ergebnisse sind in **Anhang X** zusammengefaßt.

Um eine grobe Abschätzung des für Leipzig typischen Grundbelastungsniveaus an flüchtigen organischen Verbindungen in der Luft vornehmen zu können, wurde eine stichprobenartige Messung im südlichen Auwald durchgeführt (Kurzzeitmessung direkt im bewaldeten Areal in 1 m Höhe, mehr als 100 m von der nächsten Straße entfernt). Der Vergleich der dabei erhaltenen Meßwerte (**Anhang X**) mit den Mittelwerten der drei länger beprobten Orte im Stadtgebiet führt zu dem Ergebnis, daß die Belastungsniveaus in Grünau und im südlichen Auwald in etwa einander entsprechen. Das läßt den Schluß zu, daß im gesamten Stadtrandgebiet eine gleichmäßig hohe Grundbelastung an organischen Luftschadstoffen angetroffen wird, die durch Transportprozesse aus stärker belasteten Arealen verursacht wird. Demnach ist in ausreichender Nähe zum Leipziger Stadtgebiet der Grad der Urbanisierung der Landschaft nicht mehr als entscheidendes Kriterium für die Belastung mit organischen Luftschadstoffen anzusehen.

Es kann generell eingeschätzt werden, daß innerstädtische Gebiete um den Faktor 1.5 - 2 stärker durch Immissionen flüchtiger organischer Verbindungen belastet sind als das Leipziger Stadtumland.

### **3. 2. 6. 4. Innenraummessungen**

Um die Ergebnisse der Immissionsmessungen zu relativieren und der Tatsache Rechnung zu tragen, daß sich der Mensch in Mitteleuropa durchschnittlich 90 % des Tages in geschlossenen Räumen aufhält, wurden an den drei Probenahmeorten exemplarisch Innenraummessungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Kurzzeitmessungen (Probenahmezeit jeweils 25 min) sind in **Anhang XI** zusammengefaßt und bestätigen eindrucksvoll die Einschätzung, daß in vielen Fällen mit einer wesentlich höheren Schadstoffbelastung in Innenräumen als in der Außenluft zu rechnen ist.

Da die Aussagekraft dieser stichprobenartigen Messungen stark eingeschränkt ist, soll auf eine eingehende Besprechung der Resultate verzichtet und in **Tab. 8** lediglich die starke Abhängigkeit der Innenraumbelastung von raumklimatischen Faktoren und vom vorhandenen Heizungstyp dargestellt werden:

**Tab. 8: Bedingungen und Ergebnisse der Innenraummessungen**

	<b>Deiwitzweg</b>	<b>Brandvorwerkstraße</b>	<b>Bernhardstraße</b>
Wohnungstyp	Plattenbau	unsanierter Altbau	unsanierter Altbau
Heizungstyp	Fernheizung	Einzelofenheizung (Berliner Ofen)	Einzelofenheizung (Berliner Ofen)
Tag der Probenahme	28.02.1996	15.02.1996	15.02.1996
Raumtemperatur bei Probenahme	21 °C	21 °C	12 °C (das Zimmer wurde seit mehreren Wochen nicht beheizt)
summarische Innenraumbelastung mit VOC	272 µg / m <sup>3</sup>	763 µg / m <sup>3</sup>	132 µg / m <sup>3</sup>
mittlere Immissionsbelastung der Außenluft am Standort (Wintermeßperiode 1996)	137 µg / m <sup>3</sup>	214 µg / m <sup>3</sup>	186 µg / m <sup>3</sup>

### 3. 2. 6. 5. Schlußfolgerungen und Perspektiven

Im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen ist festzustellen, daß die Immissionsbelastung mit flüchtigen organischen Luftschadstoffen im Leipziger Stadtgebiet maßgeblich durch den Kraftfahrzeugverkehr bestimmt wird. Ein wesentlicher Anteil des Hausbrandes an der Gesamt-Immissionsbelastung des Leipziger Stadtgebiets mit VOC konnte nicht nachgewiesen werden. Durch die fortschreitende Ablösung der bisher vorrangig zu Heizzwecken eingesetzten Braunkohle zugunsten anderer Energieträger (Heizöl, Erdgas) wird dieser Befund auch für die Zukunft festgeschrieben. Das Niveau der im Leipziger Stadtgebiet ermittelten Immissionskonzentrationen ist dem anderer europäischer Großstädte vergleichbar (CICCIOLI et al. 1992, HASSOUN et al. 1994, COURISMAULT et al. 1993, DOLLARD et al. 1995). Entsprechend der Dominanz des Kraftfahrzeugverkehrs als Quelle luftgetragener Schadstoffe leiten sich die folgende Zielstellungen und Handlungsempfehlungen ab:

- Eine effektive Verringerung der Belastung der Luft mit flüchtigen organischen Verbindungen ist grundsätzlich nur dann möglich, wenn für die Stadt Leipzig ein Verkehrskonzept praktisch umgesetzt wird, welches private Kraftfahrzeuge in dem Maße unattraktiv macht, wie der öffentliche Nahverkehr an Attraktivität gewinnt. Die drastische Reduzierung der Zahl der Emittenten stellt auf lange Sicht die einzige Möglichkeit zur nachhaltigen Verbesserung der Immissionsituation dar.
- Bis zur Umsetzung eines solchen Konzeptes bieten sich zur Minderung lokaler Extremwerte der Immissionsbelastung folgende Maßnahmen an:
  1. Um die Belastungssituation entlang der meistbefahrenen Trassen im Stadtgebiet zu entschärfen, ist die weitgehende Dezentralisierung des Kraftfahrzeugverkehrs anzustreben. Verkehrsleitsystemen und andere verkehrstechnische Mittel müssen auf ihre diesbezügliche Tauglichkeit geprüft werden.
  2. Die Art der Bebauung entlang eines Verkehrsweges und der Grad seiner Nutzung für den Kraftfahrzeugverkehr müssen miteinander in Korrelation gebracht werden. Während Straßen, deren Bebauung einen intensiven Luftaustausch zuläßt, ein höheres Verkehrsaufkommen verkraften, ohne daß die Immissionswerte extrem ansteigen, führt eine Fahrzeugkonzentration auf Verkehrswegen mit ausgeprägtem "Straßenschlucht" - Charakter zu entsprechend größeren Schadstoffkonzentrationen. Diese Tatsache muß bei der Führung der Verkehrsströme Berücksichtigung finden.
  3. Die Herstellung einer Kompatibilität zwischen individuellem Kraftfahrzeugverkehr und öffentlichen Verkehrsmitteln mit dem Ziel des problemlosen Umstiegs auf Beförderungsmittel des öffentlichen Nahverkehrs in Stadtrandgebieten kann ebenfalls zur Verbesserung der Immissionssituation in Leipzig beitragen. Das in Ansätzen bereits vorhandene "Park - and - Ride" - System ist in diesem Sinne noch ausbaufähig.

## 4. Zusammenfassung

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wurden Untersuchungen zur Immissionsbelastung der Außenluft mit flüchtigen organischen Verbindungen im Leipziger Stadtgebiet durchgeführt und in Bezug zur Flächennutzung der untersuchten Stadtstrukturen gesetzt.

Hierzu wurde eine Probenahme- und Analysenmethode entwickelt, erprobt und eingesetzt, die die reproduzierbare und richtige Bestimmung eines breiten Spektrums von flüchtigen organischen Verbindungen im Immissionsbereich gestattet.

Zur Beprobung wurden drei Meßpunkte, die sich in ihrer Bebauungsstruktur, dem Verkehrsaufkommen und dem vorherrschenden Heizungstyp wesentlich unterscheiden derart ausgewählt, daß sie zueinander annähernd auf einer Linie, die durch die Hauptwindrichtung von Südwest nach Nordost vorgegeben wird, liegen. Ebenfalls wurde die vom UFZ vorgegebene Transekt bei der Auswahl der Meßpunkte berücksichtigt.

Der Probenahmeort Deiwitzweg liegt im größten Leipziger Neubaugebiet Grünau. Charakteristisch für dieses Gebiet sind die Stadtrandlage, die lockere Bebauung, das nur zeitweilig hohe Verkehrsaufkommen (Berufsverkehr morgens und abends) sowie fehlende Hausbrand - Emissionsquellen. Die Probenahmeorte Brandvorwerkstraße in der Südvorstadt und Bernhardstraße im Stadtteil Reudnitz sind durch ihre alte Bausubstanz in Blockbauweise, teilweise ausgeprägten Straßenschluchtcharakter und ganztägig hohes Verkehrsaufkommen gekennzeichnet. Außerdem wird im Gegensatz zum Meßpunkt in Grünau ein bedeutender Teil der Wohnungen noch in Einzelfeuerstätten mit Braunkohle beheizt.

Die Meßstrategie wurde so angelegt, daß eine möglichst hohe Repräsentanz der Befunde über den Ort der eigentlichen Probenahme hinaus erzielt wurde, womit die Basis für einen Vergleich der simultan an drei Orten im Stadtgebiet erhaltenen, durchschnittlichen Belastungswerte gegeben ist. Die individuelle Belastung exponierter Personen in den untersuchten Gebieten kann wesentlich über den ermittelten Werten liegen.

Die Probenahme erfolgte durch adsorptive Anreicherung der Analyten an hydrophoben Adsorbentien, wobei die Komplexität der Immissionsproben den Einsatz mehrerer, in Reihenfolge zunehmender Adsorptionskraft seriell angeordneter Adsorbentien erforderte. Die dadurch schon während der Probenahme erzielte Vorfraktionierung der Analyten trug wesentlich zur Verringerung der Komplexität der gaschromatographisch zu trennenden

Stoffgemische bei und bewirkt weiterhin, daß die einzelnen Adsorbentien ausschließlich mit solchen Substanzen beladen werden, die auch quantitativ desorbiert werden können.

Nach dem Entfernen von Restfeuchte durch Spülen der belegten Probenahmeröhrchen im Inertgasstrom erfolgte der Probetransfer in den Gaschromatographen mittels thermischer Desorption ohne Kryofokussierung der desorbierten Analyten am Säulenanfang. Zur optimalen Ausnutzung der Trenneffizienz der eingesetzten Kapillarsäulen wurde ein zweistufiges Desorptionsverfahren eingesetzt.

Die Detektion der getrennten Einzelverbindungen erfolgte mittels FID und MSD, wobei die zweifelsfreie Identifizierung einer Vielzahl von Verbindungen durch Kombination der Informationen aus der GC-MS-Kopplung und chromatographischen Retentionsdaten sichergestellt werden konnte.

Aus dem Spektrum identifizierter Einzelverbindungen (n- und iso-Alkane, Alkene, aromatische Kohlenwasserstoffe, Sauerstoff-Heteroverbindungen sowie halogenierte Verbindungen) wurden mehr als 60 Spezies in quantitative Untersuchungen einbezogen und im unteren ppb(V)- bzw. im ppt(V)-Bereich bestimmt. Dabei erfolgte die Quantifizierung nach der Methode des externen Standards anhand ausgewählter Referenzverbindungen.

Während jeweils zweiwöchiger Meßkampagnen, die im Winter 1994/95, im Sommer 1995 und im Winter 1995/96 durchgeführt wurden, konnten für die untersuchten Standorte charakteristische Muster der mittleren Belastung mit VOC erhalten werden. Dabei ist das an den einzelnen Standorten nachgewiesene Substanzspektrum weitgehend identisch, wohingegen die Konzentrationen der erfaßten Verbindungen an den untersuchten Standorten zum Teil stark variieren.

Unter Einbeziehung der Ergebnisse von Vergleichsmessungen, die an einer stark verkehrsbelasteten Kreuzung und einem naturnahen Areal vorgenommen wurden, kann generell eingeschätzt werden, daß die innerstädtischen Gebiete um den Faktor 1.5 - 2 stärker durch Immissionen flüchtiger organischer Verbindungen belastet sind als Stadtrandlagen, wozu im weitesten Sinne auch das Wohngebiet Grünau gezählt werden kann.

Ein strenger Bezug der ermittelten Immissionsdaten auf abgegrenzte Stadtstrukturräume erscheint wenig sinnvoll, da die emittierten VOC sofortigen Austausch- und Transportvorgängen unterliegen, wodurch auch emissionsseitig wenig bedeutsame Strukturen rasch zu belasteten Gebieten werden.

Die Grundbelastung der Atmosphäre in den Stadtrandlagen von Leipzig ist aufgrund atmosphärischer Transportprozesse als gleichbleibend hoch einzuschätzen. Folglich ist in ausreichender Nähe zum Leipziger Stadtgebiet der Grad der Urbanisierung der Landschaft nicht mehr als entscheidendes Kriterium für die Belastung der Atmosphäre mit organischen Schadstoffen anzusehen.

Die relativen Verteilungsmuster und Belastungstrends ausgewählter Kohlenwasserstoffe in den untersuchten Immissionsproben belegen, daß die Immissionsbelastung mit flüchtigen organischen Luftschadstoffen im Leipziger Stadtgebiet maßgeblich durch den Kraftfahrzeugverkehr bestimmt wird. Ein wesentlicher Anteil des Hausbrandes an der Gesamt-Immissionsbelastung des Leipziger Stadtgebiets mit VOC konnte nicht nachgewiesen werden. Durch die fortschreitende Ablösung der bisher vorrangig zu Heizzwecken eingesetzten Braunkohle zugunsten anderer Energieträger (Heizöl, Erdgas) wird dieser Befund auch für die Zukunft festgeschrieben. Das Niveau der im Leipziger Stadtgebiet ermittelten Immissionskonzentrationen ist mit dem anderer europäischer Großstädte vergleichbar.

Entsprechend der Dominanz des Kraftfahrzeugverkehrs als Quelle luftgetragener Schadstoffe ist eine effektive Verringerung der Belastung der Luft mit flüchtigen organischen Verbindungen grundsätzlich nur dann möglich, wenn für die Stadt Leipzig ein Verkehrskonzept praktisch umgesetzt wird, welches private Kraftfahrzeuge in dem Maße unattraktiv macht, wie der öffentliche Nahverkehr an Attraktivität gewinnt. Die drastische Einschränkung der Zahl der Emittenten stellt auf lange Sicht die einzige Möglichkeit zur nachhaltigen Verbesserung der Immissionssituation dar.

## 5. Literaturverzeichnis

- BROWN, R. H., PURNELL, C. J. (1979) *J. Chromatogr.* 178: 79-90
- BRUINSMA, O. S. L. et al. (1988) *Fuel* 67: 334-340
- CAMEL, V., CAUDE, M. (1995) *J. Chromatogr.* 710: 3-19
- CECINATO, A., CICCIOLO, P. (1995) *Annali di Chimica* 85: 109-129
- CICCIOLO, P. et al. (1986) *J. Chromatogr.* 349: 433-449
- CICCIOLO, P. et al. (1992) *J. High Resol. Chromatogr.* 15: 75-84
- COURISMAULT, A. et al. (1993) In: LESLIE, G., PERRY, R. (Hrsg.): *Proceedings of the International Conference "Volatile Organic Compounds in the Environment"*. Indoor Air International. London
- COX, R. D., EARP, R. F. (1982) *Anal. Chem.* 54: 2265-2272
- DOLLARD, G. J. et al. (1995) In: HESTER, R. E., HARRISON, R. M. (Hrsg.): *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere. Issues in Environmental Science and Technology 4*. The Royal Society of Chemistry. Cambridge
- DOSKEY, P. V. (1991) *J. High Resol. Chromatogr.* 14: 724-728
- EHRlich, C., KALKOFF, W.-D. (1993) In: VDI (Hrsg.): *Aktuelle Aufgaben der Meßtechnik in der Luftreinhaltung*. VDI-Berichte 1059. VDI-Verlag. Düsseldorf
- ENGEWALD, W. et al. (1993) *UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox.* 5: 303-308
- ENGEWALD, W. et al. (1994) In: VDI (Hrsg.): *Luftreinhaltung im Strukturwandel von Energie und Verkehr*. VDI-Berichte 1110. VDI-Verlag. Düsseldorf
- FIGGE, K. et al. (1987) *Fres. J. Anal. Chem.* 327: 261-278
- FRANK, H. (1995) Vortrag auf der Jahrestagung des AK Chromatographie der GDCh. Leipzig
- GRIMMER, G. et al. (1982) *Fres. J. Anal. Chem.* 311: 475-484
- GRIMMER, G. et al. (1983) *Anal. Chem.* 55: 892-900
- GRIMMER, G. et al. (1985) *Fres. J. Anal. Chem.* 322: 595-602
- HASSOUN, S. et al. (1994) In: SANDRA, P., DEVOS, G. (Hrsg.): *Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Symposium on Capillary Chromatography*. Hüthig-Verlag. Heidelberg
- KLOCKOW, D. (1987) *Fres. Z. Anal. Chem.* 326: 5-24

- KNOBLOCH, T. (1993) Dissertation. Universität Leipzig
- KNOBLOCH, T. et al. (1993) In: SUPELCO Deutschland GmbH (Hrsg.): Themen der Umweltanalytik. VCH. Weinheim
- KNOBLOCH, T., ENGEWALD, W. (1993) J. High Resol. Chromatogr. 16: 239-242
- KNOBLOCH, T., ENGEWALD, W. (1995) J. High Resol. Chromatogr. 18: 635-642
- LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (1996): Monatsberichte zur Immissionssituation. Radebeul
- LEE, M. L. et al. (1976) Anal. Chem. 48: 1566-1572
- MORISKE, H.-J. et al. (1985) Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B 181: 240-271
- MORISKE, H.-J. et al. (1987) Zbl. Bakt. Hyg. B 185: 72-104
- MORISKE, H.-J. et al. (1988) Chemosphere 17: 1167-1181
- NEUMANN, H.-G. (1994) In: MARQUARDT, H., SCHÄFER, S. G.: Lehrbuch der Toxikologie. BI-Wissenschaftsverlag. Mannheim
- NEUMANN, H.-G. (1995) Universität Würzburg, persönliche Mitteilung
- POPP, P. (1993) Erfassung und Bewertung der Immissionssituation an Leipziger Straßenkreuzungen mit enger Bebauung und hoher Verkehrsdichte. Abschlußbericht zum Forschungsprojekt. Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH. Leipzig
- POPP, P. (1996) Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, persönliche Mitteilung
- QIN, Y, KOT, S. C. (1993) Atmos. Environ. 27B: 283-291
- RATAJCZAK, E.-A., AHLAND, E. (1987) Staub-Reinh. Luft 47: 7-13
- SCHÄFER, H.-V. (1993) BMW AG München, persönliche Mitteilung
- SCHAEFFER, H.-J. (1989) J. High Resol. Chromatogr. 12: 69-81
- SCHMIDT, W. et al. (1987) Fres. J. Anal. Chem. 326: 401-413
- STOTTMEISTER, E. (1992) Umweltbundesamt - Außenstelle Bad Elster, persönliche Mitteilung
- THUß, U. (1996) Dissertation (eingereicht). Universität Leipzig
- WARNECK, P. (1988): Chemistry of the Natural Atmosphere. In: International Geophysics Series 41. Academic Press. San Diego
- WAUTERS, E. et al. (1979) J. Chromatogr. 170: 133-138
- WEBER, E. et al. (1975) Staub-Reinh. Luft 35: 82-86

## **Anhang**

## 6. Liste der Publikationen

### Beiträge in Fachzeitschriften

Nach Auswertung der Wintermessung 1996 ist die Darstellung der erzielten Resultate in der Zeitschrift Chemosphere vorgesehen.

### Poster

- 1 Th. Knobloch, A. Asperger, W. Engewald und H. Michael: Langzeitmessung der Immissionskonzentration flüchtiger organischer Verbindungen in unterschiedlich belasteten Stadtgebieten Leipzigs.  
Jahrestagung des AK Chromatographie der GDCh. Leipzig. 1995
- 2 Th. Knobloch, A. Asperger and W. Engewald: Long-term measurement of the immission concentrations of volatile organic compounds in differently loaded regions of Leipzig.  
26<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Analytical Chemistry. Wien. 1996

### Vortrag

- 1 W. Engewald, Th. Knobloch und A. Asperger: Messung von Immissionskonzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen im Leipziger Stadtgebiet.  
InCom '96. Düsseldorf. 1996

# Wintermesskampagne 1995 - Deiwitzweg

(Angaben in  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )

	06.03.	07.03.	08.03.	09.03.	10.03.	11.03.	12.03.	13.03.	14.03.	15.03.	16.03.	17.03.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel-werktags
Propan	1.6	2.9	2.7	4.4	2.0			2.7	3.9	3.2	2.6	1.2	1.2	4.4	2.8	2.8
Propen / i-Butan	2.0	3.9	3.0	8.4	4.1			4.0	3.8	4.0	4.5	2.1	2.1	8.4	4.2	4.2
n-Butan	3.3	5.6	3.6	6.6	5.2			3.7	3.3	4.8	3.2	2.7	2.7	6.6	4.3	4.3
trans-2-Buten	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2			0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1
1-Buten / Cyclopentan	0.4	0.7	0.9	0.9	1.2			0.9	0.8	0.9	1.6	0.5	0.5	1.6	0.9	0.9
i-Buten / i-Pentan	3.1	11.8	2.7	7.7	9.0			5.2	3.3	4.3	5.0	6.1	2.7	11.8	6.1	6.1
cis-2-Buten	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1			0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1
n-Pentan	3.8	6.1	3.0	6.4	8.2			4.7	3.5	4.7	7.1	2.0	2.0	8.2	5.1	5.1
1,3-Butadien	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Propin	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cyclopentan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
2-Methyl-2-Buten	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1			0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
trans-2-Penten	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
trans-2-Penten	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
2-Methyl-1-Buten	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0			0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
1-Penten	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2			0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2
Methyl-Cyclopentan	0.6	1.1	0.5	1.1	1.4			0.5	0.5	0.7	0.4	0.3	0.3	1.4	0.7	0.7
Cyclohexan	0.2	0.1	0.5	0.6	0.8			0.6	0.5	1.0	0.6	0.3	0.1	1.0	0.6	0.6
2,2-Dimethyl-Butan	0.0	0.2	0.0	0.3	0.4			0.1	0.1	0.4	0.1	0.2	0.0	0.4	0.2	0.2
cis-2-Penten	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
cis-2-Penten	2.8	5.0	2.5	2.8	2.4			4.4	1.8	3.3	2.3	1.3	1.3	5.0	2.9	2.9
2- + 3-Methylpentan	3.5	2.5	1.2	2.7	2.9			6.6	4.3	8.2	5.5	1.9	1.2	8.2	4.0	4.0
n-Hexan	0.1	0.1	0.1	0.0	0.5			0.4	0.7	0.6	0.3	0.2	0.0	0.7	0.3	0.3
Methylenchlorid	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Isopren	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
cis- + trans-1,3-Pentadien	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0			0.4	1.5	0.3	1.1	0.0	0.0	1.5	0.4	0.4
1-Hexen / Furan	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2			0.3	1.5	0.4	1.1	0.3	0.1	1.5	0.5	0.5
Benzol	1.9	3.0	2.6	3.5	5.7			7.9	3.8	4.8	3.2	1.9	1.9	7.9	4.0	4.0
2-Methylhexan	0.4	0.6	0.6	0.9	1.2			0.9	0.7	0.8	0.5	0.4	0.4	1.2	0.7	0.7
3-Methylhexan	0.5	0.9	0.6	0.9	1.1			0.8	0.8	0.9	0.6	0.5	0.5	1.1	0.8	0.8
n-Heptan	0.4	1.1	0.6	0.9	1.6			1.3	1.0	1.3	0.7	0.5	0.5	1.6	1.0	1.0
Toluol	7.9	8.3	5.2	7.3	15.9			17.8	10.7	7.2	9.0	6.2	5.2	17.8	9.7	9.7
Ethylbenzol	0.9	1.5	0.8	1.7	4.3			2.2	2.0	1.9	0.9	1.1	0.8	4.3	1.8	1.8
m/p-Xylol	2.1	3.5	1.9	3.8	9.2			5.2	4.3	4.7	2.2	2.4	1.9	9.2	4.1	4.1
o-Xylol	0.8	1.8	1.1	1.6	3.8			2.7	1.9	1.6	0.9	0.8	0.8	3.8	1.8	1.8
Styrol	0.5	0.5	0.2	0.2	0.7			1.0	1.4	1.1	0.4	0.3	0.2	1.4	0.6	0.6
n-Nonan	0.5	0.4	0.2	0.3	0.6			0.5	0.7	0.4	0.3	0.2	0.2	0.7	0.4	0.4
Isopropylbenzol	0.4	0.3	0.1	0.2	0.4			0.3	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1	0.7	0.3	0.3
Propylbenzol	0.4	0.5	0.3	0.6	1.2			0.7	0.8	0.5	0.4	0.3	0.3	1.2	0.6	0.6
3-Methyl-Ethylbenzol	1.2	1.3	1.0	1.5	3.2			2.1	3.0	1.6	1.2	0.9	0.9	3.2	1.8	1.8
4-Methyl-Ethylbenzol	0.6	0.6	0.4	0.7	1.5			0.8	1.4	0.8	0.6	0.4	0.4	1.5	0.8	0.8

	06.03.	07.03.	08.03.	09.03.	10.03.	11.03.	12.03.	13.03.	14.03.	15.03.	16.03.	17.03.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel-werktags
1,3,5-Trimethylbenzol	0,5	0,4	0,7	0,5	1,0	A	A	1,6	1,0	0,5	0,7	0,4	0,4	1,6	0,7	0,7
2-Methyl-Ethylbenzol	0,5	0,4	0,5	0,4	1,2			1,2	0,9	0,5	0,6	0,3	0,3	1,2	0,7	0,7
1,2,4-Trimethylbenzol	1,4	1,4	1,7	1,8	3,6			3,4	2,3	1,7	1,7	1,1	1,1	3,6	2,1	2,1
1,2,3-Trimethylbenzol	0,6	0,3	0,7	0,3	0,8			0,9	0,8	0,4	0,5	0,2	0,2	0,9	0,5	0,5
n-Decan	1,2	0,9	0,5	0,6	1,8			0,9	1,2	0,7	1,2	0,8	0,5	1,8	1,0	1,0
Naphthalin	1,9	0,7	0,9	0,9	1,4			1,3	2,1	1,5	0,9	0,5	0,5	2,1	1,1	1,1
n-Undecan	1,9	1,5	1,3	1,0	2,1			1,4	2,1	0,7	1,2	0,8	0,7	2,1	1,3	1,3
n-Dodecan	3,0	1,8	1,5	1,3	2,0			1,5	2,4	0,9	1,1	0,9	0,9	2,4	1,5	1,5
n-Tridecan	8,3	6,2	5,1	5,2	8,4			6,3	5,3	3,2	4,4	3,4	3,2	8,4	5,3	5,3
n-Tetradecan	7,0	2,2	2,4	1,9	3,8			4,2	4,2	1,8	2,5	1,6	1,6	4,2	2,7	2,7
n-Pentadecan	4,8	0,8	1,2	0,5	1,4			2,7	5,7	0,9	1,0	0,6	0,5	5,7	1,7	1,7
n-Hexadecan	2,1	0,8	0,9	0,6	1,6			0,9	3,0	1,1	1,1	0,7	0,6	3,0	1,2	1,2
Limonen	10,2	4,5	1,3	1,3	7,0			1,0	0,8	0,5	1,5	0,8	0,5	7,0	2,1	2,1
Nonanal	5,8	2,7	2,3	2,3	3,8			3,6	4,4	2,8	4,0	3,2	2,3	4,4	3,2	3,2
Decanal	9,9	4,1	3,8	3,3	5,9			6,6	8,5	5,4	6,8	5,2	3,3	8,5	5,5	5,5
Benzaldehyd	1,0	0,7	0,6	0,4	0,8			1,0	3,4	1,6	0,5	0,4	0,4	3,4	1,0	1,0
Phenol	3,0	0,5	4,7	0,4	0,7			6,4	55,1	22,6	1,3	0,3	0,3	55,1	10,2	10,2
Summe	103,2	94,6	67,4	89,8	136,5			124,0	166,9	112,0	88,6	56,9	56,9	166,9	104,1	104,1

A keine Wochenendmessung möglich

# Wintermesskampagne 1995 - Brandvorwerkstraße

(Angaben in  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )

	06.03.	07.03.	08.03.	09.03.	10.03.	11.03.	12.03.	13.03.	14.03.	15.03.	16.03.	17.03.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel-werktags
	A					B	B									
Propan	42	28	55	39	38	53	45	32	22	22	22	22	22	55	39	39
Propen / i-Butan	70	80	76	119	94	97	88	102	53	88	102	53	53	119	87	87
n-Butan	79	101	100	157	102	105	104	42	43	104	42	43	42	157	93	93
trans-2-Buten	03	05	04	09	05	05	06	02	02	06	02	02	02	09	05	05
1-Buten / Cyclopentan	16	21	17	39	20	26	28	12	10	28	12	10	10	39	21	21
i-Buten / i-Pentan	85	99	77	183	107	102	122	54	88	122	54	88	54	183	102	102
cis-2-Buten	02	03	02	05	03	03	03	01	02	03	01	02	01	05	03	03
n-Pentan	58	64	73	200	91	85	72	31	37	72	31	37	31	200	79	79
1,3-Butadien	01	01	01	02	01	01	01	01	01	01	01	01	01	02	01	01
Propin	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Cyclopenten	01	02	01	03	01	01	02	01	01	02	01	01	01	03	01	01
2-Methyl-2-Buten	01	01	01	02	00	02	01	01	01	01	01	01	00	02	01	01
trans-2-Penten	01	03	00	02	00	01	01	00	00	01	00	00	00	03	01	01
2-Methyl-1-Buten	02	07	00	02	00	02	01	01	01	01	01	01	00	07	02	02
1-Penten	02	03	02	02	00	04	03	01	02	03	01	02	00	04	02	02
Methyl-Cyclopentan	10	15	11	38	23	20	20	09	07	20	09	07	07	38	17	17
Cyclohexan	10	11	08	23	15	17	12	07	05	12	07	05	05	23	12	12
2,2-Dimethyl-Butan	02	09	04	11	07	04	05	04	00	05	04	00	00	11	05	05
cis-2-Penten	00	06	00	00	00	00	02	01	01	02	01	01	00	06	01	01
2- + 3-Methylpentan	53	76	57	162	100	85	61	55	42	61	55	42	42	162	77	77
n-Hexan	39	46	45	74	76	79	103	78	32	103	78	32	32	103	63	63
Methylenchlorid	01	02	05	02	07	23	10	11	04	10	11	04	01	23	07	07
Isopren	00	01	00	00	00	01	00	00	00	00	00	00	00	01	00	00
cis- + trans-1,3-Pentadien	00	01	01	04	03	06	03	02	03	03	02	03	00	06	03	03
1-Hexen / Furan	01	04	03	03	03	16	06	02	03	06	02	03	01	16	05	05
Benzol	59	71	69	127	86	89	60	100	49	60	100	49	49	127	139	139
2-Methylhexan	37	30	46	58	31	63	22	10	09	22	10	09	09	58	34	34
3-Methylhexan	38	31	48	60	30	60	21	12	10	21	12	10	10	60	35	35
n-Heptan	158	68	184	77	42	208	39	23	18	39	23	18	18	208	91	91
Toluol	219	251	232	473	313	267	321	170	171	321	170	171	170	473	269	269
Ethylbenzol	39	50	45	110	81	77	59	37	32	59	37	32	32	110	59	59
m/p-Xylol	98	127	106	264	190	180	135	84	74	135	84	74	74	264	140	140
o-Xylol	37	52	41	102	73	70	52	39	37	52	39	37	37	102	56	56
Styrol	06	07	07	15	13	16	10	06	07	10	06	07	06	15	10	10
n-Nonan	25	30	30	41	66	103	97	121	117	97	121	117	25	121	70	70
Isopropylbenzol	04	05	04	06	08	10	07	07	06	07	07	06	04	10	06	06
Propylbenzol	18	22	19	41	46	59	41	35	27	41	35	27	18	59	34	34
3-Methyl-Ethylbenzol	42	57	44	105	105	84	61	80	54	61	80	54	42	105	70	70
4-Methyl-Ethylbenzol	20	28	20	49	51	43	32	45	31	32	45	31	20	49	36	36

	06.03.	07.03.	08.03.	09.03.	10.03.	11.03.	12.03.	13.03.	14.03.	15.03.	16.03.	17.03.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel-werktags
	A					B	B									
1,3,5-Trimethylbenzol	1.5	2.1	1.6	4.1	4.1			3.8	2.5	2.2	2.5	2.4	1.5	4.1	2.5	2.5
2-Methyl-Ethylbenzol	1.6	2.2	1.8	4.1	4.1			5.6	4.3	2.8	3.8	3.4	1.6	5.6	3.3	3.3
1,2,4-Trimethylbenzol	6.2	6.8	7.2	14.3	14.3			12.8	10.0	9.3	9.2	6.3	6.2	14.3	9.1	9.1
1,2,3-Trimethylbenzol	2.5	2.8	2.8	7.7	7.7			3.4	2.6	2.3	4.4	3.8	2.3	7.7	3.6	3.6
n-Decan	9.4	9.3	9.5	13.1	13.1			18.5	16.9	16.6	26.7	20.7	9.3	26.7	15.6	15.6
Naphthalin	3.0	2.7	2.6	4.7	4.7			3.9	3.3	2.8	3.4	2.2	2.2	4.7	3.2	3.2
n-Undecan	6.6	7.4	7.6	10.2	10.2			14.5	6.8	6.3	8.3	5.7	5.7	14.5	8.2	8.2
n-Dodecan	4.4	4.1	4.3	5.3	5.3			4.7	3.5	3.1	4.8	3.4	3.1	5.3	4.2	4.2
n-Tridecan	3.1	2.9	3.2	3.5	3.5			4.0	2.8	2.8	3.7	3.0	2.8	4.0	3.2	3.2
n-Tetradecan	5.0	4.5	5.0	5.4	5.4			8.1	4.4	4.1	6.2	4.9	4.1	8.1	5.3	5.3
n-Pentadecan	4.1	3.4	4.0	4.6	4.6			10.1	3.8	3.4	5.6	4.3	3.4	10.1	4.8	4.8
n-Hexadecan	2.5	1.8	2.4	3.2	3.2			11.2	2.8	2.1	4.0	2.6	1.8	11.2	3.6	3.6
Limonen	65.4	47.2	44.4	52.8	52.8			42.1	29.0	25.5	46.2	62.4	25.5	65.4	46.1	46.1
Nonanal	2.9	4.3	2.2	3.1	3.1			2.3	2.3	1.6	3.0	2.4	1.6	4.3	2.7	2.7
Decanal	2.0	3.0	1.9	5.4	5.4			2.0	2.1	1.1	2.8	2.0	1.1	5.4	2.5	2.5
Benzaldehyd	1.8	2.2	1.5	2.7	2.7			3.6	3.2	2.9	1.9	0.5	0.5	3.6	2.3	2.3
Phenol	0.5	5.9	0.6	11.6	11.6			51.0	16.2	0.6	3.5	0.5	0.5	51.0	10.0	10.0
Summe	250.6	254.4	246.4	416.7	416.7			384.5	323.2	309.3	262.2	230.2	230.2	416.7	297.5	297.5

A Ausfall der Meßstation

B keine Wochenendmessung möglich

Wintermesskampagne 1995 - Bernhardstraße  
(Angaben in µg / m<sup>3</sup>)

	06.03. A	07.03.	08.03.	09.03.	10.03.	11.03. B	12.03. B	13.03.	14.03.	15.03.	16.03.	17.03.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel-werttags
Propan	8,3	3,4	6,1	6,4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	8,0	3,6	3,6	3,4	8,3	5,3	5,3
Propen / i-Butan	11,4	6,4	8,3	11,6	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	16,3	6,1	8,1	4,4	16,3	8,7	8,7
n-Butan	13,8	7,7	11,2	13,5	7,4	7,4	7,4	7,4	6,5	11,5	7,1	10,0	6,5	13,8	9,8	9,8
trans-2-Buten	0,8	0,5	0,5	0,7	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	0,8	0,6	0,6
1-Buten / Cyclopentan	3,7	2,1	2,5	3,4	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	3,3	1,9	2,8	1,8	3,7	2,6	2,6
i-Buten / i-Pentan	17,1	12,4	19,4	15,1	12,7	10,1	10,1	12,6	10,7	12,6	10,7	15,0	10,1	19,4	13,9	13,9
cis-2-Buten	0,5	0,4	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,5	0,3	0,4	0,2	0,5	0,4	0,4
n-Pentan	10,6	6,8	12,5	9,4	6,8	5,5	5,5	14,1	10,5	14,1	7,7	7,7	5,5	14,1	9,3	9,3
1,3-Butadien	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Propin	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Cyclohexen	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
2-Methyl-2-Buten	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
trans-2-Penten	0,3	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3	0,1	0,1
2-Methyl-1-Buten	0,6	0,5	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0	0,6	0,2	0,2
1-Penten	0,6	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,1	0,8	0,3	0,3
Methyl-Cyclopentan	2,2	1,6	2,3	7,7	1,3	1,1	1,1	2,3	1,6	2,3	1,6	2,5	1,1	7,7	2,5	2,5
Cyclohexan	1,8	1,3	1,4	0,3	0,8	1,0	1,0	1,9	1,0	1,9	1,0	2,2	0,3	2,2	1,3	1,3
2,2-Dimethyl-Butan	0,8	0,7	1,0	0,9	0,4	0,3	0,3	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	1,0	0,7	0,7
cis-2-Penten	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1
2- + 3-Methylpentan	11,5	6,3	10,2	9,4	8,2	6,1	6,1	10,4	7,1	10,4	7,1	8,0	6,1	11,5	8,6	8,6
n-Hexan	6,1	6,4	5,3	5,7	6,0	3,6	3,6	6,2	3,0	6,2	3,0	11,0	3,0	11,0	5,9	5,9
Methylchlorid	0,3	0,2	1,3	0,7	0,3	0,2	0,2	1,0	0,3	1,0	0,3	5,5	0,2	5,5	1,1	1,1
Isopren	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
cis- + trans-1,3-Pentadien	0,2	0,2	0,1	0,1	0,5	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,5	0,2	0,2
1-Hexen / Furan	0,7	0,2	0,1	0,3	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	2,8	0,1	2,8	0,6	0,6
Benzol	12,4	7,6	10,0	8,7	6,5	6,5	6,5	10,2	7,2	10,2	7,2	6,5	6,5	12,4	8,4	8,4
2-Methylhexan	3,4	2,0	2,5	3,9	2,3	1,9	1,9	4,1	1,9	4,1	1,9	2,1	1,9	4,1	2,7	2,7
3-Methylhexan	2,9	2,0	2,4	2,8	2,1	1,8	1,7	2,9	1,7	2,9	1,7	1,8	1,7	2,9	2,3	2,3
n-Heptan	3,6	2,1	2,5	2,8	2,3	2,2	2,2	3,0	1,9	3,0	1,9	2,5	1,9	3,6	2,5	2,5
Toluol	27,6	19,0	22,7	25,5	18,7	18,6	17,6	28,3	17,6	28,3	17,6	20,7	17,6	28,3	22,1	22,1
Ethylbenzol	7,1	4,2	5,9	7,7	5,2	4,6	4,7	7,7	4,7	7,7	4,7	5,5	4,2	7,7	5,8	5,8
m/p-Xylol	16,8	10,0	14,6	17,7	12,0	9,3	10,5	17,4	10,5	17,4	10,5	12,3	9,3	17,7	13,4	13,4
o-Xylol	5,9	3,7	5,4	6,7	4,9	3,6	4,1	6,6	4,1	6,6	4,1	4,8	3,6	6,7	5,1	5,1
Styrol	0,9	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	0,8	1,1	0,8	1,1	0,8	0,8	0,7	1,1	0,9	0,9
n-Nonan	1,7	1,8	1,4	1,6	1,9	1,3	1,4	2,0	1,4	2,0	1,4	1,7	1,3	2,0	1,6	1,6
Isopropylbenzol	0,5	0,3	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,5	0,3	0,6	0,5	0,5
Propylbenzol	2,3	1,6	2,1	2,4	2,6	1,7	1,6	2,7	1,6	2,7	1,6	1,9	1,6	2,7	2,1	2,1
3-Methyl-Ethylbenzol	5,2	3,5	5,0	5,8	8,0	5,8	4,5	6,8	4,5	6,8	4,5	4,7	3,5	8,0	5,5	5,5
4-Methyl-Ethylbenzol	2,5	1,6	2,3	2,7	2,8	2,1	2,1	3,0	2,1	3,0	2,1	2,1	1,6	3,0	2,4	2,4

	06.03.	07.03.	08.03.	09.03.	10.03.	11.03.	12.03.	13.03.	14.03.	15.03.	16.03.	17.03.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel-werktags
	A					B	B									
1,3,5-Trimethylbenzol	2,3	1,7	2,1	2,4	2,2	1,7	2,2	6,8	4,7	2,2	1,7	2,2	1,7	6,8	2,9	2,9
2-Methyl-Ethylbenzol	2,0	1,5	2,0	2,2	2,2	2,4	1,5	6,4	4,2	2,4	1,5	2,0	1,5	6,4	2,7	2,7
1,2,4-Trimethylbenzol	8,1	5,7	7,5	7,9	7,9	15,8	8,8	23,2	15,8	8,8	5,4	7,5	5,4	23,2	10,0	10,0
1,2,3-Trimethylbenzol	2,0	1,5	1,9	1,9	1,9	8,9	7,0	8,9	7,0	2,2	1,4	2,1	1,4	8,9	3,2	3,2
n-Decan	4,3	4,3	4,3	4,2	4,2	4,5	3,2	4,5	3,2	4,1	3,6	3,7	3,2	4,5	4,0	4,0
Naphthalin	3,1	2,2	3,7	2,6	2,6	3,6	5,3	3,6	5,3	3,5	2,1	3,1	2,1	5,3	3,2	3,2
n-Undecan	5,8	5,1	6,8	5,4	5,4	12,0	11,3	12,0	11,3	6,1	4,3	5,2	4,3	12,0	6,9	6,9
n-Dodecan	4,8	4,0	5,9	4,2	4,2	11,0	7,8	11,0	7,8	4,7	3,3	4,5	3,3	11,0	5,6	5,6
n-Tridecan	1,6	1,2	1,6	1,2	1,2	3,8	4,4	3,8	4,4	1,4	1,0	1,5	1,0	4,4	2,0	2,0
n-Tetradecan	1,9	1,6	2,0	1,5	1,5	31,0	26,0	31,0	26,0	1,9	1,3	2,7	1,3	31,0	7,8	7,8
n-Pentadecan	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	28,6	22,5	28,6	22,5	0,9	0,6	1,8	0,6	28,6	6,4	6,4
n-Hexadecan	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	10,6	3,2	10,6	3,2	1,0	0,7	1,1	0,7	10,6	2,2	2,2
Limonen	6,6	7,3	5,0	6,2	6,2	9,4	3,4	9,4	3,4	6,8	2,6	9,7	2,6	9,7	6,3	6,3
Nonanal	1,0	1,4	2,9	1,7	1,7	0,0	3,3	0,0	3,3	1,7	1,8	2,4	0,0	3,3	1,8	1,8
Decanal	1,1	1,0	3,5	1,9	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	2,0	2,7	0,0	3,5	1,5	1,5
Benzaldehyd	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	3,6	2,6	3,6	2,6	1,2	0,9	0,5	0,5	3,6	1,4	1,4
Phenol	1,0	2,2	1,9	0,6	0,6	78,7	49,3	78,7	49,3	0,8	0,8	6,3	0,6	78,7	15,7	15,7
Summe	233,3	161,7	215,0	222,8	222,8	371,4	281,4	371,4	281,4	238,5	150,2	209,9	150,2	371,4	231,6	231,6

A Ausfall der Meßstation  
B keine Wochenendmessung möglich

Sommernesskampagne 1995 - Deiwitzweg  
(Angaben in µg / m<sup>3</sup>)

	14.08.	15.08.	16.08.	17.08.	18.08.	19.08.	20.08.	21.08.	22.08.	23.08.	24.08.	25.08.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel-werktags
Propan	0.7	0.7	2.0	0.7	0.8	0.8	0.8	3.1	0.7	1.0	5.4	1.5	0.7	5.4	1.5	1.7
Propen / i-Butan	3.2	3.6	3.5	3.6	4.0	2.6	2.9	7.5	3.2	11.9	12.1	3.1	2.6	12.1	5.1	5.6
n-Butan	6.7	4.9	5.5	5.1	4.7	4.3	4.3	8.3	4.5	8.4	30.9	4.6	4.3	30.9	7.7	8.4
trans-2-Buten	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1
1-Buten / Cyclopentan	1.8	0.7	0.6	1.3	1.3	0.9	1.0	1.9	1.3	3.4	1.3	0.7	0.6	3.4	1.3	1.4
i-Buten / i-Pentan	1.5	2.6	2.6	5.1	5.9	5.3	4.2	8.6	5.4	8.4	6.0	4.2	1.5	8.6	5.0	5.0
cis-2-Buten	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1
n-Pentan	3.4	4.4	2.8	5.9	5.5	5.1	5.6	9.7	6.3	7.7	4.9	4.8	2.8	9.7	5.5	5.5
1,3-Butadien	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1
Propin	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cyclopenten	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
2-Me-2-Buten	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
trans-2-Penten	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
2-Me-1-Buten	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.3	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1
1-Penten	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1
Methyl-Cyclopentan	0.7	1.3	0.7	1.5	1.9	0.9	1.3	2.6	1.5	1.6	1.2	1.1	0.7	2.6	1.4	1.4
Cyclohexan	2.1	0.8	1.2	1.1	1.3	1.0	1.2	3.4	1.4	1.6	1.1	1.2	0.8	3.4	1.4	1.5
2-2-DiMe-Butan	0.3	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.7	0.4	0.5	0.3	0.4	0.1	0.7	0.3	0.3
cis-2-Penten	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2-+3-Me-Pentan	2.6	2.4	1.9	4.6	4.4	3.2	4.0	7.9	4.3	4.7	3.8	3.1	1.9	7.9	3.9	4.0
n-Hexan	1.9	2.2	1.2	2.7	3.3	1.7	2.5	6.0	3.1	2.7	2.4	1.7	1.2	6.0	2.6	2.7
Methylenchlorid	0.0	2.3	0.5	0.7	1.1	0.6	0.3	0.5	1.3	0.3	0.2	0.1	0.0	2.3	0.7	0.7
Isopren	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
cis- + trans-1,3-Pentadien	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
1-Hexen / Furan	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8	0.2	0.1	0.1	0.8	0.2	0.2
Benzol	1.7	1.7	1.5	3.3	3.7	3.1	3.0	5.8	3.4	5.5	3.0	2.9	1.5	5.8	3.2	3.2
2-M-Hexan	0.9	0.7	0.7	1.3	1.5	0.9	1.1	2.6	1.6	1.5	1.2	1.1	0.7	2.6	1.3	1.3
3-M-Hexan	0.9	ueberl.	0.5	1.2	1.2	0.8	1.1	2.3	1.5	1.3	1.0	0.8	0.5	2.3	1.1	1.2
n-Heptan	0.5	0.6	0.6	1.2	1.4	0.8	1.0	2.6	1.4	1.2	1.2	1.0	0.5	2.6	1.1	1.2
Toluol	10.0	20.2	7.6	14.0	14.7	9.7	13.1	22.2	14.5	13.7	12.6	10.2	7.6	22.2	13.5	14.0
Ethylbenzol	1.1	1.3	1.1	3.1	2.6	1.7	1.9	4.2	2.8	2.4	1.8	1.8	1.1	4.2	2.2	2.2
m/p-Xylol	2.9	4.0	2.8	7.8	6.8	3.7	4.2	11.0	6.9	5.3	3.8	4.1	2.8	11.0	5.3	5.5
o-Xylol	1.8	1.8	1.4	3.2	3.0	1.7	2.2	4.8	3.0	2.5	1.7	1.9	1.4	4.8	2.4	2.5
Styrol	0.8	1.2	0.5	0.8	0.8	0.5	0.9	1.3	0.8	0.8	0.8	0.6	0.5	1.3	0.8	0.8
n-Nonan	0.3	0.3	0.3	0.6	0.7	0.4	0.4	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.7	0.5	0.5
Isopropylbenzol	0.1	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.4	0.2	0.2
Propylbenzol	0.4	0.4	0.3	0.9	0.8	0.5	0.6	1.3	0.9	0.7	0.6	0.6	0.3	1.3	0.7	0.7
3-M-E-Benzol	0.8	0.9	0.8	2.0	1.9	1.0	1.2	3.1	1.9	1.4	1.0	1.1	0.8	3.1	1.4	1.5
4-M-E-Benzol	0.3	0.4	0.3	0.9	0.8	0.5	0.5	1.4	0.8	0.6	0.5	0.5	0.3	1.4	0.6	0.7

	14.08.	15.08.	16.08.	17.08.	18.08.	19.08.	20.08.	21.08.	22.08.	23.08.	24.08.	25.08.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel, werktags
1,3,5-TMB	0,4	0,4	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,6	0,7	0,6	0,4	1,0	0,7	0,7
2-M-E-Benzol	0,4	0,5	0,4	0,9	0,9	0,6	0,6	1,4	0,9	0,6	0,6	0,2	0,2	1,4	0,7	0,7
1,2,4-TMB	1,2	1,1	0,9	2,2	3,4	1,1	1,4	3,4	2,1	2,3	1,2	1,3	0,9	3,4	1,8	1,9
1,2,3-TMB	0,2	0,4	0,3	0,7	0,7	0,4	0,5	1,2	0,6	0,5	0,5	0,4	0,2	1,2	0,5	0,5
n-Decan	1,0	0,7	0,5	1,2	1,0	0,8	0,8	0,9	1,1	0,8	1,1	0,9	0,5	1,2	0,9	0,9
Naphthalin	0,3	0,7	0,3	0,5	0,5	0,4	0,5	0,8	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,8	0,5	0,5
n-Undecan	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,9	0,9	0,7	0,5	1,3	0,5	0,5	1,3	0,7	0,7
n-Dodecan	0,9	0,9	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,8	0,4	0,4	0,9	0,6	0,6
n-Tridecan	1,8	1,1	1,0	1,0	1,0	0,8	1,2	0,9	0,7	0,9	1,1	0,7	0,7	1,8	1,0	1,0
n-Tetradecan	1,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,7	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,4	1,0	0,5	0,5
n-Pentadecan	0,8	0,8	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,8	0,4	0,5
n-Hexadecan	0,6	0,4	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,6	0,4	0,4
Limonen	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,8	0,4	0,4	0,7	0,4	0,2	0,8	0,5	0,5
Nonanal	4,2	3,2	1,3	1,0	1,4	0,7	1,8	1,4	0,9	0,9	1,0	0,9	0,7	4,2	1,5	1,6
Decanal	4,5	1,9	0,9	0,9	1,0	0,7	0,8	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	4,5	1,3	1,4
Benzaldehyd	1,2	1,9	0,6	0,8	0,8	0,7	0,8	1,1	0,8	0,9	1,0	0,7	0,6	1,9	0,9	1,0
Phenol	1,3	9,9	0,5	0,4	0,3	0,3	0,6	1,3	0,7	0,4	0,4	0,2	0,2	9,9	1,4	1,5
Summe	69,2	86,0	50,8	87,5	90,3	61,3	73,3	143,1	86,8	104,0	113,2	63,2	50,8	143,1	85,7	89,4

### Sommernesskampagne 1995 - Brandvorwerkstraße

(Angaben in µg / m³)

	14.08.	15.08.	16.08.	17.08.	18.08.	19.08.	20.08.	21.08.	22.08.	23.08.	24.08.	25.08.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel-werktags
Propan	0.7	0.8	3.1	1.1	3.3	2.2	1.1	2.6	1.0	1.3	0.1	1.2	0.1	3.3	1.5	1.5
Propen / i-Butan	3.1	2.3	3.6	6.6	8.2	6.0	4.2	4.4	6.1	6.3	3.5	3.0	2.3	8.2	4.8	4.7
n-Butan	5.9	3.6	5.1	10.7	12.8	8.5	7.0	7.4	9.1	10.0	5.2	5.0	3.6	12.8	7.5	7.5
trans-2-Buten	0.2	0.1	0.2	0.4	0.5	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.5	0.3	0.3
1-Buten / Cyclopentan	1.6	1.0	1.2	2.5	3.3	1.8	1.7	1.7	2.3	2.3	1.1	0.9	0.9	3.3	1.8	1.8
i-Buten / i-Pentan	12.8	5.6	8.1	16.0	16.8	13.4	7.7	9.7	13.6	12.9	6.5	6.5	5.6	16.8	10.8	10.8
cis-2-Buten	0.2	0.1	0.1	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2
n-Pentan	11.9	5.5	8.4	15.0	11.2	10.4	8.7	10.4	11.0	12.9	5.3	7.9	5.3	15.0	9.9	10.0
1,3-Butadien	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
Propin	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cyclohexen	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1
2-Me-2-Buten	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1
trans-2-Penten	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.2	0.2
2-Me-1-Buten	0.0	0.1	0.0	0.1	0.6	0.2	0.2	0.3	0.6	0.5	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1
1-Penten	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.0	0.3	0.1	0.1
Methyl-cyclopentan	2.9	1.2	1.8	3.5	3.1	2.0	1.3	2.2	3.0	2.8	1.3	1.5	1.2	3.5	2.2	2.3
Cyclohexan	1.8	1.9	1.5	2.6	1.9	1.5	1.2	1.7	2.3	2.6	2.4	1.4	1.2	2.6	1.9	2.0
2,2-DiMe-Butan	0.8	0.4	0.6	1.1	0.9	0.9	0.5	1.0	1.3	1.4	0.4	0.7	0.4	1.4	0.8	0.9
cis-2-Penten	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2-+3-M-Pentan	9.3	4.4	5.5	11.7	9.2	7.3	4.8	7.4	9.8	9.4	3.8	4.4	3.8	11.7	7.3	7.5
n-Hexan	5.9	2.5	3.5	7.1	6.6	4.5	3.2	4.7	6.1	6.0	2.2	2.7	2.2	7.1	4.6	4.7
Methylchlorid	0.0	0.7	0.0	1.3	1.0	1.3	1.1	0.3	1.0	0.1	0.6	0.8	0.0	1.3	0.7	0.6
Isopren	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.3	0.1	0.1
cis- + trans-1,3-Pentadien	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
1-Hexen / Furan	0.0	0.2	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0	0.2	0.1	0.1
Benzol	6.6	3.5	4.3	8.0	7.2	6.3	3.6	6.0	7.6	7.2	3.1	4.2	3.1	8.0	5.6	5.8
2-M-Hexan	3.0	1.3	2.3	4.0	3.6	2.0	1.6	2.5	3.2	3.2	1.7	1.5	1.3	4.0	2.5	2.7
3-M-Hexan	2.5	1.2	1.8	3.4	3.0	1.6	1.5	2.1	2.9	2.6	1.2	1.2	1.2	3.4	2.1	2.2
n-Heptan	3.7	1.4	1.9	4.1	3.5	2.2	1.5	2.4	3.4	3.1	1.3	1.6	1.3	4.1	2.5	2.6
Toluol	21.5	11.1	13.9	27.6	24.1	16.8	10.8	17.9	23.4	20.1	8.4	9.7	8.4	27.6	17.1	17.8
Ethylbenzol	5.9	2.9	3.8	7.8	6.3	3.9	2.5	4.9	5.8	5.2	2.4	2.7	2.4	7.8	4.5	4.8
m/p-Xylol	15.2	7.7	11.2	19.9	16.7	10.3	6.3	13.8	16.1	13.5	6.2	6.8	6.2	19.9	12.0	12.7
o-Xylol	5.8	3.0	4.0	7.7	6.5	4.3	2.8	5.4	6.3	5.2	2.4	2.9	2.4	7.7	4.7	4.9
Styrol	1.1	0.8	0.8	1.5	1.1	0.7	0.5	1.1	1.0	1.0	0.5	0.6	0.5	1.5	0.9	0.9
n-Nonan	1.1	0.6	0.9	1.3	1.1	0.8	0.6	1.4	1.2	1.1	0.4	0.5	0.4	1.4	0.9	1.0
Isopropylbenzol	0.4	0.2	0.3	0.6	0.5	0.3	0.2	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0.2	0.6	0.4	0.4
Propylbenzol	1.8	1.0	1.4	2.5	2.1	1.3	0.9	1.7	2.2	1.9	0.8	0.9	0.8	2.5	1.5	1.6
3-M-E-Benzol	4.3	2.5	3.3	5.8	5.0	3.0	1.8	3.9	5.3	3.8	2.0	1.9	1.8	5.8	3.5	3.8
4-M-E-Benzol	1.9	1.1	1.4	2.6	2.3	1.3	0.8	1.7	2.4	1.8	0.9	0.9	0.8	2.6	1.6	1.7

	14.08.	15.08.	16.08.	17.08.	18.08.	19.08.	20.08.	21.08.	22.08.	23.08.	24.08.	25.08.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel-werktags
1,3,5-TMB	1.3	11.2	1.6	1.8	2.4	1.1	1.0	1.3	2.7	1.7	1.0	0.9	0.9	11.2	2.3	2.6
2-M-E-Benzol	1.7	1.0	1.2	2.3	2.0	1.2	0.8	1.6	2.0	1.6	0.8	0.7	0.7	2.3	1.4	1.5
1,2,4-TMB	5.0	2.8	3.8	6.8	5.7	3.6	2.1	4.6	6.3	4.5	2.3	2.2	2.1	6.8	4.1	4.4
1,2,3-TMB	1.7	1.2	1.3	2.4	2.0	1.5	1.0	1.7	1.9	1.7	0.7	0.8	0.7	2.4	1.5	1.5
n-Decan	2.7	3.1	3.5	3.5	n.d.	4.4	1.8	3.3	2.6	3.8	1.0	1.2	1.0	4.4	2.8	2.8
Naphthalin	0.9	1.6	1.3	1.7	1.3	1.4	0.9	1.0	1.3	1.1	0.4	0.6	0.4	1.7	1.1	1.1
n-Undecan	2.8	13.5	9.7	8.6	3.7	13.4	3.5	3.9	2.1	2.5	0.8	1.2	0.8	13.5	5.5	4.9
n-Dodecan	2.9	10.9	6.2	7.4	3.2	6.9	4.9	1.7	1.4	1.9	0.6	0.7	0.6	10.9	4.0	3.7
n-Tridecan	1.2	1.3	0.8	1.3	0.9	1.3	1.2	0.6	0.7	0.9	0.3	0.3	0.3	1.3	0.9	0.8
n-Tetradecan	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.6	0.5	0.7	0.2	0.2	0.2	0.8	0.6	0.6
n-Pentadecan	0.9	0.7	0.6	0.6	0.8	0.9	0.8	0.6	0.7	0.9	0.3	0.3	0.3	0.9	0.7	0.6
n-Hexadecan	0.9	0.8	0.5	0.7	0.8	0.9	0.9	0.7	0.6	1.2	0.3	0.4	0.3	1.2	0.7	0.7
Limonen	1.4	2.3	2.9	2.3	1.1	2.3	1.3	1.8	1.2	1.6	0.5	0.7	0.5	2.9	1.6	1.6
Nonanal	1.6	1.3	1.5	2.6	1.0	2.6	2.4	1.6	1.7	1.1	0.6	1.2	0.6	2.6	1.6	1.4
Decanal	1.1	1.3	1.5	2.0	1.0	1.7	1.8	0.8	1.2	0.7	0.4	1.0	0.4	2.0	1.2	1.1
Benzaldehyd	1.1	0.7	1.0	1.0	1.0	1.3	0.7	0.9	1.2	1.1	0.6	0.8	0.6	1.3	0.9	0.9
Phenol	0.8	0.7	6.1	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.8	0.7	0.2	0.4	0.2	6.1	1.0	1.1
Summe	161.4	124.4	138.2	224.0	192.3	161.7	105.4	147.2	179.4	168.1	75.8	86.2	75.8	224.0	147.0	149.7

Sommernesskampagne 1995 - Bernhardstraße  
(Angaben in µg / m<sup>3</sup>)

	14.08.	15.08.	16.08.	17.08.	18.08.	19.08.	20.08.	21.08.	22.08.	23.08.	24.08.	25.08.	Minimum B	Maximum B	Mittel B	Mittel-werttags B
Propan	1.0	0.9	0.4	1.1	3.2	0.7	2.6	2.1	0.8	2.9		4.5	0.4	3.2	1.5	1.5
Propen / i-Butan	4.5	3.1	3.5	5.8	5.6	3.8	5.6	6.0	4.3	5.3		7.3	3.1	5.8	4.6	4.6
n-Butan	6.9	4.1	5.2	10.0	9.4	4.9	10.1	8.9	8.7	9.0		11.7	4.1	10.1	7.6	7.6
trans-2-Buten	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3		0.3	0.1	0.4	0.3	0.3
1-Buten / Cyclopentan	1.5	1.1	1.5	2.2	2.6	0.9	1.9	2.2	1.9	2.0		2.3	0.9	2.6	1.7	1.8
i-Buten / i-Pentan	9.9	8.4	6.2	12.6	15.6	6.2	13.8	12.8	10.9	13.3		15.1	6.2	15.6	10.8	11.0
cis-2-Buten	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2		0.0	0.1	0.3	0.2	0.2
n-Pentan	9.1	6.5	3.4	11.3	12.4	6.1	13.7	5.6	9.6	16.3		12.2	3.4	16.3	9.8	9.8
1,3-Butadien	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1		0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
Propin	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cyclopentan	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2		0.1	0.0	0.2	0.1	0.2
2-Me-2-Buten	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1		0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
trans-2-Pentan	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1		0.1	0.0	0.2	0.1	0.1
2-Me-1-Buten	0.0	0.1	0.3	0.3	0.6	0.1	0.2	0.5	0.4	0.3		0.2	0.0	0.6	0.3	0.3
1-Pentan	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.3	0.2		0.2	0.1	0.4	0.2	0.2
Methyl-Cyclopentan	2.3	1.7	0.8	2.8	3.6	2.1	2.4	0.6	2.7	3.3		3.0	0.8	3.6	2.4	2.5
Cyclohexan	2.1	1.7	0.7	2.1	2.8	1.6	2.3	0.9	2.9	5.1		2.9	0.7	5.1	2.4	2.5
2,2-DiMe-Butan	1.0	0.4	0.2	1.1	1.5	0.7	0.8	0.3	0.8	1.1		1.1	0.2	1.5	0.9	0.9
cis-2-Pentan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2- + 3-Me-Pentan	7.2	5.4	2.5	10.1	11.2	7.3	8.1	1.6	9.2	10.1		10.6	2.5	11.2	7.9	8.0
n-Hexan	6.1	3.5	2.1	5.7	8.3	4.6	5.4	1.3	6.1	6.4		6.8	2.1	8.3	5.4	5.5
Methylenchlorid	0.0	0.1	0.6	0.3	0.5	0.5	0.3	1.2	1.2	0.9		3.8	0.0	1.2	0.5	0.5
Isopren	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1		0.0	0.0	0.2	0.1	0.1
cis- + trans-1,3-Pentadien	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1		0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
1-Hexen / Furan	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3		0.5	0.0	0.3	0.1	0.1
Benzol	5.9	4.3	1.8	6.7	8.7	5.8	6.4	1.7	6.1	6.3		7.4	1.8	8.7	5.8	5.7
2-M-Hexan	3.2	1.9	0.9	3.5	4.0	2.4	2.7	0.5	3.2	3.4		3.5	0.9	4.0	2.8	2.9
3-M-Hexan	2.6	1.7	0.8	3.0	3.5	2.2	2.4	0.5	2.8	2.8		3.1	0.8	3.5	2.4	2.4
n-Heptan	2.7	3.0	0.8	3.3	4.2	2.5	2.9	0.6	2.7	3.2		3.3	0.8	4.2	2.8	2.8
Toluol	19.1	13.9	5.5	21.8	25.2	15.7	18.5	4.0	16.4	18.7		21.9	5.5	25.2	17.2	17.2
Ethylbenzol	4.8	3.5	1.5	5.9	6.7	4.4	4.8	1.1	4.8	5.3		6.3	1.5	6.7	4.6	4.6
m/p-Xylol	13.3	9.7	4.3	15.4	17.6	11.0	12.2	3.0	13.1	13.9		16.4	4.3	17.6	12.3	12.5
o-Xylol	5.4	4.0	1.6	6.2	6.8	4.6	5.2	1.2	5.5	5.5		6.7	1.6	6.8	5.0	5.0
Styrol	0.7	0.5	0.2	1.2	1.1	0.7	0.8	0.2	1.0	1.0		1.4	0.2	1.2	0.8	0.8
n-Nonan	1.1	0.6	0.2	1.1	1.8	2.0	2.2	0.3	1.2	1.5		1.2	0.2	2.2	1.3	1.1
Isopropylbenzol	0.4	0.3	0.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1	0.6	0.6		0.6	0.1	0.6	0.5	0.5
Propylbenzol	1.5	1.1	0.5	2.0	2.2	1.9	2.0	0.4	1.7	1.9		2.1	0.5	2.2	1.6	1.6
3-M-E-Benzol	3.5	2.8	1.1	4.6	4.7	3.2	3.4	0.8	3.8	4.0		4.7	1.1	4.7	3.4	3.5
4-M-E-Benzol	1.6	1.2	0.5	2.1	2.1	1.5	1.6	0.4	1.7	1.8		2.1	0.5	2.1	1.5	1.6

	14.08.	15.08.	16.08.	17.08.	18.08.	19.08.	20.08.	21.08.	22.08.	23.08.	24.08.	25.08.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel-werktags
								A			A	A	B	B	B	B
1,3,5-TMB	2,0	1,3	0,6	2,4	1,6	1,0	1,1	0,4	2,1	1,4		2,4	0,6	2,4	1,5	1,6
2-M-E-Benzol	1,4	1,0	0,4	1,8	1,9	1,4	1,5	0,3	1,5	1,6		1,8	0,4	1,9	1,4	1,4
1,2,4-TMB	4,0	3,2	1,3	5,3	5,4	3,6	3,8	0,9	4,4	4,6		5,3	1,3	5,4	4,0	4,0
1,2,3-TMB	1,4	1,2	0,5	1,8	2,1	1,8	1,6	0,4	1,7	1,7		18,4	0,5	2,1	1,5	1,5
n-Decan	2,0	1,3	0,5	2,3	0,0	3,6	4,1	0,7	3,1	2,6		2,5	0,0	4,1	2,2	1,7
Naphthalin	1,2	0,9	0,4	1,6	1,5	1,2	1,2	0,3	1,4	12,4		1,6	0,4	12,4	2,4	2,8
n-Undecan	1,1	0,9	0,4	1,9	2,3	2,2	2,5	0,4	2,1	1,7		1,8	0,4	2,5	1,7	1,5
n-Dodecan	1,8	1,5	0,6	2,1	2,2	2,1	1,9	0,4	2,3	1,6		2,3	0,6	2,3	1,8	1,7
n-Tridecan	0,9	0,7	0,3	1,0	0,9	0,9	0,9	0,2	1,1	0,7		1,1	0,3	1,1	0,8	0,8
n-Tetradecan	0,8	0,7	0,3	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	1,1	0,6		1,1	0,3	1,1	0,8	0,7
n-Pentadecan	1,0	0,7	0,4	0,9	0,7	0,7	0,8	0,3	1,2	0,6		1,2	0,4	1,2	0,8	0,8
n-Hexadecan	1,0	0,9	0,5	1,0	0,9	1,0	1,0	0,5	1,4	0,5		1,2	0,5	1,4	0,9	0,9
Limonen	0,9	0,5	0,3	3,3	1,9	2,3	1,5	0,3	1,4	1,3		1,5	0,3	3,3	1,5	1,4
Nonanal	5,5	2,4	1,1	3,7	3,2	2,7	2,4	0,6	4,7	3,4		5,1	1,1	5,5	3,2	3,4
Decanal	3,8	1,8	0,9	3,6	3,0	2,5	1,9	0,5	4,4	4,2		5,4	0,9	4,4	2,9	3,1
Benzaldehyd	1,3	0,9	0,3	1,3	1,5	1,3	1,3	0,3	1,4	1,1		1,5	0,3	1,5	1,1	1,1
Phenol	1,1	0,7	0,3	0,9	0,8	0,5	0,6	0,3	1,0	0,9		0,9	0,3	1,1	0,7	0,8
Summe	149,4	106,9	57,5	180,1	199,6	128,1	162,8	68,0	162,0	188,1		218,7	57,5	199,6	148,3	149,1

A Ausfall der Meßstation bzw. Probleme bei der Probenahme  
B Mittelwerte und Extrema ohne 21., 24. und 25.08.95

# Wintermesskampagne 1996 - Deiwitzweg

## detaillierte Auswertung

(Angaben in  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )

	29.01.	30.01.	31.01.	01.02.	02.02.	03.02.	04.02.	05.02.	06.02.	07.02.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel - werklags
Propan	5,7	4,0	3,2	7,1	13,4	5,3	2,0	3,7	3,6	4,5	2,0	13,4	5,2	5,6
Propen	2,4	1,8	3,4	6,1	4,2	1,8	0,7	1,3	1,3	1,7	0,7	6,1	2,5	2,8
i-Butan	2,7	3,3	4,0	7,1	8,7	4,1	2,4	3,4	1,6	2,0	1,6	8,7	3,9	4,1
n-Butan	5,4	4,6	8,7	15,8	16,2	7,5	5,2	6,4	3,8	4,2	3,8	16,2	7,8	8,1
trans-2-Buten	0,1	0,1	0,3	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,2	0,2
1-Buten	0,5	0,3	0,8	1,2	0,9	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	1,2	0,5	0,6
Cyclopentan	0,4	0,4	1,0	2,0	1,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	2,0	0,7	0,7
i-Buten	0,6	0,5	1,5	2,3	1,7	0,7	0,3	0,6	0,4	0,6	0,3	2,3	0,9	1,0
cis-2-Buten	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
i-Pentan	4,5	3,9	9,1	15,3	13,1	6,0	3,7	4,4	4,4	6,0	3,7	15,3	7,0	7,6
n-Pentan	4,4	3,5	7,3	12,9	10,2	5,2	3,5	3,5	3,2	3,5	3,2	12,9	5,7	6,0
1,3-Butadien	0,1	0,1	0,2	0,5	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,5	0,2	0,2
Propin	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,1	0,1
Cyclopenten	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1
2-Me-2-Buten	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
trans-2-Penten	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
2-Me-1-Buten	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
1-Penten	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1
Me-Cyclopentan	1,1	0,9	2,6	4,2	2,7	1,3	0,7	0,7	0,9	1,0	0,7	4,2	1,6	1,8
Cyclohexan	0,7	0,6	1,8	2,7	1,7	0,9	0,5	0,6	0,6	0,7	0,5	2,7	1,1	1,2
2-2-DiMe-Butan	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
cis-2-Penten	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
2- + 3-Me-Pentan	3,3	3,3	6,7	11,6	7,9	5,0	2,3	2,3	2,7	3,0	2,3	11,6	4,8	5,1
n-Hexan	2,2	2,1	5,8	9,2	6,2	3,7	2,2	2,2	2,5	3,1	2,1	9,2	3,9	4,2
Methylenchlorid	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Isopren	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
cis- + trans-1,3-Pentadien	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
1-Hexen / Furan	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2
Benzol	7,5	6,1	11,7	17,6	12,5	8,0	3,6	4,4	5,7	5,1	3,6	17,6	8,2	8,8
2-Me-Hexan	1,2	1,1	2,6	5,0	2,7	1,4	0,6	0,8	1,0	1,1	0,6	5,0	1,8	1,9

	29.01.	30.01.	31.01.	01.02.	02.02.	03.02.	04.02.	05.02.	06.02.	07.02.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel - werktags
3-Me-Hexan	1.2	1.0	2.5	4.3	2.5	1.5	0.6	0.8	0.9	1.1	0.6	4.3	1.6	1.8
n-Heptan	1.2	1.1	2.7	4.9	2.8	1.5	0.7	1.0	1.1	1.2	0.7	4.9	1.8	2.0
Toluol	10.3	8.8	20.5	33.2	21.2	11.9	7.5	8.2	9.4	9.1	7.5	33.2	14.0	15.1
Hexanal	0.7	0.5	1.0	0.7	0.9	0.6	1.0	0.9	0.8	0.5	0.5	1.0	0.8	0.8
n-Octan	0.7	0.6	1.2	1.8	1.4	0.8	1.2	0.7	0.8	0.7	0.6	1.8	1.0	1.0
Ethylbenzol	2.2	2.0	5.0	8.5	5.1	2.4	1.2	1.7	2.0	2.1	1.2	8.5	3.2	3.6
m/p-Xylol	5.7	5.4	13.5	23.0	13.2	5.8	3.3	4.5	5.6	5.8	3.3	23.0	8.6	9.6
Styrol	0.7	0.6	1.2	1.4	1.4	1.1	1.2	1.2	1.0	0.8	0.6	1.4	1.1	1.0
o-Xylol	2.7	2.5	5.8	8.8	5.5	2.8	1.5	1.9	2.7	2.7	1.5	8.8	3.7	4.1
n-Nonan	0.5	0.4	0.8	1.1	0.9	0.6	0.9	0.9	0.6	0.5	0.4	1.1	0.7	0.7
Isopropylbenzol	0.2	0.2	0.4	0.8	0.6	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.8	0.4	0.4
Benzaldehyd	1.1	1.0	1.5	1.9	1.8	1.5	1.4	2.1	1.6	1.1	1.0	2.1	1.5	1.5
Propylbenzol	1.2	1.1	2.5	3.4	2.7	1.4	0.8	1.0	1.0	1.3	0.8	3.4	1.6	1.8
3-Me-Ethylbenzol	1.8	1.8	4.4	6.9	4.5	2.0	1.7	2.2	2.1	1.9	1.7	6.9	2.9	3.2
4-Me-Ethylbenzol	0.9	0.9	2.2	3.3	2.3	1.1	1.2	1.3	1.2	1.0	0.9	3.3	1.5	1.6
Phenol	0.6	0.6	0.8	0.7	1.0	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7	0.6	1.0	0.8	0.8
1,3,5-TriMe-Benzol	0.9	1.0	2.9	3.4	2.7	1.2	2.3	2.3	1.5	1.4	0.9	3.4	2.0	2.0
6-Me-5-hepten-2-on	2.9	3.3	2.7	2.6	2.7	2.2	2.2	6.1	4.5	4.9	2.2	7.2	3.9	3.7
2-Me-Ethylbenzol	1.1	1.0	2.3	3.2	2.3	1.3	1.1	1.1	1.4	1.2	1.0	3.2	1.6	1.7
Octanal	1.4	1.4	1.9	1.3	1.5	1.1	2.5	2.4	1.8	1.4	1.1	2.5	1.7	1.6
1,2,4-TriMe-Benzol	2.5	2.4	6.0	9.2	6.1	2.8	2.4	2.8	2.9	2.7	2.4	9.2	4.0	4.3
n-Decan	1.4	1.0	2.0	2.2	2.2	1.7	3.0	3.5	1.9	1.3	1.0	3.5	2.0	1.9
1,2,3-TriMe-Benzol	0.8	0.8	1.7	2.4	1.8	1.1	1.2	1.5	1.2	0.9	0.8	2.4	1.3	1.4
2-Et-hexanol	1.9	1.7	2.4	1.9	2.3	2.4	3.4	3.4	2.5	1.5	1.5	3.4	2.3	2.2
Limonen	2.5	1.6	2.3	2.2	2.5	2.6	3.1	4.1	3.5	1.6	1.6	4.1	2.6	2.5
Nonanal	2.4	3.1	2.9	2.1	2.4	1.6	3.6	3.0	2.9	2.3	1.6	3.6	2.6	2.6
n-Undecan	1.3	0.9	2.4	1.5	1.7	1.4	1.6	1.8	1.1	0.9	0.9	2.4	1.5	1.5
Naphthalin	1.1	1.1	1.8	1.9	1.8	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.9	1.3	1.4
Decanal	2.3	4.3	3.7	2.8	2.9	2.8	4.4	3.5	3.9	3.3	2.3	4.4	3.4	3.4
n-Dodecan	1.1	0.8	1.2	1.0	1.4	1.2	1.3	1.4	1.1	0.8	0.8	1.4	1.1	1.1
n-Tridecan	1.9	1.6	2.2	1.3	2.1	2.0	2.6	1.9	1.6	1.3	1.3	2.6	1.8	1.7
n-Tetradecan	0.8	0.9	1.8	0.9	1.1	0.9	1.8	1.2	1.0	0.8	0.8	1.8	1.1	1.1
n-Pentadecan	0.5	0.5	1.4	0.7	0.8	0.6	1.2	0.9	0.6	0.6	0.5	1.4	0.8	0.7
n-Hexadecan	0.3	0.3	1.1	0.5	0.6	0.3	0.8	0.7	0.5	0.5	0.3	1.1	0.5	0.5
Summe	102.0	93.3	180.5	268.4	211.4	116.7	98.8	107.6	99.5	96.9	93.3	268.4	137.5	145.0

# Wintermesskampagne 1996 - Brandvorwerkstraße

## detaillierte Auswertung

(Angaben in µg / m<sup>3</sup>)

	29.01.	30.01. A	31.01.	01.02.	02.02.	03.02.	04.02.	05.02.	06.02.	07.02.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel - werktags
Propan	5.4		8.2	8.7	14.0	6.7	5.9	8.9	8.9	7.4	5.4	14.0	8.2	8.8
Propen	4.0		6.0	6.5	6.6	2.8	1.5	3.3	4.3	4.7	1.5	6.6	4.4	5.0
i-Butan	3.9		18.1	6.9	8.2	3.3	4.8	12.4	4.4	4.6	3.3	18.1	7.4	8.3
n-Butan	8.4		11.4	14.2	15.2	5.8	4.7	10.4	8.6	10.1	4.7	15.2	9.9	11.2
trans-2-Buten	0.4		0.4	0.6	0.4	0.2	0.1	0.3	0.3	0.4	0.1	0.6	0.3	0.4
1-Buten	0.9		0.9	1.2	1.0	0.5	0.3	0.7	0.7	0.8	0.3	1.2	0.8	0.9
Cyclopentan	1.0		1.2	1.5	1.2	0.5	0.3	0.7	0.7	1.0	0.3	1.5	0.9	1.1
i-Buten	1.5		1.7	2.0	1.3	0.7	0.4	1.1	1.0	1.1	0.4	2.0	1.2	1.4
cis-2-Buten	0.3		0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1
i-Pentan	9.1		10.7	15.4	13.9	6.0	4.3	7	9.9	12.0	4.3	15.4	9.9	11.2
n-Pentan	9.8		9.6	12.3	11.4	5.7	3.1	5.8	7.0	8.9	3.1	12.3	8.2	9.3
1,3-Butadien	0.4		0.3	0.4	0.4	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.1	0.4	0.3	0.3
Propin	0.3		0.2	0.3	0.3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.3	0.2	0.2
Cyclopenten	0.1		0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
2-Me-2-Buten	0.1		0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
trans-2-Penten	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2-Me-1-Buten	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-Penten	0.0		0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Me-Cyclopentan	2.5		2.6	3.7	2.9	1.3	0.7	1.5	1.9	2.4	0.7	3.7	2.2	2.5
Cyclohexan	1.6		1.8	2.3	2.0	1.0	0.6	1.0	1.2	1.6	0.6	2.3	1.5	1.6
2-2-DiMe-Butan	0.0		0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
cis-2-Penten	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2- + 3-Me-Pentan	7.9		8.5	11.5	9.1	4.1	2.0	4.5	6.1	7.9	2.0	11.5	6.9	7.9
n-Hexan	4.9		5.8	7.8	6.2	3.1	1.8	3.4	4.3	5.5	1.8	7.8	4.8	5.4
Methylenchlorid	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Isopren	0.1		0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
cis- + tr-1,3-Pentadien	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-Hexen / Furan	0.1		0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
Benzol	10.9		11.5	16.6	14.6	9.2	5.5	6.2	8.5	11.6	5.5	16.6	10.5	11.4
2-Me-Hexan	3.1		3.2	4.5	3.3	1.6	0.8	1.7	2.2	3.0	0.8	4.5	2.6	3.0

	29.01.	30.01.	31.01.	01.02.	02.02.	03.02.	04.02.	05.02.	06.02.	07.02.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel - werktags
3-Me-Hexan	2.8		2.8	3.8	3.0	1.6	0.7	1.5	2.0	2.7	0.7	3.8	2.3	2.7
n-Heptan	3.2		3.3	4.5	3.4	1.8	1.0	1.9	2.3	3.1	1.0	4.5	2.7	3.1
Toluol	21.9		23.8	32.1	30.1	17.1	8.8	13.8	17.5	23.8	8.8	32.1	21.0	23.3
Hexanal	0.5		0.5	0.4	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.7	0.5	0.5
n-Octan	1.3		1.4	1.8	1.0	1.4	0.9	0.8	1.1	1.5	0.8	1.8	1.2	1.3
Ethylbenzol	5.0		5.9	8.2	6.2	3.2	1.8	3.2	4.2	5.7	1.8	8.2	4.8	5.5
m/p-Xylol	14.4		16.6	22.7	16.3	8.1	4.9	9.0	11.6	16.0	4.9	22.7	13.3	15.2
Styrol	1.0		1.1	1.3	1.2	0.9	0.7	0.7	0.7	1.0	0.7	1.3	0.9	1.0
o-Xylol	5.6		6.5	8.7	6.4	3.3	2.7	3.7	4.6	6.2	2.7	8.7	5.3	5.9
n-Nonan	1.0		1.1	1.4	1.9	1.9	4.0	1.1	1.2	1.5	1.0	4.0	1.7	1.3
Isopropylbenzol	0.5		0.5	0.7	0.6	0.4	0.2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.7	0.4	0.5
Benzaldehyd	1.3		1.2	1.4	1.6	1.6	2.3	0.9	0.9	1.4	0.9	2.3	1.4	1.2
Propylbenzol	2.3		2.5	3.2	2.7	1.8	0.6	1.4	1.8	2.3	0.6	3.2	2.1	2.3
3-Me-Ethylbenzol	4.9		5.5	7.2	5.0	2.8	2.5	3.0	3.6	4.9	2.5	7.2	4.4	4.9
4-Me-Ethylbenzol	2.2		2.5	3.3	2.3	1.3	0.7	1.4	1.7	2.2	0.7	3.3	2.0	2.2
Phenol	0.6		0.7	0.8	0.8	0.8	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.8	0.7	0.7
1,3,5-TriMe-Benzol	2.4		2.6	3.1	2.7	1.8	2.2	1.6	1.9	2.4	1.6	3.1	2.3	2.4
6-Me-5-hepten-2-on	0.9		0.3	0.7	1.0	1.0	0.0	1.2	0.8	0.8	0.0	1.2	0.7	0.8
2-Me-Ethylbenzol	2.0		2.2	2.9	2.2	1.4	0.8	1.2	1.5	2.0	0.8	2.9	1.8	2.0
Octanal	0.7		0.8	0.6	0.7	0.7	0.0	1.4	0.9	0.8	0.0	1.4	0.7	0.8
1,2,4-TriMe-Benzol	7.0		7.9	9.7	7.4	4.9	3.2	4.3	5.2	7.3	3.2	9.7	6.3	7.0
n-Decan	2.2		1.6	2.0	4.1	4.5	37.2	7.3	4.4	4.1	1.6	37.2	7.5	3.7
1,2,3-TriMe-Benzol	1.8		2.0	2.5	3.0	2.1	1.7	1.5	1.6	2.2	1.5	3.0	2.1	2.1
2-Et-hexanol	0.3		0.2	0.2	0.4	0.3	0.0	0.5	0.3	0.3	0.0	0.5	0.3	0.3
Limonen	2.7		2.6	2.7	6.4	10.1	19.2	6.3	4.0	4.0	2.6	19.2	6.4	4.1
Nonanal	1.2		1.0	0.8	1.3	1.1	5.3	2.4	1.6	1.5	0.8	5.3	1.8	1.4
n-Undecan	5.6		4.3	5.0	11.8	11.8	65.2	29.0	14.1	11.9	4.3	65.2	17.6	11.7
Naphthalin	2.1		2.1	2.6	2.4	2.2	3.4	3.0	2.2	2.6	2.1	3.4	2.5	2.4
Decanal	1.1		1.6	1.1	1.7	1.8	5.1	4.2	2.9	2.7	1.1	5.1	2.5	2.2
n-Dodecan	3.4		2.8	3.2	9.2	9.0	17.3	19.9	11.8	9.0	2.8	19.9	9.5	8.5
n-Tridecan	0.6		0.6	0.7	2.0	2.2	1.3	1.6	1.6	1.5	0.6	2.2	1.3	1.2
n-Tetradecan	0.4		0.4	0.5	1.5	1.7	0.8	0.4	0.5	0.6	0.4	1.7	0.8	0.6
n-Pentadecan	0.5		0.4	0.5	1.4	1.6	0.8	0.3	0.5	0.3	0.3	1.6	0.7	0.6
n-Hexadecan	0.4		0.3	0.3	1.1	1.0	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	1.1	0.5	0.4
Summe	180.5		212.6	257.8	256.0	161.0	234.0	200.4	181.1	212.2	161.0	257.8	210.6	214.4

# Wintermesskampagne 1996 - Bernhardstrasse

## detaillierte Auswertung

(Angaben in  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )

	29.01.	30.01.	31.01.	01.02.	02.02.	03.02.	04.02.	05.02.	06.02.	07.02.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel - werktags
Propan	6.0	5.1	A	11.4	21.6	10.1	6.4	9.2	4.9	4.3	4.3	21.6	8.8	8.9
Propen	4.1	3.3		8.8	9.7	4.3	2.3	5.8	2.9	2.5	2.3	9.7	4.8	5.3
i-Butan	3.6	3.3		9.0	15.1	5.9	2.5	5.1	4.5	2.9	2.5	15.1	5.8	6.2
n-Butan	8.1	7.6		16.6	22.3	8.3	4.7	10.6	7.6	6.1	4.7	22.3	10.2	11.3
trans-2-Buten	0.4	0.3		0.7	0.8	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.2	0.8	0.4	0.5
1-Buten	0.9	0.7		1.6	1.9	0.8	0.4	0.9	0.6	0.6	0.4	1.9	0.9	1.0
Cyclopentan	1.0	0.9		2.0	2.0	0.4	0.3	0.9	0.7	0.7	0.3	2.0	1.0	1.1
i-Buten	2.1	1.2		2.4	3.2	1.1	0.5	1.1	1.0	1.0	0.5	3.2	1.5	1.7
cis-2-Buten	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
i-Pentan	8.0	7.9		17.7	25.1	10.8	6.1	12.6	10.1	11.3	6.1	25.1	12.2	13.2
n-Pentan	5.7	7.8		14.7	20.1	7.6	4.0	9.0	6.5	6.5	4.0	20.1	9.1	10.0
1,3-Butadien	0.3	0.3		0.9	1.2	0.3	0.1	0.4	0.2	0.4	0.1	1.2	0.5	0.5
Propin	0.2	0.2		0.6	0.8	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.8	0.3	0.3
Cyclopenten	0.1	0.1		0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1
2-Me-2-Buten	0.1	0.0		0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
trans-2-Penten	0.2	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
2-Me-1-Buten	0.3	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1
1-Penten	0.4	0.0		0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1
Me-Cyclopentan	2.0	2.1		4.7	5.5	1.6	1.0	2.6	1.8	1.8	1.0	5.5	2.5	2.9
Cyclohexan	1.4	1.4		2.7	3.4	1.1	0.8	1.5	1.1	1.2	0.8	3.4	1.6	1.8
2-2-DiMe-Butan	0.7	0.0		0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	0.1
cis-2-Penten	5.4	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.6	0.8
2- + 3-Me-Pentan	3.4	7.0		13.0	15.6	6.0	3.0	7.2	5.9	5.6	3.0	15.6	7.4	8.3
n-Hexan	0.4	4.2		11.4	12.3	4.0	2.5	6.3	4.3	4.3	0.4	12.3	5.5	6.2
Methylchlorid	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Isopren	0.4	0.0		0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1
cis- + trans-1,3-Pentadien	0.1	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
1-Hexen / Furan	0.6	0.2		0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.6	0.3	0.3
Benzol	11.4	9.0		20.6	25.3	11.9	7.1	12.0	8.5	9.0	7.1	25.3	12.8	13.7
2-Me-Hexan	0.5	2.7		5.6	6.3	1.9	1.3	2.9	2.4	2.2	0.5	6.3	2.9	3.2

	29.01.	30.01.	31.01.	01.02.	02.02.	03.02.	04.02.	05.02.	06.02.	07.02.	Minimum	Maximum	Mittel	Mittel - werklags
3-Me-Hexan	0.6	2.3	A	4.7	5.4	1.7	1.3	2.6	2.1	2.0	0.6	5.4	2.5	2.8
n-Heptan	5.1	2.3		5.1	6.6	1.9	1.4	2.9	2.1	2.1	1.4	6.6	3.3	3.7
Toluol	10.0	15.4		33.5	42.9	15.6	8.1	20.2	14.5	14.3	8.1	42.9	19.4	21.5
Hexanal	0.1	0.3		0.6	0.7	0.4	0.6	0.4	0.5	0.4	0.1	0.7	0.4	0.4
n-Octan	0.2	1.0		1.9	2.5	1.1	0.8	1.0	1.0	0.9	0.2	2.5	1.2	1.2
Ethylbenzol	0.1	3.6		8.3	10.5	3.8	2.2	5.0	3.7	3.5	0.1	10.5	4.5	5.0
m/p-Xylol	0.3	10.6		22.5	28.0	9.8	5.8	13.8	10.2	9.8	0.3	28.0	12.3	13.6
Styrol	0.1	0.8		1.5	1.9	1.4	0.8	1.2	1.0	0.6	0.1	1.9	1.0	1.0
o-Xylol	0.1	4.0		8.4	10.6	4.0	2.6	5.2	3.9	3.8	0.1	10.6	4.7	5.1
n-Nonan	0.1	0.6		1.1	1.5	0.8	0.5	0.7	0.8	0.7	0.1	1.5	0.8	0.8
Isopropylbenzol	0.0	0.3		0.7	0.9	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.0	0.9	0.4	0.4
Benzaldehyd	0.1	0.9		1.2	1.4	1.0	0.9	1.0	0.8	0.7	0.1	1.4	0.9	0.9
Propylbenzol	0.0	1.4		2.7	3.5	1.3	0.9	1.7	1.4	1.3	0.0	3.5	1.6	1.7
3-Me-Ethylbenzol	0.0	3.3		6.3	8.3	2.9	1.8	4.0	3.1	2.9	0.0	8.3	3.6	4.0
4-Me-Ethylbenzol	0.0	1.5		2.8	3.8	1.4	0.9	1.8	1.4	1.3	0.0	3.8	1.7	1.8
Phenol	0.2	0.3		0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.4	0.3	0.2	0.8	0.5	0.5
1,3,5-TriMe-Benzol	0.0	1.6		2.9	3.8	1.4	0.9	1.9	1.4	1.5	0.0	3.8	1.7	1.9
6-Me-5-hepten-2-on	0.0	0.7		0.4	0.6	0.4	1.0	0.5	0.7	0.5	0.0	1.0	0.5	0.5
2-Me-Ethylbenzol	0.0	1.4		2.5	3.3	1.4	0.9	1.6	1.3	1.2	0.0	3.3	1.5	1.6
Octanal	0.4	0.6		0.7	0.7	0.6	0.8	0.6	0.6	0.4	0.4	0.8	0.6	0.6
1,2,4-TriMe-Benzol	0.0	5.0		8.5	11.6	4.2	3.0	5.6	4.4	4.2	0.0	11.6	5.2	5.6
n-Decan	0.2	1.2		2.1	2.3	1.3	1.1	1.3	1.7	1.3	0.2	2.3	1.4	1.4
1,2,3-TriMe-Benzol	0.0	1.3		2.1	2.8	1.1	0.8	1.4	1.2	1.1	0.0	2.8	1.3	1.4
2-Et-hexanol	0.8	0.6		0.4	0.2	0.6	1.0	0.7	0.6	0.4	0.2	1.0	0.6	0.5
Limonen	0.1	3.4		4.4	4.5	2.4	2.0	2.2	2.2	1.6	0.1	4.5	2.5	2.6
Nonanal	0.8	1.0		1.2	1.2	1.0	1.4	1.1	0.9	0.9	0.8	1.4	1.1	1.0
n-Undecan	0.0	1.2		1.8	2.2	1.2	0.9	1.1	1.1	1.0	0.0	2.2	1.2	1.2
Naphthalin	0.0	1.4		2.3	2.7	1.6	1.3	1.8	1.4	1.2	0.0	2.7	1.5	1.5
Decanal	1.0	1.5		1.5	1.2	1.2	2.4	1.7	1.3	1.2	1.0	2.4	1.4	1.3
n-Dodecan	0.0	1.0		1.4	1.4	0.9	0.8	1.1	0.9	0.7	0.0	1.4	0.9	0.9
n-Tridecan	0.0	0.3		0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.0	0.5	0.3	0.3
n-Tetradecan	0.0	0.3		0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.0	0.4	0.3	0.3
n-Pentadecan	0.1	0.2		0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2
n-Hexadecan	0.1	0.2		0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
Summe	88.4	137.1		280.6	362.2	145.8	92.4	176.1	132.0	124.3	88.4	362.2	171.0	185.8

# Vergleichsmessungen

(Angaben in  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )

	Bayrischer Platz (Mittelwert aus 5 Messungen in der Zeit vom 09.-13.01.95, tägliche Probenahme von 11:00 - 11:20)	südlicher Auwald (Mittelwert aus 2 Messungen am 24.05.95, Probenahme zwischen 10:00 und 12:00)
Propan		0.9
Propen / i-Butan	44.0	3.7
n-Butan	20.3	5.1
trans-2-Buten	0.8	0.2
1-Buten / Cyclopentan	2.0	1.6
i-Buten / i-Pentan	5.2	7.2
cis-2-Buten	0.6	0.1
n-Pentan	4.4	6.8
1,3-Butadien	0.4	0.0
Propin	0.4	0.0
Cyclopenten		
2-Methyl-2-Buten		
trans-2-Penten		0.0
2-Methyl-1-Buten		
1-Penten		0.1
Methyl-Cyclopentan		
Cyclohexan	1.3	0.1
2,2-Dimethyl-Butan		
cis-2-Penten	38.3	0.1
2- + 3-Methylpentan	78.3	4.3
n-Hexan		2.6
Methylchlorid		
Isopren		0.0
cis- + trans-1,3-Pentadien		0.5
1-Hexen / Furan		0.5
Benzol	37.6	5.4
2-Methylhexan	13.2	1.2
3-Methylhexan	15.2	1.1
n-Heptan	15.1	0.9
Toluol	126.7	9.6
Ethylbenzol	33.8	2.6
m/p-Xylol	96.8	6.4
o-Xylol	36.1	2.5
Styrol	8.1	0.6
n-Nonan	5.1	0.4
Isopropylbenzol	7.4	0.2
Propylbenzol	13.0	0.8
3-Methyl-Ethylbenzol	37.9	1.9
4-Methyl-Ethylbenzol	15.9	0.8

	<b>Bayrischer Platz</b> (Mittelwert aus 5 Messungen in der Zeit vom 09.-13.01.95, tägliche Probenahme von 11:00 - 11:20)	<b>südlicher Auwald</b> (Mittelwert aus 2 Messungen am 24.05.95, Probenahme zwischen 10:00 und 12:00)
1,3,5-Trimethylbenzol	19,5	0,6
2-Methyl-Ethylbenzol	15,8	0,7
1,2,4-Trimethylbenzol	57,5	2,3
1,2,3-Trimethylbenzol	11,3	0,6
n-Decan	5,2	0,5
Naphthalin	46,3	0,6
n-Undecan	5,9	1,3
n-Dodecan	6,0	0,0
n-Tridecan	3,4	0,0
n-Tetradecan	1,0	0,0
n-Pentadecan		0,0
n-Hexadecan		0,0
Limonen	1,6	0,0
Nonanal	16,8	0,4
Decanal	5,9	0,6
Benzaldehyd	10,8	1,5
Phenol	15,7	4,4
<b>Summe</b>	<b>880,6</b>	<b>81,7</b>

**Innenraummessungen**  
**detaillierte Auswertung**  
 (Angaben in  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )

	Deiwitzweg			Brandvorwerkstraße			Bernhardstraße		
	Messung 1	Messung 2	Mittelwert	Messung 1	Messung 2	Mittelwert	Messung 1	Messung 2	Mittelwert
Propan	5.0	9.2	7.1	101.5	51.7	76.6	11.0		11.0
Propen	2.0	2.3	2.1	10.3	14.9	12.6	2.2		2.2
i-Butan	7.7	9.2	8.4	28.2	27.3	27.7	22.9		22.9
n-Butan	15.7	16.6	16.2	43.8	42.6	43.2	6.1		6.1
trans-2-Buten	0.2	0.2	0.2	0.6	0.5	0.5	0.4		0.4
1-Buten	0.5	0.5	0.5	1.1	1.0	1.1	0.6		0.6
Cyclopentan	1.3	1.4	1.3	0.6	3.1	1.8	0.4		0.4
i-Buten	0.9	1.0	1.0	2.4	2.1	2.3	0.8		0.8
cis-2-Buten	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2		0.2
i-Pentan	10.9	12.6	11.8	18.8	20.5	19.7	5.7		5.7
n-Pentan	13.8	16.7	15.3	21.6	25.7	23.6	7.6		7.6
1,3-Butadien	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1		0.1
Propin	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.0		0.0
Cyclopenten	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1		0.1
2-Me-2-Buten	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0		0.0
trans-2-Penten	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.2	0.0		0.0
2-Me-1-Buten	0.0	0.0	0.0	0.7	0.2	0.5	0.0		0.0
1-Penten	0.0	0.1	0.0	0.4	0.2	0.3	0.1		0.1
Me-Cyclopentan	5.7	6.2	6.0	5.1	5.3	5.2	1.0		1.0
Cyclohexan	2.8	2.8	2.8	4.0	2.9	3.5	0.8		0.8
2-2-DiMe-Butan	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0		0.0
cis-2-Penten	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
2- + 3-Me-Pentan	15.0	16.7	15.8	16.5	14.7	15.6	3.1		3.1
n-Hexan	9.9	13.8	11.8	14.0	10.1	12.1	2.7		2.7
Methylchlorid	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
Isopren	0.0	0.0	0.0	2.7	0.6	1.6	0.0		0.0
cis- + trans-1,3-Pentadien	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0		0.0
1-Hexen / Furan	0.2	0.3	0.2	0.6	0.6	0.6	0.2		0.2
Benzol	12.7	11.8	12.3	21.6	18.9	20.2	6.8		6.8
2-Me-Hexan	2.5	2.6	2.6	4.6	4.1	4.3	1.0		1.0

	Deiowitzweg			Brandvorwerkstraße			Bernhardstraße		
	Messung 1	Messung 2	Mittelwert	Messung 1	Messung 2	Mittelwert	Messung 1	Messung 2	Mittelwert
3-Me-Hexan	2.2	2.5	2.3	3.9	3.4	3.7	1.0		1.0
n-Heptan	2.2	2.5	2.3	4.6	4.2	4.4	1.2		1.2
Toluol	50.1	69.2	59.7	59.6	64.8	62.2	9.2		9.2
Hexanal	1.1	2.7	1.9	0.0	10.2	5.1	0.7		0.7
n-Octan	2.0	1.6	1.8	6.8	5.4	6.1	1.1		1.1
Ethylbenzol	4.2	4.1	4.1	12.0	10.9	11.4	2.4		2.4
m/p-Xylol	10.1	10.0	10.1	28.3	23.8	26.0	6.7		6.7
Styrol	1.6	2.5	2.1	2.8	2.7	2.7	0.7		0.7
o-Xylol	4.5	5.0	4.7	14.8	12.0	13.4	2.7		2.7
n-Nonan	1.3	1.9	1.6	17.4	14.5	16.0	0.8		0.8
Isopropylbenzol	0.5	0.5	0.5	5.2	1.2	3.2	0.3		0.3
Benzaldehyd	2.7	2.5	2.6	13.4	10.2	11.8	1.0		1.0
Propylbenzol	1.7	2.4	2.1	7.0	5.9	6.5	1.1		1.1
3-Me-Ethylbenzol	3.5	3.6	3.5	17.9	14.0	15.9	2.0		2.0
4-Me-Ethylbenzol	2.1	1.9	2.0	8.1	7.0	7.5	1.0		1.0
Phenol	0.5	0.8	0.6	7.5	5.0	6.2	0.6		0.6
1,3,5-TriMe-Benzol	3.0	2.8	2.9	16.9	13.4	15.2	1.2		1.2
6-Me-5-hepten-2-on	3.5	3.4	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
2-Me-Ethylbenzol	1.7	1.7	1.7	6.8	5.5	6.1	1.0		1.0
Octanal	1.5	2.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.9		0.9
1,2,4-TriMe-Benzol	4.7	6.0	5.3	23.9	18.8	21.3	3.4		3.4
n-Decan	3.9	4.9	4.4	53.6	42.8	48.2	2.5		2.5
1,2,3-TriMe-Benzol	2.2	2.4	2.3	12.0	10.8	11.4	1.2		1.2
2-Et-hexanol	4.1	4.0	4.0	0.0	3.4	1.7	2.4		2.4
Limonen	5.8	10.7	8.3	47.6	39.2	43.4	3.1		3.1
Nonanal	1.5	4.1	2.8	8.5	8.0	8.2	1.7		1.7
n-Undecan	3.1	4.0	3.6	66.0	55.4	60.7	2.5		2.5
Naphthalin	1.3	1.4	1.4	7.1	5.2	6.2	1.3		1.3
Decanal	1.3	4.4	2.8	8.3	6.8	7.5	1.9		1.9
n-Dodecan	1.7	2.4	2.1	41.6	32.5	37.1	1.3		1.3
n-Tridecan	2.6	4.0	3.3	7.1	4.9	6.0	0.5		0.5
n-Tetradecan	1.5	2.2	1.9	5.4	3.4	4.4	0.6		0.6
n-Pentadecan	1.1	1.3	1.2	8.2	3.7	6.0	0.5		0.5
n-Hexadecan	1.0	1.0	1.0	4.5	2.9	3.7	0.4		0.4
<b>Summe</b>	<b>242.7</b>	<b>301.6</b>	<b>272.1</b>	<b>827.1</b>	<b>699.8</b>	<b>763.4</b>	<b>132.7</b>		<b>132.7</b>

## Klimadaten - Winter 1994/1995

(Tagesmittelwerte für die Zeit von 07:00 - 17:00 Uhr)

	06.03.1995 Montag	07.03.1995 Dienstag	08.03.1995 Mittwoch	09.03.1995 Donnerstag	10.03.1995 Freitag	11.03.1995 Samstag	12.03.1995 Sonntag
T (°C) 1)	5.2	3.1	4.5	5.2	4.6	5.2	3.4
relative Feuchte (%) 1)	73	81	63	68	77	74	84
absolute Feuchte (mg/l)	5.1	4.9	4.2	4.7	5.2	5.2	5.2
Windgeschwindigkeit (m/s) 2)	6	3.8	3.7	3.1	3.4	4.4	4.3
Windrichtung 2)	SW	S-SW	SSO	WSW	O	ONO	ONO
Wind - Tendenz	gleichbleibend	schwankend	gleichbleibend	gleichbleibend	schwankend	gleichbleibend	gleichbleibend
Niederschlag		Schauer					

	13.03.1995 Montag	14.03.1995 Dienstag	15.03.1995 Mittwoch	16.03.1995 Donnerstag	17.03.1995 Freitag
T (°C) 1)	3.7	-1.5	1.2	3.5	5.9
relative Feuchte (%) 1)	82	81	93	81	78
absolute Feuchte (mg/l)	5.2	3.6	5	5	5.7
Windgeschwindigkeit (m/s) 2)	6	6.1	3.5	5.7	7.4
Windrichtung 2)	ONO	ONO	SSO	WSW	S
Wind - Tendenz	gleichbleibend	gleichbleibend	gleichbleibend	schwankend	gleichbleibend
Niederschlag			Nieselregen	Schauer	Schauer

1) Station Stephanstr., H = 2 m

2) Station UFZ, H = 26 m

## Klimadaten - Sommer 1995

(Tagesmittelwerte für die Zeit von 07:00 - 17:00 Uhr)

	14.08.1995 Montag	15.08.1995 Dienstag	16.08.1995 Mittwoch	17.08.1995 Donnerstag	18.08.1995 Freitag	19.08.1995 Samstag	20.08.1995 Sonntag
T (°C) 1)	18.2	20.1	19.2	24.4	26.5	28.2	27.3
relative Feuchte (%) 1)	84	54	71	45	44	45	50
absolute Feuchte (mg/l)	13.3	9.6	12	10.3	11.4	12.8	13.5
Windgeschwindigkeit (m/s) 2)	3	5.2	2.8	2.9	3.9	2.9	2.1
Windrichtung 2)	NW-W	NW	NW	NO	ONO	ONO	NW-NO
Wind - Tendenz	drehend	gleichbleibend	gleichbleibend	gleichbleibend	gleichbleibend	gleichbleibend	drehend
Niederschlag	nachts Regen		nachts Regen				

	21.08.1995 Montag	22.08.1995 Dienstag	23.08.1995 Mittwoch	24.08.1995 Donnerstag	25.08.1995 Freitag
T (°C) 1)	26.4	27.1	29.5	21.1	23.2
relative Feuchte (%) 1)	50	50	45	77	55
absolute Feuchte (mg/l)	12.8	13.4	13.8	14.6	11.7
Windgeschwindigkeit (m/s) 2)	2.7	4	2.8	3.1	4.9
Windrichtung 2)	NW	NO	SO-S	W	SW
Wind - Tendenz	gleichbleibend	gleichbleibend	drehend	schwankend	gleichbleibend
Niederschlag				nachts Regen	

1) Station Stephanstr., H = 2 m

2) Station UFZ, H = 26 m

## Klimadaten - Winter 1995/1996

(Tagesmittelwerte für die Zeit von 07:00 - 17:00 Uhr)

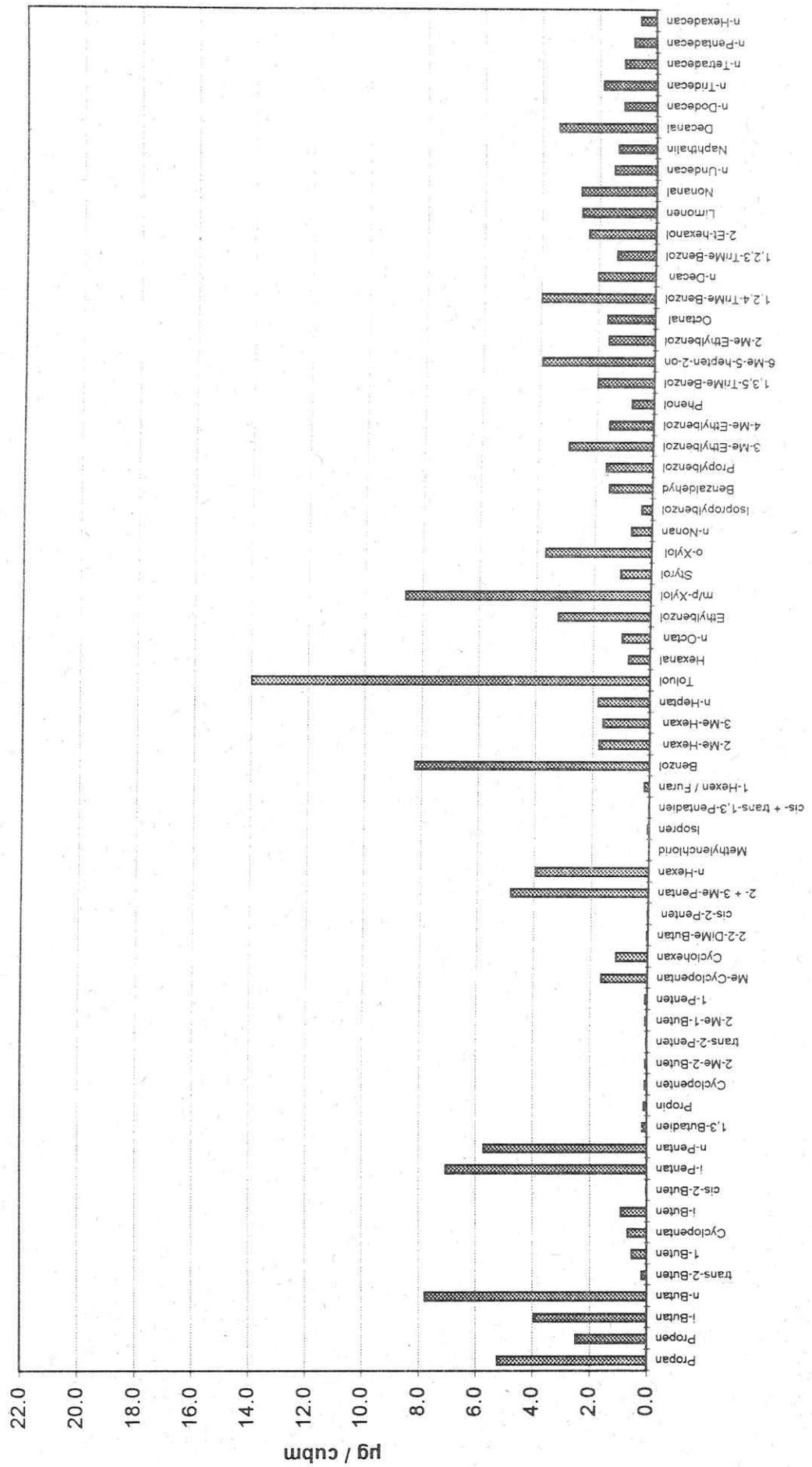
	29.01.1996 Montag	30.01.1996 Dienstag	31.01.1996 Mittwoch	01.02.1996 Donnerstag	02.02.1996 Freitag	03.02.1996 Samstag	04.02.1996 Sonntag
T (°C) 1)	-4.7	-3.7	-4	-4	-1.3	-2.3	-3.2
relative Feuchte (%) 1)	75	69	74	68	60	84	87
absolute Feuchte (mg/l)	2.6	2.6	2.7	2.5	2.7	3.5	3.4
Windgeschwindigkeit (m/s) 2)	2.8	3.9	2.3	1.4	1.7	2.5	2.1
Windrichtung 2)	ONO	O	OSO-ONO	NO-S-W-S-NO	SW-N-NNO	WNW	NNW
Wind - Tendenz	gleichbleibend	gleichbleibend	schwankend	stark schwankend	drehend	gleichbleibend	gleichbleibend
Niederschlag						Schneefall	Schneefall

	05.02.1996 Montag	06.02.1996 Dienstag	07.02.1996 Mittwoch
T (°C) 1)	-2.6	-5.7	-8.7
relative Feuchte (%) 1)	84	74	60
absolute Feuchte (mg/l)	2.4	2.4	1.6
Windgeschwindigkeit (m/s) 2)	2.5	4.4	4.3
Windrichtung 2)	W-N-NNO	OSO	OSO
Wind - Tendenz	drehend	gleichbleibend	gleichbleibend
Niederschlag	Schneefall		

1) Station Stephanstr., H = 2 m

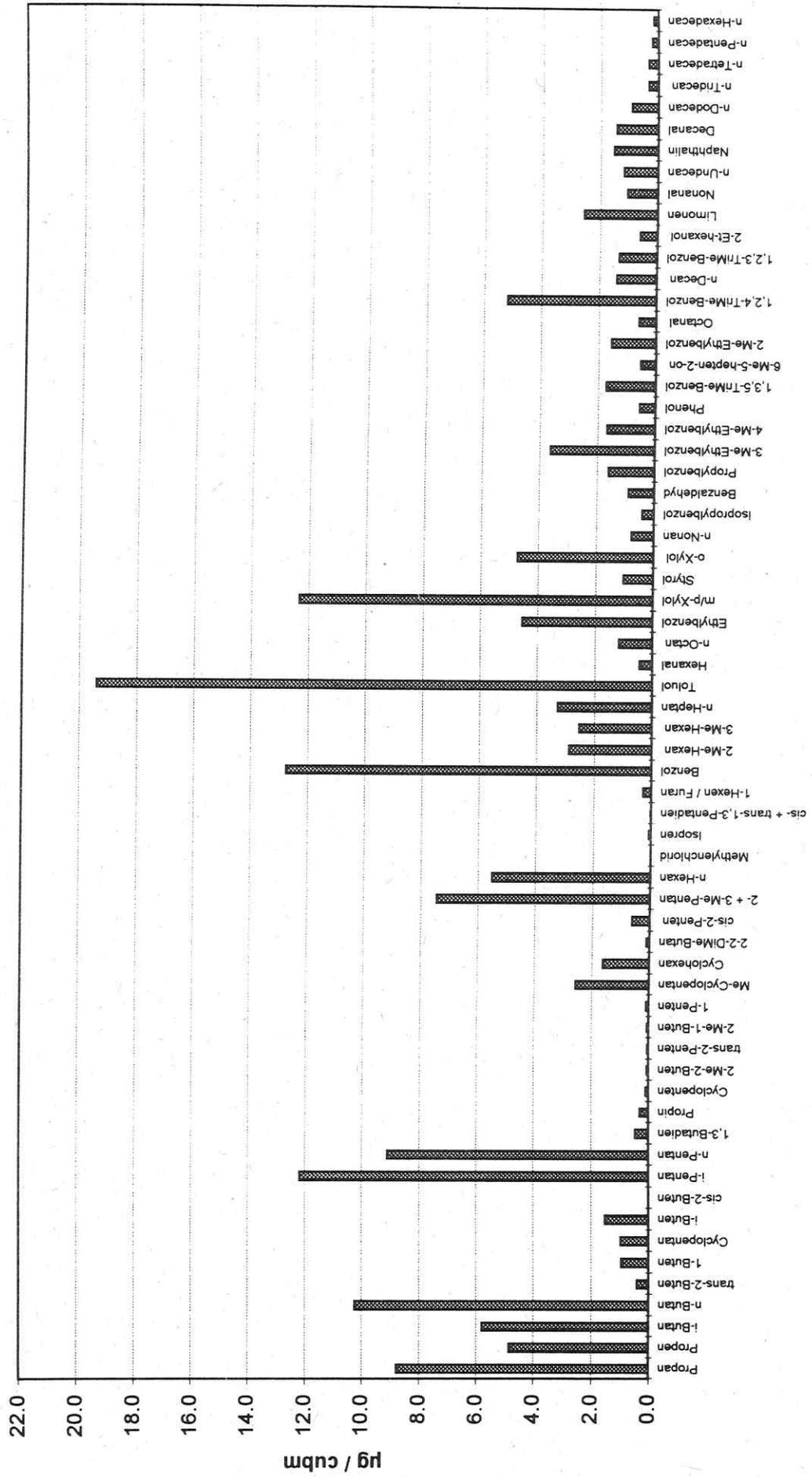
2) Station UFZ, H = 26 m

Schadstoffverteilungsmuster - Deiwitzweg, Winter 1996

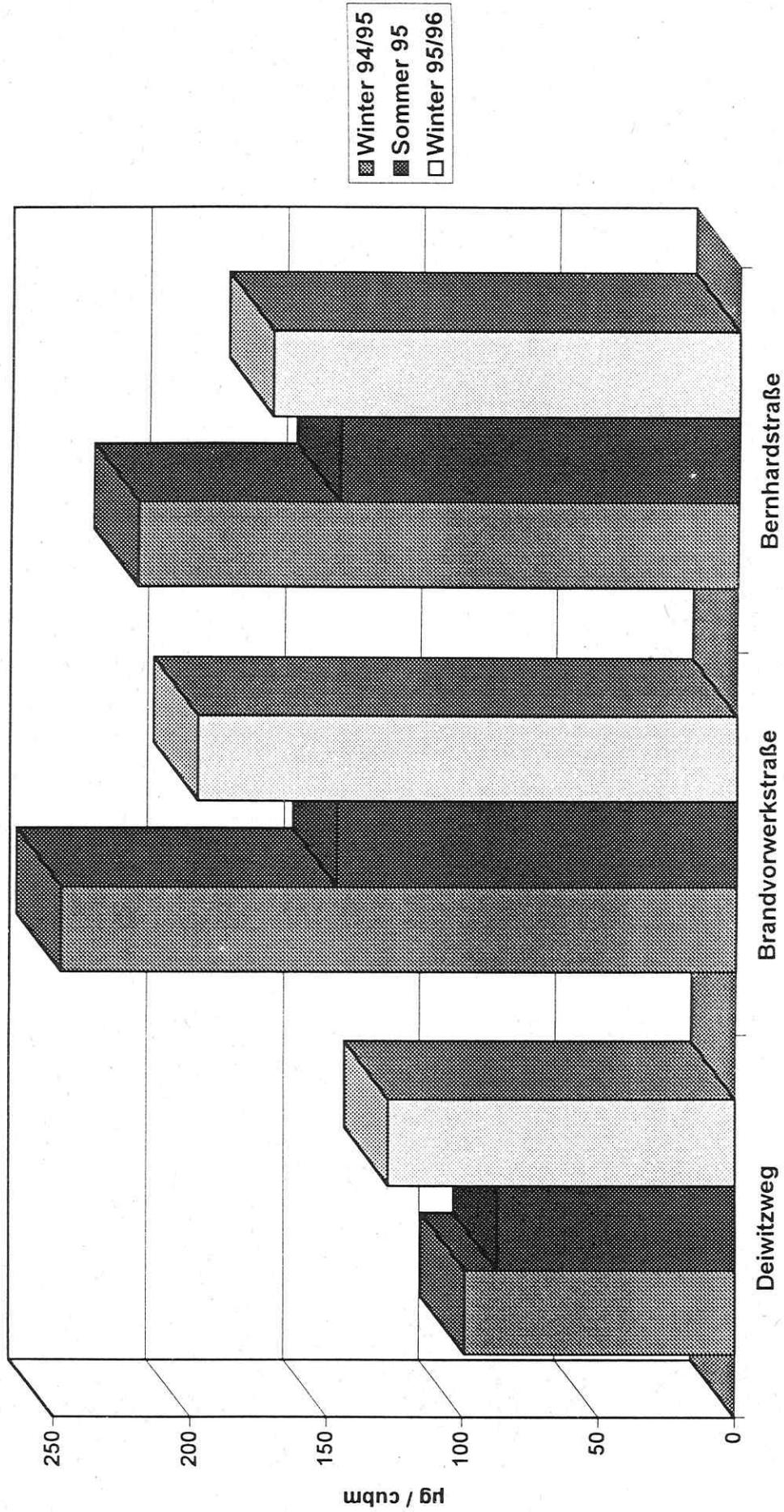




Schadstoffverteilungsmuster - Bernhardstraße, Winter 1996

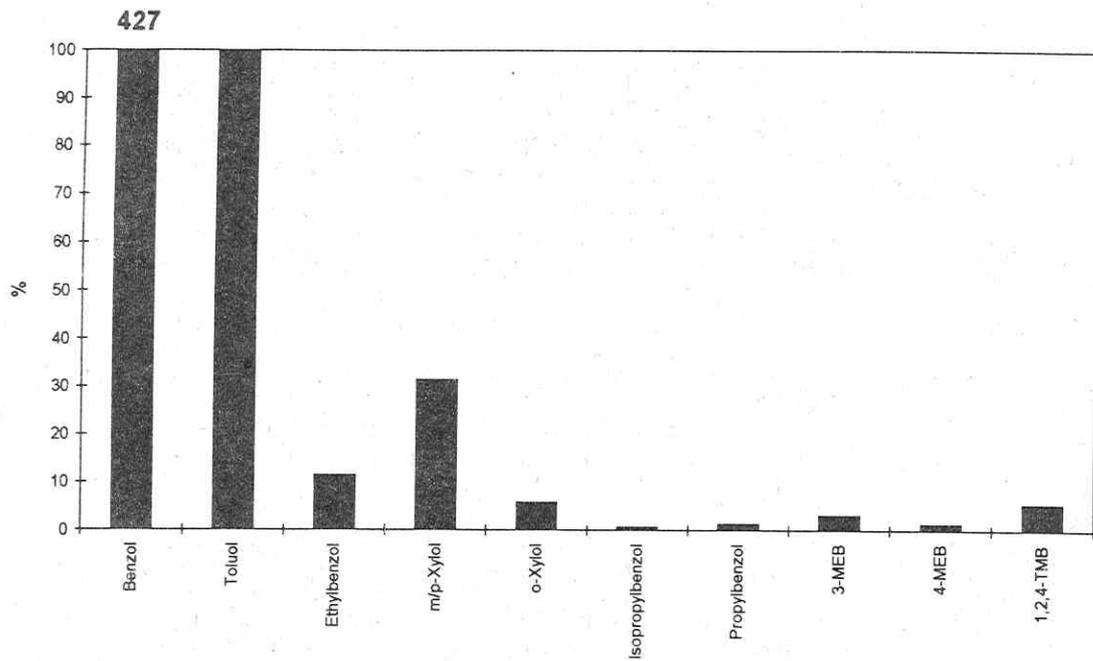


Mittlere summarische Belastung an den untersuchten Standorten (werktags)  
 (ohne Propan und Limonen)

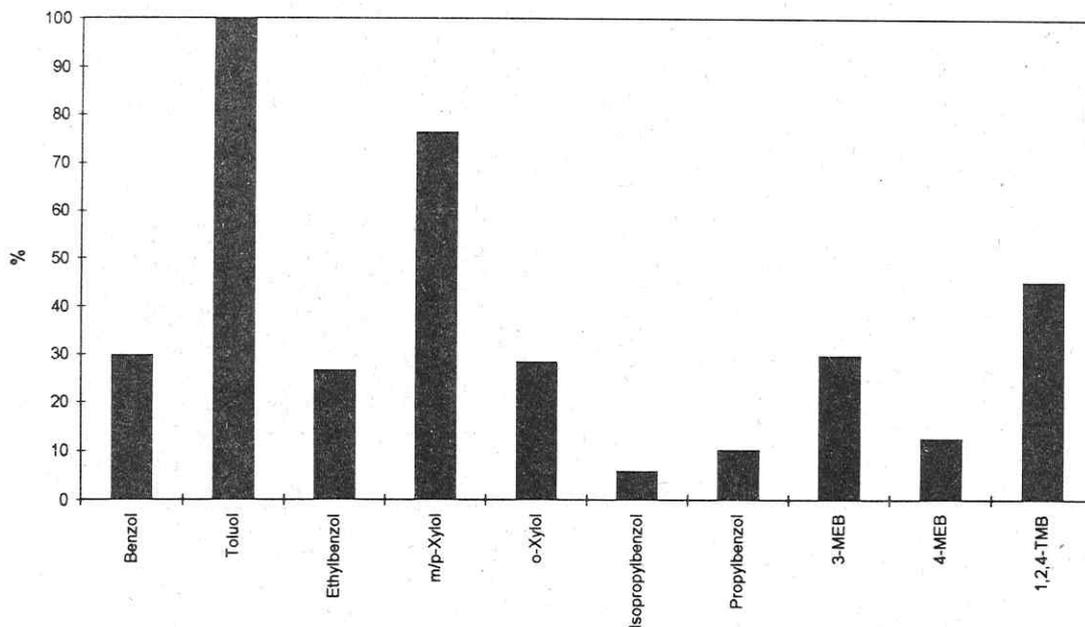


Relative Verteilungsmuster ausgewählter aromatischer Kohlenwasserstoffe in  
 Hausbrand - Emissionen und verkehrstypischen Immissionen  
 (Sommermessung Bayrischer Platz)

Hausbrand - Emission

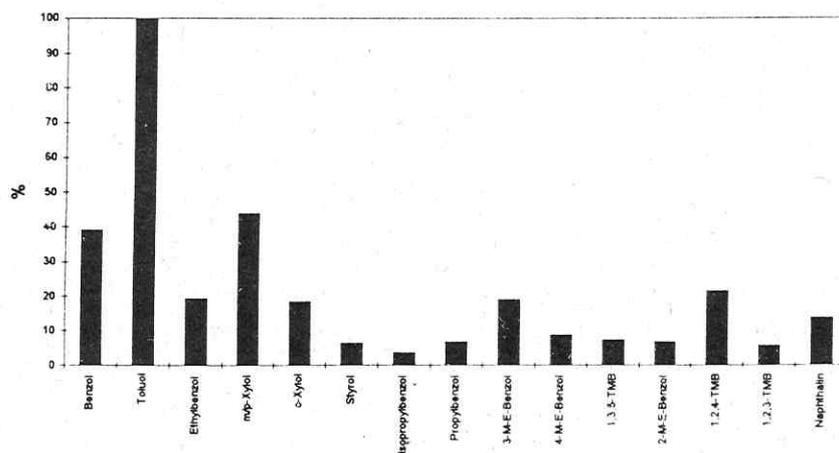


Verkehrstypische Immission

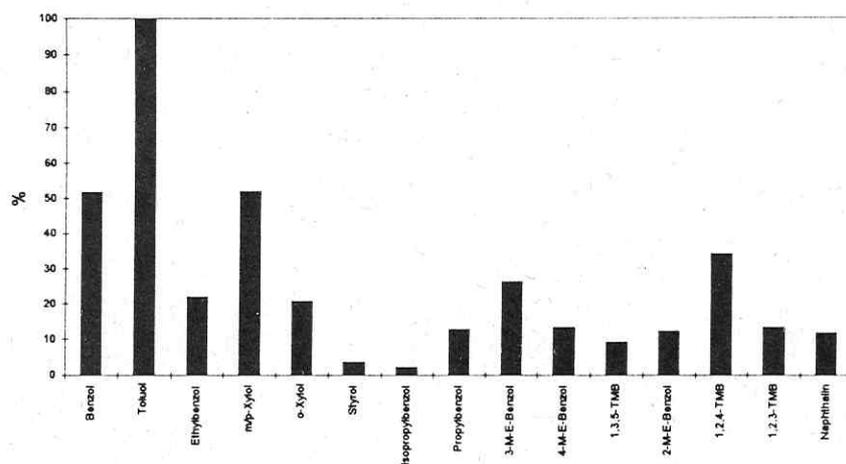


Relative Verteilungsmuster der mittleren Immissionskonzentrationen aromatischer Verbindungen an drei Meßpunkten (bezogen auf Toluol)

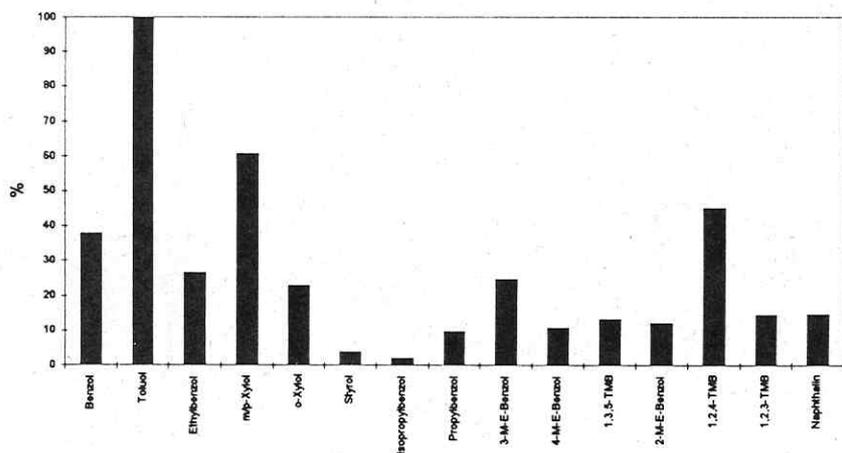
Deiwitzweg



Brandvorwerkstraße

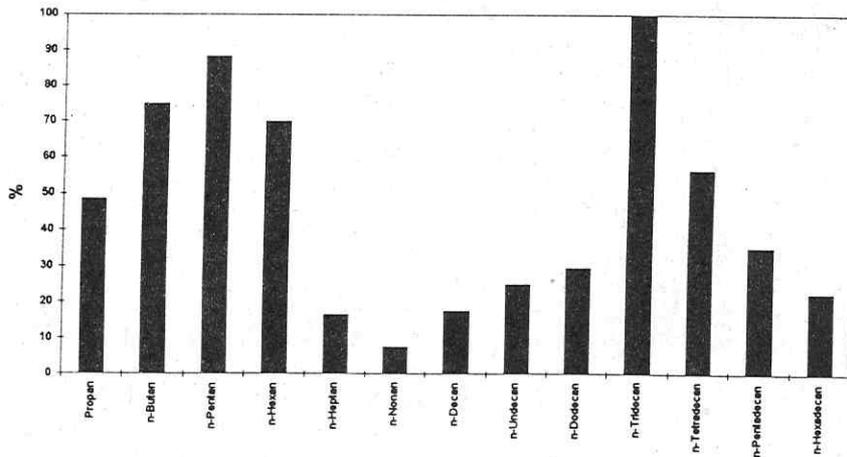


Bernhardstraße

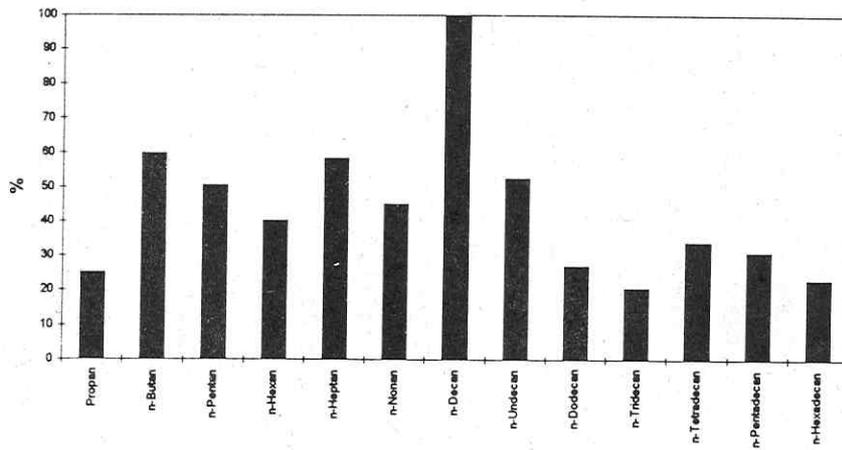


Relative Verteilungsmuster der mittleren Immissionskonzentrationen der n - Alkane an drei Meßpunkten (bezogen auf das n - Alkan mit der höchsten Konzentration)

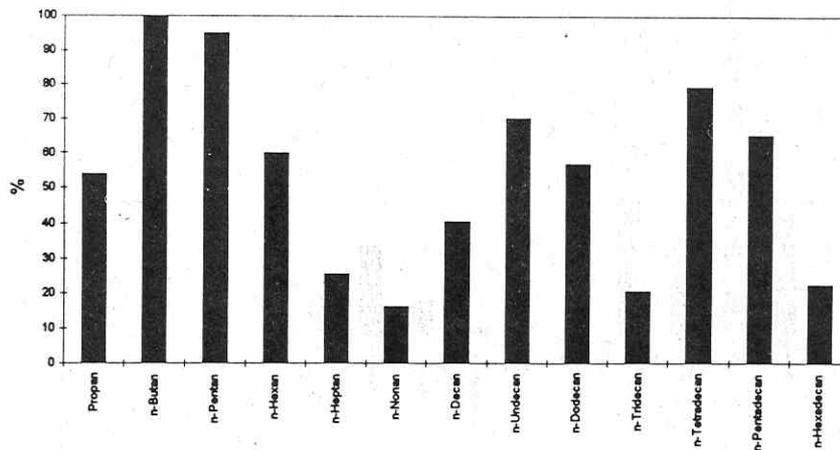
Deiwitzweg



Brandvorwerkstraße

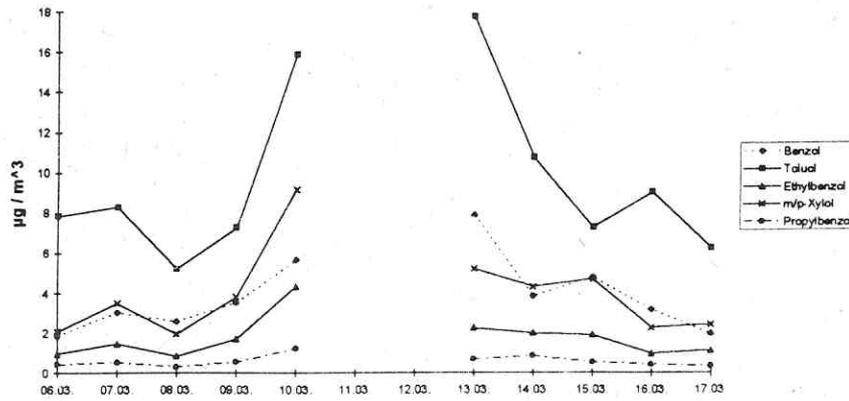


Bernhardstraße

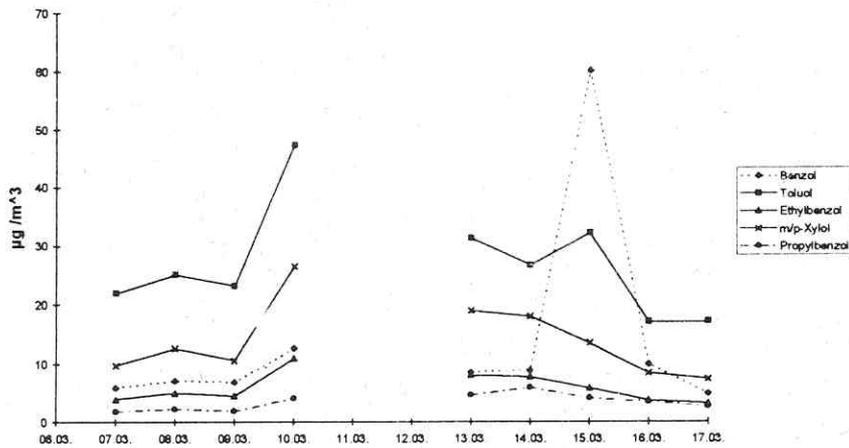


Verlauf der Immissionskonzentrationen aromatischer Verbindungen für den Zeitraum 06.03.1995 bis 17.03.1995 an drei Meßpunkten

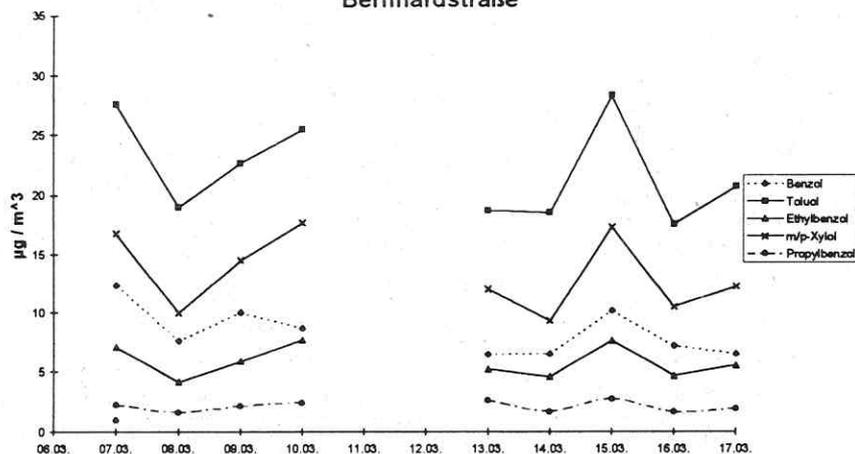
Deiwitzweg



Brandvorwerkstraße



Bernhardstraße

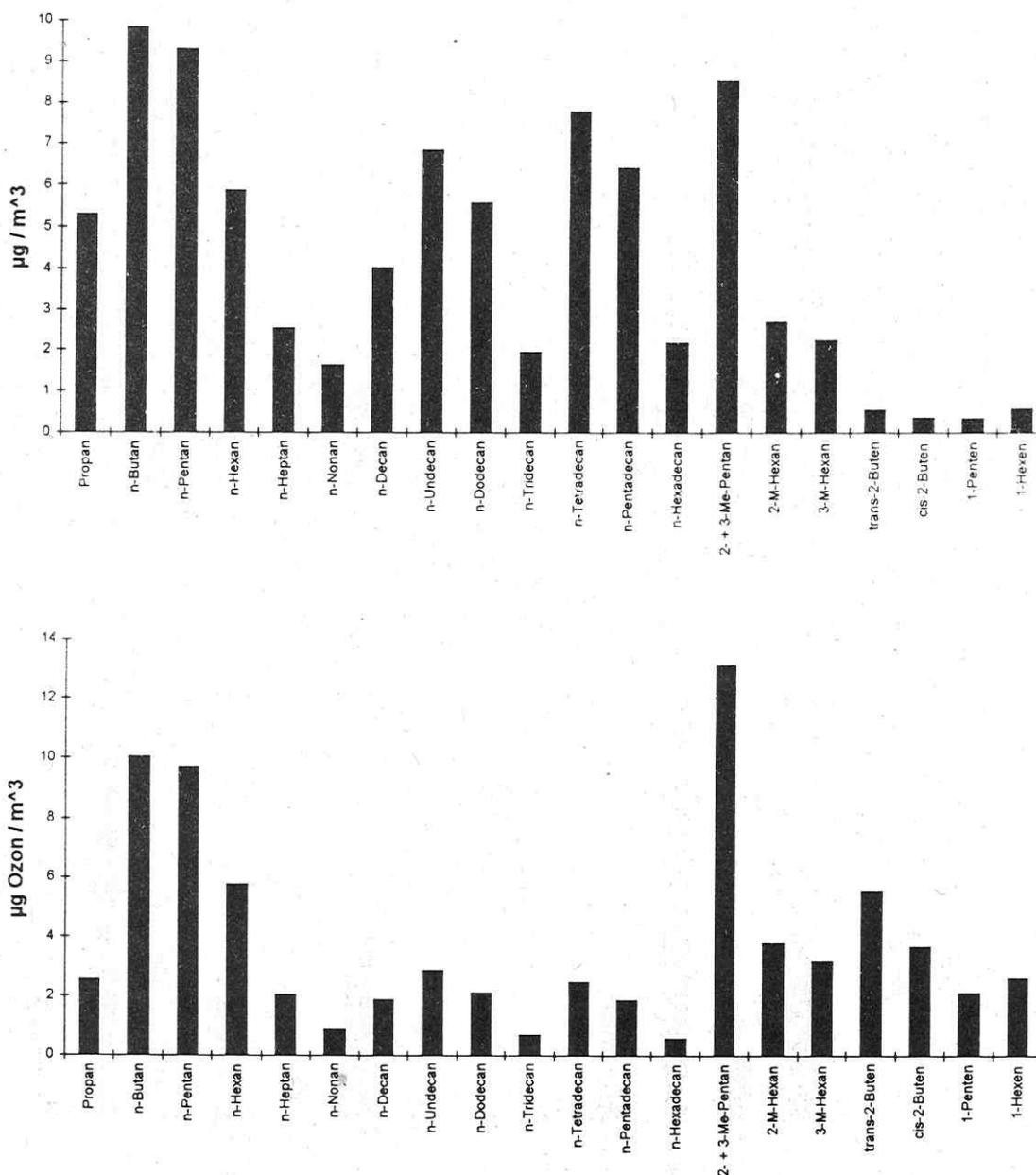




Atmosphärenchemische Relevanz ausgewählter n - Alkane, iso - Alkane und Olefine (Meßpunkt Bernhardstraße, Wintermessung 1994/95)

Abbildung oben: mittlere Immissionskonzentrationen

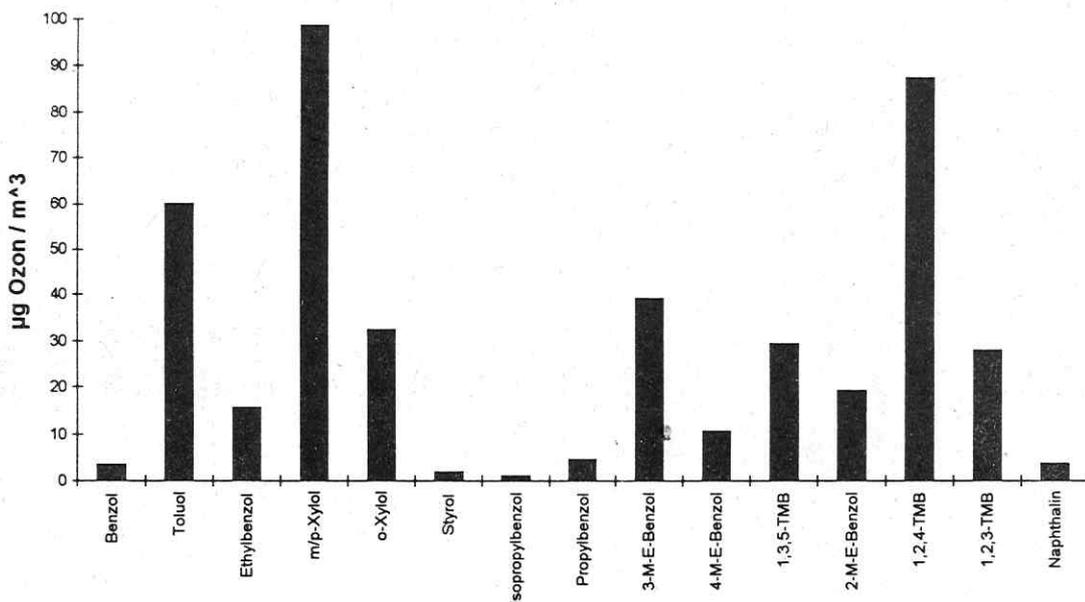
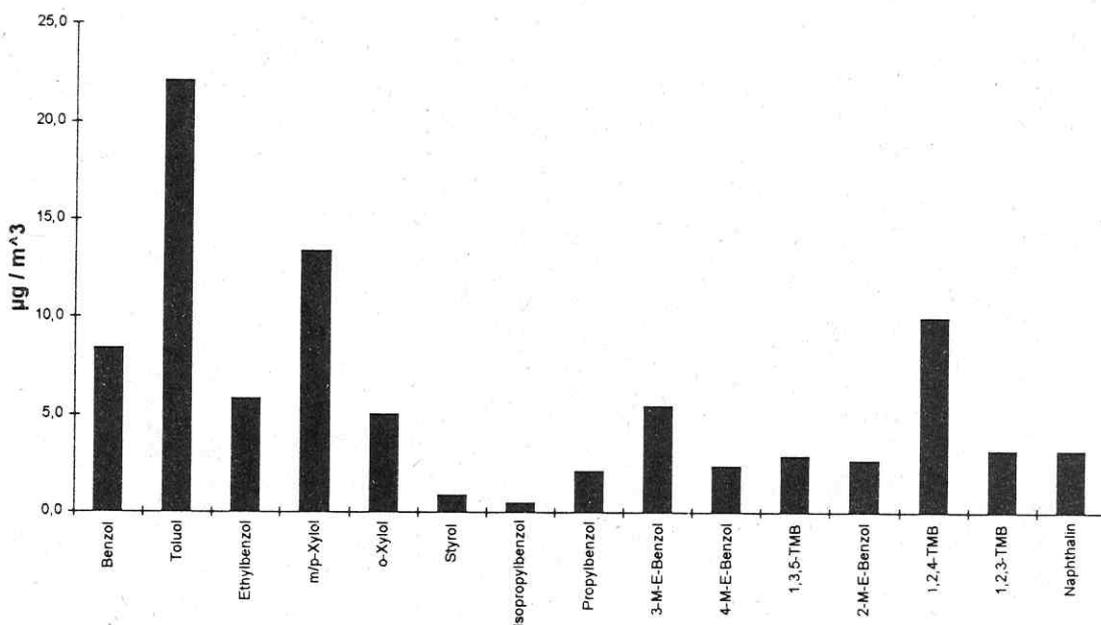
Abbildung unten: aus den Immissionskonzentrationen mit Hilfe von MIR - Werten berechnete, äquivalente Ozonkonzentrationen



**Atmosphärenchemische Relevanz aromatischer Kohlenwasserstoffe  
(Meßpunkt Bernhardstraße, Wintermessung 1994/95)**

Abbildung oben: mittlere Immissionskonzentrationen

Abbildung unten: aus den Immissionskonzentrationen mit Hilfe von MIR -  
Werten berechnete, äquivalente Ozonkonzentrationen



# Stadtökologische Forschungen

## **Nr. 1 UFZ-Bericht Nr. 5/1996**

Winkler, M.: Untersuchungen zur gepflanzten Vegetation und ihre ökologische Bedeutung

## **Nr. 2 UFZ-Bericht Nr. 6/1996**

Arndt, E. & Pellmann, H.: Ökologische Charakterisierung von Biotopen im urbanen Raum am Beispiel von Modelltiergruppen

## **Nr. 3 UFZ-Bericht Nr. 8/1996**

Frühauf, M., Breuste, I., Breuste, J., Diaby, K., Sauerwein, M., Zierdt, M.: Hallesche Kleingärten. Nutzung und Schadstoffbelastung als Funktion der sozioökonomischen Stadtstruktur und physisch-geographischer Besonderheiten.

## **Nr. 4 UFZ-Bericht Nr. 9/1996**

Heinz, V.: Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild

## **Nr. 5 UFZ-Bericht Nr. 10/1996**

Freyer, K., Popp, P., Treutler, H.C., Wagler, D., Schuhmann, G.: Untersuchungen zu Wechselbeziehungen zwischen Immissionen und Flächennutzung auf strukturtypischen Testflächen in Leipzig

## **Nr. 6 UFZ-Bericht Nr. 11/1996**

Schulte, G.: Stadtböden - Schadstoffbelastung und -mobilität

## **Nr. 7 UFZ-Bericht Nr. 12/1996**

Keidel, T., Meinel, G., Münchow, B., Netzband, M., Schramm, M.: Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen

## **Nr. 8 UFZ-Bericht Nr. 16/1996**

Keidel, T.:

Untersuchungen zur Situation des Wohnumfeldes ostdeutscher Großsiedlungen am Beispiel von Leipzig-Grünau

## **Nr. 9 UFZ-Bericht Nr. 18/1996**

Wagler, D.:

Modellierung der Ausbreitung kfz-bedingter Schadstoffe in der Stadt Leipzig

## **Nr. 10 UFZ-Bericht Nr. 20/1996**

Engewald W., Knobloch T., Asperger A.:

Analytische Untersuchungen zum Schadstoffeintrag durch den Hausbrand - Auswirkungen des gegenwärtigen Strukturwandels auf die urbane Belastungssituation

Autoren:

Prof. Werner Engewald, Dr. Thomas Knobloch,  
Dipl.-Chem. Arndt Asperger  
Universität Leipzig,  
Institut für Analytische Chemie  
Linnéstr. 3  
D-04103 Leipzig  
Telefon • 0341/9736061  
Telefax • 0341/9736115  
e-mail • [engewald@technikum.chemie.uni-leipzig.d400.de](mailto:engewald@technikum.chemie.uni-leipzig.d400.de)

Herausgeber:

Prof. Dr. Jürgen Breuste  
Projektbereich Urbane Landschaften  
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Permoserstraße 15  
D-04318 Leipzig  
Telefon • 0341/235-2843  
Telefax • 0341/235-2534  
e-mail • [breuste@pro.ufz.de](mailto:breuste@pro.ufz.de)