

BE-178

BERICHTE

**Umweltbundesamt**

**PAH IN DER LUFT –
MESSUNGEN IN WIEN 1999**



PAH in der Luft – Messungen in Wien 1999

Datenbericht

BE-178

Wien, November 2000

Projektleitung:

Sigrid Scharf

Autoren:

Marion Gangl

Oliver Gans

Satz und Layout:

Marion Gangl

Die Probenahmen erfolgten durch Mitarbeiter/innen des Umweltbundesamtes.

Sämtliche Analysen wurden im Labor des Umweltbundesamtes durchgeführt.

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH, Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien
Eigenvervielfältigung

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2000
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-563-7

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS.....	1
ZUSAMMENFASSUNG.....	2
1 EINLEITUNG.....	4
2 ENTSTEHUNG, VERBREITUNG, EMISSIONSTREND U. EIGENSCHAFTEN DER PAH.....	5
2.1 Entstehung.....	5
2.2 Verbreitung.....	6
2.3 Emissionstrend.....	6
2.4 Eigenschaften.....	7
3 GESETZLICHE REGELUNGEN FÜR PAH IN DER LUFT.....	8
4 LEITSUBSTANZEN.....	9
5 ANALYSENTECHNIK.....	12
6 PROBENAHPME.....	13
7 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE.....	14
7.1 Darstellung der Untersuchungsergebnisse.....	14
8 BERECHNUNG EINES „JAHRESMITTELWERTES“ (FEB.1999-DEZ.1999)...	31
9 NORMIERUNG DER PAH AUF BENZO(E)PYREN.....	33
10 ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....	34
11 ANHANG.....	38
Anhang 1: Tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse.....	38
Anhang 2: Tabellarische Darstellung der auf BEP normierten Ergebnisse.	49
Anhang 3: Probenahmedaten.....	50
Anhang 4: Tabellenverzeichnis.....	53
Anhang 5: Abbildungsverzeichnis.....	54
Anhang 6: Literaturverzeichnis.....	56

ZUSAMMENFASSUNG

In der EU-Rahmenrichtlinie 96/62/EG über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität ist verankert, dass die Kommission Vorschläge für die Festlegung eines Grenzwertes für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) und, in geeigneten Fällen, von Alarmschwellen dem Rat vorzulegen hat. In einer Tochterrichtlinie soll dann ein Grenzwert für PAH in der Luftimmission festgelegt werden.

PAH sind ubiquitär verbreitet und kommen in der Umwelt als komplexes Gemisch mit stark variierender Toxizität vor. Sie entstehen durch unvollständige Verbrennung organischer Materialien und gelangen mit den Emissionen aus Kraftfahrzeugverkehr, Hausbrand und industriellen Prozessen (u.a. Wärme- und Energieerzeugung) in die Atmosphäre, wo sie sowohl gasförmig als auch partikelgebunden auftreten. Sie werden in der Atmosphäre über weite Strecken transportiert und gelangen schließlich durch Depositionsprozesse zurück auf die Erdoberfläche. Der jahreszeitliche Verlauf der PAH-Konzentrationen ist somit von größtem Interesse.

Im Rahmen einer Studie sollen daher PAH-Immissionsmessungen in österreichischen Städten über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden. Im Teil 1 dieser Studie wurde in Wien mit den Messungen begonnen. An einer Messstelle wurden 11 Monate lang (Februar 1999 – Dezember 1999) jeden Monat bis zu 5 Tagesproben genommen und auf EPA-PAH analysiert.

Nachfolgend sind die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchung zusammengefasst:

Es zeigt sich für alle 20 untersuchten Parameter mit Ausnahme von Acenaphthen (ACE) eine ähnliche Konzentrationsverteilung. In den Monaten Februar, März, Oktober, November und Dezember wurden für diese Substanzen die höchsten Konzentrationen gemessen. Die niedrigsten Konzentrationen wurden im Allgemeinen in den Monaten Mai, Juni, Juli und August ermittelt.

Für folgende Substanzen wurden die höchsten Ergebnisse ermittelt:

- Phenanthren (PHE): Jahresmittelwert*: 26 ng/Nm³; Maximalwert: 117 ng/Nm³
- Naphthalin (NAP): Jahresmittelwert*: 23 ng/Nm³; Maximalwert: 101 ng/Nm³
- Acenaphthylen (ACY): Jahresmittelwert*: 8,7 ng/Nm³; Maximalwert: 120 ng/Nm³

*: Der Jahresmittelwert wurde an Hand der Ergebnisse der Monate Februar 1999 bis Dezember 1999 ermittelt.

Für Benzo(a)pyren (BAP) wurde ein Jahresmittelwert (Februar 1999 – Dezember 1999) von 0,98 ng/Nm³ ermittelt, der Maximalwert von 7,0 ng/Nm³ für diesen Parameter wurde im Dezember erhalten. Der Jahresmittelwert für Benzo(a)pyren liegt somit unter dem Richtwert von 1,3 ng/Nm³ (Jahresmittelwert) des Länderausschusses für Immissionsschutz (LÄNDERAUSSCHUSS FÜR IMMISSIONSSCHUTZ, 1992).

Bei dieser Studie wurden Benzo(b)naphthothiophen (BNT) als Tracer für Heizungsemissionen und Coronen (COR) und Cyclo(cd)pentapyren (CCP) als Leitsubstanzen für den Verkehr verwendet (UMWELTBUNDESAMT, 1999a; GANS et al., 1999). Für

Coronen und Cyclo(cd)pentapyren wurden im Allgemeinen wesentlich höhere Ergebnisse erzielt als für Benzo(b)naphthothiophen. Dieses Resultat lässt darauf schließen, dass die Immissionsbelastungen an der Messstelle in Wien durch Verkehrsemissionen stark beeinflusst wurden.

Generell ist zu sagen, dass die gemessenen BNT- Konzentrationen sehr gering sind und nahe der Bestimmungsgrenze liegen, weiterführende Aussagen sind daher nicht möglich.

Die nun erhaltenen Messergebnisse dienen zur Verbesserung der Datenbasis und werden für die EU-Grenzwertdiskussion zur Verfügung gestellt. Längerfristiges Ziel ist die Implementierung einer gesetzlich verpflichtenden Überwachung mit verbindlichen Grenzwerten für die wichtigsten PAH.

Im Gegensatz zu Deutschland gibt es in Österreich noch keine Vorsorge- oder Richtwerte für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe.

Es ist beabsichtigt, in den Jahren 2000 und 2001 weitere Städte in das Messprogramm aufzunehmen, um geografische, meteorologische und topografische Einflüsse zu erfassen.

1 EINLEITUNG

Die Europäische Union plant, einen Grenzwert für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) in der Luftimmission festzulegen. Zur Verbesserung der österreichischen Datenbasis wurde vom Umweltbundesamt eine umfangreiche Studie begonnen.

Das Umweltbundesamt untersuchte bereits früher (1997 bis 1998) Luftproben an einer verkehrsreichen Straße in Wien (UMWELTBUNDESAMT, 1999a). Die höchsten Werte wurden damals bei Naphthalin (bis zu 178 ng/Nm³) und bei Phenanthren (bis zu 83 ng/Nm³) gemessen. Acenaphthylen wurde in sehr hohen Konzentrationen gefunden (zweithöchster Mittelwert aller 16 EPA-PAH von 60 ng/Nm³).

Im Zeitraum von Februar 1999 bis Dezember 1999 analysierte das Umweltbundesamt nun ausgewählte PAH in der Immission. An einem Standort in Wien wurden im Rahmen der Untersuchungen die Konzentrationsverläufe ausgewählter Substanzen über 11 Monate festgestellt und die jahreszeitlichen Schwankungen erfasst.

Es wurden jeden Monat bis zu 5 Eintagesproben genommen, und die 16 Leitsubstanzen der EPA, 3 potenzielle Tracer (Benzo(b)naphthothiophen, Cyclo(cd)pentapyren, Coronen) sowie Benzo(e)pyren bestimmt. Die Probenahme erfolgte in Anlehnung an den Entwurf DIN ISO 12884 (Jänner 1998).

2 ENTSTEHUNG, VERBREITUNG, EMISSIONSTREND UND EIGENSCHAFTEN DER PAH

2.1 Entstehung

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) sind aus zwei oder mehreren kondensierten aromatischen Ringen aufgebaut und enthalten ausschließlich Kohlen- und Wasserstoffatome im Molekül. Unter dem Begriff PAH werden einige hundert Einzelverbindungen zusammengefasst, die bei der unvollständigen Verbrennung organischen Materials oder fossiler Brennstoffe (Heizungsanlagen, Kraftfahrzeugverkehr) entstehen. Der genaue Mechanismus der Entstehung ist noch nicht bekannt, aber es wird ein Mechanismus, wie in Abb. 1 dargestellt, angenommen.

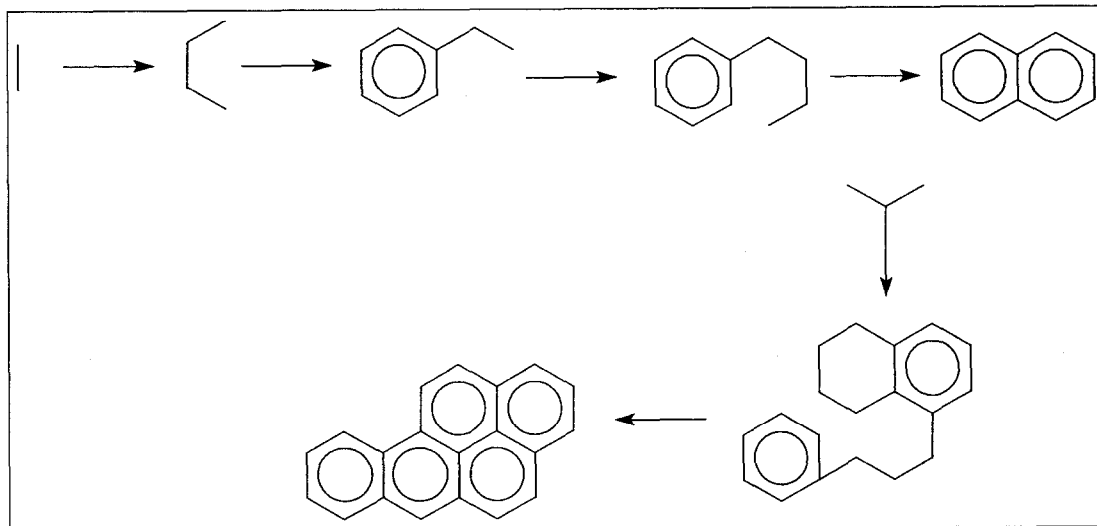


Abbildung 1: Mechanismus bei der Entstehung von Benzo(a)pyren durch Pyrolyse (GIBSON & SUBRAMANIA; 1984)

Bei diesem Mechanismus werden die PAH durch freie Radikale gebildet. Im ersten Schritt werden bei der Pyrolyse von organischen Molekülen kleine, aber nicht stabile Moleküle geformt. In den weiteren Schritten reagieren sie durch chemische Reaktionen zu größeren, aromatischen und dadurch stabileren Molekülen. Welches PAH gebildet wird, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Die Temperatur spielt dabei eine große Rolle. Bei Temperaturen um 2000 °C wird die Bildung von unsubstituierten Molekülen bevorzugt. Alkylsubstituierte Moleküle entstehen vor allem bei einer Temperatur von 400 – 800 °C (UMWELTBUNDESAMT, 1999a).

2.2 Verbreitung

In die Umwelt gelangen persistente organische Schadstoffe entweder durch direkte Anwendung oder Verwendung und als unerwünschte Begleitprodukte v.a. bei thermischen und industriellen Prozessen. Bedeutende PAH-Emittenten sind der Hausbrand, kalorische Kraftwerke, der Kfz-Verkehr und industrielle Anlagen, im Besonderen Kokereien, Aluminiumwerke, Gaswerke und Raffinerien. Weitere PAH-Quellen, die je nach Ursache anthropogen oder natürlich sein können, stellen Waldbrände und offene Feuer auf landwirtschaftlich genutzten Flächen dar.

Die Verbreitung und Deposition zahlreicher Schadstoffe erfolgen über die Atmosphäre. Organische Substanzen wie PCB, Pestizide, PAH etc. treten dort sowohl gasförmig als auch partikelgebunden auf. Die jeweilige Verteilung hängt vom Dampfdruck der Substanzen bei Umgebungstemperatur sowie von der Beschaffenheit und Menge des Partikelangebots ab (YAMASAKI et al.; 1982; PANKOW; 1987; 1988). Von den Bestandteilen des Umweltaerosols sind die PAH auf Grund der potenziellen Gefährdung der menschlichen Gesundheit von besonderem Interesse. Durch Depositionsprozesse findet eine Verteilung in andere Umweltkompartimente statt (Umweltbundesamt, 1999a).

2.3 Emissionstrend

Nur sehr wenige Studien gaben bis jetzt Auskunft über die zeitliche Entwicklung der PAH-Emissionen. Die anschließend vorgestellten Ergebnisse stützen sich daher im Wesentlichen auf Trendfortschreibungen mit Hilfe aktualisierter Emissionsfaktoren. Dies ist bei der Interpretation der Daten zu berücksichtigen.

In Österreich entstehen 90% der Emissionen in Kleinf Feuerungsanlagen, hier wiederum ist die Holzfeuerung hauptverantwortlich für den Ausstoß von PAH. Die Emissionen werden einerseits durch die Menge des eingesetzten Brennholzes und andererseits durch die Verbrennungstechnologie bestimmt. Ein verstärkter Einsatz moderner Anlagen mit geringen spezifischen Emissionen würde eine deutliche Verringerung des PAH-Ausstoßes bewirken.

Die PAH-Emissionen in Österreich waren in den letzten Jahren etwa gleich bleibend (Umweltbundesamt, 1999b).

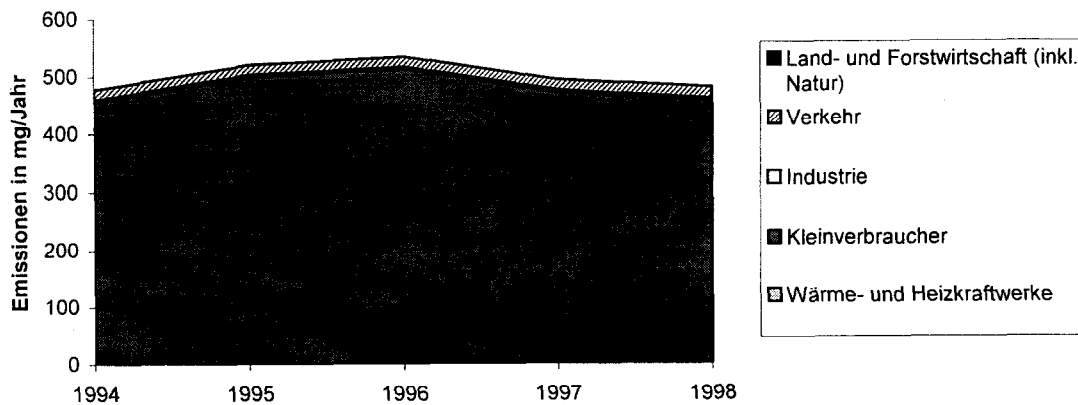


Abbildung 2: Luftschadstoffemissionen an PAH in Österreich 1994 – 1998 (Quelle: UNECE/CLRTAP Berichtspflicht 1999, Umweltbundesamt in UMWELTBUNDESAMT, 1999b)

2.4 Eigenschaften

Die physiko-chemischen Eigenschaften der PAH schwanken abhängig von Molekulargewicht und -struktur der einzelnen Substanzen in einem weiten Bereich. In der Atmosphäre sind die PAH entweder an Aerosolteilchen gebunden oder sie liegen in der Gasphase vor. Der gasförmig vorliegende Anteil steigt parallel mit zunehmender Temperatur und ist außerdem bei niedermolekularen PAH (mit drei bis vier Ringen und höherem Dampfdruck) größer als bei schwereren PAH (UMWELTBUNDESAMT Berlin, 1979).

Bedeutung in toxikologischer Sicht erlangten sie vor allem deshalb, weil in Tierversuchen nachgewiesen wurde, dass manche PAH karzinogen und mutagen wirken. Gesichert krebserzeugend sind Benzo(a)pyren sowie Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)anthracen, Dibenzo(a,h)anthracen und Indeno(1,2,3-cd)pyren (IARC-Monografien, 1988).

3 GESETZLICHE REGELUNGEN FÜR PAH IN DER LUFT

Der Länderausschuss für Immissionsschutz (LÄNDERAUSSCHUSS FÜR IMMISIONSSCHUTZ, 1992) gibt einen Richtwert von $1,3 \text{ ng/Nm}^3$ (Jahresmittelwert) für Benzo(a)pyren (BAP) an.

In der EU-Rahmenrichtlinie 96/62/EG (Sept. 96) über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität ist festgelegt, dass die Kommission Vorschläge für die Festlegung eines Grenzwertes für PAH, und, in geeigneten Fällen, von Alarmschwellen dem Rat vorzulegen hat. In einer Tochterrichtlinie soll dann ein Immissionsgrenzwert für PAH festgelegt werden. Derzeit erarbeitet eine Arbeitsgruppe ein Positionspapier. Dieses Positionspapier soll Basis für den Kommissionsentwurf sein, innerhalb dessen u.a. Emissionen, Risk Assessment, Messung und Bewertung sowie Kosten/Nutzen-Analysen etwaiger Grenzwerte für PAH diskutiert werden sollen. Als eine mögliche Variante wird überlegt, Benzo(a)pyren als Marker einzusetzen, da dieses

- in praktisch allen relevanten Studien erhoben wurde
- nach derzeitigen Erkenntnissen für etwa 50% des kanzerogenen Potenzials von PAH verantwortlich ist
- die wissenschaftliche Basis ausreichend für die Festsetzung eines Grenzwertes erscheint

Unter der Voraussetzung, dass lediglich ein Immissionsgrenzwert für Benzo(a)pyren festgelegt wird, würde die Messung dieser Leitsubstanz in der Partikelphase ausreichen. Etwaige Veränderungen in der PAH- Zusammensetzung in Folge diverser Emissionsreduktionsmaßnahmen könnten jedoch nicht verfolgt werden.

4 LEITSUBSTANZEN

Aus der hohen Anzahl an in Umweltproben nachweisbaren PAH wird zumeist nur eine Auswahl von Substanzen analysiert. Auf Grund ihrer Konzentrationen in den Umweltmedien sowie ihrer Reaktivität und biologischen Aktivität wurden 16 ausgewählte Vertreter dieser Stoffklasse von der amerikanischen Environmental Protection Agency (EPA) für die Umweltüberwachung vorgeschlagen (in Abb. 3 mit [EPA] gekennzeichnet). Zur toxikologischen Bewertung der PAH wird im Zusammenhang mit ihrer Anwesenheit in der Umwelt bislang häufig Benzo(a)pyren (BAP) als Leitsubstanz genutzt, dessen kanzerogene und mutagene Wirkungen im Gegensatz zu den meisten anderen Verbindungen umfassend untersucht sind (PEKLO et al, 1999).

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt die Bestimmung von 6 Leit- bzw. Indikatorsubstanzen. Die 6 Leit-PAH der WHO werden in der Literatur auch öfters als DIN-PAH bezeichnet (nach DIN 38409 Teil 13; in Abb. 3 mit [DIN] gekennzeichnet).

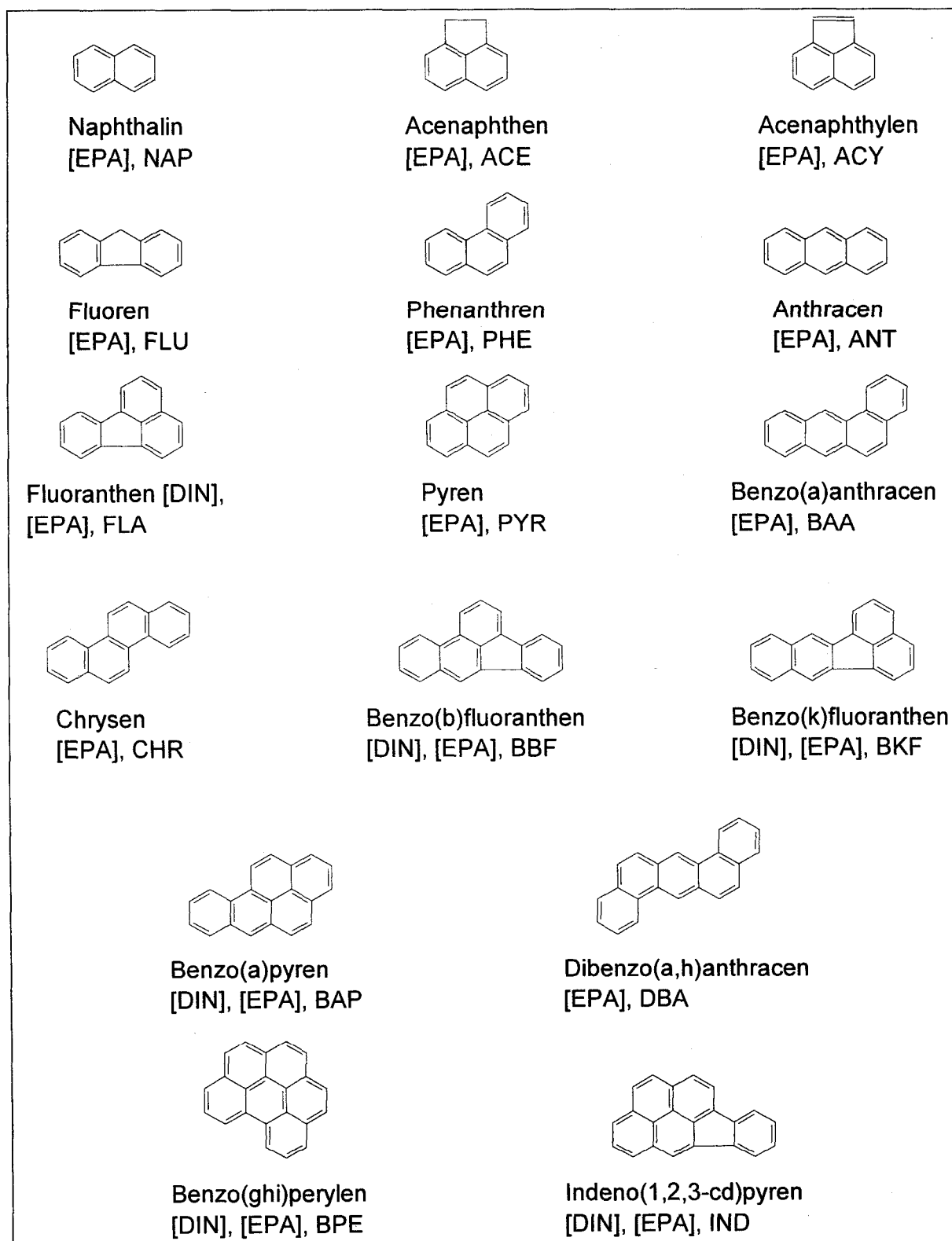


Abbildung 3: Strukturformeln, Bezeichnungen und Abkürzungen der untersuchten EPA- und WHO-Leitsubstanzen

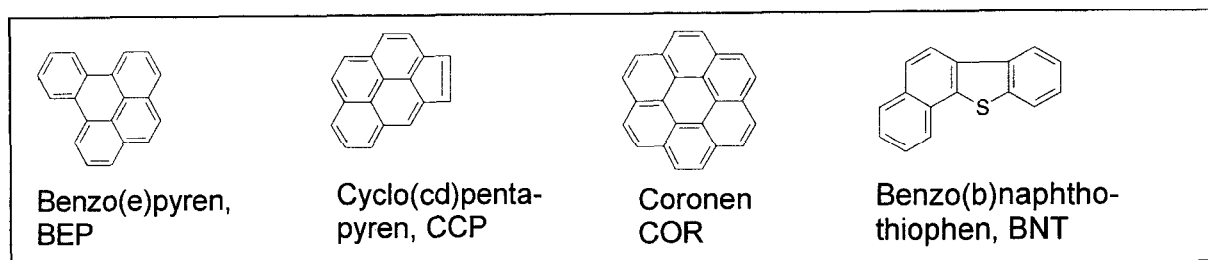


Abbildung 3a: Strukturformeln, Bezeichnungen und Abkürzungen der untersuchten Tracer und von Benzo(e)pyren

Die in Abbildung 3a angeführten Verbindungen wurden zusätzlich zu den 16 von der EPA ausgewählten PAH analysiert. Coronen und Cyclo(cd)pentapyren dienen als Tracer für Verkehrsemissionen und Benzo(b)naphthothiophen wurde als Leitsubstanz für den Hausbrand verwendet. Benzo(e)pyren wurde analysiert, da zum besseren Vergleich mit der Literatur die Untersuchungsergebnisse der einzelnen PAH auf Benzo(e)pyren normiert wurden.

5 ANALYSENTECHNIK

Verschiedene analytische Methoden sind für die Bestimmung der PAH in der Luft entwickelt worden. Grundsätzlich können bei der Probenahme Polyurethanschaum (PU-Schaum) für die leicht flüchtigen Komponenten und Glasfaserfilter für die an Partikel gebundenen Substanzen eingesetzt werden. Bei der Durchführung der nun vorliegenden Studie wurde eine Kombination von Polyurethanschaum und Glasfilter verwendet, die eine gemeinsame Bestimmung der partikelgebundenen und der gasförmigen PAH ermöglicht.

Weit über hundert PAH sind in der Atmosphäre nachgewiesen worden, aber die weitaus meisten Messdaten liegen über die Konzentration von Benzo(a)pyren vor (NEUKOMM et al.; 1975; NIELSEN; 1996; WYBRANIEC; de JONG; 1996, LÓPEZ LÓPEZ et al.; 1996; GASTON WU; CHANG; 1997). Wegen der unterschiedlichen Staubsammel- und Analysenmethoden und verschiedenen Standortarten sind diese Ergebnisse nur bedingt miteinander vergleichbar.

Das Umweltbundesamt arbeitete nach dem Entwurf DIN ISO 12884 (Jänner 1998). Dieser internationale Normentwurf behandelt die Probenahme, die Probenreinigung und die analytischen Verfahrensweisen für die Bestimmung von PAH in der Außenluft. Das Verfahren ermöglicht die Erfassung der partikelgebundenen und der gasförmigen PAH sowie ihre gemeinsame Bestimmung. Die Methode ist für eine Probenahmedauer bis zu 24 Stunden einsetzbar.

Probenahme:

Die Luftprobe wird der Außenluft direkt entnommen. Die Luft wird dabei durch ein Glasfaserfilter sowie eine nachgeschaltete Dampffalle, die Polyurethanschaum enthält, gesaugt (maximaler Volumenstrom: 225 l/min).

Analyse:

Nach der Probenahme werden Partikelfilter und Polyurethanschaum in einem Soxhlet-Extraktor nach Zugabe von C13-Isotopen markierten PAH für jedes der 16 EPA-PAH extrahiert. Der Probenextrakt wird anschließend eingeeengt. Durch eine Probenreinigung mittels Säulenchromatografie können Querempfindlichkeiten bei der nachfolgenden Analyse vermindert oder ganz vermieden werden. Der gereinigte Extrakt wird mit der Gaschromatografie/Massenspektrometrie analysiert. Die Auswertung erfolgt nach der Isotopenverdünnungsmethode. Die daraus gewonnenen Ergebnisse stellen für jedes PAH dessen Gesamtkonzentration in Luft für die gasförmige und partikelgebundene Phase dar.

Die PAH überspannen einen weiten Bereich von Dampfdrücken (z.B. von $1,1 \times 10^{-2}$ kPa für Naphthalin bis 2×10^{-13} kPa für Coronen bei 25°C). PAH mit Dampfdrücken oberhalb 10^{-8} kPa sind in der Außenluft im Wesentlichen zwischen gasförmiger und partikelgebundener Phase verteilt. Die hier angewandte Methode ermöglicht die Probenahme beider Phasen. Naphthalin und Acenaphthen haben relativ hohe Dampfdrücke und werden mit dieser Methode möglicherweise nicht quantitativ erfasst.

6 PROBENAHRME

Von Februar 1999 bis Dezember 1999 wurden jeden Monat bis zu 5 Eintagesproben genommen. Die Probenahme erfolgte in Anlehnung an den Entwurf DIN ISO 12884 (Jänner 1998). Eine Zusammenstellung der Probenahmedaten (Datum, Uhrzeit, Temperatur, Druck und Durchflussvolumen) ist im Anhang 3 zu finden.

Die Temperatur, der Luftdruck und das Durchflussvolumen sind Mittelwerte über den Messzeitraum. Alle Messergebnisse wurden auf Normkubikmeter (25 °C, 1013,25 mbar) normiert.

7 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

In den folgenden Kapiteln werden die Messergebnisse dargestellt und Kenngrößen (Minimal- und Maximalwerte, Mediane, Mittelwerte und relative Standardabweichungen) errechnet.

Die rechnerische Aufarbeitung der experimentell ermittelten Gehalte der PAH in Luftproben erfolgte, um den Streubereich zu charakterisieren, durch Angabe der *Minimal- und Maximalwerte*.

Der *Mittelwert* ist gleich der Summe der unabhängigen Werte einer Messreihe dividiert durch deren Anzahl.

Die *relative Standardabweichung (RSD)* ist der Quotient aus der Standardabweichung einer Serie von Messwerten und dem zugehörigen Mittelwert multipliziert mit 100. Die Standardabweichung ist die positive Wurzel aus der Varianz. Die Varianz einer Serie von Messwerten ist die Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte vom arithmetischen Mittelwert dividiert durch die Zahl der Freiheitsgrade (der Freiheitsgrad ist gleich der Anzahl der unabhängigen Messwerte minus 1).

Der *Median* ist der mittlere Wert einer geordneten Reihe bei einer ungeraden Anzahl von Messwerten. Bei einer geraden Anzahl von Messwerten wird der Mittelwert der beiden mittleren Werte genommen.

Substanzen, die nicht nachweisbar waren (n.n.), wurden bei der Berechnung gleich null gesetzt.

Es ist zu beachten, dass in diesem Bericht der Jahresmittelwert an Hand der Ergebnisse der Monate Februar 1999 bis Dezember 1999 ermittelt wurde.

Alle Ergebnisse wurden in diesem Bericht folgendermaßen gerundet:

Werte <1 wurden auf 2 Kommastellen gerundet

Werte ≥1 und <10 wurden auf 1 Kommastelle gerundet

Werte ≥10 wurden auf ganze Zahlen gerundet

Sämtliche Berechnungen erfolgten mit auf zwei Kommastellen gerundeten Werten.

7.1 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

In den Tabellen 3-13 (siehe Anhang 1) und den Abbildungen 4-14 sind die Untersuchungsergebnisse der Eintagesluftproben zusammengefasst, wobei die Einzelergebnisse, Minima und Maxima sowie die Mittelwerte, die Mediane und die relativen Standardabweichungen pro Monat angegeben sind. Es wurden die 16 Leitsubstanzen der EPA, 3 potenzielle Tracer (Benzo(b)naphtho-thiophen, Cyclo(cd)pentapyren, Coronen) und Benzo(e)pyren bestimmt. In den Abbildungen 15-34 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Substanzen im Jahresverlauf (Februar 1999 – Dezember 1999) dargestellt. In Tabelle 14 sind die auf Benzo(e)pyren normierten Monatsmittelwerte der einzelnen Parameter und deren Jahresmittelwerte aufgelistet.

In den folgenden Abbildungen wurde auf eine einheitliche y-Achsenkalierung verzichtet, um eine anschauliche Darstellung der Ergebnisse zu erzielen.

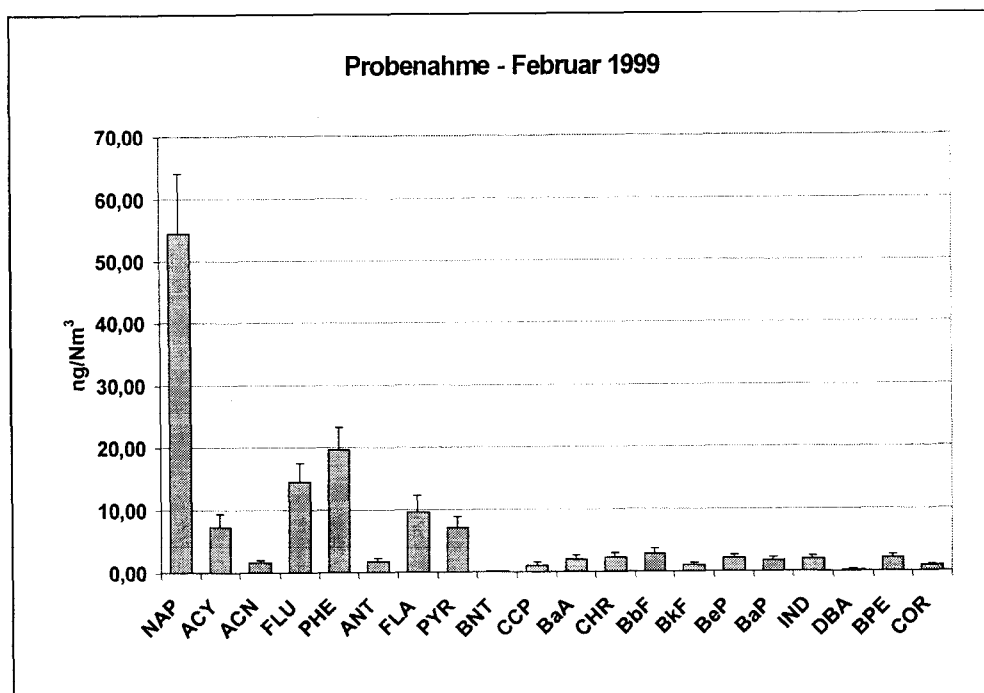


Abbildung 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen Februar 1999

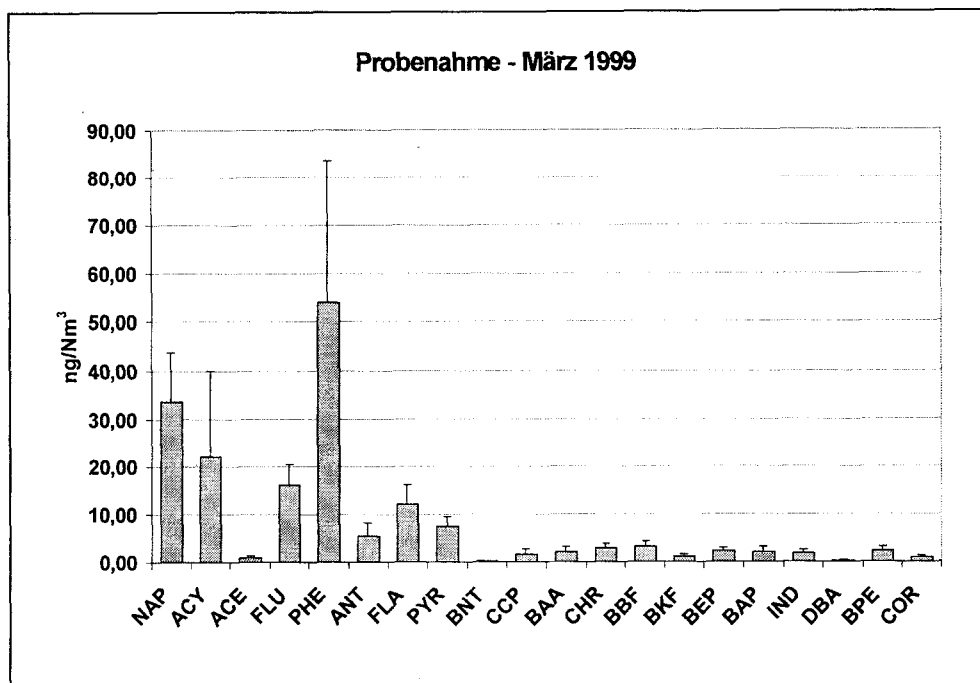


Abbildung 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen März 1999

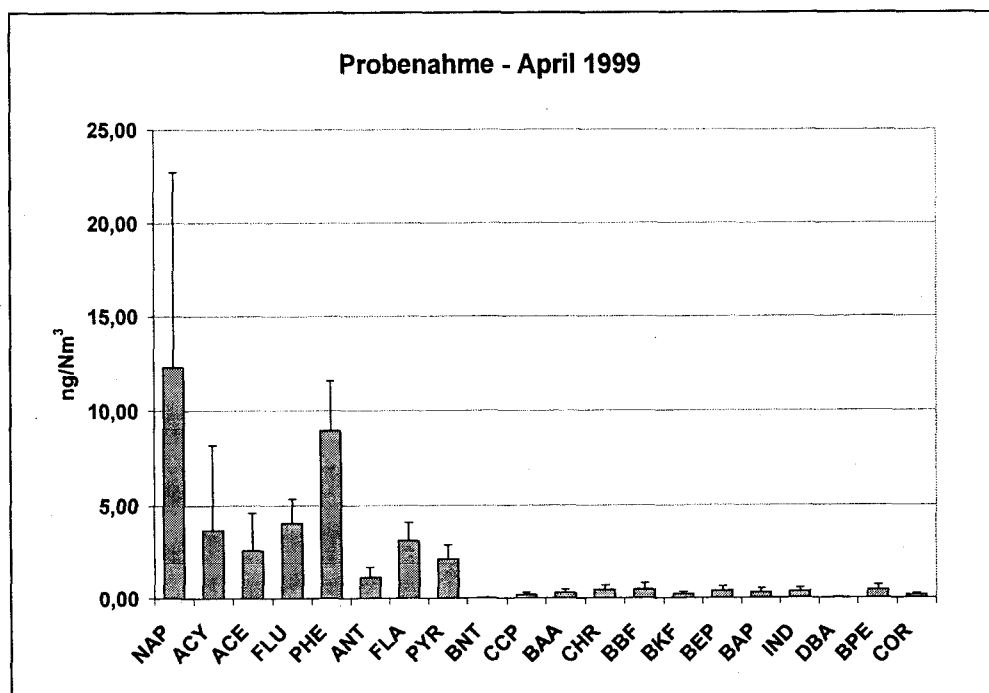


Abbildung 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen April 1999

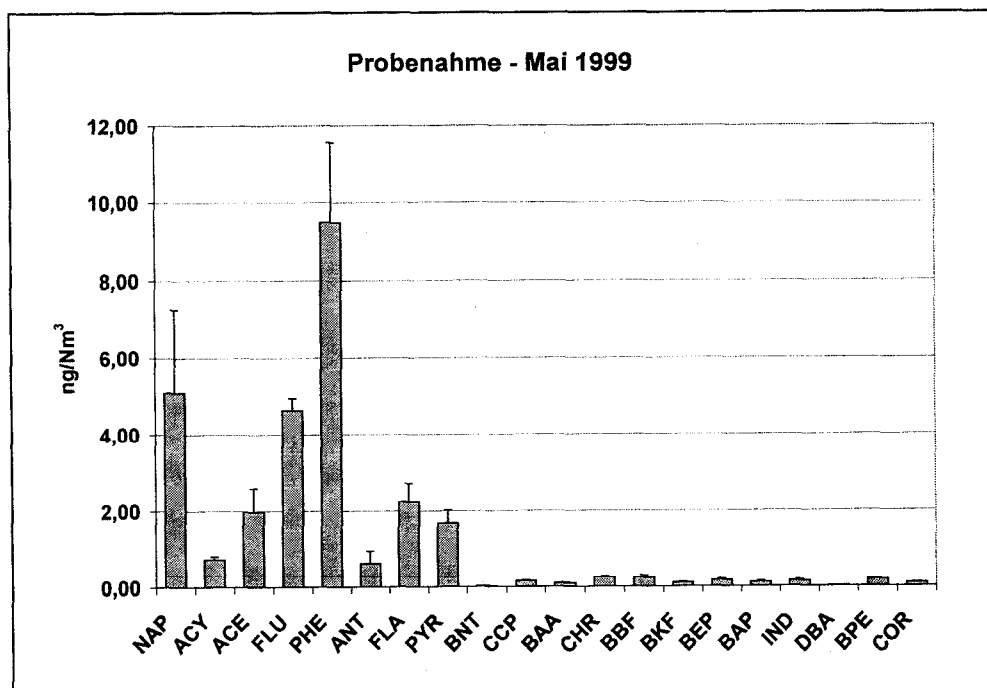


Abbildung 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen Mai 1999

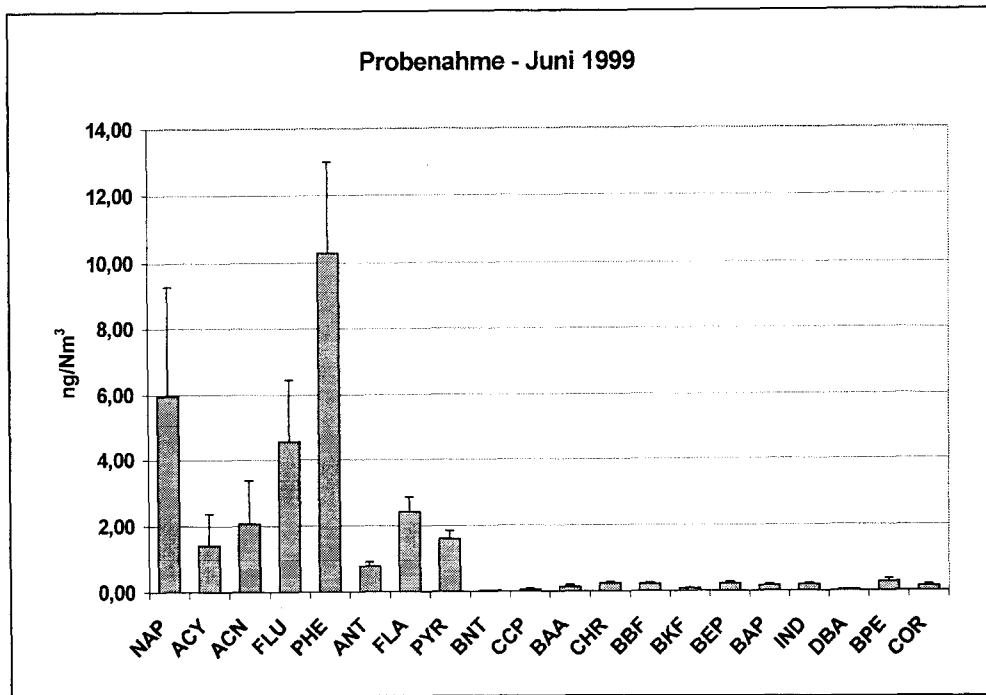


Abbildung 8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen Juni 1999

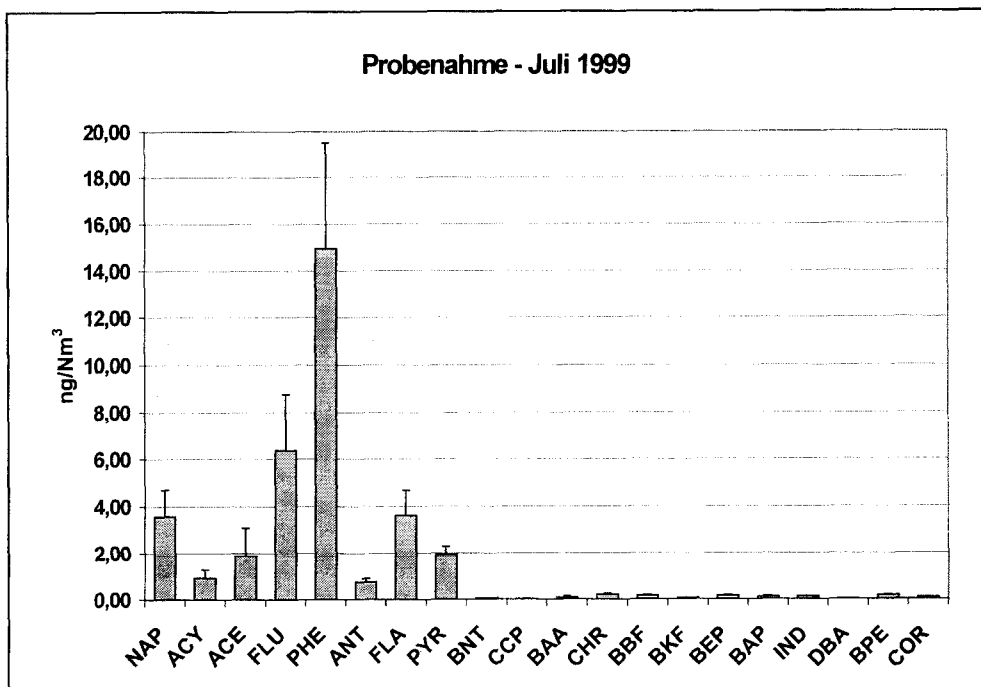


Abbildung 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen Juli 1999

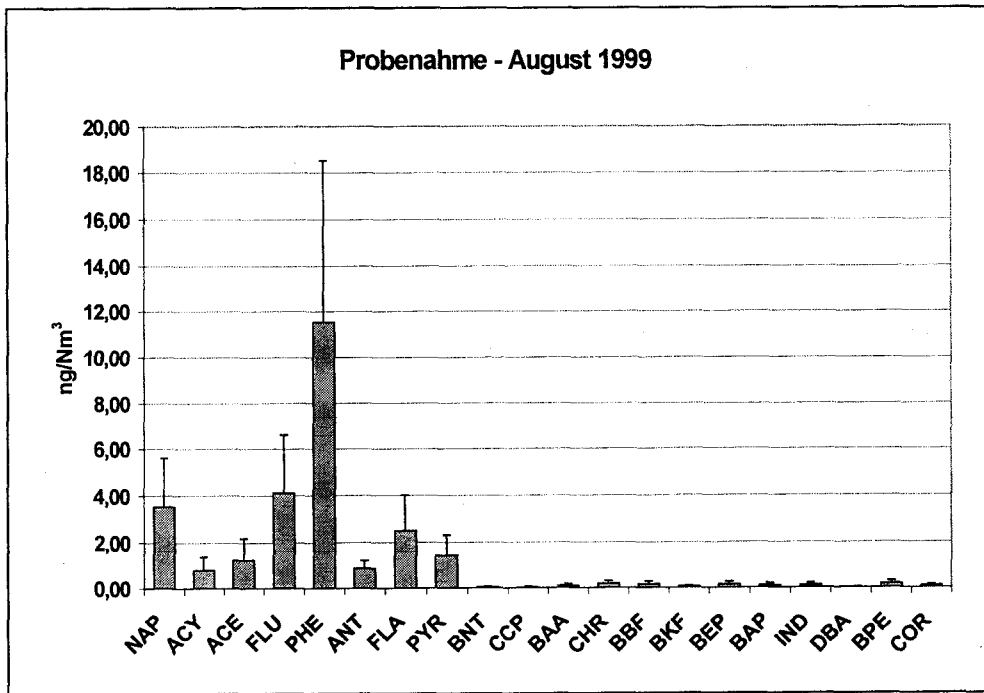


Abbildung 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen August 1999

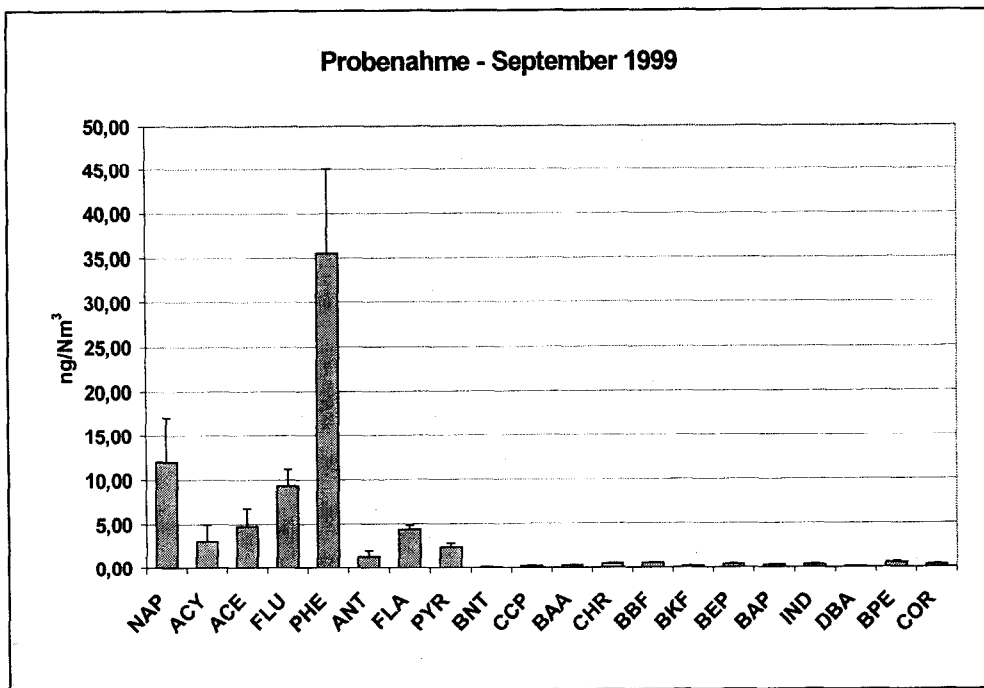


Abbildung 11: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen September 1999

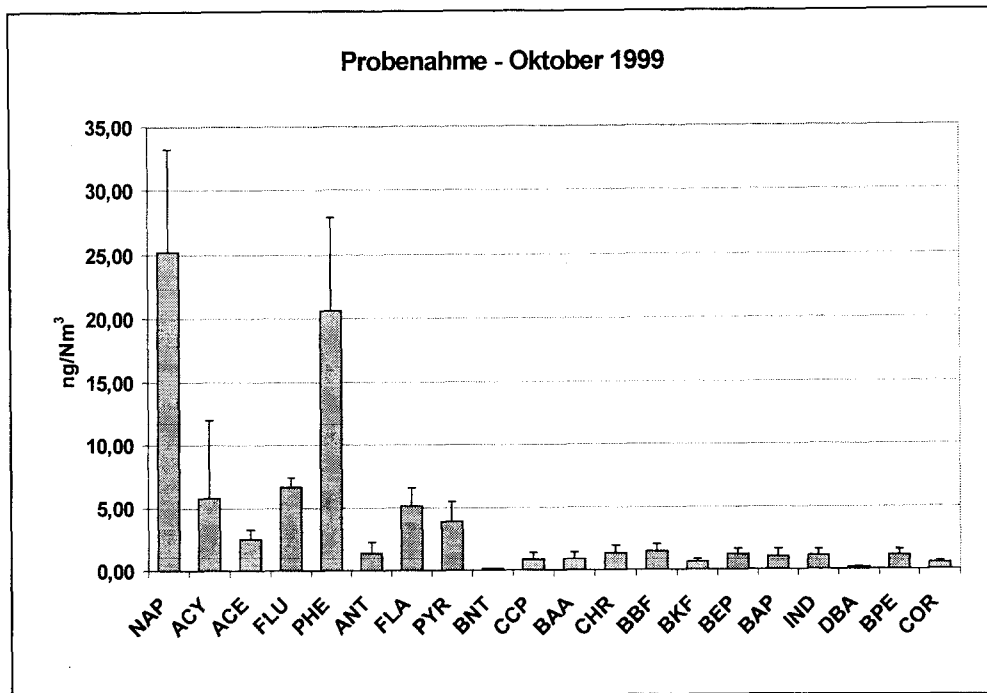


Abbildung 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen Oktober 1999

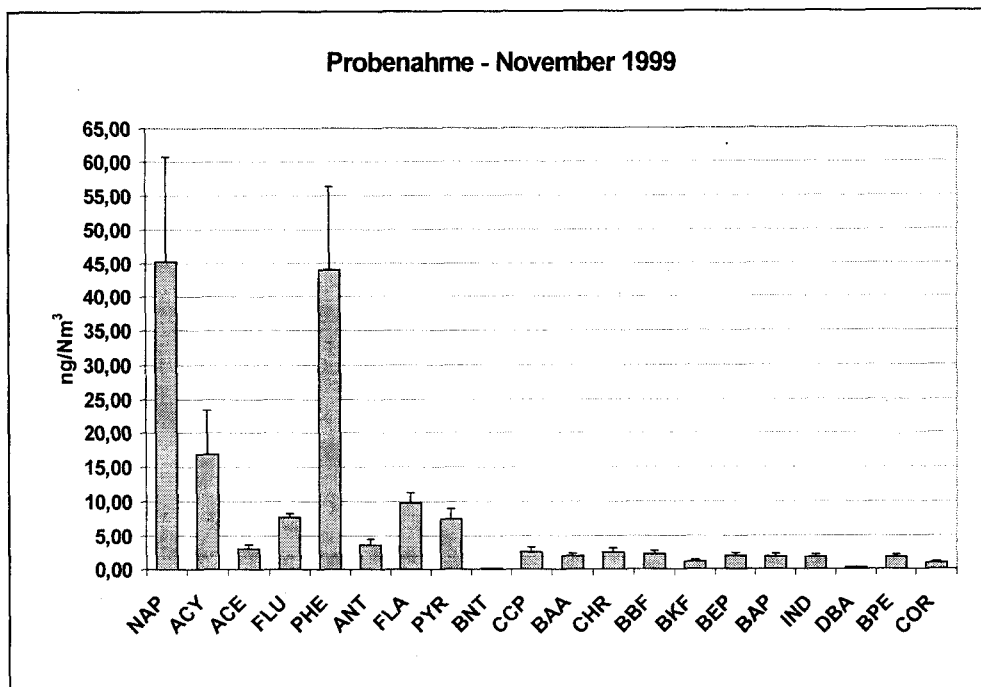


Abbildung 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen November 1999

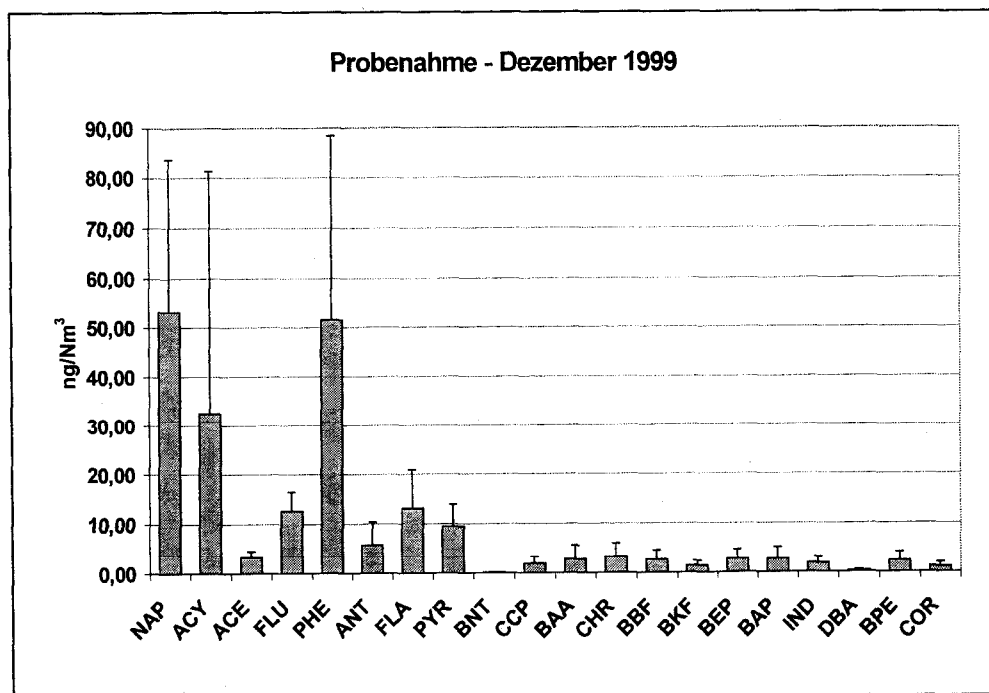


Abbildung 14: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen Dezember 1999

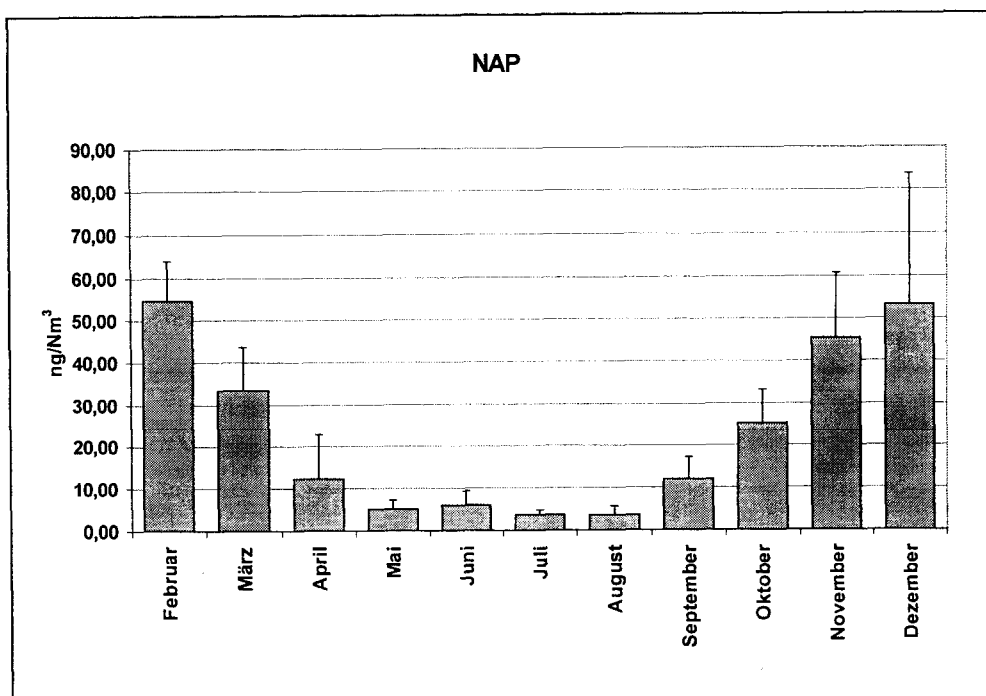


Abbildung 15: Mittelwerte und Standardabweichungen von NAP im Jahresverlauf 1999

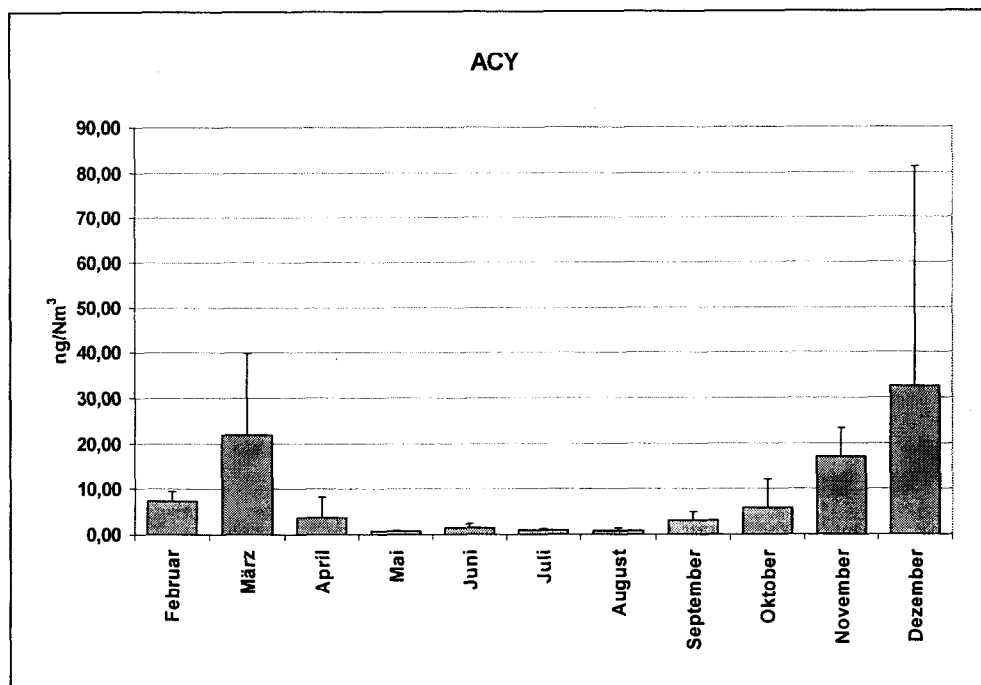


Abbildung 16: Mittelwerte und Standardabweichungen von ACY im Jahresverlauf 1999

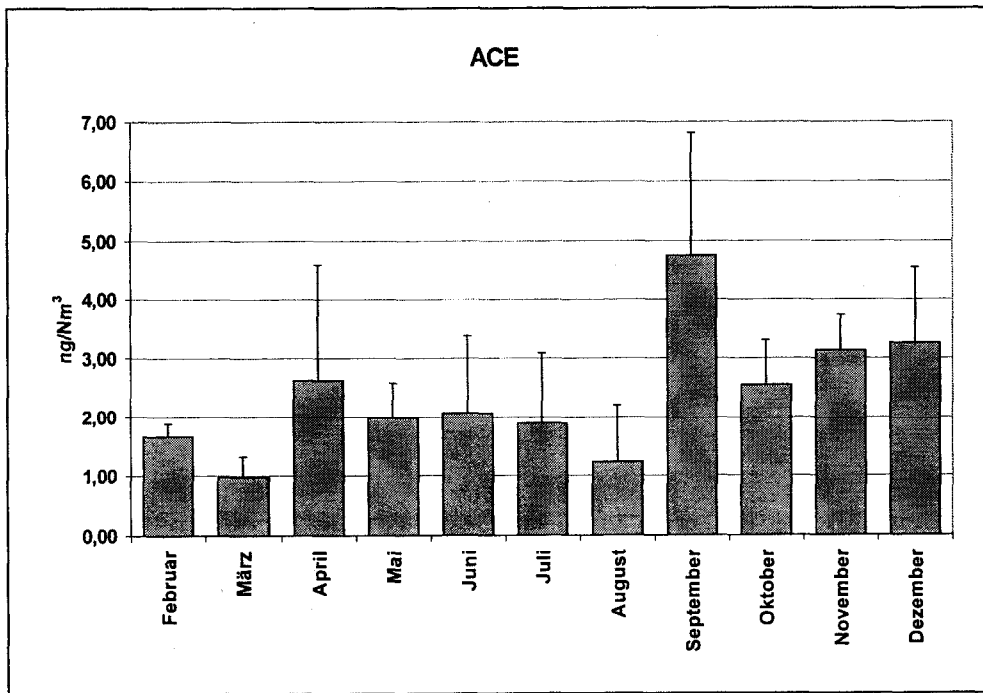


Abbildung 17: Mittelwerte und Standardabweichungen von ACE im Jahresverlauf 1999

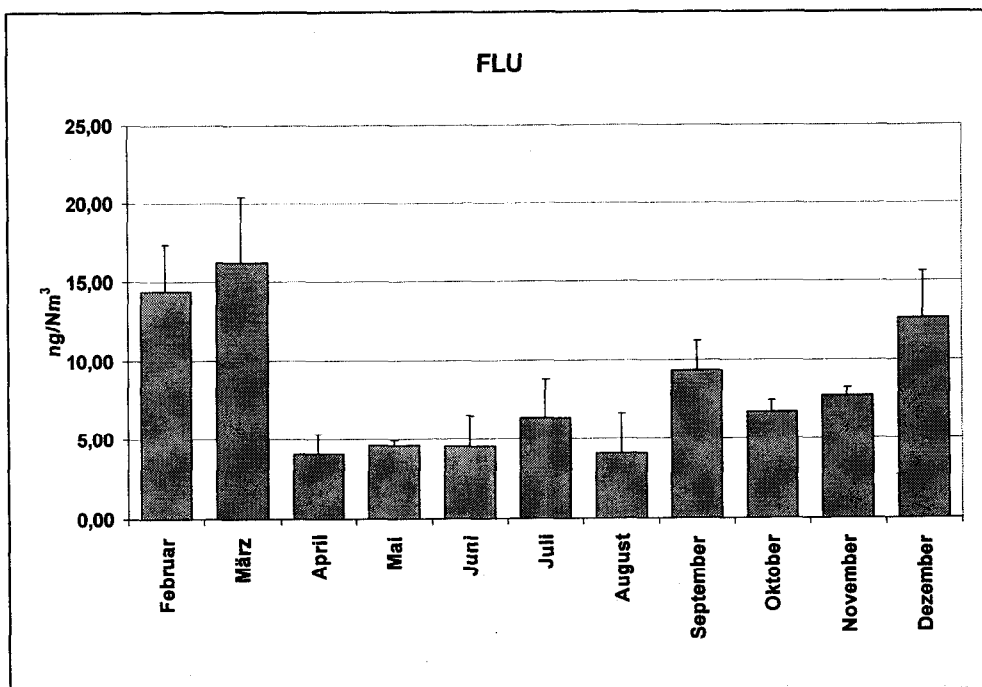


Abbildung 18: Mittelwerte und Standardabweichungen von FLU im Jahresverlauf 1999

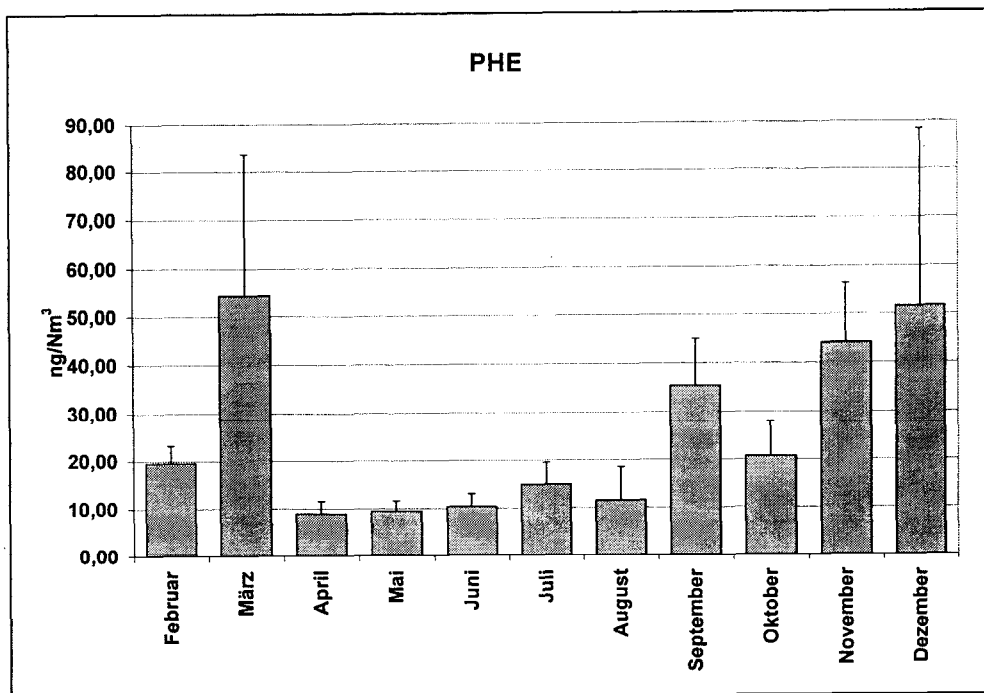


Abbildung 19: Mittelwerte und Standardabweichungen von PHE im Jahresverlauf 1999

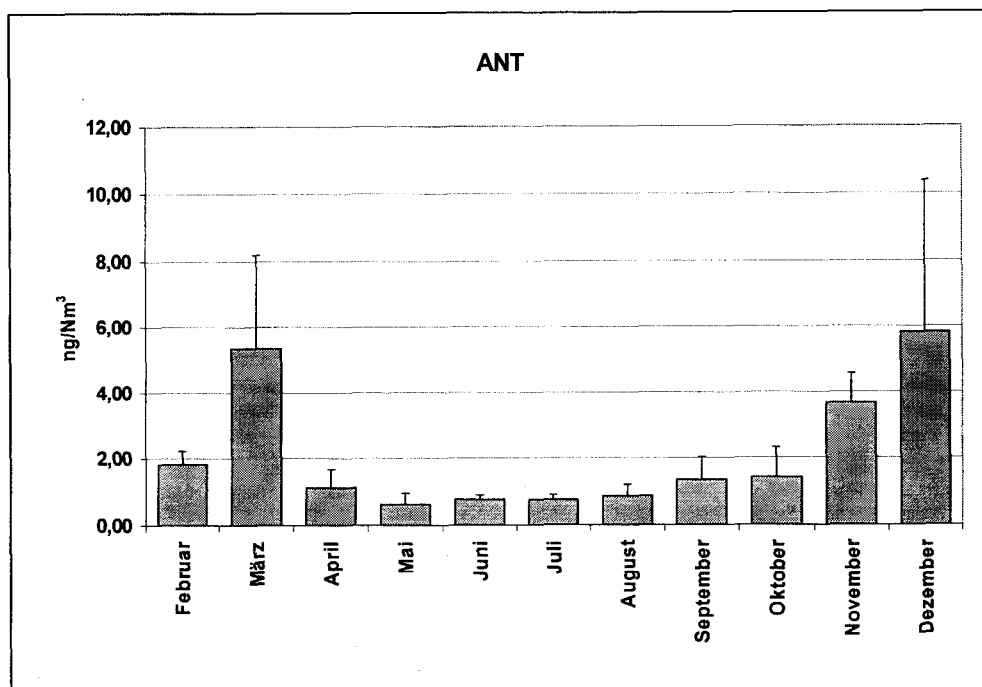


Abbildung 20: Mittelwerte und Standardabweichungen von ANT im Jahresverlauf 1999

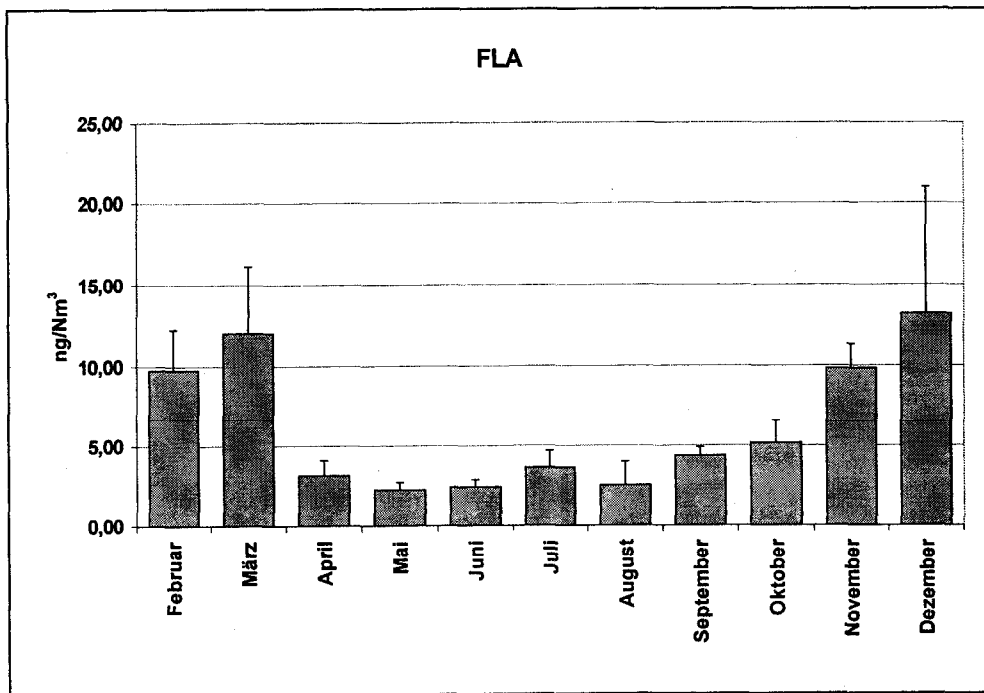


Abbildung 21: Mittelwerte und Standardabweichungen von FLA im Jahresverlauf 1999

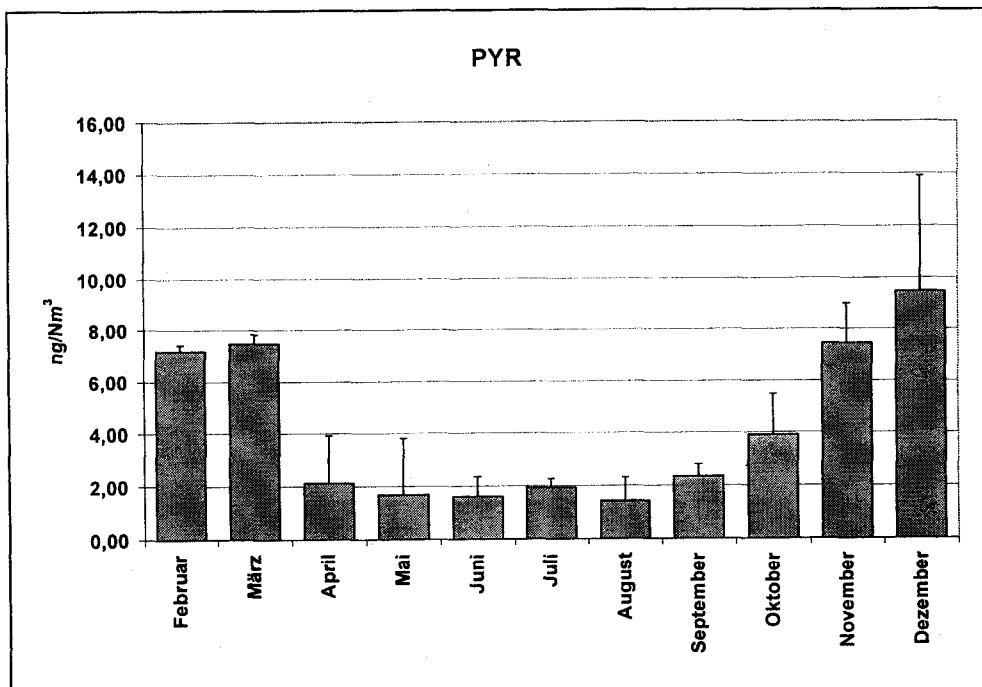


Abbildung 22: Mittelwerte und Standardabweichungen von PYR im Jahresverlauf 1999

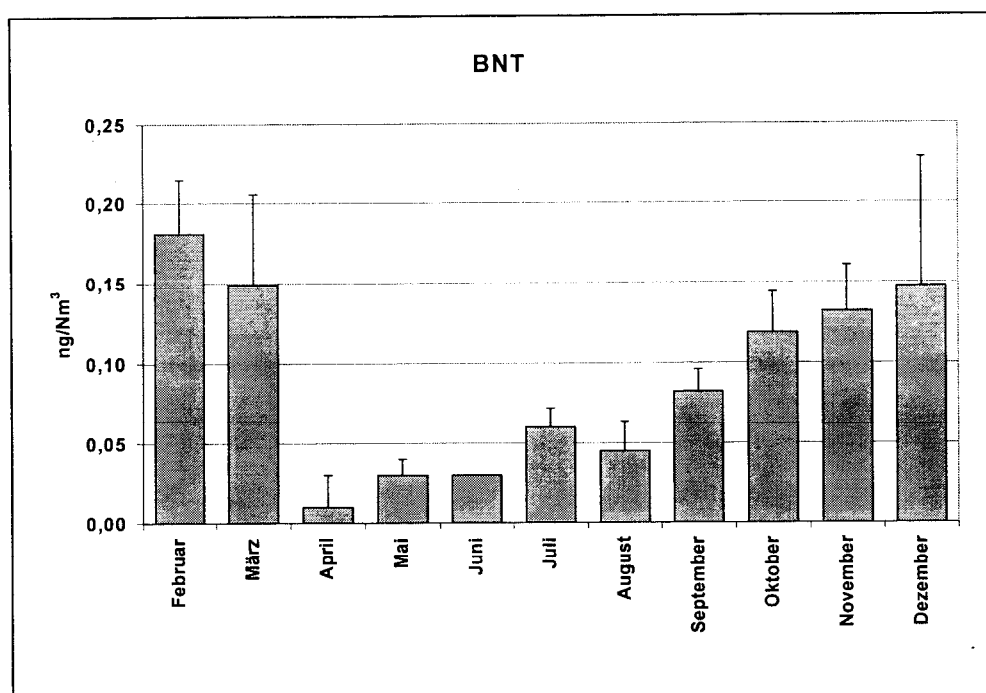


Abbildung 23: Mittelwerte und Standardabweichungen von BNT im Jahresverlauf 1999

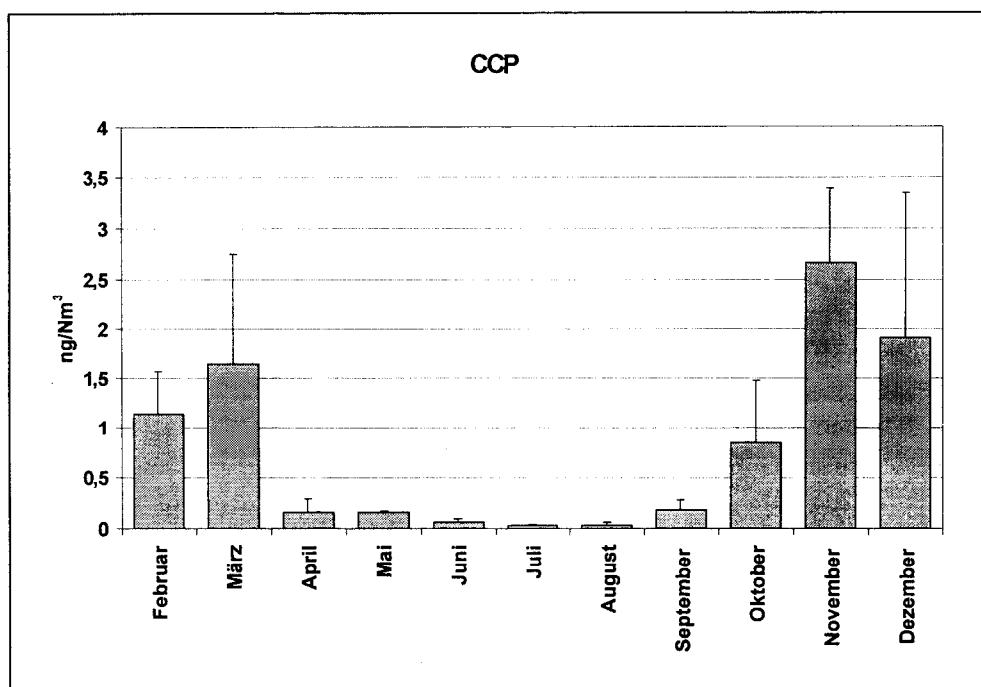


Abbildung 24: Mittelwerte und Standardabweichungen von CCP im Jahresverlauf 1999

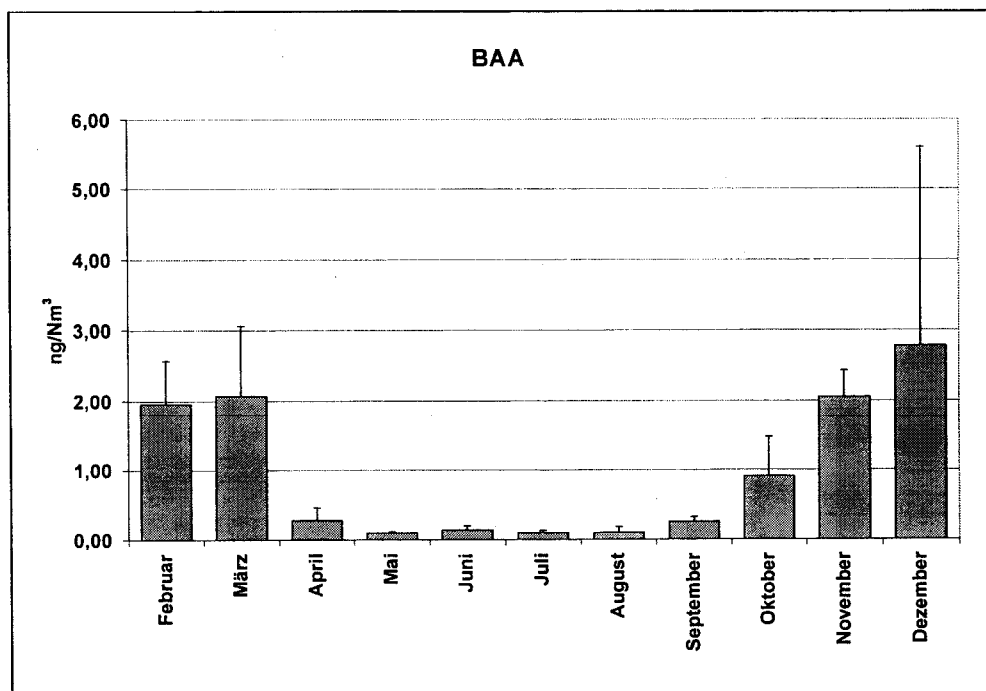


Abbildung 25: Mittelwerte und Standardabweichungen von BAA im Jahresverlauf 1999

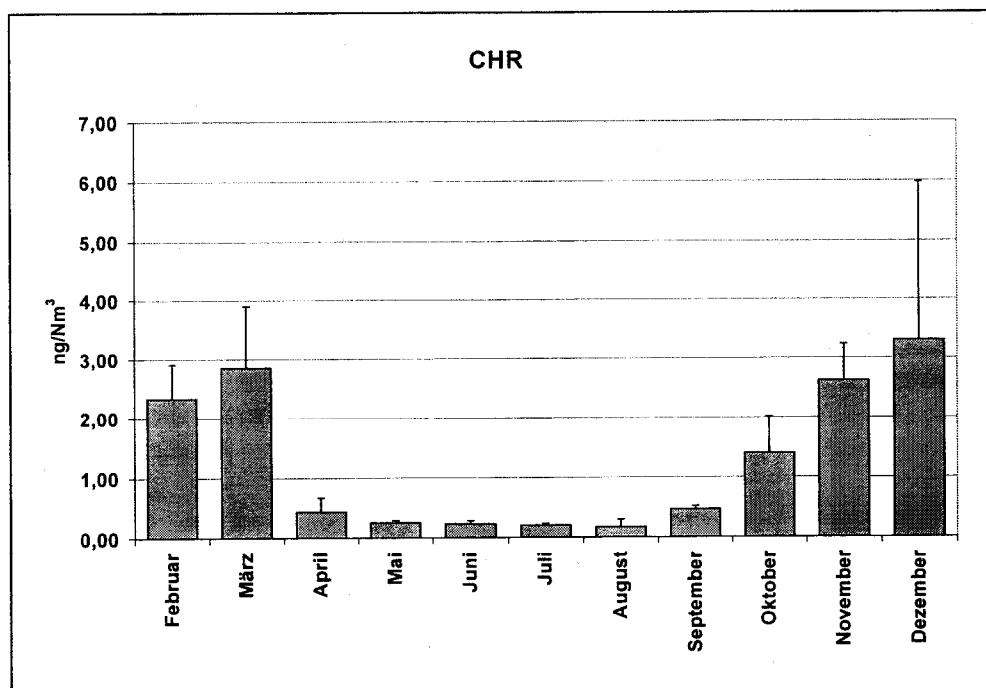


Abbildung 26: Mittelwerte und Standardabweichungen von CHR im Jahresverlauf 1999

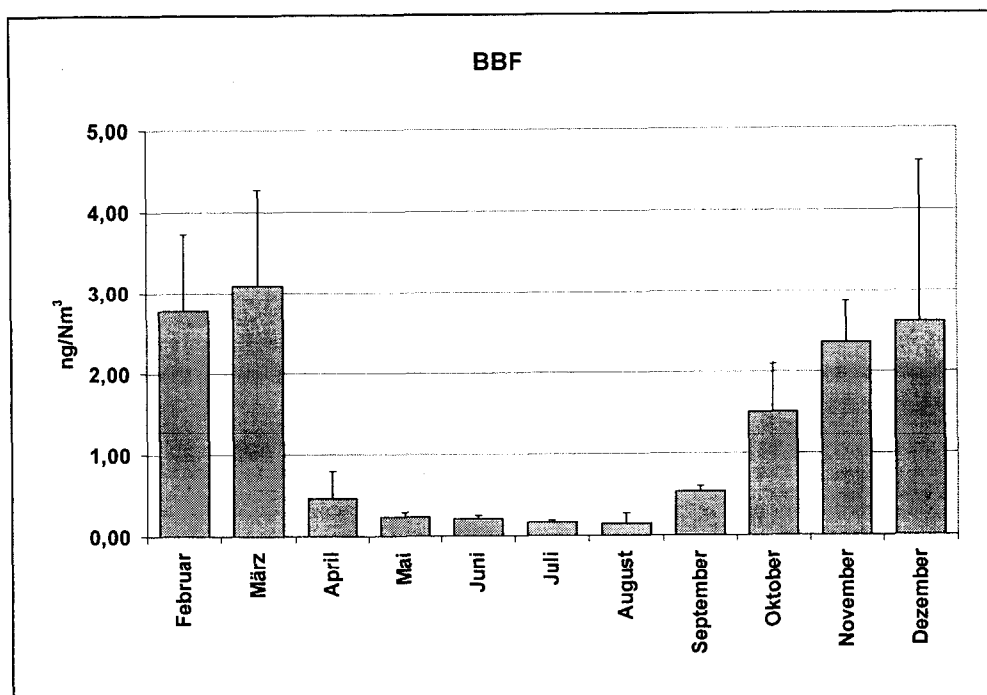


Abbildung 27: Mittelwerte und Standardabweichungen von BBF im Jahresverlauf 1999

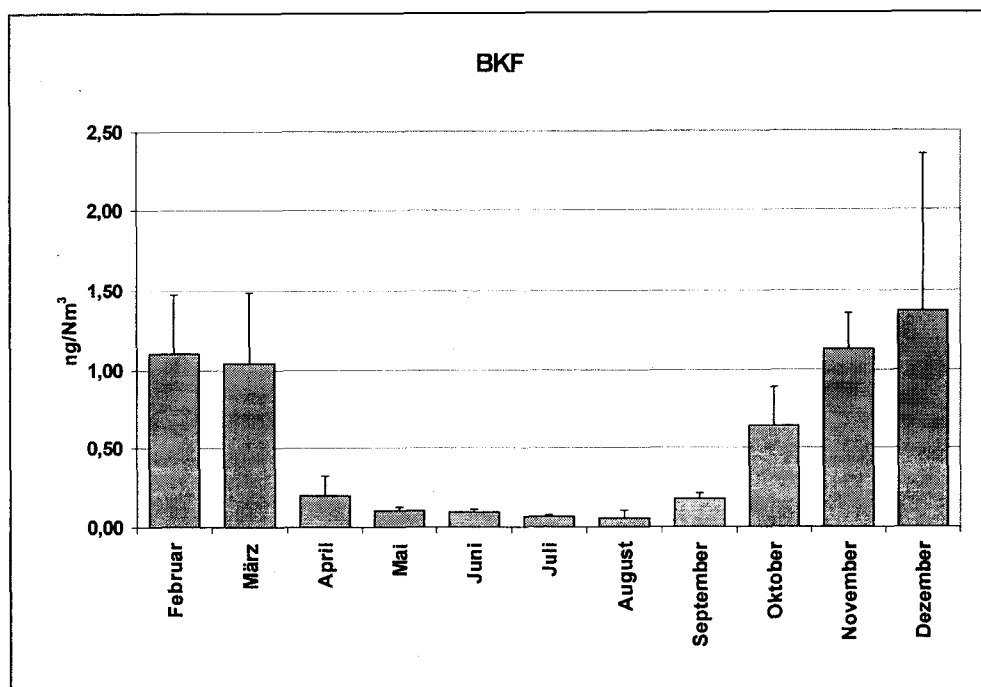


Abbildung 28: Mittelwerte und Standardabweichungen von BKF im Jahresverlauf 1999

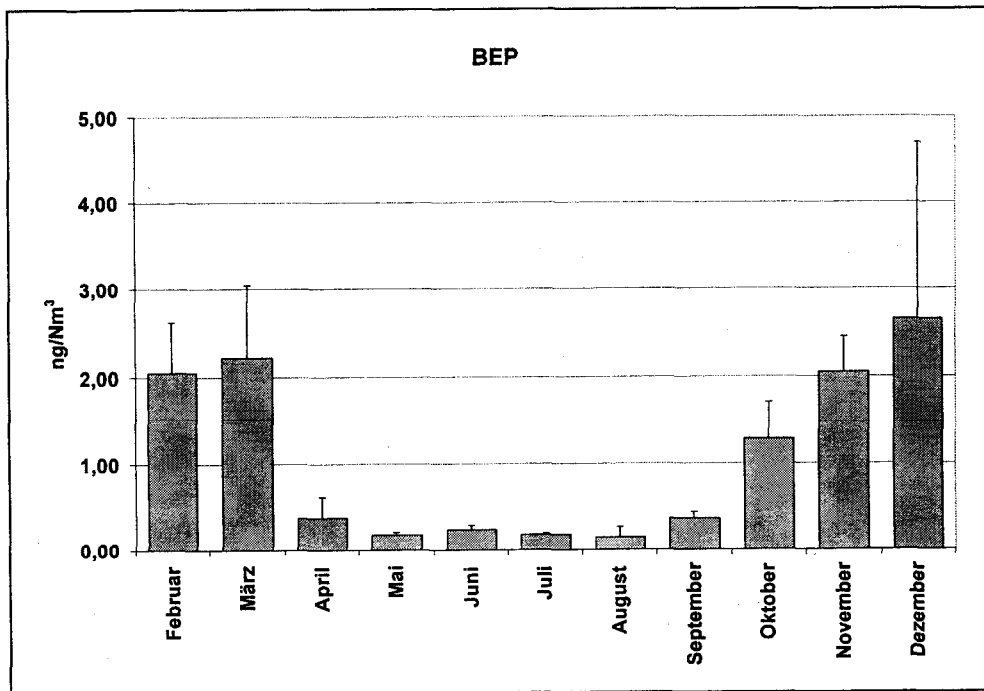


Abbildung 29: Mittelwerte und Standardabweichungen von BEP im Jahresverlauf 1999

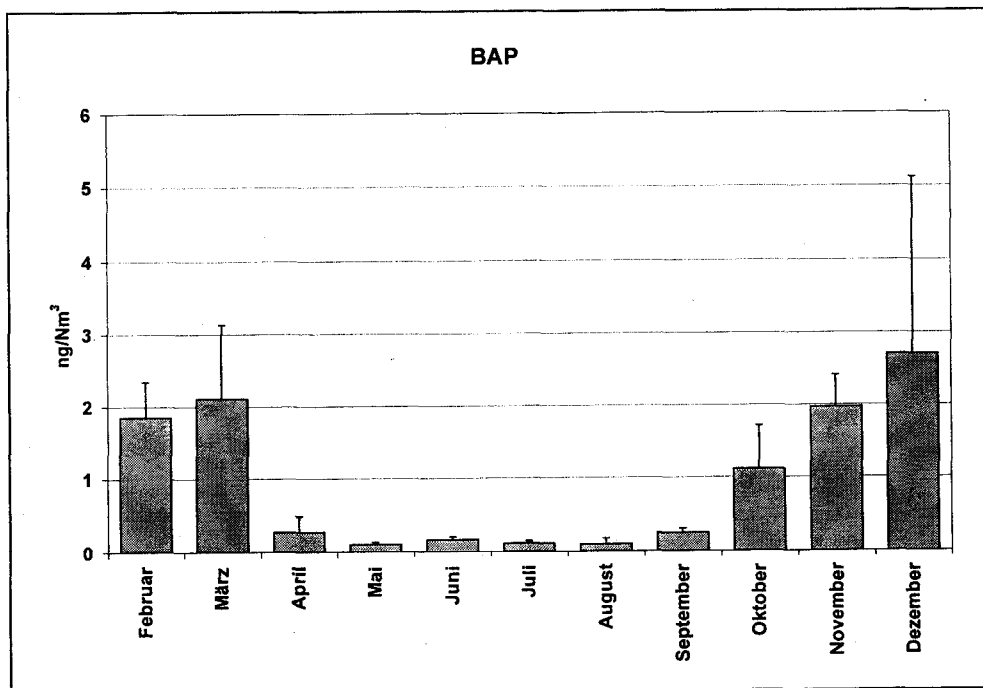


Abbildung 30: Mittelwerte und Standardabweichungen von BAP im Jahresverlauf 1999

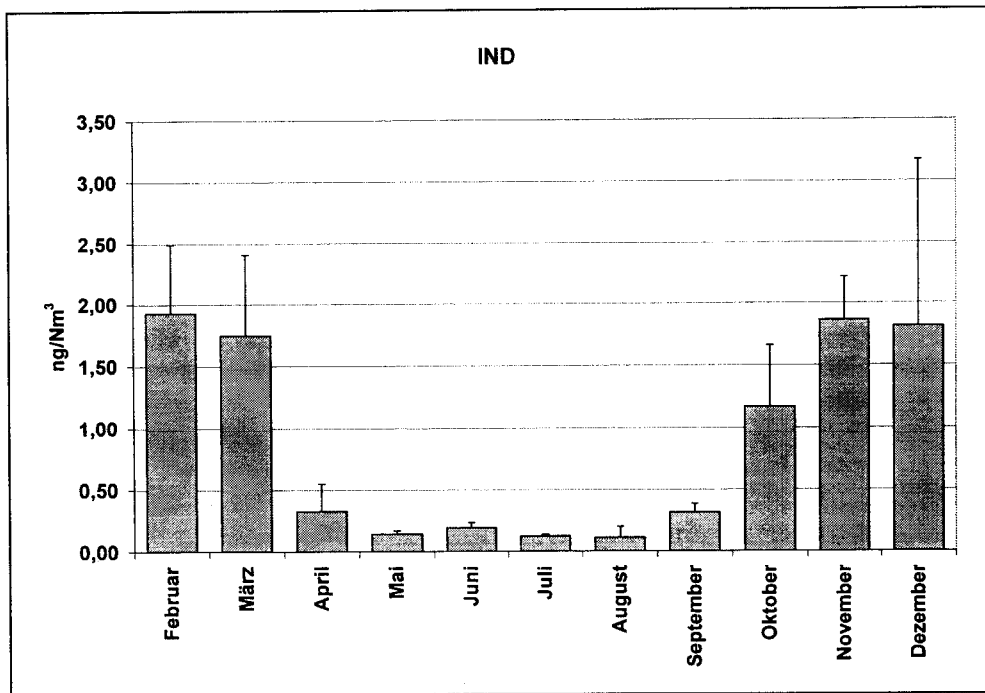


Abbildung 31: Mittelwerte und Standardabweichungen von IND im Jahresverlauf 1999

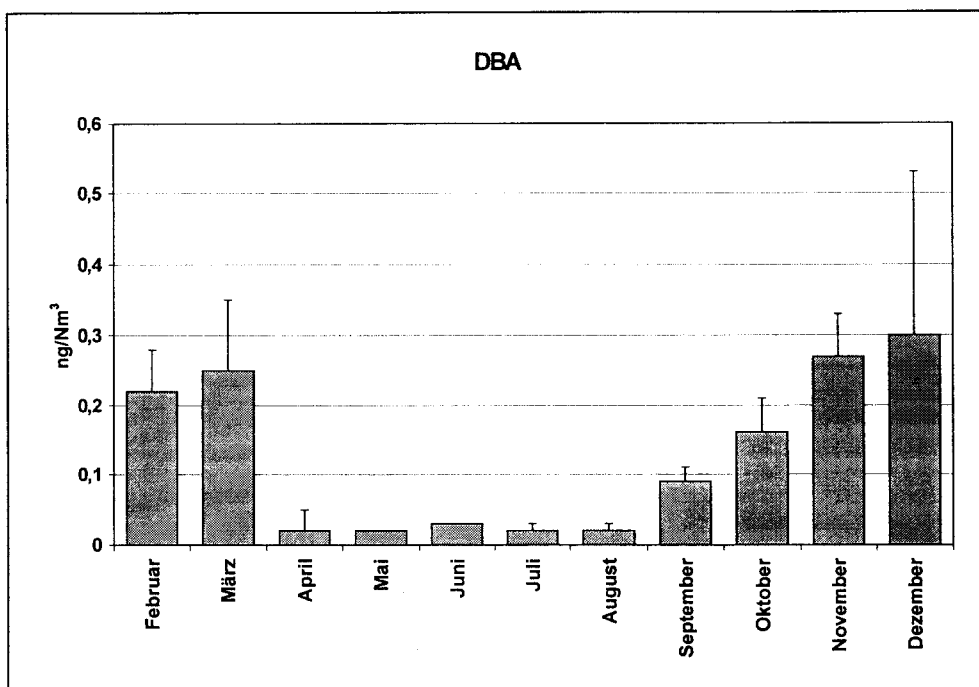


Abbildung 32: Mittelwerte und Standardabweichungen von DBA im Jahresverlauf 1999

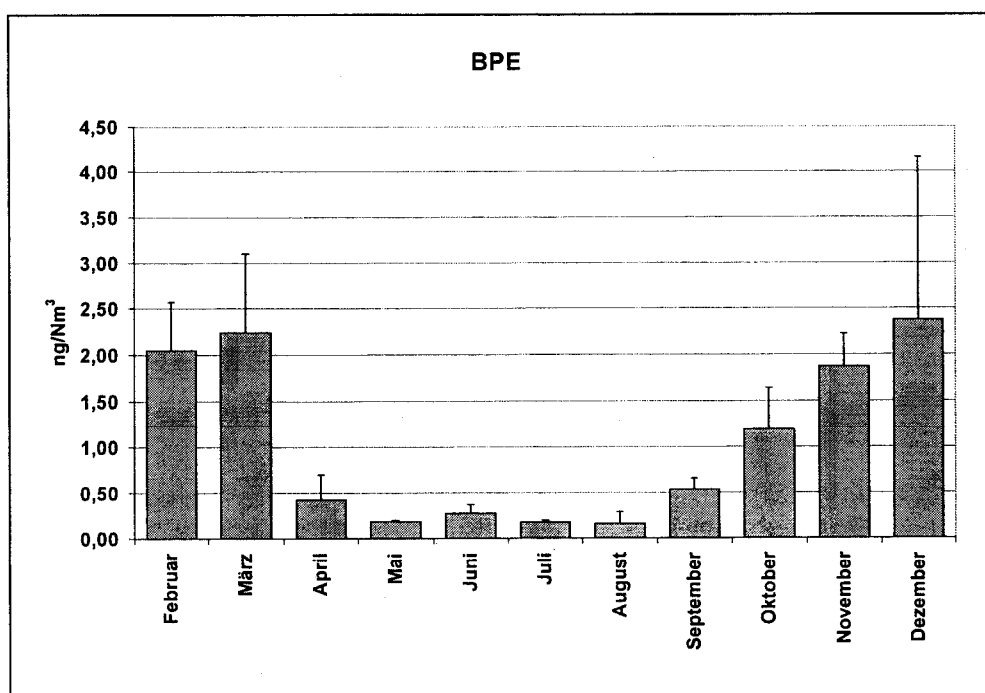


Abbildung 33: Mittelwerte und Standardabweichungen von BPE im Jahresverlauf 1999

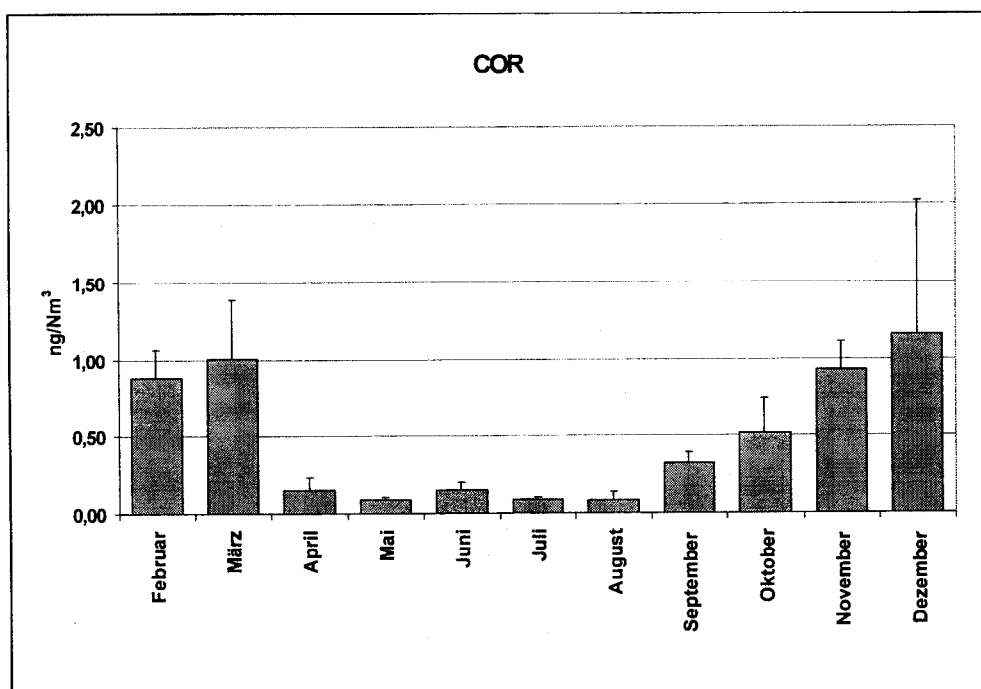


Abbildung 34: Mittelwerte und Standardabweichungen von COR im Jahresverlauf 1999

8 BERECHNUNG EINES "JAHRESMITTELWERTES" (FEB. 1999 – DEZ. 1999)

Für jedes PAH wurde auf Grundlage der Monatsmittelwerte der Jahresmittelwert berechnet. Es ist zu beachten, dass in diesem Bericht der Jahresmittelwert an Hand der Ergebnisse der Monate Februar 1999 bis Dezember 1999 ermittelt wurde. Da die Ergebnisse stark von der Jahreszeit abhängen, und es somit zu großen jahreszeitlichen Schwankungen bei den Untersuchungsergebnissen kommen kann, wurde auf die Berechnung der Standardabweichungen der Jahresmittelwerte verzichtet.

Tabelle 1: Jahresmittelwerte (Feb. 1999 – Dez. 1999) der einzelnen Parameter

Leitsubstanz	Jahresmittelwert (Feb.1999 - Dez.1999) [ng/Nm ³]
Naphthalin	23
Acenaphthylen	8,7
Acenaphthen	2,4
Fluoren	8,2
Phenanthren	26
Anthracen	2,1
Fluoranthen	6,2
Pyren	4,2
Benzo(b)naphthothiophen	0,09
Cyclo(cd)pentapyren	0,80
Benzo(a)anthracen	0,98
Chrysen	1,3
Benzo(b)fluoranthen	1,3
Benzo(k)fluoranthen	0,54
Benzo(e)pyren	1,1
Benzo(a)pyren	0,98
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,88
Dibenzo(a,h)anthracen	0,13
Benzo(ghi)perylen	1,0
Coronen	0,49

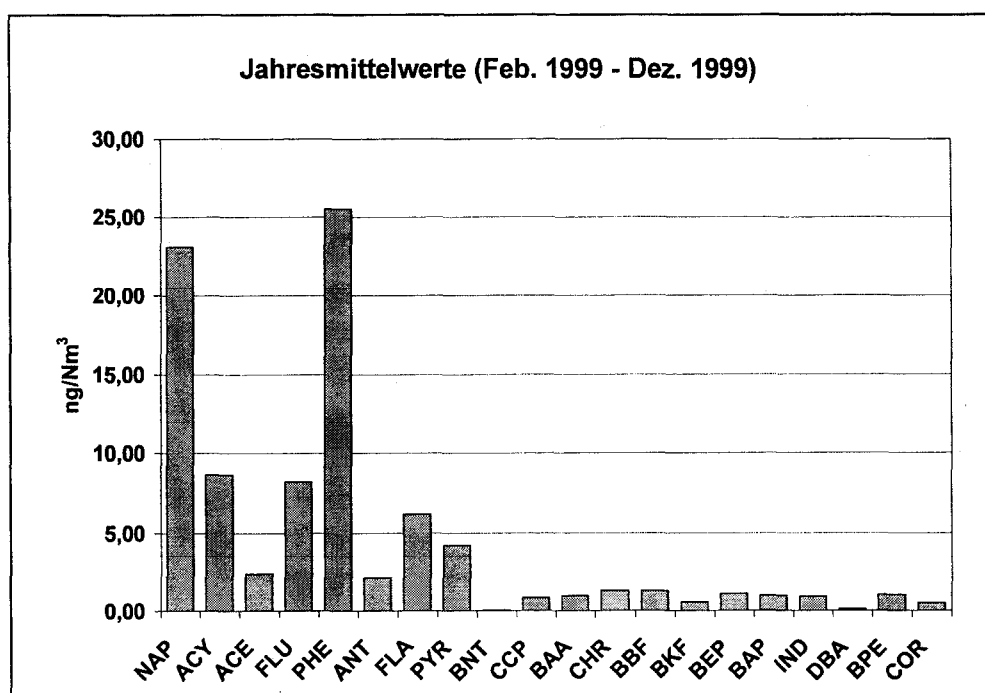


Abbildung 35: Jahresmittelwerte der Untersuchungsergebnisse der einzelnen Parameter

9 NORMIERUNG DER PAH AUF BENZO(E)PYREN

Um einen Vergleich mit auf Benzo(e)pyren normierten Ergebnissen aus der Literatur durchführen zu können (siehe Tabelle 2, Seite 37), wurden die Monatsmittelwerte der nun vorliegenden Untersuchung ebenfalls auf Benzo(e)pyren normiert, das heißt, die Konzentration von Benzo(e)pyren wurde gleich 1 gesetzt und für die Konzentrationen der übrigen Substanzen wurde das Verhältnis dazu berechnet.

BEP ist ein PAH, welches nicht so empfindlich auf die Zersetzung durch fotochemische oder chemische Reaktionen reagiert (KLOSTER et al., 1994), aus diesem Grund wurde es als Bezugssubstanz ausgewählt.

In Tabelle 14 (Anhang 2) sind die Ergebnisse zusammengefasst. Diese Ergebnisse sind, da sie jeweils das Verhältnis zwischen zwei Zahlen darstellen, dimensionslos.

10 ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

In den Abbildungen 15-34 zeigt sich für alle untersuchten Parameter, mit Ausnahme von ACE, eine ähnliche Konzentrationsverteilung. In den Monaten Februar, März, Oktober, November und Dezember wurden für diese Substanzen eindeutig die höchsten Konzentrationen detektiert. Teilweise waren auch in den Monaten April und September die Messergebnisse noch wesentlich höher als in den restlichen Monaten. Die niedrigsten Ergebnisse wurden im Allgemeinen in den Monaten Mai, Juni, Juli und August ermittelt. Bei ACE konnte dagegen keine Konzentrationsabnahme während der Sommermonate festgestellt werden. Für diese Substanz wurden in den Monaten April, Mai, Juni und Juli höhere Ergebnisse als in den Monaten Februar und März erzielt. Das höchste Resultat für ACE wurde im September gemessen.

Bei der Leitsubstanz FLU ist die oben angeführte Konzentrationsverteilung vorhanden, aber nicht sehr ausgeprägt. Im September wurden für diesen Parameter wesentlich höhere Werte ermittelt als im Oktober und November. Der Messwert vom Juli ($6,4 \text{ ng/Nm}^3$) entspricht beinahe dem Messwert vom Oktober ($6,7 \text{ ng/Nm}^3$).

Die höchsten Ergebnisse wurden bei PHE mit einem Maximalwert von 117 ng/Nm^3 und einem Jahresmittelwert (Feb. 1999 – Dez. 1999) von 26 ng/Nm^3 erzielt, gefolgt von NAP mit einem Maximum bei 101 ng/Nm^3 und einem Jahresmittelwert (Feb. 1999 – Dez. 1999) von 23 ng/Nm^3 . Dieses Ergebnis stimmt mit einer bereits früher durchgeführten Studie vom Umweltbundesamt überein (UMWELTBUNDESAMT, 1999a). Damals wurden ebenfalls die höchsten Werte bei Naphthalin (bis zu 178 ng/Nm^3) und bei Phenanthren (83 ng/Nm^3) detektiert. Acenaphthylen wurde in sehr hohen Konzentrationen gefunden (zweithöchster Mittelwert aller 16 EPA-PAH von 60 ng/Nm^3). Im Vergleich zu anderen Matrices, wo Acenaphthylen nur in niedrigen Konzentrationen nachgewiesen wird, war dieses Ergebnis überraschend (UMWELTBUNDESAMT, 1999a). Bei der nun vorliegenden Studie konnte dieses Ergebnis bestätigt werden. Für Acenaphthylen wurde der dritthöchste Jahresmittelwert (Feb. 1999 – Dez. 1999) berechnet ($8,7 \text{ ng/Nm}^3$).

Für Benzo(a)pyren wurde ein Jahresmittelwert (Feb. 1999 – Dez. 1999) von $0,98 \text{ ng/Nm}^3$ ermittelt, der Maximalwert von $7,0 \text{ ng/Nm}^3$ für diesen Parameter wurde im Dezember erhalten. Der Jahresmittelwert für BAP liegt somit unter dem Richtwert von $1,3 \text{ ng/Nm}^3$ (Jahresmittelwert) des Länderausschusses für Immissionsschutz (LÄNDERAUSSCHUSS FÜR IMMISSIONSSCHUTZ, 1992).

Die wesentlich niedrigeren Messergebnisse im Sommer können auf die höheren Temperaturen in diesen Monaten (z.B. fotochemische und chemische Zersetzungsreaktionen) zurückgeführt werden. Weiters ist zu beachten, dass es durch unterschiedliche Wetterbedingungen (z.B. Wind) zur Beeinflussung der Messresultate gekommen sein könnte.

Bei dieser Studie wurden Benzo(b)naphthothiophen als Tracer für Heizungsemissionen und Coronen und Cyclo(cd)pentapyren als Leitsubstanzen für den Verkehr verwendet (UMWELTBUNDESAMT, 1999a, GANS et al., 1999). Für Coronen und Cyclo(cd)pentapyren wurden im Allgemeinen wesentlich höhere Ergebnisse erzielt

als für Benzo(b)naphthothiophen. Dieses Resultat lässt darauf schließen, dass bei den Untersuchungen Verkehrsemissionen einen großen Einfluss hatten.

Generell ist zu sagen, dass die gemessenen BNT- Konzentrationen sehr gering sind und nahe der Bestimmungsgrenze liegen, weiterführende Aussagen sind daher nicht möglich.

Die Monatsmittelwerte der einzelnen Parameter wurden zum besseren Vergleich mit der Literatur auf Benzo(e)pyren (BEP) normiert. In der nun vorliegenden Studie wurde für BEP eine auch in der Literatur bestätigte Konzentrationsverteilung gefunden (KLOSTER et al, 1994: Winter: 3,0 ng/Nm³, Sommer: 0,4 ng/Nm³).

Bei der Normierung der PAH auf BEP ergeben sich während der Untersuchungszeit drei Typen von Konzentrationsverläufen. Einerseits gibt es Substanzen, die, auf BEP normiert, eine deutliche Zunahme ihrer Konzentration in den Sommermonaten zeigen (ACE, FLU, PHE, ANT, FLA, PYR, BNT), andererseits gibt es Parameter, die im Gegensatz dazu eine leichte Abnahme der Konzentration während dieser Zeit aufweisen (BAA, BAP). Bei den restlichen Substanzen ist kein einheitlicher Verlauf der Konzentration zu erkennen, die Ergebnisse schwanken um einen jeweiligen Mittelwert (z.B. ACY).

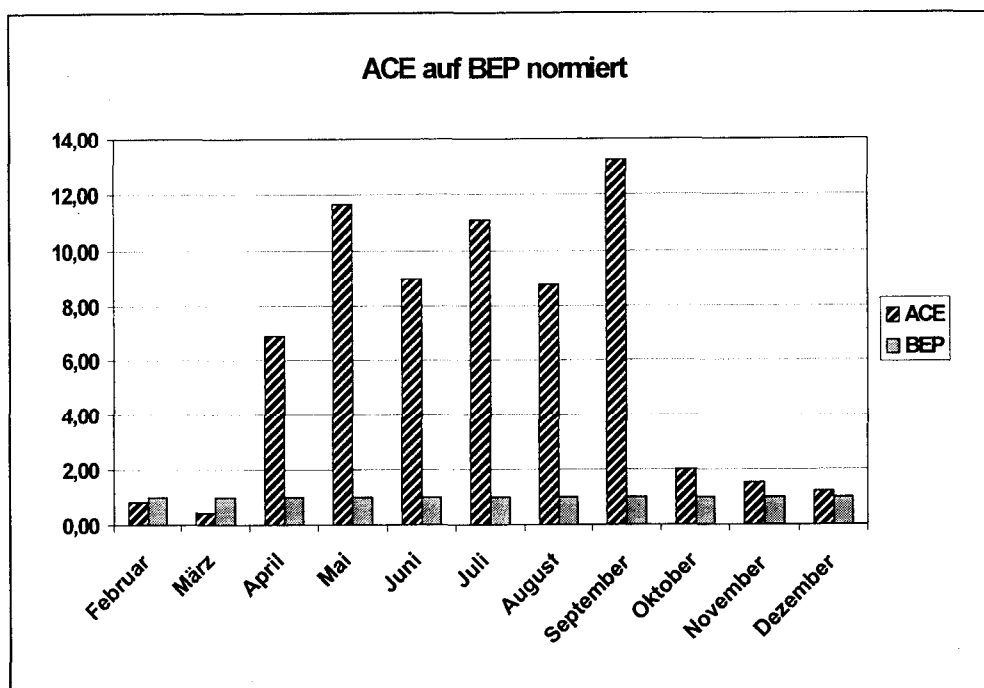


Abbildung 36: ACE auf BEP normiert

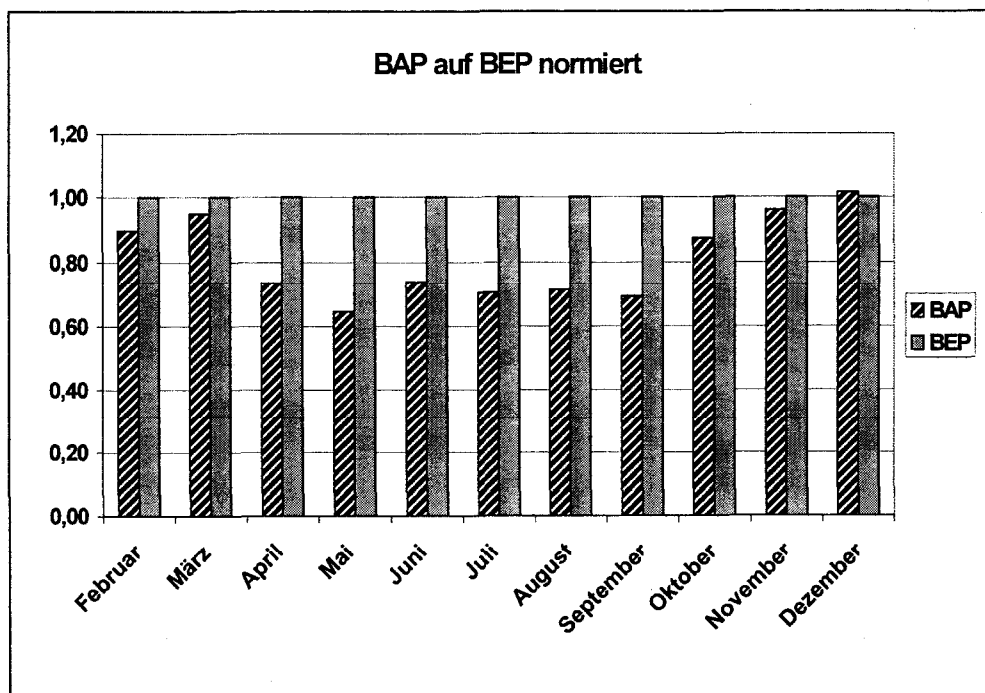


Abbildung 37: BAP auf BEP normiert

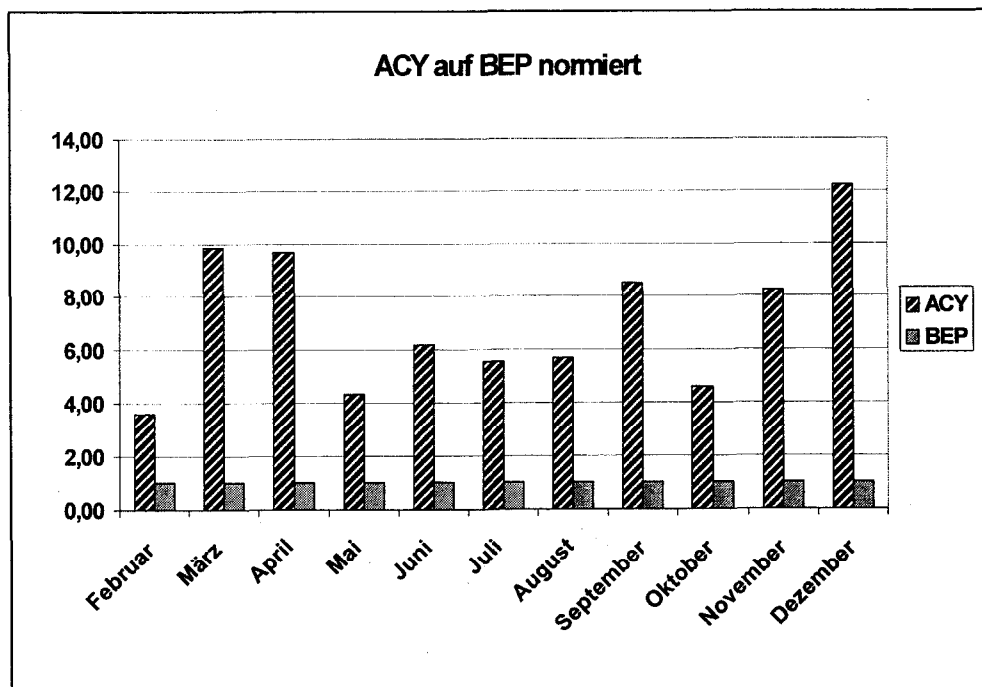


Abbildung 38: ACY auf BEP normiert

KHALILI et al. analysierten von 1990 – 1992 Proben von PAH-emittierenden Orten (in Tunnels, in einer Garage für dieselbetriebene Busse und in einer öffentlichen Parkgarage - Emissionen von benzinbetriebenen Motoren) in Chicago. In Tabelle 2 sind die auf BEP normierten Ergebnisse den Jahresmittelwerten (Feb. 1999 – Dez. 1999, berechnet aus den normierten Monatsmittelwerten; siehe Anhang 2) der nun vorliegenden Studie gegenübergestellt.

Tabelle 2: PAH von verschiedenen Probenahmeorten in Chicago auf BEP normiert (KHALILI et al., 1995) verglichen mit den Jahresmittelwerten (Februar 1999 – Dezember 1999, berechnet aus den normierten Monatsmittelwerten; siehe Anhang 2) der nun vorliegenden Studie

PAH	im Tunnel	von Diesel- motoren	von Benzin- motoren	norm. JMW
Naphthalin	213 ± 165	28 ± 40	9,8 ± 13	25
Acenaphthylen	12 ± 8,33	9,9 ± 5,9	0,33 ± 0,33	7,1
Acenaphthen	3,6 ± 2,1	11 ± 6,5	0,10 ± 0,15	6,1
Fluoren	8,7 ± 5,8	11 ± 8,7	0,59 ± 0,35	16
Phenanthren	5,7 ± 2,4	7,4 ± 6,6	0,59 ± 0,35	44
Anthracen	3,7 ± 2,2	3,3 ± 2,7	0,21 ± 0,15	3,0
Fluoranthren	2,2 ± 1,4	1,1 ± 0,71	0,34 ± 0,00	9,7
Pyren	3,9 ± 3,3	0,81 ± 0,87	0,85 ± 0,38	6,2
Cyclopenta(cd)pyren	2,4 ± 2,3	2,4 ± 2,1	0,30 ± 0,19	0,60
Benzo(a)anthracen	2,0 ± 2,1	2,6 ± 1,6	0,10 ± 0,06	0,78
Chrysen	1,7 ± 1,3	1,4 ± 0,62	0,12 ± 0,17	1,2
Benzo(b)fluoranthren	0,77 ± 0,23	0,91 ± 0,26	0,14 ± 0,20	1,2
Benzo(k)fluoranthren	0,79 ± 0,17	0,76 ± 0,31	0,11 ± 0,16	0,49
Benzo(e)pyren	1,0	1,0	1,0	1,0
Benzo(a)pyren	1,1 ± 0,35	1,9 ± 1,1	1,00	0,81
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,24 ± 0,23	1,3 ± 1,1	bd	0,83
Dibenzo(a,h)anthracen	0,24 ± 0,16	0,51 ± 0,67	0,24*	0,13
Benzo(ghi)perylen	0,37 ± 0,26	0,60 ± 0,43	0,047*	1,1
Coronen	bd	0,026	0,046*	0,52

bd: below the detection limit of this study (nicht nachweisbar)

*: nur eine Messung

In Tabelle 2 zeigt sich, dass für Phenanthren, Fluoranthren und Coronen in der nun vorliegenden Studie erhöhte Werte ermittelt wurden. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass bei diesem Vergleich die Probenahme an Orten mit verschiedenen PAH-Quellen erfolgte, kann eine gewisse Übereinstimmung der übrigen Resultate festgestellt werden.

11 ANHANG - Anhang 1: Tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Tabelle 3: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm³ (25°C, 1013,25 mbar) - Probenahme Februar 1999

Leit- substanz	Datum				Min.	Max.	Mittelwert	Median	RSD (%)
	08.02.- 09.02.	09.02.- 10.02.	10.02.- 11.02.	11.02.- 12.02.					
NAP	44	67	60	55	44	67	55	55	17
ACY	9,8	9,5	6,4	5,6	5,4	9,8	7,3	6,4	29
ACE	1,5	1,9	1,6	1,8	1,4	1,9	1,7	1,6	13
FLU	10	15	14	18	10	18	14	14	21
PHE	14	21	19	24	14	24,2	20	19	19
ANT	1,4	2,0	1,7	2,4	1,4	2,4	1,8	1,7	22
FLA	6,2	10	9,5	13	6,2	13	9,8	9,9	25
PYR	4,7	7,8	6,8	9,7	4,7	9,7	7,2	6,9	25
BNT	0,16	0,18	0,19	0,23	0,14	0,23	0,18	0,18	17
CCP	0,60	1,1	1,1	1,8	0,60	1,8	1,1	1,1	38
BAA	1,2	2,0	1,9	2,9	1,2	2,9	2,0	1,9	32
CHR	1,4	2,4	2,4	3,0	1,4	3,0	2,3	2,4	25
BBF	1,5	3,1	3,0	4,1	1,5	4,1	2,8	3,0	35
BKF	0,58	1,1	1,0	1,6	0,58	1,6	1,1	1,1	34
BEP	1,2	2,1	2,0	2,8	1,2	2,8	2,1	2,1	28
BAP	1,1	2,0	1,9	2,5	1,1	2,5	1,8	1,9	27
IND	1,1	2,1	2,0	2,6	1,1	2,6	1,9	2,0	29
DBA	0,15	0,21	0,19	0,32	0,15	0,32	0,22	0,21	27
BPE	1,3	2,3	2,0	2,7	1,3	2,7	2,1	2,0	25
COR	0,61	1,0	0,92	1,0	0,61	1,0	0,88	0,92	22

Tabelle 4: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm³ (25°C, 1013,25 mbar) - Probenahme März 1999

Leit- substanz	Datum						Min.	Max.	Mittelwert	Median	RSD (%)
	08.02.- 09.02.	09.02.- 10.02.	10.02.- 11.02.	11.02.- 12.02.	12.02.- 13.02.						
NAP	31	48	24	25	39	24	48	33	31	31	
ACY	28	51	9,4	10	11	9,4	51	22	11	81	
ACE	1,3	1,4	0,84	0,58	0,80	0,58	1,4	0,98	0,84	35	
FLU	18	21	17	9,9	15	9,9	21	16	17	26	
PHE	60	99	56	22	34	22	99	54	56	54	
ANT	8,3	8,2	4,9	1,9	3,5	1,9	8,3	5,4	4,9	53	
FLA	15	17	11	6,1	12	6,1	17	12	12	34	
PYR	9,4	9,0	7,4	4,0	7,6	4,0	9,4	7,5	7,6	29	
BNT	0,14	0,15	0,13	0,09	0,24	0,09	0,24	0,15	0,14	40	
CCP	3,1	2,6	0,82	0,74	1,0	0,74	3,1	1,7	1,0	67	
BAA	3,5	2,6	1,4	1,1	1,8	1,1	3,5	2,1	1,8	48	
CHR	3,8	3,6	2,3	1,3	3,4	1,3	3,8	2,9	3,4	37	
BBF	4,2	4,0	2,5	1,3	3,5	1,3	4,2	3,1	3,5	38	
BKF	1,6	1,3	0,72	0,47	1,2	0,47	1,6	1,0	1,2	42	
BEP	2,9	2,8	1,8	0,94	2,6	0,94	2,9	2,2	2,6	37	
BAP	3,3	2,9	1,5	0,79	2,1	0,79	3,3	2,1	2,1	48	
IND	2,4	2,2	1,5	0,74	1,9	0,74	2,4	1,8	1,9	38	
DBA	0,36	0,26	0,20	0,11	0,3	0,11	0,36	0,25	0,26	40	
BPE	3,1	3,0	2,0	0,95	2,3	0,95	3,1	2,2	2,3	38	
COR	1,4	1,4	0,87	0,44	0,97	0,44	1,4	1,0	0,97	39	

Tabelle 5: Einzelergebnisse von 3 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm³ (25°C, 1013,25 mbar) – Probenahme April 1999

Leit- substanz	Datum			Min.	Max.	Mittelwert	Median	RSD (%)
	12.04.-13.04.	13.04.-14.04.	14.04.-15.04.					
NAP	24	8,0	4,7	4,7	24	12	8,0	85
ACY	8,8	1,3	0,90	0,90	8,8	3,7	1,3	121
ACE	4,9	1,5	1,4	1,4	4,9	2,6	1,5	76
FLU	5,5	3,6	3,1	3,1	5,5	4,1	3,6	32
PHE	12	8,0	6,8	6,8	12	8,9	8,0	30
ANT	1,6	1,2	0,53	0,53	1,6	1,1	1,2	50
FLA	4,2	3,0	2,3	2,3	4,2	3,1	3,0	31
PYR	2,9	2,2	1,4	1,4	2,9	2,1	2,2	36
BNT	0,04	n.n.	n.n.	n.n.	0,04	0,01	n.n.	-
CCP	0,31	0,08	0,09	0,08	0,31	0,16	0,09	81
BAA	0,49	0,20	0,15	0,15	0,49	0,28	0,2	64
CHR	0,71	0,34	0,26	0,26	0,71	0,44	0,34	55
BBF	0,85	0,28	0,27	0,27	0,85	0,47	0,28	70
BKF	0,34	0,14	0,11	0,11	0,34	0,20	0,14	65
BEP	0,65	0,27	0,21	0,21	0,65	0,38	0,27	63
BAP	0,53	0,17	0,15	0,15	0,53	0,28	0,17	75
IND	0,58	0,22	0,17	0,16	0,58	0,32	0,22	69
DBA	0,06	n.n.	n.n.	n.n.	0,06	0,02	n.n.	-
BPE	0,74	0,31	0,23	0,23	0,74	0,43	0,31	63
COR	0,24	0,13	0,09	0,09	0,24	0,15	0,13	53

Tabelle 6: Einzelergebnisse von 3 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm³ (25°C, 1013,25 mbar) - Probenahme Mai 1999

Leit- substanz	Datum			Min.	Max.	Mittelwert	Median	RSD (%)
	06.05.-07.05.	07.05.-08.05.	12.05.-13.05.					
NAP	7,4	3,2	4,7	3,2	7,4	5,1	4,7	42
ACY	0,82	0,73	0,65	0,65	0,82	0,73	0,73	12
ACE	2,6	1,9	1,4	1,4	2,6	2,0	1,9	30
FLU	4,3	4,7	4,9	4,3	4,9	4,6	4,7	6,7
PHE	7,8	8,9	12	7,8	12	9,5	8,9	22
ANT	0,36	0,54	0,98	0,36	0,98	0,63	0,54	51
FLA	1,8	2,1	2,8	1,8	2,8	2,2	2,1	22
PYR	1,3	1,9	1,9	1,3	1,9	1,7	1,9	20
BNT	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	33
CCP	0,17	0,17	0,15	0,15	0,17	0,16	0,17	6,3
BAA	0,12	0,09	0,10	0,09	0,12	0,10	0,10	20
CHR	0,28	0,27	0,21	0,21	0,28	0,25	0,27	16
BBF	0,27	0,28	0,18	0,18	0,28	0,24	0,27	25
BKF	0,12	0,11	0,08	0,08	0,12	0,10	0,11	20
BEP	0,20	0,17	0,13	0,13	0,20	0,17	0,17	24
BAP	0,13	0,11	0,08	0,08	0,13	0,11	0,11	27
IND	0,15	0,16	0,11	0,11	0,16	0,14	0,15	21
DBA	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00
BPE	0,19	0,20	0,17	0,17	0,20	0,19	0,19	11
COR	0,08	0,10	0,09	0,08	0,10	0,09	0,09	11

Tabelle 7: Einzelergebnisse von 4 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm³ (25°C, 1013,25 mbar) - Probenahme Juni 1999

Leit- substanz	Datum				Min.	Max.	Mittelwert	Median	RSD (%)
	21.06.- 22.06.	22.06.- 23.06.	23.06.- 24.06.	25.06.- 26.06.					
NAP	5,9	3,7	11	3,5	11	6,0	4,8	56	
ACY	1,1	0,95	2,8	0,82	2,8	1,4	1,0	67	
ACE	1,4	0,93	2,0	0,93	3,9	2,1	1,7	63	
FLU	3,9	2,9	4,1	2,9	7,3	4,6	4,0	42	
PHE	9,5	7,6	10	7,6	14	10	9,8	26	
ANT	0,73	0,72	0,95	0,66	0,95	0,77	0,73	17	
FLA	2,3	1,9	2,5	1,9	3,0	2,4	2,4	19	
PYR	1,5	1,4	2,0	1,4	2,0	1,6	1,5	16	
BNT	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,00	
CCP	0,04	0,07	0,11	0,04	0,11	0,07	0,06	43	
BAA	0,12	0,15	0,22	0,08	0,22	0,14	0,14	43	
CHR	0,19	0,23	0,31	0,19	0,31	0,23	0,22	22	
BBF	0,17	0,19	0,26	0,17	0,26	0,21	0,21	19	
BKF	0,08	0,09	0,12	0,08	0,12	0,09	0,09	22	
BEP	0,18	0,21	0,30	0,18	0,30	0,23	0,22	22	
BAP	0,13	0,15	0,23	0,13	0,23	0,17	0,16	24	
IND	0,16	0,19	0,25	0,16	0,25	0,19	0,18	21	
DBA	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,00	
BPE	0,21	0,26	0,41	0,21	0,41	0,28	0,24	32	
COR	0,11	0,14	0,22	0,11	0,22	0,15	0,13	33	

Tabelle 8: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm³ (25°C, 1013,25 mbar) - Probenahme Juli 1999

Leit- substanz	Datum				Min.	Max.	Mittelwert	Median	RSD (%)
	19.07.- 20.07.	20.07.- 21.07.	21.07.- 22.07.	22.07.- 23.07.					
NAP	4,9	2,4	3,0	4,7	2,9	4,9	3,6	3,0	32
ACY	1,1	0,46	1,2	1,3	0,69	1,3	0,94	1,1	37
ACE	3,9	1,1	2,2	1,3	0,92	3,9	1,9	1,3	64
FLU	9,6	7,2	7,0	4,6	3,5	9,6	6,4	7,0	38
PHE	20	18	17	12	8,4	20	15	17	31
ANT	0,66	0,68	0,99	0,80	0,65	0,99	0,76	0,68	18
FLA	4,2	4,6	4,3	3,1	2,0	4,6	3,6	4,2	29
PYR	2,0	2,2	2,2	1,8	1,4	2,2	1,9	2,0	19
BNT	0,06	0,07	0,06	0,05	0,04	0,07	0,06	0,06	17
CCP	0,05	0,02	0,03	0,04	0,02	0,05	0,03	0,03	33
BAA	0,09	0,09	0,15	0,12	0,07	0,15	0,10	0,09	30
CHR	0,22	0,19	0,24	0,20	0,16	0,24	0,20	0,20	15
BBF	0,20	0,16	0,18	0,17	0,14	0,20	0,17	0,17	12
BKF	0,07	0,06	0,08	0,07	0,06	0,08	0,07	0,07	14
BEP	0,19	0,16	0,19	0,17	0,14	0,19	0,17	0,17	12
BAP	0,12	0,10	0,16	0,12	0,09	0,16	0,12	0,12	25
IND	0,13	0,11	0,14	0,13	0,11	0,14	0,12	0,13	8,3
DBA	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	50
BPE	0,19	0,17	0,20	0,19	0,15	0,20	0,18	0,19	11
COR	0,10	0,09	0,10	0,10	0,08	0,10	0,09	0,10	11

Tabelle 9: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm³ (25°C, 1013,25 mbar) – Probenahme August 1999

Leit- substanz	Datum				Min.	Max.	Mittelwert	Median	RSD (%)
	09.08.- 10.08.	10.08.- 11.08.	11.08.- 12.08.	12.08.- 13.08.					
NAP	2,7	3,6	5,6	0,51	5,6	3,5	3,6	58	
ACY	0,6	1,1	1,5	0,02	1,5	0,79	0,64	72	
ACE	1,5	0,65	1,2	0,11	2,7	1,2	1,2	80	
FLU	6,9	3,9	5,2	0,12	6,9	4,1	4,4	61	
PHE	18	12	18	0,65	18	12	12	61	
ANT	0,80	0,84	1,4	0,52	1,4	0,85	0,80	39	
FLA	3,6	2,7	4,0	0,17	4,0	2,5	2,7	60	
PYR	1,7	1,6	2,6	0,08	2,6	1,4	1,6	63	
BNT	0,04	0,05	0,07	0,02	0,07	0,04	0,04	50	
CCP	0,02	0,04	0,07	n.n.	0,07	0,03	0,03	100	
BAA	0,06	0,11	0,23	0,04	0,23	0,10	0,08	80	
CHR	0,13	0,18	0,38	0,02	0,38	0,18	0,17	72	
BBF	0,09	0,15	0,35	0,01	0,35	0,15	0,15	87	
BKF	0,03	0,05	0,13	n.n.	0,13	0,05	0,05	100	
BEP	0,08	0,13	0,32	0,01	0,32	0,14	0,13	86	
BAP	0,06	0,09	0,22	n.n.	0,22	0,10	0,09	80	
IND	0,07	0,11	0,25	n.n.	0,25	0,11	0,11	82	
DBA	0,01	0,02	0,04	n.n.	0,04	0,02	0,02	50	
BPE	0,11	0,18	0,36	n.n.	0,36	0,16	0,17	81	
COR	0,06	0,10	0,16	n.n.	0,16	0,08	0,10	75	

Tabelle 10: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm³ (25°C, 1013,25 mbar) - Probenahme September 1999

Leit- substanz	Datum				Min.	Max.	Mittelwert	Median	RSD (%)
	13.09.- 14.09.	14.09.- 15.09.	15.09.- 16.09.	16.09.- 17.09.					
NAP	10	13	11	5,9	20	12	11	43	
ACY	2,6	6,2	1,5	1,5	6,2	3,1	2,6	62	
ACE	6,7	5,3	4,4	1,4	6,7	4,8	5,3	43	
FLU	11	10	8,4	6,5	11	9,3	10	20	
PHE	35	48	30	23	48	35	35	27	
ANT	1,5	2,4	0,67	1,1	2,4	1,3	1,1	50	
FLA	4,4	4,9	3,8	3,9	4,9	4,4	4,4	12	
PYR	2,5	3,0	1,8	2,0	3,0	2,4	2,5	20	
BNT	0,09	0,10	0,08	0,07	0,10	0,08	0,08	13	
CCP	0,23	0,34	0,14	0,14	0,34	0,19	0,14	47	
BAA	0,29	0,36	0,24	0,20	0,36	0,26	0,24	27	
CHR	0,53	0,49	0,48	0,41	0,53	0,47	0,48	11	
BBF	0,63	0,55	0,55	0,47	0,63	0,54	0,55	11	
BKF	0,22	0,18	0,20	0,14	0,22	0,18	0,18	17	
BEP	0,46	0,40	0,34	0,29	0,46	0,36	0,34	19	
BAP	0,31	0,32	0,23	0,20	0,32	0,25	0,23	24	
IND	0,40	0,38	0,27	0,24	0,40	0,32	0,29	22	
DBA	0,11	0,09	0,10	0,08	0,11	0,09	0,09	22	
BPE	0,67	0,66	0,43	0,41	0,67	0,53	0,49	23	
COR	0,39	0,39	0,26	0,24	0,39	0,32	0,31	22	

Tabelle 11: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm³ (25°C, 1013,25 mbar) - Probenahme Oktober 1999

Leit- substanz	Datum					Min.	Max.	Mittelwert	Median	RSD (%)
	18.10.- 19.10.	19.10.- 20.10.	20.10.- 21.10.	21.10.- 22.10.	22.10.- 23.10.					
NAP	23	39	25	21	18	39	25	23	32	
ACY	2,4	17	3,1	3,8	2,8	17	5,8	3,1	107	
ACE	2,0	3,9	2,4	2,3	2,2	3,9	2,6	2,3	30	
FLU	5,4	7,4	6,8	6,8	7,0	7,4	6,7	6,8	11	
PHE	13	32	16	21	20	32	21	20	35	
ANT	0,87	3,0	0,98	1,2	1,0	3,0	1,4	1,0	63	
FLA	3,9	7,6	4,7	5,3	4,2	7,6	5,2	4,7	28	
PYR	2,7	6,7	3,5	3,7	2,9	6,7	3,9	3,5	41	
BNT	0,10	0,12	0,13	0,15	0,09	0,15	0,12	0,12	17	
CCP	0,71	1,9	0,67	0,81	0,17	1,9	0,85	0,71	74	
BAA	0,71	1,9	0,67	0,82	0,44	1,9	0,91	0,71	63	
CHR	1,1	2,4	1,2	1,4	0,84	2,4	1,4	1,2	44	
BBF	1,2	2,5	1,4	1,6	0,97	2,5	1,5	1,4	38	
BKF	0,54	1,0	0,59	0,66	0,37	1,0	0,64	0,59	39	
BEP	1,0	2,0	1,2	1,4	0,85	2,0	1,3	1,2	34	
BAP	0,87	2,1	0,95	1,1	0,54	2,1	1,1	0,95	53	
IND	0,86	2,0	1,1	1,2	0,70	2,0	1,2	1,1	42	
DBA	0,13	0,25	0,14	0,17	0,11	0,25	0,16	0,14	31	
BPE	0,97	1,9	1,1	1,2	0,75	1,9	1,2	1,1	38	
COR	0,41	0,84	0,49	0,49	0,30	0,84	0,51	0,49	39	

Tabelle 12: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm³ (25°C, 1013,25 mbar) - Probenahme November 1999

Leit- substanz	Datum				Min.	Max.	Mittelwert	Median	RSD (%)	
	15.11.- 16.11.	16.11.- 17.11.	17.11.- 18.11.	18.11.- 19.11.						19.11.- 20.11.
NAP	45	70	28	44	40	28	70	45	44	34
ACY	19	14	11	27	13,1	11	27	17	14	39
ACE	3,7	2,5	2,5	3,7	3,3	2,5	3,7	3,1	3,3	19
FLU	7,8	7,7	6,9	8,4	7,7	6,9	8,4	7,7	7,7	7,3
PHE	42	30	39	64	45	30	64	44	42	28
ANT	4,3	2,5	3,3	4,8	3,5	2,5	4,8	3,7	3,5	24
FLA	10	8,3	8,2	11	11	8,2	11	9,8	10	15
PYR	7,5	5,9	6,3	9,8	7,8	5,9	9,8	7,5	7,5	20
BNT	0,17	0,13	0,09	0,13	0,14	0,09	0,17	0,13	0,13	23
CCP	3,3	2,5	1,5	3,1	2,9	1,5	3,3	2,7	2,9	27
BAA	2,3	1,8	1,5	2,4	2,2	1,5	2,4	2,1	2,2	18
CHR	2,8	2,4	1,7	2,8	3,4	1,7	3,4	2,6	2,8	24
BBF	2,6	2,3	1,6	2,5	2,9	1,6	2,9	2,4	2,5	21
BKF	1,2	1,0	0,80	1,3	1,4	0,80	1,4	1,1	1,2	19
BEP	2,3	1,8	1,4	2,3	2,4	1,4	2,4	2,1	2,3	20
BAP	2,3	1,8	1,3	2,3	2,2	1,3	2,3	2,0	2,2	22
IND	2,0	1,6	1,4	2,2	2,2	1,4	2,2	1,9	2,0	19
DBA	0,31	0,25	0,18	0,30	0,32	0,18	0,32	0,27	0,30	22
BPE	2,0	1,7	1,4	2,3	2,1	1,4	2,3	1,9	2,0	19
COR	0,95	0,84	0,68	1,2	1,0	0,68	1,2	0,93	0,95	19

Tabelle 13: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm³ (25°C, 1013,25 mbar) - Probenahme Dezember 1999

Leit- substanz	Datum				Min.	Max.	Mittelwert	Median	RSD (%)
	13.12.- 14.12.	14.12.- 15.12.	15.12.- 16.12.	16.12.- 17.12.					
NAP	35	30	34	66	101		53	35	57
ACY	12	6,8	8,3	16	120		33	12	150
ACE	2,7	2,9	2,5	2,6	5,6		3,3	2,7	40
FLU	11	11	11	11	19		13	11	30
PHE	32	40	34	34	117		52	34	72
ANT	3,3	4,2	3,9	3,7	14		5,8	3,9	79
FLA	8,3	10	10	10	27		13	10	59
PYR	6,6	7,7	8,0	7,8	17		9,5	7,8	47
BNT	0,08	0,11	0,11	0,16	0,28		0,15	0,11	53
CCP	0,92	0,90	1,6	1,7	4,4		1,9	1,6	75
BAA	1,1	1,4	1,7	1,8	7,8		2,8	1,7	102
CHR	1,6	2,1	2,3	2,5	8,0		3,3	2,3	81
BBF	1,1	1,7	2,2	2,0	6,1		2,6	2,0	76
BKF	0,70	0,91	1,0	1,1	3,1		1,4	1,0	72
BEP	1,3	1,7	2,0	2,0	6,3		2,7	2,0	77
BAP	1,2	1,4	1,9	2,0	7,0		2,7	1,9	89
IND	0,97	1,2	1,4	1,4	4,2		1,8	1,4	75
DBA	0,15	0,19	0,22	0,22	0,71		0,30	0,22	77
BPE	1,3	1,5	1,7	1,8	5,6		2,4	1,7	76
COR	0,62	0,77	0,85	0,87	2,7		1,2	0,85	74

Anhang 2: Tabellarische Darstellung der auf BEP normierten Ergebnisse

Tabelle 14: Auf BEP normierte Monatsmittelwerte der einzelnen Parameter und deren Jahresmittelwerte (Feb. 1999 – Dez. 1999)

Leit- substanz	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	JMW
NAP	27	15	32	30	26	21	25	33	20	22	20	25
ACY	3,6	9,9	9,7	4,3	6,2	5,5	5,6	8,5	4,6	8,2	12	7,1
ACE	0,81	0,44	6,9	12	9,0	11	8,8	13	2,0	1,5	1,2	6,1
FLU	7,0	7,3	11	27	20	38	29	26	5,3	3,8	4,8	16
PHE	9,5	24	23	56	45	88	82	99	16	22	19	44
ANT	0,89	2,4	2,9	3,7	3,4	4,5	6,1	3,7	1,1	1,8	2,2	3,0
FLA	4,8	5,4	8,3	13	10	21	18	12	4,1	4,8	5,0	9,7
PYR	3,5	3,4	5,6	9,9	7,0	11	10	6,5	3,1	3,6	3,6	6,2
BNT	0,09	0,07	0,03	0,18	0,13	0,35	0,29	0,22	0,09	0,06	0,06	0,14
CCP	0,56	0,74	0,42	0,94	0,30	0,18	0,21	0,53	0,67	1,3	0,72	0,60
BAA	0,96	0,93	0,74	0,59	0,61	0,59	0,71	0,72	0,72	1,0	1,1	0,78
CHR	1,1	1,3	1,2	1,5	1,0	1,2	1,3	1,3	1,1	1,3	1,2	1,2
BBF	1,4	1,4	1,2	1,4	0,91	1,0	1,1	1,5	1,2	1,2	0,98	1,2
BKF	0,54	0,47	0,53	0,59	0,39	0,41	0,36	0,50	0,50	0,55	0,52	0,49
BEP	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
BAP	0,90	0,95	0,74	0,65	0,74	0,71	0,71	0,69	0,87	0,96	1,0	0,81
IND	0,94	0,79	0,84	0,82	0,83	0,71	0,79	0,89	0,91	0,91	0,68	0,83
DBA	0,11	0,11	0,05	0,12	0,13	0,12	0,14	0,25	0,13	0,13	0,1	0,13
BPE	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,5	0,94	0,91	0,89	1,1
COR	0,43	0,45	0,39	0,53	0,65	0,53	0,57	0,89	0,40	0,45	0,44	0,52

Anhang 3: Probenahmedaten

Tab. 15: Probenahmedaten Februar 1999

Datum	Messzeit	Temperatur MW [° C]	Druck MW [mbar]	Durchflussvolumen bei 25 °C [m ³]
08.02.-09.02.1999	10:00-10:00	0,7	979	403
09.02.-10.02.1999	10:00-10:00	0,3	977	405
10.02.-11.02.1999	10:00-10:00	-1,7	983	403
11.02.-12.02.1999	10:00-10:00	-4,2	990	413
12.02.-13.02.1999	10:00-10:00	-3,3	996	422

Tab. 16: Probenahmedaten März 1999

Datum	Messzeit	Temperatur MW [° C]	Druck MW [mbar]	Durchflussvolumen bei 25 °C [m ³]
08.03.-09.03.1999	10:00-10:00	5,3	989	394
09.03.-10.03.1999	10:00-10:00	7,3	987	390
10.03.-11.03.1999	10:00-10:00	11,0	989	399
11.03.-12.03.1999	10:00-10:00	5,8	996	404
12.03.-13.03.1999	10:00-10:00	4,6	998	408

Tab. 17: Probenahmedaten April 1999

Datum	Messzeit	Temperatur MW [° C]	Druck MW [mbar]	Durchflussvolumen bei 25 °C [m ³]
12.04.-13.04.1999	11:00-11:00	11,5	979	372
13.04.-14.04.1999	11:00-11:00	9,5	978	390
14.04.-15.04.1999	11:00-11:00	12,5	980	394

Tab. 18: Probenahmedaten Mai 1999

Datum	Messzeit	Temperatur MW [° C]	Druck MW [mbar]	Durchflussvolumen bei 25 °C [m ³]
06.05.-07.05.1999	12:00-12:00	12,3	1007	394
07.05.-08.05.1999	12:00-12:00	11,1	1001	451
12.05.-13.05.1999	12:00-12:00	17,5	989	354

Tab. 19: Probenahmedaten Juni 1999

Datum	Messzeit	Temperatur MW [° C]	Druck MW [mbar]	Durchflussvolumen bei 25 °C [m ³]
21.06.-22.06.1999	11:00-11:00	14,5	985	358
22.06.-23.06.1999	11:00-11:00	13,6	993	374
23.06.-24.06.1999	11:00-11:00	17,0	999	360
25.06.-26.06.1999	11:00-11:00	19,4	995	361

Tab. 20: Probenahmedaten Juli 1999

Datum	Messzeit	Temperatur MW [° C]	Druck MW [mbar]	Durchflussvolumen bei 25 °C [m ³]
19.07-20.07.1999	11:00-11:00	25,3	993	357
20.07-21.07.1999	11:00-11:00	28,0	992	353
21.07-22.07.1999	11:00-11:00	25,9	992	339
22.07-23.07.1999	11:00-11:00	17,6	991	366
23.07-24.07.1999	11:00-11:00	17,2	994	369

Tab. 21: Probenahmedaten August 1999

Datum	Messzeit	Temperatur MW [° C]	Druck MW [mbar]	Durchflussvolumen bei 25 °C [m ³]
09.08-10.08.1999	11:00-11:00	26,5	986	353
10.08-11.08.1999	11:00-11:00	21,2	990	355
11.08-12.08.1999	11:00-11:00	21,1	993	355
12.08-13.08.1999	11:00-11:00	19,5	992	359
13.08-14.08.1999	11:00-11:00	18,4	992	367

Tab. 22: Probenahmedaten September 1999

Datum	Messzeit	Temperatur MW [° C]	Druck MW [mbar]	Durchflussvolumen bei 25 °C [m ³]
13.09.-14.09.1999	10:00-10:00	22,4	992	354
14.09.-15.09.1999	10:00-10:00	21,2	991	356
15.09.-16.09.1999	10:00-10:00	22,1	990	352
16.09.-17.09.1999	10:00-10:00	22,2	988	356
17.09.-18.09.1999	10:00-10:00	22,4	988	357

Tab. 23: Probenahmedaten Oktober 1999

Datum	Messzeit	Temperatur MW [° C]	Druck MW [mbar]	Durchflussvolumen bei 25 °C [m ³]
18.10.-19.10.1999	11:00-11:00	7,9	999	380
19.10.-20.10.1999	11:00-11:00	6,3	995	382
20.10.-21.10.1999	11:00-11:00	7,7	994	384
21.10.-22.10.1999	11:00-11:00	7,8	991	374
22.10.-23.10.1999	11:00-11:00	8,8	988	377

Tab. 24: Probenahmedaten November 1999

Datum	Messzeit	Temperatur MW [° C]	Druck MW [mbar]	Durchflussvolumen bei 25 °C [m ³]
15.11.-16.11.1999	11:00-11:00	2,2	999	384
16.11.-17.11.1999	11:00-11:00	2,3	992	391
17.11.-18.11.1999	11:00-11:00	3,1	986	390
18.11.-19.11.1999	11:00-11:00	2,3	982	377
19.11.-20.11.1999	11:00-11:00	1,5	984	393

Tab. 25: Probenahmedaten Dezember 1999

Datum	Messzeit	Temperatur MW [° C]	Druck MW [mbar]	Durchflussvolumen bei 25 °C [m ³]
13.12.-14.12.1999	11:00-11:00	5,4	972	380
14.12.-15.12.1999	11:00-11:00	5,4	965	363
15.12.-16.12.1999	11:00-11:00	4,0	975	382
16.12.-17.12.1999	11:00-11:00	1,6	989	386
17.12.-18.12.1999	11:00-11:00	0,2	985	380

Anhang 4: Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Jahresmittelwerte (Feb. 1999 – Dez. 1999) der einzelnen Parameter, Seite 31
- Tabelle 2: PAH von verschiedenen Probenahmeorten in Chicago auf BEP normiert (KHALILI et al., 1995) verglichen mit den Jahresmittelwerten (Februar 1999 – Dezember 1999, berechnet aus den normierten Monatsmittelwerten, siehe Anhang 2) der nun vorliegenden Studie, Seite 37
- Tabelle 3: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm^3 (25°C , 1013,25 mbar) – Probenahme Februar 1999, Seite 38
- Tabelle 4: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm^3 (25°C , 1013,25 mbar) – Probenahme März 1999, Seite 39
- Tabelle 5: Einzelergebnisse von 3 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm^3 (25°C , 1013,25 mbar) – Probenahme April 1999, Seite 40
- Tabelle 6: Einzelergebnisse von 3 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm^3 (25°C , 1013,25 mbar) – Probenahme Mai 1999, Seite 41
- Tabelle 7: Einzelergebnisse von 4 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm^3 (25°C , 1013,25 mbar) – Probenahme Juni 1999, Seite 42
- Tabelle 8: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm^3 (25°C , 1013,25 mbar) – Probenahme Juli 1999, Seite 43
- Tabelle 9: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm^3 (25°C , 1013,25 mbar) – Probenahme August 1999, Seite 44
- Tabelle 10: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm^3 (25°C , 1013,25 mbar) – Probenahme September 1999, Seite 45
- Tabelle 11: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm^3 (25°C , 1013,25 mbar) – Probenahme Oktober 1999, Seite 46
- Tabelle 12: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm^3 (25°C , 1013,25 mbar) – Probenahme November 1999, Seite 47
- Tabelle 13: Einzelergebnisse von 5 Eintagesproben sowie deren Kenngrößen in ng/Nm^3 (25°C , 1013,25 mbar) – Probenahme Dezember 1999, Seite 48
- Tabelle 14: Auf BEP normierte Monatsmittelwerte der einzelnen Parameter und deren Jahresmittelwerte (Feb. 1999 – Dez. 1999), Seite 49
- Tabelle 15: Probenahmedaten Februar 1999, Seite 50
- Tabelle 16: Probenahmedaten März 1999, Seite 50
- Tabelle 17: Probenahmedaten April 1999, Seite 50
- Tabelle 18: Probenahmedaten Mai 1999, Seite 50
- Tabelle 19: Probenahmedaten Juni 1999, Seite 51
- Tabelle 20: Probenahmedaten Juli 1999, Seite 51
- Tabelle 21: Probenahmedaten August 1999, Seite 51
- Tabelle 22: Probenahmedaten September 1999, Seite 51
- Tabelle 23: Probenahmedaten Oktober 1999, Seite 52
- Tabelle 24: Probenahmedaten November 1999, Seite 52
- Tabelle 25: Probenahmedaten Dezember 1999, Seite 52

Anhang 5: Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Mechanismus bei der Entstehung von Benzo(a)pyren durch Pyrolyse (GIBSON & SUBRAMANIA; 1984), Seite 5
- Abbildung 2: Luftschadstoffemissionen an PAH in Österreich 1994 – 1998 (Quelle: UNECE/CLRTAP Berichtspflicht 1999, Umweltbundesamt in UMWELT-BUNDESAMT, 1999b), Seite 7
- Abbildung 3: Strukturformeln, Bezeichnungen und Abkürzungen der untersuchten EPA- und WHO-Leitsubstanzen, Seite 10
- Abbildung 3a: Strukturformeln, Bezeichnungen und Abkürzungen der untersuchten Tracer und von Benzo(e)pyren, Seite 11
- Abbildung 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen Februar 1999, Seite 15
- Abbildung 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen März 1999, Seite 15
- Abbildung 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen April 1999, Seite 16
- Abbildung 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen Mai 1999, Seite 16
- Abbildung 8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen Juni 1999, Seite 17
- Abbildung 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen Juli 1999, Seite 17
- Abbildung 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen August 1999, Seite 18
- Abbildung 11: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen September 1999, Seite 18
- Abbildung 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen Oktober 1999, Seite 19
- Abbildung 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen November 1999, Seite 19
- Abbildung 14: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter / Messungen Dezember 1999, Seite 20
- Abbildung 15: Mittelwerte und Standardabweichungen von NAP im Jahresverlauf 1999, Seite 21
- Abbildung 16: Mittelwerte und Standardabweichungen von ACY im Jahresverlauf 1999, Seite 21
- Abbildung 17: Mittelwerte und Standardabweichungen von ACE im Jahresverlauf 1999, Seite 22
- Abbildung 18: Mittelwerte und Standardabweichungen von FLU im Jahresverlauf 1999, Seite 22
- Abbildung 19: Mittelwerte und Standardabweichungen von PHE im Jahresverlauf 1999, Seite 23
- Abbildung 20: Mittelwerte und Standardabweichungen von ANT im Jahresverlauf 1999, Seite 23
- Abbildung 21: Mittelwerte und Standardabweichungen von FLA im Jahresverlauf 1999, Seite 24
- Abbildung 22: Mittelwerte und Standardabweichungen von PYR im Jahresverlauf 1999, Seite 24
- Abbildung 23: Mittelwerte und Standardabweichungen von BNT im Jahresverlauf 1999, Seite 25
- Abbildung 24: Mittelwerte und Standardabweichungen von CCP im Jahresverlauf 1999, Seite 25
- Abbildung 25: Mittelwerte und Standardabweichungen von BAA im Jahresverlauf 1999, Seite 26
- Abbildung 26: Mittelwerte und Standardabweichungen von CHR im Jahresverlauf 1999, Seite 26
- Abbildung 27: Mittelwerte und Standardabweichungen von BBF im Jahresverlauf 1999, Seite 27
- Abbildung 28: Mittelwerte und Standardabweichungen von BKF im Jahresverlauf 1999, Seite 27
- Abbildung 29: Mittelwerte und Standardabweichungen von BEP im Jahresverlauf 1999, Seite 28

- Abbildung 30: Mittelwerte und Standardabweichungen von BAP im Jahresverlauf 1999, Seite 28
Abbildung 31: Mittelwerte und Standardabweichungen von IND im Jahresverlauf 1999, Seite 29
Abbildung 32: Mittelwerte und Standardabweichungen von DBA im Jahresverlauf 1999, Seite 29
Abbildung 33: Mittelwerte und Standardabweichungen von BPE im Jahresverlauf 1999, Seite 30
Abbildung 34: Mittelwerte und Standardabweichungen von COR im Jahresverlauf 1999, Seite 30
Abbildung 35: Jahresmittelwerte der Untersuchungsergebnisse der einzelnen Parameter, Seite 32
Abbildung 36: ACE auf BEP normiert, Seite 35
Abbildung 37: BAP auf BEP normiert, Seite 36
Abbildung 38: ACY auf BEP normiert, Seite 36

Anhang 6: Literaturverzeichnis

- DIN ISO 12884-ENTWURF; Jänner 1998: Bestimmung von gasförmigen und partikelgebundenen polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in der Außenluft.
- GANS, O.; REMESCH, T.; LESEMANN, C.; SCHARF, S.; 1999: Collection of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons with a glass fibre filter-polyurethane foam system in Vienna to establish PAH profiles for 1999. *Fresenius Envir. Bull.* 8: 576-585.
- GASTON WU, J.C.; CHANG, M.G.; 1997: Determination of PAH in airborne particulates using gel permeation chromatography and HPLC – Fluorescence – UV. *J. Environ. Sci. Health A* 32(5), 1525-1556.
- GIBSON, T.D.; SUBRAMANIA, V.; 1984: Microbial Degradation of organic compounds. In D.T. Gibson (ed.), Marcel Dekker, Inc. New York, 181-252.
- IARC-Monografien, 1988: Abschätzung des Krebsrisikos beim Menschen. VALENTIN, H.; KENTNER, M. (Hrsg.), Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- KLOSTER, G.; NIEHAUS, R.; OLLECH, O.; STANIA, H.; 1994: Determination of Averaged Long-term Air Concentrations of Semivolatile Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: First Results. *Polycyclic Aromatic Compounds*, Vol. 5, 149-156.
- LÄNDERAUSSCHUSS FÜR IMMISSIONSSCHUTZ, 1992: Krebsrisiko durch Luftverunreinigung. Ministerium f. Umweltschutz; NRW, Düsseldorf.
- LÓPEZ LÓPEZ, D.; RUBIO BARROSO; POLO DÍEZ, L.M., 1996: Quantitation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Compounds in Urban Air Particulate by HPLC with Programmed Fluorescence Detection. *Química Analítica* 15, 224-229.
- KHALILI N. R.; SCHEFF P. A.; HOLSEN T. M.; 1995: PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions. *Atmospheric Environment* Vol.29, No. 4, 533-542.
- NEUKOMM, S.; DUC, T.V.; BARBLAN, C.; 1975: Comparaison de la teneur de 14 hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les poussières sédimentées et en suspension dans l'air, le long de secteurs d'autoroute à revêtement bitumineux et cimenté (autoroute Lausanne Genève). *Médecine sociale et préventive* 20, 65-68.
- NIELSEN, T.; 1996: Traffic contribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the center of a large city. *Atmospheric Environment* Vol. 30, 3481-3490.
- PANKOW, J.F.; 1987: Review and comparative analysis of the theories on partitioning between the gas and the particulate phases in the atmosphere. *Atmos. Environ.* 21, 2275-2283.
- PANKOW, J.F.; 1988: The calculated effects of non-exchangeable material on the gas particle distribution of organic compounds. *Atmos. Environ.* 22, 1405-1409.
- PEKLO, G; NIEHUS, B.; POPP, P; SCHILLER, C.; 1999: Ein Beitrag zur Bewertung der Toxizität immissionsbedingter polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Pflanzen mit Hilfe von Toxizitätsäquivalentfaktoren. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 59, Nr. 11/12, 475-478.
- UMWELTBUNDESAMT Wien; 1999a: PAH in der Umwelt, Messungen 1989 – 1998. Reports R-153, Hrsg. Umweltbundesamt GmbH Wien.
- UMWELTBUNDESAMT Wien; 1999b: Luftschadstoff-Trends in Österreich 1980-1998. Berichte BE-165, Hrsg. Umweltbundesamt GmbH Wien.

-
- UMWELTBUNDESAMT Berlin; 1979: Luftqualitätskriterien für ausgewählte polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Berichte 1/79, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- WYBRANIEC, S.; de JONG, A.P.; 1996: Modified sampling and analysis method for large volatility range airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) using gas chromatography-mass spectrometry. Fresenius J. Anal. Chem. 356, 396-402.
- YAMASAKI, H.; KUWATA, K. MIYAMOTO, H.; 1982: Effects of ambient temperature on aspects of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons. Environ. Sci. Technol. 16, 189-194.

