

# UFZ-Bericht

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

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Nr. 8/1999

---

**Untersuchungen zu Vorkommen  
und Wirkung von polycyclischen  
aromatischen Kohlenwasserstoffen  
als Ergänzung zu den  
Immissionsmessungen des Landes  
Sachsen-Anhalt (LÜSA)**

---

**Peter Popp, Brigitte Niehus, Gisela Peklo,  
Monika Zeibig**

UFZ-Umweltforschungszentrum  
Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Analytik

ISSN 0948-9452

**Untersuchungen zu Vorkommen und Wirkung  
von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen  
als Ergänzung zu den Immissionsmessungen  
des Landes Sachsen-Anhalt (LÜSA)**

Dr. Peter Popp, Brigitte Niehus, Gisela Peklo, Monika Zeibig

*Archiv*

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Analytik

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde im Auftrag des Landesamtes für Umweltschutz (LAU) des Landes Sachsen-Anhalt durchgeführt und mit Mitteln des Ministeriums für Raumordnung und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt gefördert (FKZ: 76213/13/97). Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

Dem fachlichen Berater dieses Projektes, Herrn Dr. Schiller vom LAU Halle, sei an dieser Stelle für seine Unterstützung und die konstruktive Zusammenarbeit herzlich gedankt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Aufgabenstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Ablauf des Vorhabens</b> .....	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>3</b>
3.1.	Exposition und Probenahme.....	3
3.1.1.	Pappelblätter.....	3
3.1.2.	Boden.....	4
3.1.3.	Gefäßkulturen.....	5
3.1.4.	Passivsammler.....	5
3.1.5.	bulk sampler.....	6
3.1.6.	low volume sampler.....	6
3.2.	Probenaufarbeitung.....	7
3.2.1.	Pappelblätter.....	7
3.2.2.	Bodenproben.....	7
3.2.3.	Gefäßkulturen.....	8
3.2.4.	Passivsammler.....	8
3.2.5.	bulk sampler.....	9
3.2.6.	low volume sampler.....	10
3.3.	Analytische Bestimmung der PAH.....	10
<b>4.</b>	<b>Darstellung und Diskussion der Ergebnisse</b> .....	<b>11</b>
4.1.	Wirkungsuntersuchungen mit Hilfe von Pappelblättern.....	11
4.1.1.	Räumliche Differenzierung der PAH-Belastung.....	11
4.1.1.1.	Charakterisierung der Belastung mit Hilfe der PAH-Profile.....	15
4.1.1.2.	Vergleich der PAH-Gehalte in Pappeln und im Boden.....	17
4.1.2.	Zeitliche Differenzierung der PAH-Belastung.....	19
4.1.3.	Vergleich der PAH-Gehalte in Pappelblättern mit PAH-Gehalten in Kulturpflanzen.....	20
4.2.	Untersuchungen zur Immission und Deposition von PAH.....	24
4.2.1.	Einsatz von Passivsammlern.....	24
4.2.2.	Einsatz von bulk samplern.....	25
4.2.3.	Einsatz von low volume samplern.....	30

4.3.	Vergleichende Betrachtungen zu PAH-Emissions-, -Immissions- und -Depositionsprofilen.....	33
4.3.1.	Gegenüberstellung der PAH-Profile von bulk Depositionen und Pappelblättern.....	33
4.3.2.	Vergleich von Kfz-Emissionsprofilen mit Immissions-, Depositions- und Pappelblattprofilen an ausgewählten Standorten.....	35
4.3.3.	Vergleich von Kfz- und Kohleemissionsprofilen mit Depositionsprofilen an ausgewählten Standorten.....	38
5.	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b> .....	39
6.	<b>Literatur</b> .....	44

## **Anhang**

## Verzeichnis der Abbildungen

<b>Abb. 1:</b>	Standorte der LÜSA-Meßstationen.....	4
<b>Abb. 2:</b>	Räumliche Differenzierung der PAH-Belastung anhand der PAH-Summen in Pappelblättern.....	12
<b>Abb. 3:</b>	Vergleich der PAH-Summen und der BaP-Gehalte in Pappelblättern an ausgewählten LÜSA-Meßstationen 1997.....	14
<b>Abb. 4:</b>	PAH-Summengehalte in Pappelblättern an ausgewählten LÜSA-Meßstandorten 1998 (FLU - INP).....	15
<b>Abb. 5:</b>	PAH-Profile von Pappelblättern ausgewählter LÜSA-Standorte 1997.....	16
<b>Abb. 6:</b>	Clusteranalyse zur Charakterisierung unterschiedlicher Gruppen der PAH-Belastung.....	17
<b>Abb. 7:</b>	Vergleich der PAH-Summen im Boden und in Pappelblättern an ausgewählten LÜSA-Meßstandorten 1997.....	18
<b>Abb. 8:</b>	PAH-Profile von Pappelblättern und Bodenproben an ausgewählten LÜSA-Meßstandorten im Jahr 1997.....	20
<b>Abb. 9:</b>	Summe der kanzerogenen PAH in Pappelblättern im Vergleich zu Niederschlag ( $\Sigma$ Nd der Vegetationsperiode) und Temperatur ( $\varnothing$ der Vegetationsperiode).....	21
<b>Abb. 10:</b>	Vergleich der Gesamtgehalte und der Gehalte der kanzerogenen PAH in Pappelblättern, Mangold und Grünkohl am Standort Halle/Z.....	22
<b>Abb. 11:</b>	PAH-Profile verschiedener Kulturen am Standort Halle/Z.....	23
<b>Abb. 12:</b>	Mittlere Profile der Depositionen polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe ausgewählter Standorte im Zeitraum 10/97 - 09/98.....	27
<b>Abb. 13:</b>	Jahreszeitliche Unterschiede der PAH-Deposition an ausgewählten Standorten im Zeitraum 10/97-09/98.....	28
<b>Abb. 14:</b>	Gruppen ähnlicher PAH-Depositionen im Ergebnis einer Clusteranalyse.....	29
<b>Abb. 15:</b>	Verteilung der PAH-Gehalte zwischen Partikel- und wässriger Phase der bulk Deposition am Standort Halle im November 1997.....	30
<b>Abb. 16:</b>	Mittlere PAH-Immissions- [ $\text{ng}/\text{Nm}^3$ ] und Depositionsprofile [ $\text{ng}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ] an ausgewählten Standorten im Sommer 1998.....	32
<b>Abb. 17:</b>	Clusteranalyse der PAH-Gehalte in Proben von bulk samplern (GBXX, LBXX) und low volume samplern (GLXX, LLXX).....	33
<b>Abb. 18:</b>	Vergleich der flächenbezogenen Depositionen (bulk sampler, Pappel) im Zeitraum 15.4.98 - 11.08.98.....	34
<b>Abb. 19:</b>	PAH-Emissionen verschiedener Motortypen nach VW AG (1988).....	36
<b>Abb. 20:</b>	Gegenüberstellung prozentualer Anteile ausgewählter PAH von Kfz-Emissionen und Immissionen.....	37
<b>Abb. 21:</b>	Vergleich der prozentualen Anteile ausgewählter PAH eines mittleren Emissionsprofils mit dem mittleren Depositions- und Pappelblattprofil am Standort Halle/Z.....	37
<b>Abb. 22:</b>	Vergleich der prozentualen Anteile ausgewählter PAH in Emissionen und Depositionen im Winterhalbjahr 1997/98.....	38

## Verzeichnis der Tabellen

<b>Tab. 1:</b>	Extraktionsbedingungen für Proben aus Passivsammlern.....	9
<b>Tab. 2:</b>	Wiederfindungsraten von mit definierten Mengen eines Mischstandards dotierten Adsorbermaterialien.....	26
<b>Tab. 3:</b>	Vergleich der mittleren jährlichen PAH-Depositionen [g/ha*a].....	26
<b>Tab. 4:</b>	Mittlere PAH-Immissionskonzentrationen [ng/Nm <sup>3</sup> ].....	31
<b>Tab. 5:</b>	Flächenbezogene Gegenüberstellung von PAH-Gehalten (Summe FLU-INP) in bulk samplern und Pappeln.....	35
<b>Tab. 6:</b>	Anteile einzelner Motorkonzepte am Pkw-Bestand Sachsen-Anhalts 1997 (LAU 1998).....	37

## Verzeichnis des Anhangs

- Anhang 1:** Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe - Strukturformel und ausgewählte Eigenschaften
- Anhang 2:** PAH-Gehalte in Pappelblättern an ausgewählten LÜSA-Meßstandorten 1997 und 1998 [ng/g FS]
- Anhang 3:** PAH-Gehalte in Mangold, Grünkohl/Sommer und Grünkohl/Winter 1997 sowie Grünkohl/Sommer 1998 [ng/g FS]
- Anhang 4:** PAH-Gehalte im Boden an ausgewählten LÜSA-Meßstandorten [mg/kg FS]
- Anhang 5:** PAH-Gehalte der bulk Depositionen an ausgewählten Standorten im Zeitraum 10/97 bis 09/98 [ng/m<sup>2</sup>\*d]
- Anhang 6:** Mittlere PAH-Konzentrationen und Schwankungsbreiten der bulk Depositionen an ausgewählten Standorten im Zeitraum 10/97 bis 09/98 [ng/m<sup>2</sup>\*d]
- Anhang 7:** PAH-Immissionskonzentrationen (low volume sampler) und PAH-Depositionsraten (bulk sampler) an ausgewählten Standorten im Zeitraum 06 bis 08/98
- Anhang 8:** PAH-Gehalte in Passivfiltern nach unterschiedlichen Aufarbeitungsprozeduren [ng/m<sup>2</sup>]
- Anhang 9:** Chromatogramme von PAH in Pappelblättern unterschiedlich belasteter Standorte
- Anhang 10:** Chromatogramme von PAH in unterschiedlichen Matrices am Standort Halle
- Anhang 11:** Chromatogramme von PAH aus Messungen der Deposition und Immission am Standort Greppin
- Anhang 12:** Daten zur Mikroemissionssituation an ausgewählten LÜSA-Meßpunkten nach Angaben des LAU, Halle

## Verzeichnis der Abkürzungen, Formeln und Zeichen

PAH	Polycyclic aromatic hydrocarbons - polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe																														
	<table> <tr><td>Nap</td><td>Naphthalin</td></tr> <tr><td>Ace</td><td>Acenaphthen</td></tr> <tr><td>Flu</td><td>Fluoren</td></tr> <tr><td>Phe</td><td>Phenanthren</td></tr> <tr><td>Ant</td><td>Anthracen</td></tr> <tr><td>FLU</td><td>Fluoranthen</td></tr> <tr><td>PYR</td><td>Pyren</td></tr> <tr><td>BaA</td><td>Benzo(a)anthracen</td></tr> <tr><td>CHR</td><td>Chrysen</td></tr> <tr><td>BbF</td><td>Benzo(b)fluoranthen</td></tr> <tr><td>BkF</td><td>Benzo(k)fluoranthen</td></tr> <tr><td>BaP</td><td>Benzo(a)pyren</td></tr> <tr><td>DBahA</td><td>Dibenz(ah)anthracen</td></tr> <tr><td>BghiP</td><td>Benzo(ghi)perylen</td></tr> <tr><td>INP</td><td>Indeno(1,2,3-cd)pyren</td></tr> </table>	Nap	Naphthalin	Ace	Acenaphthen	Flu	Fluoren	Phe	Phenanthren	Ant	Anthracen	FLU	Fluoranthen	PYR	Pyren	BaA	Benzo(a)anthracen	CHR	Chrysen	BbF	Benzo(b)fluoranthen	BkF	Benzo(k)fluoranthen	BaP	Benzo(a)pyren	DBahA	Dibenz(ah)anthracen	BghiP	Benzo(ghi)perylen	INP	Indeno(1,2,3-cd)pyren
Nap	Naphthalin																														
Ace	Acenaphthen																														
Flu	Fluoren																														
Phe	Phenanthren																														
Ant	Anthracen																														
FLU	Fluoranthen																														
PYR	Pyren																														
BaA	Benzo(a)anthracen																														
CHR	Chrysen																														
BbF	Benzo(b)fluoranthen																														
BkF	Benzo(k)fluoranthen																														
BaP	Benzo(a)pyren																														
DBahA	Dibenz(ah)anthracen																														
BghiP	Benzo(ghi)perylen																														
INP	Indeno(1,2,3-cd)pyren																														
EPA	Environmental Protection Agency of the USA																														
LAU	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt																														
LÜSA	Lufthygienisches Überwachungssystem Sachsen-Anhalt																														
UFZ	Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH																														
VDI	Verein Deutscher Ingenieure																														
ASE	Accelerated Solvent Extraction - beschleunigte Lösemittlextraktion																														
HPLC	High Performance Liquid Chromatography - Hochleistungs-Flüssig-Chromatographie																														
SPE	Solid Phase Extraction - Festphasenextraktion																														
Henry-K.	Henry-Koeffizient; Verhältnis zwischen der Konzentration eines Stoffes in der Gasphase und der Konzentration in der Lösung im Gleichgewichtszustand																														
log $K_{ow}$	Logarithmus des n-Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizienten (Maßzahl für die Fettlöslichkeit eines Stoffes)																														
TEF	Toxic Equivalency Factor - Toxizitätsäquivalentfaktor																														
AN	Acetonitril																														
d	Tag																														
FG	Frischgewicht																														
FS	Frischsubstanz																														
GF	Glasfaser																														
h	Stunde																														
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	Natriumsulfat																														
$\text{Nm}^3$	Normkubikmeter																														
OF	Oberfläche																														
PU	Polyurethanschaum																														
v:v	volume:volume																														
WS	Windstärke																														
∅	Durchmesser																														

## 1. Aufgabenstellung

Die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons - PAH) besitzen aufgrund der Kanzerogenität einiger ihrer Vertreter für die menschliche Gesundheit eine besondere Relevanz. Sie entstehen durch unvollständige Verbrennung organischer Materialien und gelangen mit den Emissionen aus Hausbrand, industriellen Prozessen und Kraftfahrzeugverkehr in die Atmosphäre, wo sie an Aerosolen/Partikeln adsorbiert und über weite Strecken transportiert werden. Letztlich sedimentieren sie auf der Boden- und Wasseroberfläche. Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe sind ubiquitär verbreitet und somit sowohl in Luft, Wasser und Boden als auch in Nahrungsmitteln nachzuweisen.

Das Förderprojekt „Untersuchungen zu Vorkommen und Wirkung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen als Ergänzung zu den Immissionsmessungen des Landes Sachsen-Anhalt (LÜSA)“ berücksichtigt einerseits die Notwendigkeit der ökologischen Umweltbeobachtung bzw. Umweltüberwachung der Stoffgruppe der PAH und versucht andererseits durch vergleichsweise einfach zu handhabende Methoden die Umweltbelastung mit PAH in größeren Regionen bzw. über längere Zeiträume zu erfassen.

Ziel der durchgeführten Untersuchungen war es, die im Rahmen des LÜSA-Programmes bestimmten umweltrelevanten Immissionsdaten zu erweitern. Dabei interessierten zum einen die mengenmäßige und räumliche Verteilung der PAH in Sachsen-Anhalt und zum anderen deren ökologische Wirkungen im Sinne der Anreicherung in Pflanzen und der daraus resultierenden Beeinträchtigung ihres Nutzungswertes (WAGNER 1993, DÄSSLER 1991, DREYHAUPT et al. 1979).

Aufgrund zahlreicher günstiger Eigenschaften wie genetische Homogenität, häufiges Vorkommen, gute Standardisierbarkeit der Probenahme, Erfassung der integrierenden Wirkdosis wurde in diesem Zusammenhang die Pyramidenpappel (*Populus nigra* „Italica“) als Bioindikator zur großräumigen Erfassung der Umweltkontamination mit PAH in Sachsen-Anhalt eingesetzt. Um Bezüge zur Belastung von Nahrungspflanzen ableiten zu können, wurden an einigen ausgewählten LÜSA-Meßstandorten zusätzlich Grünkohl und Mangold exponiert. Darüber hinaus sollte geprüft werden, inwieweit Passivsammler bzw. bulk sampler geeignet sind, die PAH-Belastung ganzjährig sowohl unter dem Aspekt einer flächenhaften Bewertung als auch in Bezug zur Immissionskonzentration zu erfassen. Deshalb wurden an den ausgewählten Standorten über einen längeren Zeitraum bulk sampler und teilweise auch low volume sampler installiert.

Durch den Vergleich der angewandten Methoden (Wirkungsuntersuchungen, Passivsammler) sollte auch geprüft werden, inwieweit Beziehungen zwischen ihnen bestehen, die entweder den Austausch der Methoden untereinander oder, entsprechend der jeweiligen Zielstellung, den Einsatz der geeignetsten Methode ermöglichen. Aufgrund ihrer Konzentration

in den Umweltmedien, ihrer Reaktivität und biologischen Aktivität wurden die von der EPA (Environmental Protection Agency der USA) vorgeschlagenen Verbindungen analysiert: Naphthalin, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Dibenz(ah)anthracen, Benzo(ghi)perylen und Indeno(1,2,3-cd)pyren (vgl. Anh. 1).

## 2. Ablauf des Vorhabens

Nach Vorliegen des Bewilligungsbescheides (28.04.97) wurde das Vorhaben antragsgemäß begonnen. Regelmäßige Konsultationen mit dem fachlichen Berater, Herrn Dr. Claus Schiller trugen dazu bei, die Kontinuität der Arbeiten zu sichern und auftretenden Probleme zu diskutieren. Mit Frau Hildegard Baumgart, die das Vorhaben verwaltungsmäßig begleitete, fanden telefonische Absprachen statt.

Ein Teil der Arbeiten wurde während des 28. International Symposium on Environmental Analytical Chemistry (ISEAC) vom 01. - 05.03.98 in Genf, Schweiz in Form eines Posters zum Thema „Passive Biological Monitoring of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Using Poplar (*Populus nigra*) as an Indicator-species“ präsentiert.

Da die erzielten Ergebnisse des Einsatzes von Passivsammlern nicht den Erwartungen entsprachen, wurde dieser Ansatz nicht weiter verfolgt. Relativ breiten Raum nahmen dafür die Bestimmung der PAH-Deposition mit bulk samplern ein. Zusätzlich zu den geplanten Aktivitäten wurden an zwei Standorten Immissionsmessungen von PAH mit low volume samplern durchgeführt.

Darüber hinaus wurden auf Wunsch des Betreuers Dr. Schiller durch das LAU erhobene Mikroemissionsdaten in die Auswertungen einbezogen.

Neben den regelmäßigen fachlichen Konsultationen wurde der Stand der Arbeiten durch den vom Zuwendungsgeber geforderten Zwischenbericht vom Januar 1998 dokumentiert.

Eine Publikation zu ausgewählten Ergebnissen des Projektes ist in Vorbereitung.

### 3. Material und Methoden

#### 3.1. Exposition und Probenahme

##### 3.1.1. Pappelblätter

Da es sich bei den durchgeführten Untersuchungen um Ergänzungen zu den im Land Sachsen-Anhalt durchgeführten Immissionsmessungen handelt, entsprechen die Untersuchungsstandorte im Prinzip den Standorten des Lufthygienischen Überwachungssystems Sachsen-Anhalt (LÜSA; Abb. 1). Aus Kapazitäts-/Kostengründen sowie aufgrund der Pappelsituation an einigen Standorten (fehlendes Vorkommen bzw. unzugänglicher Standort) wurde die Probenahme an folgender Auswahl der existierenden LÜSA-Meßstandorte durchgeführt:

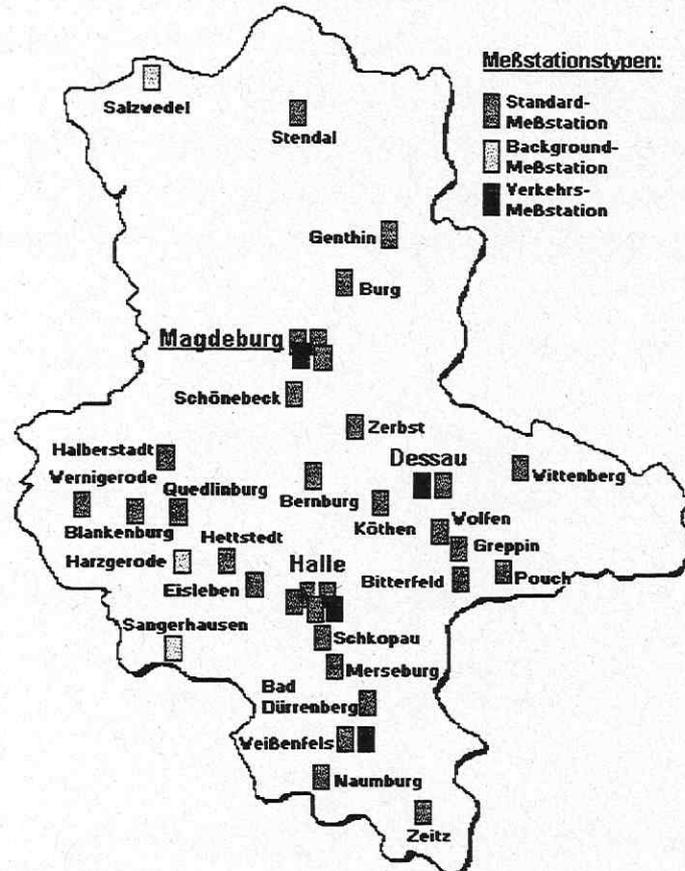
Sangerhausen	Köthen	Halle/Z
Genthin	Dessau	Halle/N
Magdeburg/SE	Wittenberg	Halle/SW
Magdeburg/Z	Zerbst	Bad Dürrenberg
Schönebeck	Greppin	Merseburg
Burg	Bitterfeld	Schkopau
Halberstadt	Wolfen/N	Weißenfels
Quedlinburg	Pouch	Zeitz
Wernigerode	Eisleben	Naumburg
Blankenburg	Hettstedt	Amsdorf
Bernburg		

Vor der eigentlichen Probenahme der Pappelblätter erfolgte eine gründliche Bestandsaufnahme hinsichtlich Vorkommen und Zustand der Pyramidenpappeln an den einzelnen LÜSA-Meßstellen. Dabei wurden folgende Charakteristika aufgenommen: Entfernung vom Meßcontainer, Exposition zu Meßcontainer und Emissionsquellen (Hausbrand, Verkehr, Produktionsanlagen), Anzahl, Alter und Belaubung der Pappeln.

Die standardisierte Beprobung wurde jeweils am Ende der Vegetationsperiode der Pappeln, vor dem Welkestadium, durchgeführt. Mit Ausnahme der Standorte Halle/N und Amsdorf fand die Beprobung 1997 im Zeitraum 18.08.-26.08 statt, während sie 1998, wegen der begrenzten Laufzeit des Projektes, nur an ausgewählten Standorten (Halle/Z, Halle/N, Greppin, Pouch, Eisleben, Bad Dürrenberg, Amsdorf) am 10.08. erfolgte.

Mit einer Baumschere mit Teleskopstange wurden aus 3 - 4 m Höhe, gleichmäßig über alle Himmelsrichtungen verteilt, acht Zweige mit jeweils drei im laufenden Jahr gewachsenen Langtrieben aus der Peripherie der Krone geschnitten. Von jedem Langtrieb wurden 10 benachbarte Blätter aus der Triebmitte entnommen, wobei zur Vermeidung von Kontaminationen die Blattspreiten mit einer sauberen Schere am blattseitigen Stielansatz so abge-

schnitten wurden, daß sie ohne weiteres Zutun direkt in die vorgesehenen Probebehälter aus Aluminium mit verschießbarem Deckel fielen. Insgesamt wurden pro Baum 240 durchschnittlich große, unversehrte Blätter entnommen, im gut verschlossenen Behälter in einer Kühlbox transportiert und nach dem Zerkleinern in einer Tiefkühltruhe bei  $-18^{\circ}\text{C}$  eingelagert.



**Abb. 1:** Standorte der LÜSA-Meßstationen (aus Lufthygienisches Überwachungssystem Sachsen-Anhalt 1995)

### 3.1.2. Boden

Zur Klärung der Herkunft der PAH in den Pappelblättern (Luftpfad, Bodenpfad) wurden an den o.g. Probenahmeplätzen zusätzlich Bodenproben entnommen. Die Entnahme erfolgte entsprechend der im Methodenbuch I des Handbuches der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik beschriebenen Richtlinien, d.h. es wurden Mischproben aus ca. 15 Einzelproben aus einer Tiefe von 0 - 20 cm und von einer Fläche von etwa  $100\text{ m}^2$  entnommen und zu einer Sammelprobe vereinigt.

### 3.1.3. Gefäßkulturen

Um die Aussagen bezüglich der Ergebnisse mit Pappelblättern auf Gemüsekulturen am jeweiligen Standort übertragen zu können, wurden an fünf ausgewählten LÜSA-Meßpunkten zusätzlich Gefäßkulturen mit Grünkohl und Mangold exponiert. Die Standorte wurden dabei so ausgewählt, daß sowohl typische Immissionssituationen berücksichtigt wurden, als auch eine Wartung und Pflege der Gefäßkulturen ohne unverhältnismäßigen Aufwand möglich war. Diese Kulturen wurden an folgenden Standorten exponiert: Halle/Z, Greppin, Pouch, Eisleben, Bad Dürrenberg (vgl. Kap. 3.1.1.).

Das Verfahren der Gefäßkulturen ist ein bewährter Indikator für die Immission luftgetragener Schadstoffe. Es beruht auf der Exposition vorgezogener Kulturen unabhängig von den jeweiligen Standortbedingungen (Bodenverhältnisse, Art des Pflanzenbewuchses u.a.). Diese Kulturen werden über Saugstreifen aus einem Behälter mit Wasser versorgt. Saatgut, Anzucht, Kulturerde, Nährlösung und Expositionsdauer sind standardisiert, wodurch eine gute Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit gewährleistet ist.

Grünkohl (*Brassica oleracea*) eignet sich aufgrund der großen Blattoberfläche und der ausgeprägten Wachsschicht insbesondere zur wirkungsbezogenen Ermittlung der Luftbelastung durch organische Schadstoffe. Aufgrund seiner besonderen Frosthärte ist ein Abernten auch im Winter möglich. Mangold, der ähnlich wie Spinat verwertet wird, soll beispielhaft als Vertreter der Blattgemüse für in der Nähe der Meßstandorte angebautes Gemüse betrachtet werden.

Die Exposition der Kulturen erfolgte an den oben angegebenen Meßplätzen in den Zeiträumen:

26.06. - 19.08.1997 Grünkohl, Mangold,

02.10. - 11.12.1997 Grünkohl,

08.06. - 11.08.1998 Grünkohl.

### 3.1.4. Passivsammler

Anstelle der zur Bestimmung von PAH-Immisionen üblicherweise verwendeten high volume sampler (sehr kosten- und wartungsaufwendig), wurden zum einen Passivsammler und zum anderen bulk sampler bezüglich ihrer Eignung geprüft.

Getestet wurden Passivsammler mit verschiedenen Adsorbermaterialien. Zum Einsatz kamen zum einen eng gefaltete Mikronfilter WB 50 (Material: Glasfaser, Oberfläche: 1,05 m<sup>2</sup>) der Firma Dräger und zum anderen in Schlaufen gelegte Glasfaserstreifen (GF 9, Oberfläche: 0,82 m<sup>2</sup>) der Firma Schleicher und Schüll. Zur Steigerung der Sorptionskraft und in

Anlehnung an die wachshaltigen Oberflächen von Pflanzen wurden mit Paraffinöl getränkte Filter (5g Paraffin/1,05 m<sup>2</sup>) verwendet. Das Adsorbiermaterial wurde lose in zylindrische Gefäße (Ø 20 cm, H 16 cm) eingelegt und durch kreuzförmige Verstrebungen fixiert. Zur Vermeidung von Wechselwirkungen mit den zu untersuchenden PAH in der Luft, wurde als Gefäßmaterial Edelstahl eingesetzt. Die Zylinder wurden zum Schutz vor feuchten Niederschlägen mit der Öffnung nach unten in ca. 1,50 m Höhe an einem Ständer mit Ausleger, frei hängend installiert. Um für eine sichere analytische Bestimmung ausreichend große Mengen an PAH zu erhalten, wurden die Sammler zunächst für 9 (später 4) Wochen auf dem Gelände des UFZ in Leipzig installiert.

### **3.1.5. bulk sampler**

Zur näheren Kennzeichnung der Auswirkungen von PAH-Immissionen auf terrestrische Ökosysteme wurde deren Deposition ermittelt. Die Probenahme erfolgte in Anlehnung an die Erfassung des Staubniederschlages mit dem Bergerhoff-Gerät (VDI 2119/2). Zur möglichst sicheren Erfassung der PAH-Depositionen wurden anstelle der üblichen Weckgläser Edelstahlgefäße mit größerer Sammelfläche (Ø 25 cm, OF 0,05 m<sup>2</sup>) gewählt. Diese wurden an ausgewählten Meßpunkten (Halle, Greppin, Pouch, Eisleben, Bad Dürrenberg; Leipzig/UFZ - vgl. 2.1.3.) im Zeitraum 10/97 bis 09/98 installiert. Die Expositionszeit betrug jeweils 4 Wochen, die Expositionshöhe ca. 1,80 m.

### **3.1.6. low volume sampler**

Zusätzlich wurden im April und von Juni bis August 1998 in Leipzig und Greppin integrierende Immissionsmessungen mit low volume samplern durchgeführt. Eingesetzt wurden Kleinfiltergeräte GS 050 6D der Firma Derenda, die mit einem konstanten Durchsatz von 2 Nm<sup>3</sup> betrieben wurden. Die Luft wurde über eine Kombination aus Glasfaserfilter und Polyurethanschaum (PU) angesaugt, um sowohl die partikelgebundenen als auch die luftgetragenen PAH zu erfassen. Die Probenahme erfolgte jeweils über 14 Tage in einem Zyklus von einer Stunde Ansaugzeit und einer Stunde Pause ( $\cong$  300 Nm<sup>3</sup> Luft; die Umrechnung der Luftvolumina in Normvolumen unter Berücksichtigung von Temperatur und Druck erfolgt bei diesen Geräten automatisch).

Um Kontaminationen zu vermeiden, wurden die PU-Schäume vor dem Einsatz durch eine zweistufige Soxhletextraktion (Aceton 20 h, Hexan 20 h) intensiv gereinigt, über Nacht bei 28°C im Trockenschrank getrocknet und, in Alufolie eingeschlagen, im Exikator gelagert. Zu

Vergleichszwecken wurden gleichzeitig, unmittelbar benachbart bulk sampler installiert. Die Expositionshöhe dieser sampler betrug ca. 2,50 m.

### **3.2. Probenaufarbeitung**

#### **3.2.1. Pappelblätter**

Bezüglich der Analyse der Pappelblattproben auf PAH fanden umfangreiche Voruntersuchungen statt. Dabei wurde aus einer Vielzahl von in der Literatur beschriebenen Verfahren zur Analytik von PAH eine spezielle Methode erarbeitet, die sich an das Verfahren von WITTE et al. (1989) anlehnt.

Die Pappelblätter (10 g) wurden in einer Mulinette zerkleinert und mit 10 ml Reinstwasser (Seralpur PRO 90 CN), 20 ml Aceton, 17 ml Dichlormethan und 5 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5 min lang im Ultra Thurrax extrahiert. Der Extrakt wurde vakuumfiltriert und die wässrige Phase im Scheidetrichter abgetrennt. Nach Zugabe von 50  $\mu\text{l}$  Octanol (keeper) wurde der Extrakt am Rotationsverdampfer und unter Stickstoff eingengt. Im Anschluß machte sich ein Aufreinigen der Extrakte erforderlich. Zunächst wurde ein clean up an Kieselgel durchgeführt. Für die Säule wurden 15 g Kieselgel (4 h bei  $450^\circ\text{C}$  ausgeheizt) zur definierten Aktivitätseinstellung mit 1,5 ml Reinstwasser versetzt und anschließend mit 10 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  überschichtet. Der Pappelblätterextrakt wurde in einem Gemisch aus Petroläther und Dichlormethan (4:1/v:v) gelöst und auf die Säule gegeben. Anschließend wurde bis zum Durchbruch Petroläther/Dichlormethan (4:1/v:v) zugegeben. Die Elution der PAH's erfolgte mit 100 ml Petroläther/Dichlormethan (4:1/v:v). Nach Zugabe von 10  $\mu\text{l}$  Octanol wurde der Extrakt erneut am Rotationsverdampfer und unter Stickstoff eingengt. Da sich eine weitere Reinigung der Extrakte erforderlich machte, wurde diese an einer Sephadex-LH 20-Säule ( $\varnothing$ : 25 mm, l: 200mm, Gelbett: 60 mm) durchgeführt. Nach Auftragen des Extraktes auf die Säule wurde mit 50 ml und 150 ml 2-Propanol eluiert. Beiden Eluatzen wurden 10  $\mu\text{l}$  Octanol zugesetzt und diese am Rotationsverdampfer und unter Stickstoff bis zur Trockne eingengt. Anschließend wurden die gereinigten Extrakte für die analytische Bestimmung mit Acetonitril auf 1 bzw. 0,5 ml aufgefüllt.

#### **3.2.2. Bodenproben**

5 g Bodenmaterial (mit 5 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  verrieben) wurden mit Hilfe der beschleunigten Lösemittelextraktion (ASE - Accelerated Solvent Extraction) extrahiert (Extraktionsmittel: Ace-

ton/Dichlormethan 1:1/v:v, Extraktionstemperatur: 100°C, Extraktionsdruck: 140 bar, statische Extraktionszeit: 10 min, 2 Extraktionszyklen). Nach Zugabe von 20 µl Octanol wurde der Extrakt am Rotationsverdampfer und unter Stickstoff eingeeengt. Die Aufreinigung des Extraktes erfolgte an Kieselgel (4 h bei 450°C ausgeheizt). Der Extrakt wurde in 1 ml Cyclohexan gelöst, auf die Kieselgelsäule (Ø 12 mm, 45 mm Kieselgel in Dichlormethan, 10 mm Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, konditioniert mit 10 ml n-Hexan) aufgegeben und mit 500 µl Cyclohexan nachgespült. Anschließend wurde mit 6 ml n-Hexan gewaschen und mit 18 ml Dichlormethan/n-Hexan (2:3/v:v) eluiert. Die erste Fraktion des Eluates wurde verworfen. Die zweite Fraktion wurde nach Zugabe von 10 µl Octanol am Rotationsverdampfer und unter Stickstoff zur Trockne eingeeengt, mit 1 ml Acetonitril aufgefüllt und der analytischen Bestimmung zugeführt.

### 3.2.3. Gefäßkulturen

Die Grünkohl- und Mangold-Proben (jeweils 10 g) wurden mit der ASE extrahiert (Extraktionsmittel: Aceton/n-Hexan 1:1/v:v, Extraktionstemperatur: 100°C, Extraktionsdruck: 100 bar, statische Extraktion: 5 min, 2 Extraktionszyklen). Zur Beschleunigung der Phasentrennung wurde der Extrakt mit 5 ml n-Hexan versetzt und im Scheidetrichter die wässrige Phase abgetrennt. Nach Zugabe von 10 µl Octanol wurde der Extrakt am Rotationsverdampfer und unter Stickstoff eingeeengt. Im Gegensatz zur Pappelblattanalytik erfolgte das clean up nur an Kieselgel, welches 4 h bei 450°C ausgeheizt, mit 10 % H<sub>2</sub>O beladen und mit 10 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> überschichtet wurde. Der Extrakt wurde in Petroläther/Dichlormethan, (4:1/v:v) gelöst und auf die Säule gegeben. Bis zum Durchbruch wurde Petroläther/Dichlormethan (4:1/v:v) zugegeben und anschließend mit 100 ml Petroläther/Dichlormethan (4:1/v:v) eluiert. Nach Addition von 10 µl Octanol wurde das Eluat eingeeengt (Rotationsverdampfer/Stickstoff). Der eingeeengte Extrakt wurde in 1 ml Acetonitril aufgenommen, filtriert und der analytischen Bestimmung zugeführt.

### 3.2.4. Passivsammler

Die Passivfilter wurden geteilt und unterschiedlich aufgearbeitet. Um den Zeitaufwand und die Lösemittelmenge zu minimieren, erfolgte die Extraktion mit der beschleunigten Lösemittelextraktion. Daneben wurde zum Vergleich die herkömmlichen Soxhletmethode eingesetzt. Die Extraktionsbedingungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

**Tab. 1:** Extraktionsbedingungen für Proben aus Passivsammlern

Methoden	ASE	Soxhlet
<b>Probemenge</b>	je 7,36 g $\approx$ 0,10 m <sup>2</sup>	je 18,3 g $\approx$ 0,26 m <sup>2</sup>
<b>Lösemittel</b>	1. Aceton/Dichlormethan (1:1/v:v), $\approx$ 50 ml 2. Toluol, $\approx$ 50 ml	1. Aceton/Dichlormethan (1:1/v:v), $\approx$ 750 ml 2. Toluol, $\approx$ 750 ml
<b>Extraktionsbedingungen</b> <b>Temperatur</b> <b>Druck</b> <b>statische Extraktion</b>	jeweils 2 Extraktionen 1. 100°C, 2. 175°C jeweils 140 bar jeweils 10 min	jeweils 4h unter Rückfluß kochen

Die Extrakte wurden zum Schutz vor Verlusten mit jeweils 100  $\mu$ l Octanol am Rotationsverdampfer und unter Stickstoff eingengt und anschließend verschiedenen Anreicherungs- bzw. Reinigungsverfahren unterzogen:

Die eingengten Extrakte der mit Paraffin imprägnierten Filter wurden in n-Hexan gelöst und zunächst einer Festphasenextraktion (SPE - Solid Phase Extraction) an Florisil unterzogen (Säule: 8 ml, 1000 mg Florisil, konditionieren: 20 ml Dichlormethan, 20 ml n-Hexan; Probe, gelöst in 1 ml n-Hexan, langsam durch die Säule saugen; mit 10 ml n-Hexan waschen; Elution: 15 - 40 ml n-Hexan). Ein Aliquot des erhaltenen Eluates wurde eingengt, erneut in n-Hexan aufgenommen und einer zweiten SPE an HR-P, einem Polystyrol-Divinylbenzol-Copolymer, unterzogen (Säule: 6 ml, 670 mg HR-P, konditionieren: 5 ml n-Hexan; Probe, gelöst in 1 ml n-Hexan, langsam durch die Säule saugen; mit 5 ml n-Hexan waschen; Säule sorgfältig trocknen; Elution: 4 x 2,5 ml Toluol).

Darüber hinaus wurden die Soxhlet-Extrakte einem clean up an Sephadex unterzogen: Ein Aliquot des n-Hexan-Eluates wurde unter Stickstoff eingengt, in  $\approx$  1 ml 2-Propanol aufgenommen und auf eine Sephadex-Säule (Sephadex LH 20; Gelbett 6 cm) aufgebracht, anschließend mit 2 x 1 ml 2-Propanol gespült und mit 120 ml 2-Propanol eluiert. Die gereinigten Extrakte wurden eingengt und für die nachfolgende Bestimmung in 1 ml Acetonitril aufgenommen.

Die nicht imprägnierten Filter wurden nach dem Einengen ebenfalls in 1 ml Acetonitril aufgenommen und nach Filtration bzw. Sephadex clean up detektiert.

### 3.2.5. bulk sampler

Zum Abtrennen der Partikelphase wurden die Depositionsproben zunächst über Glasfaserfilter GF 6 vakuumfiltriert. Zur selektiven Anreicherung der im Filtrat gelösten bzw. an Feinstpartikeln sorbierten PAH wurde dieses anschließend einer SPE an C18PAH (speziell modifiziertes Kieselgel) unterzogen (Säule: 8 ml, 1850 mg C18PAH, konditionieren: 8 ml Methanol, 8 ml Reinstwasser (Seralpur PRO 90 CN); Probe, versetzt mit 10 ml Methanol/l,

langsam durch die Säule saugen). Das Säulenmaterial wurde über Nacht unter Stickstoff getrocknet. Glasfaserfilter und C18PAH-Material wurden im Anschluß mit der ASE extrahiert (Lösemittel: Toluol, Extraktionstemperatur: 175°C, Extraktionsdruck: 140 bar, statische Extraktionszeit: 10 min, 2 Extraktionen). Nach Addition von 50 µl Octanol (keeper) wurden die Proben am Rotationsverdampfer auf 5 ml eingengt. 2 ml davon wurden mit weiteren 10 µl Octanol versetzt und unter Stickstoff fast zur Trockne eingengt. Die Reinigung der Extrakte erfolgte an einer miniaturisierten Kieselgelsäule (vgl. VDI 3875, GRIMMER et al. 1997): Zum Einsatz kamen handelsübliche SPE-Kartuschen (8 ml), die mit 2,5 g Kieselgel (15% H<sub>2</sub>O), aufgeschlämmt in Cyclohexan, gefüllt wurden. Der eingengte Extrakt wurde in wenig Cyclohexan gelöst, auf die Säule gegeben und mit 2 ml Cyclohexan nachgespült. Anschließend wurde die Probe mit 20 ml Cyclohexan eluiert. Das Eluat wurde nach Zusatz von 10 µl Octanol am Rotationsverdampfer und unter Stickstoff eingengt und für die nachfolgende Detektion in 1 ml Acetonitril aufgenommen.

Zur Qualitätssicherung der Ergebnisse wurde vorab ein Blindwert-/Wiederfindungstest durchgeführt (vgl. Kap. 3.2.2.).

### 3.2.6. low volume sampler

Die PU-Schäume und die Glasfaserfilter (GF/F 80, 0,7 µm, Fa. Whatman) wurden mittels ASE getrennt extrahiert (Lösemittel: Aceton/Dichlormethan (1:1/v:v), Extraktionstemperatur: 85°C, Extraktionsdruck: 100 bar, statische Extraktionszeit: 10 min, 2 Extraktionen). Die Extrakte wurden am Rotationsverdampfer auf 2 ml eingengt. 1/10 dieser Probe wurde nach Addition von 10 µl Octanol unter Stickstoff fast zur Trockne eingengt, in 500 µl Acetonitril aufgenommen und nach Filtration analysiert.

### 3.3. Analytische Bestimmung der PAH

Die Bestimmung der einzelnen polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe erfolgte in allen Medien mit der Methode der HPLC (High Performance Liquid Chromatography - Hochleistungs-Flüssig-Chromatographie). Die einzelnen Geräteparameter sind nachfolgend aufgeführt:

**Gerät:** HP 1050  
bzw. Beckmann System Gold

**Detektion:** wellenlängenprogrammierte Fluoreszenzdetektion

**Säule:** Vydac 201TP54 (Umkehrphase, C<sub>18</sub>, 250 x 4,6 mm I.D.; 5 µm)

**Temperatur:** 23°C

**Fluß:** 1,0 ml/min

**Gradient:** 0 - 3 min, 60:40 (v:v), H<sub>2</sub>O/ AN isokratisch  
bzw. 0 - 3 min, 55:45 (v:v), H<sub>2</sub>O/ AN isokratisch  
3 - 27 min, 60:40 (v:v) - 100% AN, linear  
bzw. 3 - 28 min, 55:45 (v:v) - 100% AN, linear  
27 - 40 min, 100% AN isokratisch  
bzw. 28 - 38 min, 100% AN isokratisch

Bestimmt wurden die Verbindungen:

Naphthalin (Nap)	Fluoranthen (FLU)	Benzo(k)fluoranthen (BkF)
Acenaphthen (Ace)	Pyren (PYR)	Benzo(a)pyren (BaP)
Fluoren (Flu)	Benzo(a)anthracen (BaA)	Dibenz(ah)anthracen (DBahA)
Phenanthren (Phe)	Chrysen (CHR)	Benzo(ghi)perylen (BghiP)
Anthracen (Ant)	Benzo(b)fluoranthen (BbF)	Indeno(1,2,3-cd)pyren (INP)

Da wegen der hohen Flüchtigkeit des Naphthalins Verluste bei der Probenahme/Probeaufarbeitung nicht auszuschließen sind und aufgrund von Peaküberlagerungen eine sichere Quantifizierung von Acenaphthen nicht möglich war, blieben diese beiden Verbindungen bei der Auswertung generell unberücksichtigt.

## **4. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse**

### **4.1. Wirkungsuntersuchungen mit Hilfe von Pappelblättern**

Pflanzen werden aus verschiedenen Gründen auf ihre PAH-Gehalte untersucht: PAH können bei Kulturpflanzen Schädigungen auslösen (HUANG et al. 1996) oder in die Nahrungskette gelangen (GRIMMER & HILDEBRANDT 1965). Darüberhinaus werden Pflanzen als PAH-Schadstoffsenke betrachtet und ihr Beitrag zur Entfernung von PAH aus der Atmosphäre diskutiert (WAGROWSKI & HITES 1997, SIMONICH & HITES 1995, 1994). Nicht zuletzt werden Pflanzen im Rahmen von passivem und aktivem Monitoring genutzt, um kostengünstig Aussagen zur Immissionsituation an verschiedenen Standorten treffen zu können (BACCI et al. 1990, POOS 1986). Als Bioindikatoren werden von ARNDT et al. (1987) Organismen und Organismengemeinschaften verstanden, die auf Schadstoffbelastungen mit Veränderungen ihrer Lebensfunktionen antworten (Reaktionsindikatoren) bzw. den Schadstoff akkumulieren (Akkumulationsindikatoren bzw. Bioakkumulatoren). Bei der Pyramidenpappel als im Ökosystem vorhandenen Organismus handelt es sich um einen passiven Akkumulationsindikator, der Schadstoffe (PAH) anreichert ohne sichtbare Schadsymptome aufzuweisen.

#### **4.1.1. Räumliche Differenzierung der PAH-Belastung**

Die PAH-Summengehalte der Pappelblattproben an den untersuchten LÜSA-Meßstationen in Sachsen-Anhalt im Jahr 1997 sind in Abbildung 2 dargestellt. Dabei zeigte sich eine deutliche Differenzierung zwischen den einzelnen Standorten. Besonders hohe PAH-Summen wiesen die Großstädte Magdeburg und Halle auf. Aber auch an den LÜSA-Meßplätzen in Naumburg, Köthen und Wernigerode konnten vergleichsweise hohe PAH-Summen nachgewiesen werden. Charakteristisch für diese Standorte ist ein verhältnismäßig hohes Verkehrsaufkommen. Die vergleichsweise geringen Gehalte von Weißenfels sind möglicherweise auf die Lage des Meßplatzes innerhalb eines kleinen Parks an der Saale, ca. 400 m vom Meßcontainer entfernt, zurückzuführen. Im einzelnen wurden PAH-Summen zwischen 1,6 ng/g FS (Weißenfels) und 41,5 ng/g FS (Magdeburg/SE) ermittelt. Der Gebietsmittelwert lag bei 13,2 ng/g FS. Höhere Werte wiesen die bereits genannten Standorte Magdeburg/SE (41,5 ng/g FS), Naumburg (37,1 ng/g FS), Magdeburg/Z (31,2 ng/g FS), Halle/Z (29,5 ng/g FS), Wernigerode (27,8 ng/g FS), Halle/SW (19,4 ng/g FS) sowie Wittenberg (16,4 ng/g FS) und Dessau (15,2 ng/g FS) auf.

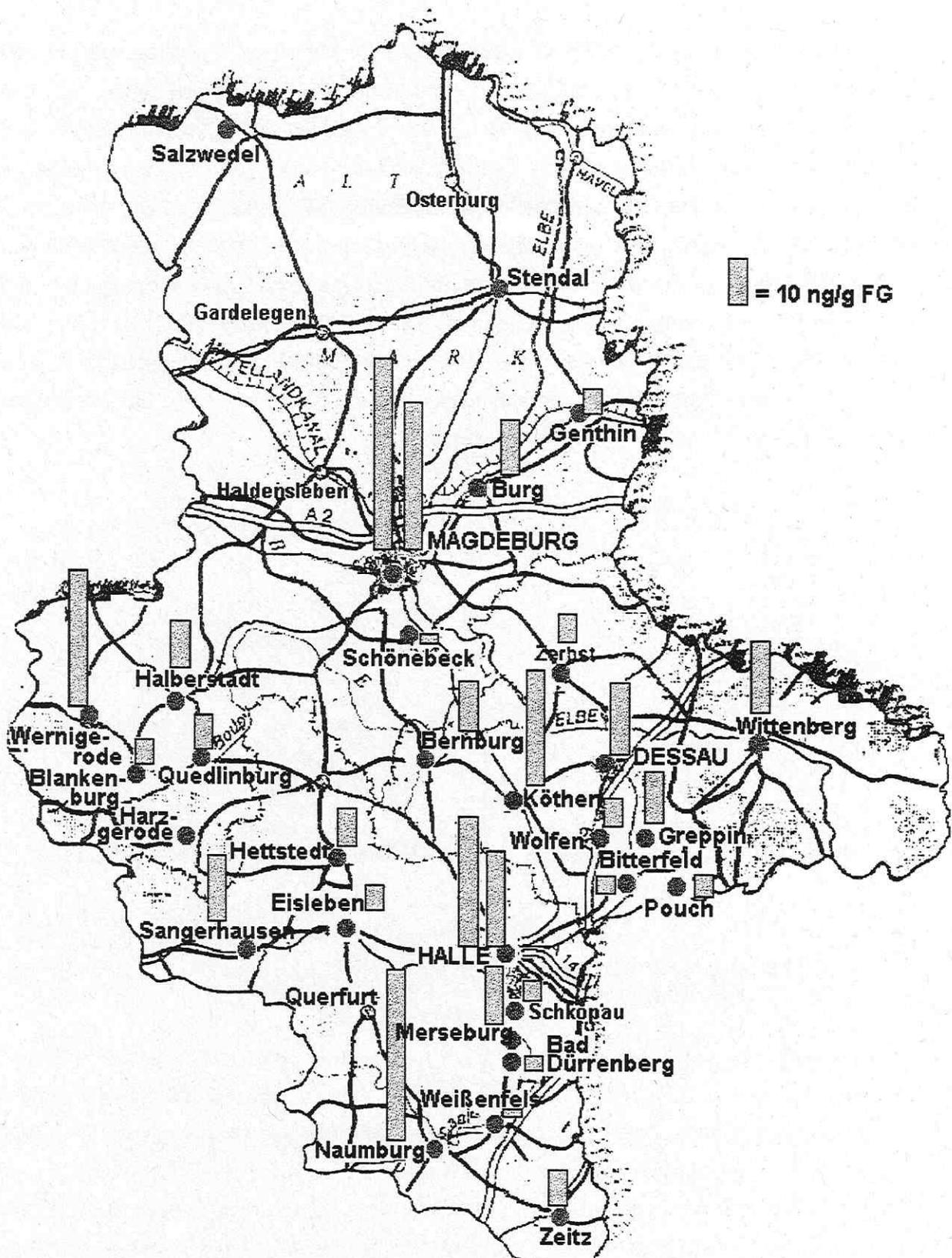


Abb. 2: Räumliche Differenzierung der PAH-Belastung anhand der PAH-Summen in Pappelblättern in Sachsen-Anhalt 1997

Die Benzo(a)pyrengelhalte zeigten in vielen Fällen ein ähnliches Verhalten wie die PAH-Summen (Abb. 3), d.h. in den Großstädten wurden höhere Gehalte gemessen. Der Richtwert für Lebensmittel pflanzlicher Herkunft liegt bei 1 ng/g FS BaP. Obwohl Pappeln im allgemeinen nicht verzehrt werden, soll dieser Wert auch bei unseren Untersuchungen als Richtwert dienen. Überschritten wurde er in Magdeburg/SE (2,83 ng/g FS), Halle/Z (1,41 ng/g FS), Magdeburg/Z (1,37 ng/g FS) und Naumburg (1,14 ng/g FS). GRIMMER et al. (1984) ermittelten im Rahmen von Untersuchungen für eine Umweltprobenbank BaP-Gehalte in Pappelblättern von rund 4,5 µg/kg, während GRIMMER (1985) im Raum Saarbrücken 1,82 - 20,0 µg/kg BaP nachwies. JACOB et al. (1997, 1996) konnten im Zeitraum von 1991 - 1994 in Pappelblättern verschiedener Meßpunkte in Halle und Leipzig sinkende BaP-Gehalte von 4,8 auf 1,6 µg/kg nachweisen.

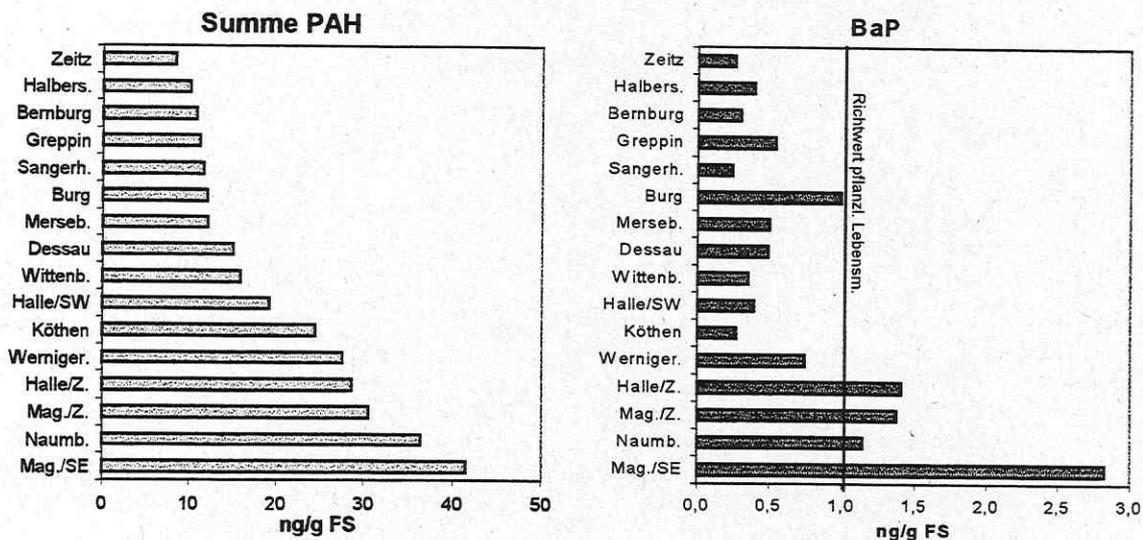
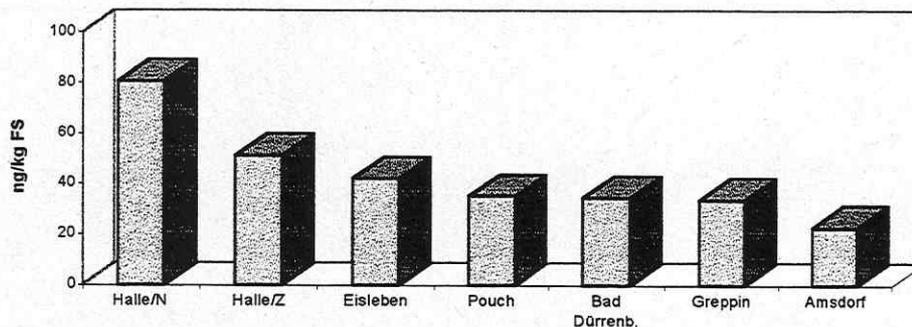


Abb. 3: Vergleich der PAH-Summen und der BaP-Gehalte in Pappelblättern an ausgewählten LÜSA-Meßstationen des Landes Sachsen-Anhalt 1997

Eine eindeutige Beziehung zwischen der PAH-Summe und dem Anteil an BaP, das häufig als Leitsubstanz und bezüglich der Kanzerogenität stellvertretend für die Summe der PAH gesetzt wird, konnte, wie Abbildung 3 zeigt, bei unseren Untersuchungen nicht festgestellt werden. Da darüber hinaus die Summe der kanzerogenen PAH (BaA, CHR, BbF, BkF, BaP, DBahA, INP) zwischen 13,4 und 55,3% der Gesamtgehalte der PAH ausmachen, sollten zur Beurteilung der Toxizität Kriterien gewählt werden, die o.g. Sachverhalt besser widerspiegeln, wie z.B. die von mehreren Autoren (DELISTRATY 1997, NISBET & LAGOY 1992) beschriebenen Toxizitätsäquivalente (TEF).

Die PAH Gehalte in Pappelblättern (Summe FLU - INP) ausgewählter LÜSA-Meßstandorte für das Jahr 1998 sind in Abbildung 4 dargestellt. Es handelt sich dabei um die Standorte Halle/N, Halle/Z, Eisleben, Pouch, Bad Dürrenberg, Greppin und Amsdorf. Bezüglich der Reihenfolge der Belastung zeigte sich annähernd das gleiche Bild wie 1997. Die höchsten Gehalte wurden mit 80,2 bzw. 51,0 ng/g FS wiederum in der Großstadt (Halle) festgestellt, während am Standort Amsdorf, der aufgrund örtlicher Beschwerden 1998 in die Untersuchungen einbezogen wurde, mit 22,5 ng/g FS die geringsten Werte ermittelt wurden.



**Abb. 4:** PAH-Summengehalte in Pappelblättern an ausgewählten LÜSA-Meßstandorten 1998 (FLU -INP)

#### 4.1.1.1. Charakterisierung der Belastung mit Hilfe der PAH-Profile

In Abbildung 5 ist eine Auswahl von PAH-Profilen der im Jahr 1997 untersuchten Pappelblätter an verschiedenen LÜSA-Meßstationen dargestellt (vgl. Anh. 2). Während sich die Profilmuster teilweise stark ähnelten, unterschieden sich die Gehalte der einzelnen PAH-Verbindungen in ihrer Höhe deutlich. Auffallend sind in allen Profilen die relativ hohen Anteile der Verbindungen Fluoranthren und Pyren, die aufgrund ihrer mengenmäßigen Dominanz in der Emission auch als Hauptbestandteile des PAH-Niederschlages gelten (FECHNER 1980). Mit Ausnahme des Standortes Magdeburg/SE lagen die Werte für Benzo(ghi)perylen, das als charakteristisch für eine vom Verkehr verursachte Belastung gilt, sichtbar über denen des Benzo(a)pyrens, welches eher ein Hinweis für Hausbrandemissionen ist (LAU 1994). Aufgrund der in der Atmosphäre stattfindenden intensiven Durchmischung und Veränderung der Emissionen ist es allerdings, insbesondere in den betrachteten Zeiträumen, nur schwer möglich, Beziehungen zu einzelnen Emissionsquellen bzw. Quellentypen herzustellen.

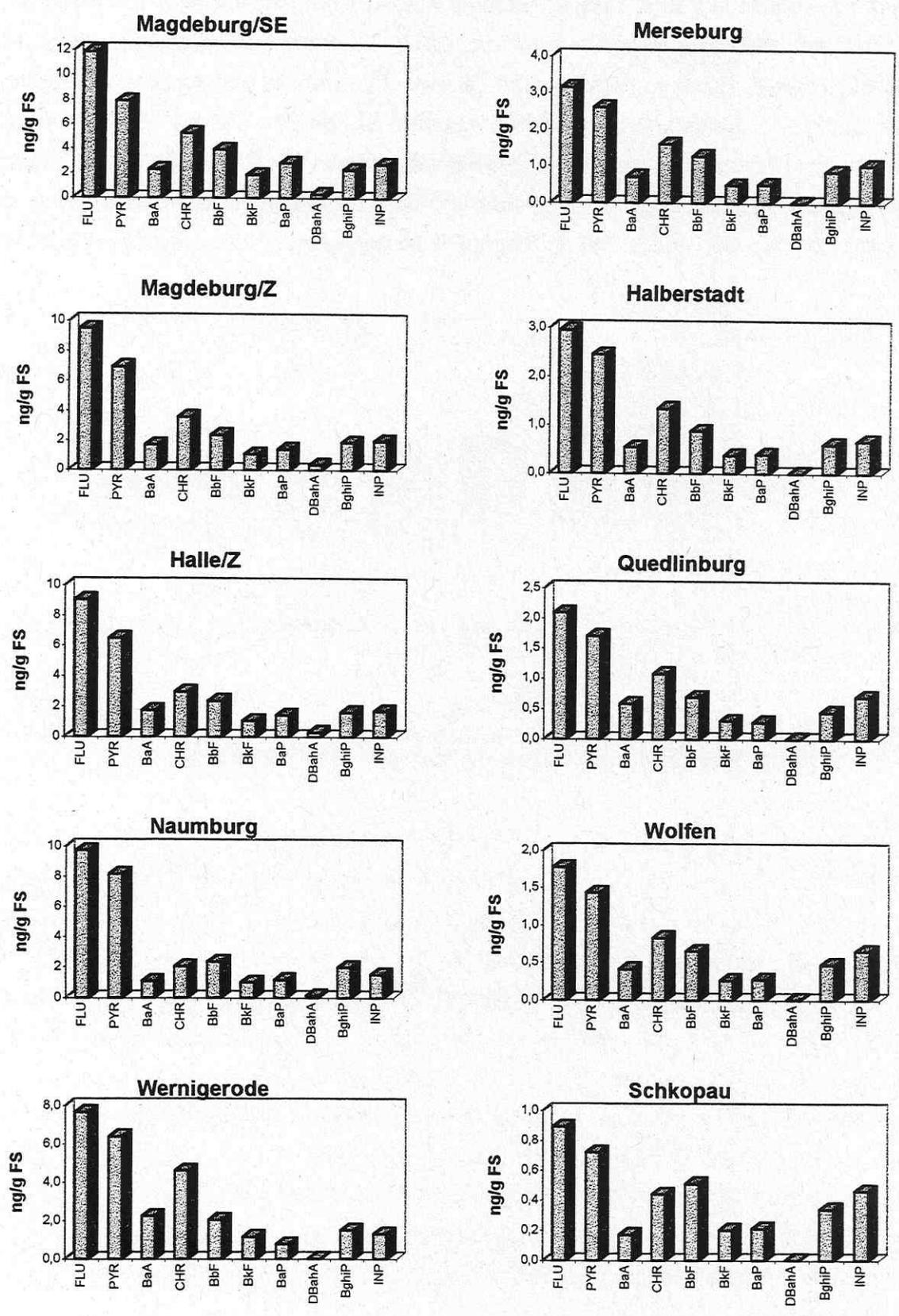
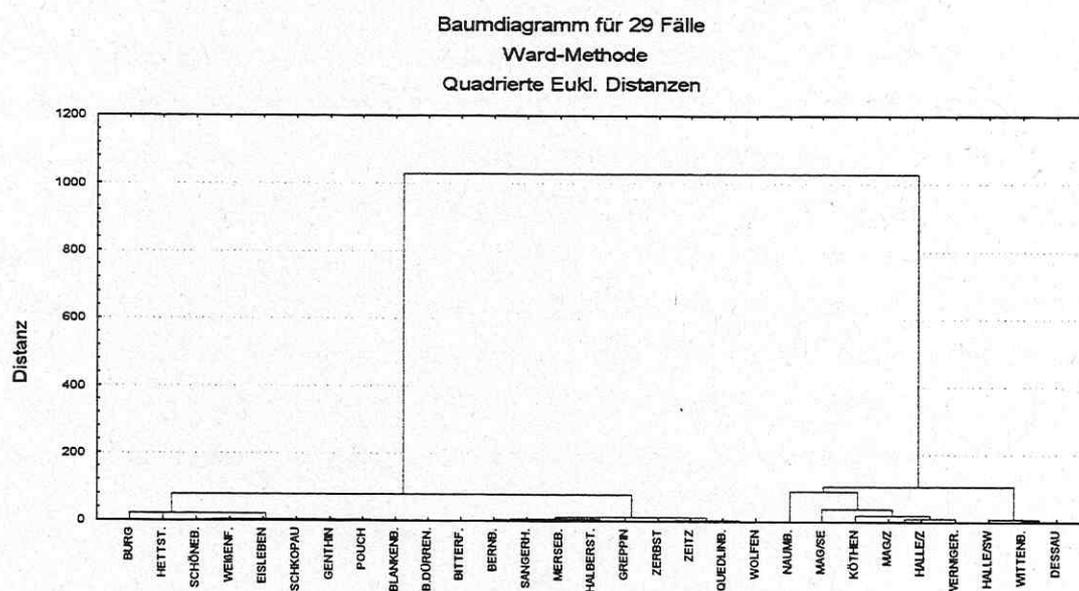


Abb. 5: PAH-Profile von Pappelblättern ausgewählter LÜSA-Standorte 1997

Im Ergebnis einer Clusteranalyse (Abb. 6) konnte die PAH-Belastung 1997 in zwei Gruppen eingeteilt werden. Das Histogramm zeigt in der ersten Gruppe vorwiegend die Meßpunkte, die durch hohe PAH-Summengehalte, nicht zuletzt aufgrund eines hohen Verkehrsaufkommens, charakterisiert waren (Magdeburg/SE, Naumburg, Magdeburg/Z, Halle/Z, Wernigerode, Köthen, Halle/SW, Wittenberg, Dessau), während die zweite Gruppe eher niedrigere Werte repräsentierte (vgl auch Anh. 2).



**Abb. 6:** Clusteranalyse zur Charakterisierung unterschiedlicher Gruppen der PAH-Belastung

Vom Landesamt für Umweltschutz zur Verfügung gestellte Daten zur Mikroemissionssituation an den LÜSA-Meßstationen brachten keine weiteren Erkenntnisse; es konnten keine Zusammenhänge zwischen diesen Angaben und den Pappelblattwerten an den einzelnen Meßstandorten festgestellt werden. Ein Grund dafür könnte darin liegen, daß zum einen die Werte von 1991/92 stammten bzw. ihre Herkunft zeitmäßig nicht angegeben war. Zum anderen waren diese Daten nicht für alle LÜSA-Standorte vorhanden, so daß für eine sichere statistische Auswertung keine genügend große Datenmenge zur Verfügung stand. Eine Übersicht der vorhandenen und aufbereiteten Mikroemissionsdaten ist im Anhang 12 dargestellt.

#### 4.1.1.2. Vergleich der PAH-Gehalte in Pappeln und im Boden

Der Boden gilt als wichtigste Senke für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe. Ebenso wie die Luftkonzentrationen schwanken die PAH-Gehalte in den Böden in weiten Grenzen; sie bewegen sich zwischen  $< 10 \mu\text{g}/\text{kg}$  in unbelasteten Böden und mehr als

10 µg/kg an Altlastenstandorten (SCHÄFER 1997, KÖNIG et al. 1991). Die PAH-Gehalte der Böden in Sachsen-Anhalt bewegen sich nach MANZ (1997) im Bereich von 214 - 1706 µg/kg Boden ( $\Sigma$  Nap, Phe, Ant, FLU, BaA, CHR, BkF, BaP, BghiP, INP; GRENZWERTE 1998). Aufgrund ihrer geringen Wasserlöslichkeit, ihres ausgeprägten hydrophoben Charakters und ihrer Akkumulation an die organische Substanz im Boden ist die Pflanzenaufnahme von PAH aus dem Boden stark eingeschränkt. Nach Untersuchungen von LINNE & MARTENS (1978), ELLWARDT (1977), MÜLLER (1976) sowie SIEGFRIED (1975) ist der Gehalt an PAHs in den oberirdischen Pflanzenorganen selbst bei hohen PAH-Gehalten im Substrat vergleichsweise gering. Zur Bestätigung dieses Sachverhaltes wurden neben den Pappelblättern an den Meßstellen die entsprechenden Böden untersucht. Die PAH-Gehalte bewegten sich dabei zwischen 323 und 21062 µg/kg Boden, d.h. die von uns ermittelten Werte liegen über den von MANZ (1997) erhaltenen Werten (vgl. Anh. 4). SCHULTE (1996) ermittelte dagegen in verschiedenen Stadtböden Leipzigs Gehalte im gleichen Größenbereich. Der Prüfwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit/Kinderspielflächen liegt für o.g. Verbindungen bei 5 mg/kg Boden (GRENZWERTE 1998). Dieser Wert wurde an den Standorten Magdeburg/Z, Halle/Z, Genthin, Schönebeck, Sangerhausen Zerbst, Blankenburg und Dessau überschritten (Abb. 7).

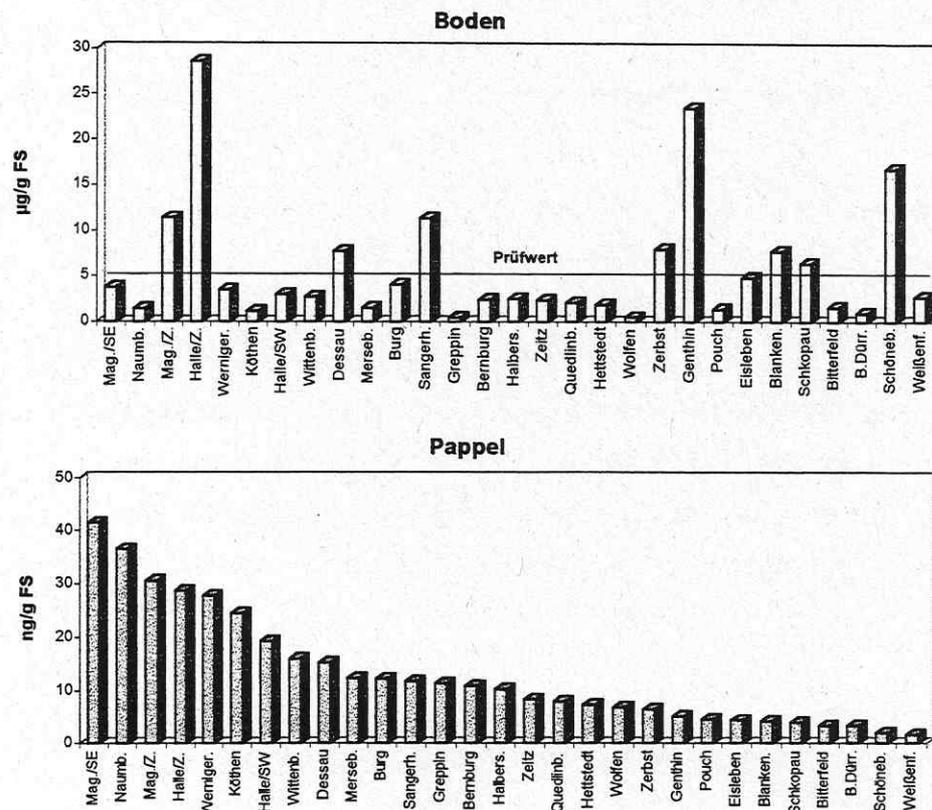


Abb. 7: Vergleich der PAH-Summen im Boden und in Pappelblättern an ausgewählten LÜSA-Meßstandorten 1997

Ordnet man die an den 29 LÜSA-Meßstationen gemessenen PAH-Gehalte von Pappelblättern der Größe nach, so stimmt diese Reihenfolge in keiner Weise mit der des Bodes überein, d.h. zwischen den Boden-Gehalten und den Pappelblättergehalten besteht, wie erwartet, keine Beziehung. Hohe Gehalte in den Pappelblättern sind demnach keine Folge von hohen Bodengehalten, sondern auf Belastungen aus der Luft zurückzuführen.

Einen Vergleich der Profile von Pappelblättern und Bodenproben zeigt Abbildung 8. Dabei wird deutlich, daß die Profile kaum Ähnlichkeiten aufweisen, so daß man auch hier davon ausgehen kann, daß die PAHs in den Pflanzen nicht aus dem Boden stammen.

#### **4.1.2. Zeitliche Differenzierung der PAH-Belastung**

Die Untersuchungen zeigten, daß die PAH-Gehalte, hier dargestellt anhand der Summe der kanzerogenen Verbindungen, 1998 an allen untersuchten LÜSA-Meßstationen insgesamt höher lagen als 1997 (Abb. 9). Ein möglicher Grund für diesen Befund könnte der Einfluß der Witterung, insbesondere Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer sein. Wie aus der Abbildung ersichtlich wird, waren die Niederschlagssummen in den Monaten der Vegetationsperiode (April - August) des Jahres 1997 mit 237 mm deutlich höher als im darauf folgenden Jahr (188 mm). Der Hauptanteil der Niederschläge entfiel dabei mit 142 mm auf den Monat Juli, so daß PAH-Ablagerungen auf den Blättern vor dem Abernten im August teilweise wieder abgewaschen worden sein können.

Darüber hinaus wurde im Jahr 1997 mit 16,9°C eine höhere Durchschnittstemperatur und eine mit 1163 Stunden höhere Sonnenscheindauer gegenüber 1998 (15,6°C bzw. 967 h Sonnenscheindauer) für die Zeit der Vegetationsperiode ermittelt. Damit können Umsetzungs- und Abbauprozesse verbunden sein, die geringere PAH-Gehalte in der Atmosphäre bedingen und somit auch eine geringere PAH-Aufnahme durch die Pappelblätter resultiert. Ob die höheren PAH-Gehalte in den Pappelblättern 1998 auch auf höhere PAH-Immissionen während der Vegetationsperiode 1998 zurückzuführen sind, läßt sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht klären, da die Immissionsmessungen des LAU 1997 aufgrund der ausgewählten Standorte (Verkehrscontainer Dessau, Magdeburg) nur bedingt aussagefähig sind und für die Vegetationsperiode 1998 noch keine Werte zur Verfügung standen. Eigene Messungen der PAH-Immissionskonzentration 1998 stehen wiederum nur an einem Standort (Greppin) zur Verfügung, so daß auch hieraus keine entsprechenden Schlußfolgerungen zu ziehen sind.

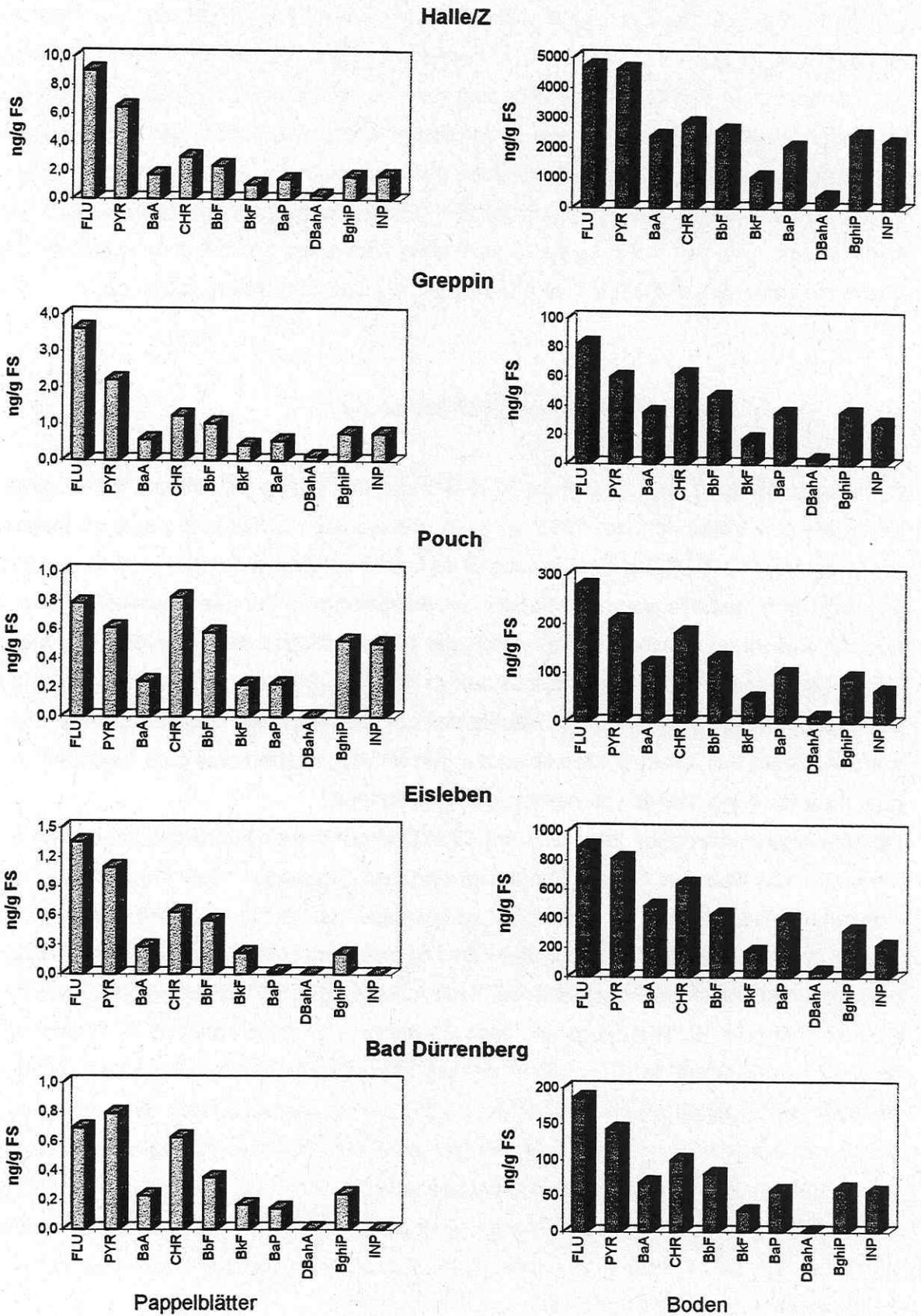
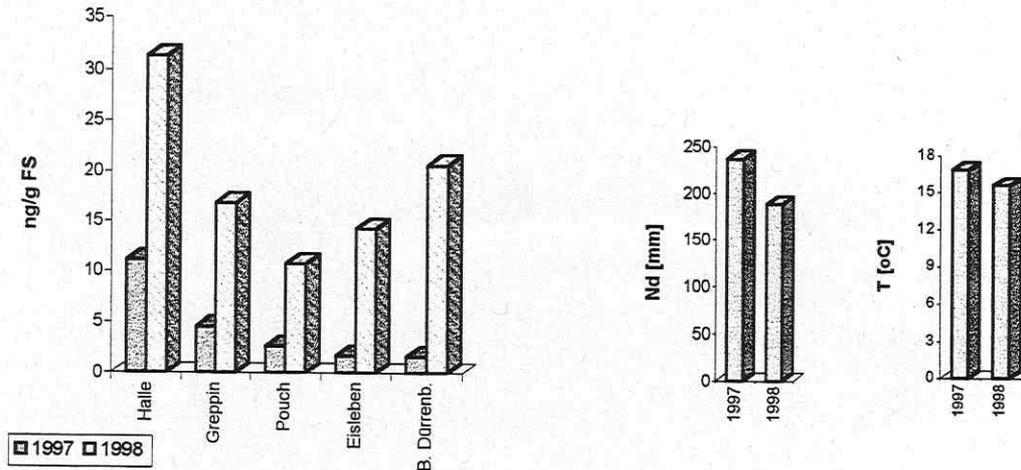


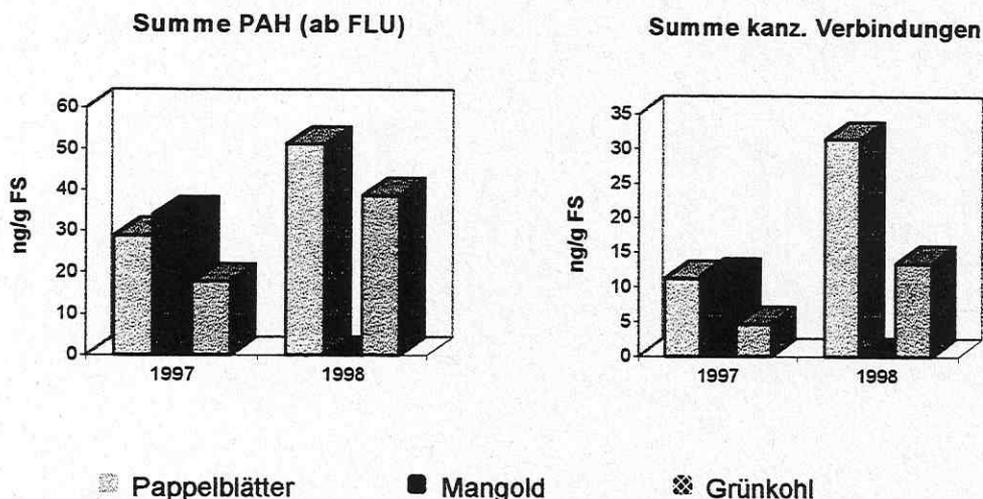
Abb. 8: PAH-Profile von Pappelblättern und Bodenproben an ausgewählten LÜSA-Meßstandorten im Jahr 1997



**Abb. 9:** Summe der kanzerogenen PAH in Pappelblättern im Vergleich zu Niederschlag ( $\Sigma$  Nd der Vegetationsperiode) und Temperatur ( $\bar{\varnothing}$  der Vegetationsperiode)

#### 4.1.3. Vergleich der PAH-Gehalte in Pappelblättern mit PAH-Gehalten in Kulturpflanzen

Da standardisierte Pappelblattproben eine Indikator- bzw. Stellvertreterfunktion für die Schadstoffbelastung von Primärproduzenten des entsprechenden Standortes haben, (KLEIN & PAULUS 1995), sollten auch mögliche Beziehungen zu ausgewählten Nutzpflanzen aufgezeigt werden. Dazu wurden an ausgewählten Standorten (vgl. Kap. 3.1.1.) zusätzliche Wirkungsuntersuchungen an Grünkohl und Mangold im Gefäßversuch durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Anhang 3 dargestellt. Vergleiche zwischen Pappelblatt- und Grünkohlproben am Standort Halle, die zum einen für die Summe der PAH (FLU-INP) und zum anderen für die kanzerogenen Verbindungen ( $\Sigma$  BaA, CHR, BbF, BkF, BaP, DBahA, INP) angestellt wurden, zeigten sowohl im Jahr 1997 als auch im Jahr 1998 für die PAH-Summe ein Verhältnis von  $\approx 1,5:1$  und für die kanzerogenen Verbindungen ein Verhältnis von  $\approx 2,5:1$  (Abb. 10). Für Benzo(a)pyren wurde ein Verhältnis von  $\approx 2:1$  errechnet. Der Vergleich zwischen den Pappelblattproben und Mangold ergab für beide Untersuchungsjahre bezüglich der PAH-Summe, der kanzerogenen Verbindungen und Benzo(a)pyren ein Verhältnis von  $\approx 1:1$ . Da von einer erhöhten Aufnahmebereitschaft der Pyramidenpappel gegenüber den meisten Nutzpflanzen ausgegangen wird (WAGNER 1987), sollte der BaP-Gehalt der Pappelblätter den Wert von  $1,0 \mu\text{g}/\text{kg}$  FS, der von verschiedenen Autoren (CRÖSSMANN 1992, SPEER et al. 1990, FRITZ 1983) als Richtwert für Lebensmittel pflanzlicher Herkunft angenommen wird, nicht überschreiten, um auch für Nahrungspflanzen die Einhaltung dieses Orientierungswertes annehmen zu können.



**Abb. 10:** Vergleich der Gesamtgehalte und der Gehalte der kanzerogenen PAH in Pappelblättern, Mangold und Grünkohl am Standort Halle/Z

Prozentual ergibt die Summe der kanzerogenen Verbindungen im Jahr 1997 für die Pappelblätter 38%, für Grünkohl 13% und für Mangold 34% der Gesamtsumme der PAH (Flu-  
INP), im Jahr 1998 sogar 55% für die Pappelblätter und 21% für Grünkohl. Dagegen konnten bezüglich des Benzo(a)pyren 1997 nur prozentuale Anteile von 4,9% für die Pappelblätter 2,2% für Grünkohl und 4,7% für Mangold an der Gesamtsumme der PAH ermittelt werden, 1998 waren es 6,3% für die Pappelblätter und 2,6% für Grünkohl. Wegen der teilweise recht hohen Anteile der kanzerogenen Verbindungen an der Gesamtsumme der PAH sollte für ökotoxikologische Betrachtungen anstelle des BaP die Summe der kanzerogenen Verbindungen, z.B. in Form von Toxizitätsäquivalenten (vgl. Kap 4.1.1.), genutzt werden.

Diese vorgestellten Befunde gelten vorrangig für den Standort Halle; an den übrigen untersuchten Standorten (Greppin, Pouch, Eisleben, Bad Dürrenberg) waren die PAH-Gehalte in den untersuchten Pflanzen insgesamt zu gering, um gesicherte Aussagen treffen zu können.

Einen Vergleich der Profile von Pappelblättern, Mangold und Grünkohl (Sommer 1998) sowie Grünkohl (Winter 1998) am Standort Halle/Z zeigt die Abbildung 11. Aufgrund der gleichen Immissionsverhältnisse ähneln sich die Sommerprofile der verschiedenen Pflanzenarten am Standort Halle sehr stark. Fluoranthen und Pyren als Hauptbestandteile der Immissionen nehmen die größten Anteile innerhalb der Profile ein. Das Winterprofil von Grünkohl zeigt hingegen ein etwas anders Bild. Es zeigte sich, daß die PAH-Gehalte des Grünkohls, insbesondere der Verbindungen Fluoranthen und Pyren, im Winter deutlich höher liegen als im Sommer. Auch HETTICHE (1971) und SCHÄFER (1997) konnten einen Einfluß der Jahreszeit auf die PAH-Gehalte in Grünkohl nachweisen, das heißt Maxima der Gesamtbel-

stung traten in den Monaten November/Dezember auf, während die Minima in die Monate Juni/Juli fielen.

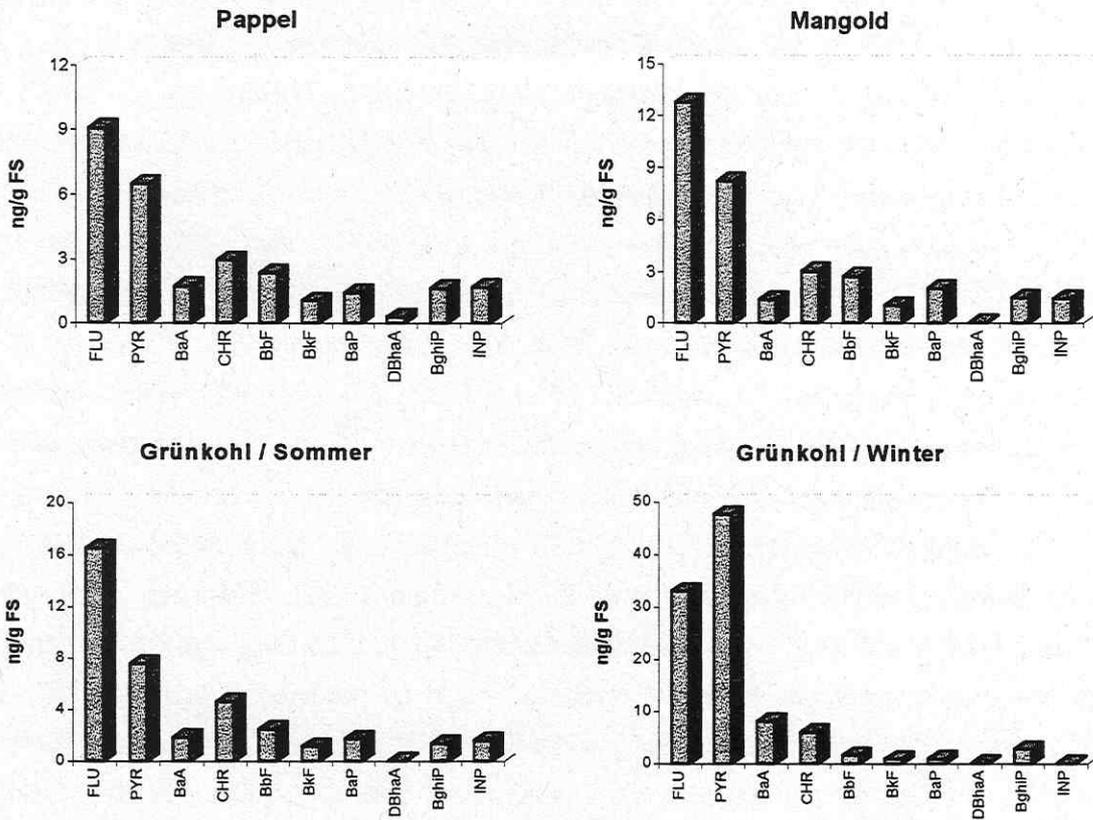


Abb. 11: PAH-Profile verschiedener Kulturen am Standort Halle/Z

Vergleicht man die PAH-Profile der 1997 und 1998 untersuchten Pflanzen an den fünf schon mehrfach genannten Standorten (Halle/Z, Greppin, Pouch, Eisleben und Bad Dürrenberg), so unterschieden sich diese vor allem bezüglich der Höhe der PAH-Gehalte; die insgesamt höchsten Gehalte konnten immer am Standort Halle/Z registriert werden, während die übrigen Standorte keine größeren Differenzierungen aufwiesen. Die niedrigsten Gehalte wurden meist am Standort Bad Dürrenberg verzeichnet. Insgesamt ergab sich die Reihenfolge Halle/Z, Greppin, Pouch, Eisleben Bad Dürrenberg.

## 4.2. Untersuchungen zur Immission und Deposition von PAH

Wegen der hohen Kosten und des relativ großen Arbeitsaufwandes beschränkte sich die Erfassung und analytische Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in der Luft bis in die 70er Jahre überwiegend auf die Bestimmung des Benzo(a)pyrens (KÖNIG et al. 1981, HEINRICH & GÜSTEN 1978, TURRIAN et al. 1977). Daneben gab es Versuche, zur Erfassung der PAH einfache Methoden einzusetzen, die es erlauben, die Luftbelastung in ausgewählten Regionen räumlich zu differenzieren. Dazu wurden einerseits Sedimentationsstäube analysiert (FECHNER 1980, URABE et al. 1973, KERTEZ-SARINGER 1972) und andererseits Pflanzen - speziell Grünkohl - als Indikator für die Luftbelastung eingesetzt (NOBEL et al. 1991, STEUBING et al. 1983, HETTICHE 1971). Andere Autoren (STRACHAN & HUNEAULT 1984, GEORGII & SCHMIDT 1983) berichteten über die Erfassung und Bestimmung ausgewählter PAH in Niederschlagsproben (Regen, Schnee). Zur Überwachung der PAH-Immissionssituation hat sich derzeit die Erfassung mit Filtergeräten etabliert (WEISWEILER et al. 1993, MÜCKE et al. 1991), wobei die Sammlung der Schadstoffe zunächst meist mit high volume samplern (z.B. HALSALL et al. 1993), später auch mit low volume samplern erfolgte. Letzgenannte sind aufgrund ihres geringeren Durchsatzes besser geeignet, längere Sammelperioden zu realisieren (z.B. SCHNELLE et al. 1996). Wegen des hohen Aufwandes bei der Beschaffung, Installation und Wartung der Geräte erfolgt ihr Einsatz jedoch nach wie vor punktuell und episodisch. Mit den vorliegenden Untersuchungen sollten kostengünstige Alternativen ermittelt werden, die eine Beurteilung der Luftbelastung mit PAH in größeren Arealen und/oder über längere Zeiträume erlauben.

### 4.2.1. Einsatz von Passivsammlern

Als Passivsammler wurden zunächst sowohl nicht imprägnierte als auch mit Paraffinöl imprägnierte handelsübliche Mikronfilter WB 50 der Fa. Dräger, die gemäß VDI-Richtlinie 3872 zur Probenahme bei der Messung von PAH in Abgasen von Kfz-Motoren verwendet werden, eingesetzt. Später kamen wegen der hohen Kosten dieser Filter, Glasfaserfilterstreifen GF 9 der Fa. Schleicher und Schüll zum Einsatz (vgl. Kap.3.1.4.).

Zur Ermittlung optimaler Einsatzbedingungen wurden die Passivfilter nach einer 9 wöchigen Expositionszeit (09.06. - 10.08.97) auf unterschiedliche Art und Weise (ASE, Soxhlet) mit verschiedenen Lösemitteln (Aceton/DCM; Toluol) extrahiert und unterschiedlichen clean up Prozeduren unterzogen (vgl. Kap. 3.2.4.). Trotz verschiedener, aufeinanderfolgender clean ups ist es nicht gelungen, die PAH's aus dem mit Paraffinöl imprägnierten Mikronfilter WB50, quantitativ zu isolieren (vgl. Anh. 8). Bezüglich der nicht imprägnierten Mikronfilter

WB 50 zeigte sich, daß mit beiden Extraktionsmethoden, ASE und Soxhlet, Ergebnisse in vergleichbarer Größenordnung erreicht wurden. Die Extraktionsausbeuten waren bei Verwendung des Lösungsmittels Toluol gegenüber dem Lösemittelgemisch Aceton/Dichlormethan (1:1/v:v) mehr als doppelt so hoch (vgl. Anh. 8). Prinzipiell ähnliche Ergebnisse wurden auch beim Einsatz von in lose Schlaufen gelegten Glasfaserfiltern GF 9 der Fa. Schleicher und Schüll erreicht, wobei die Gesamtmengen der extrahierten PAH insgesamt deutlich geringer ausfielen (vgl. Anh. 8). Naphthalin und Acenaphthen wurden wegen Unsicherheiten bei der Probenahme (Flüchtigkeit von Nap) bzw. nicht eindeutiger Quantifizierung des Ace (Peaküberlagerungen) nicht in die Auswertung einbezogen. Benzo(a)-anthracen konnte nicht nachgewiesen werden. Bezogen auf die Summe der 12 verbliebenen PAH wurden nur die niedermolekularen eher luftgetragenen PAH Phenanthren (50%), Fluoranthren (32%), Fluoren (12%) und Pyren (3,4%) in nennenswerten Mengen erfaßt; die toxisch relevanteren, höhermolekularen Verbindungen trugen insgesamt nur mit 1,4% zur Gesamtmenge der PAH bei. Da die Erfassung der überwiegend partikelgebundenen, toxisch relevanteren Vertreter dieser Stoffklasse mit dieser Methode nur unzureichend gelingt, wurde der Ansatz nicht weiter verfolgt.

#### **4.2.2. Einsatz von bulk samplern**

Der Bestimmung einzelner Inhaltsstoffe der Depositionen kommt aus gegenwärtiger Sicht wegen direkter (z.B. infolge von Bodenkontakten durch Kinder) und indirekter (Kontamination zum Verzehr bestimmter gärtnerischer Kulturen u.a.) Einwirkungswege eine besondere lufthygienische Bedeutung zu (LAHMANN 1990). Darüber hinaus ergibt die Bilanz der mittelbaren und unmittelbaren Exposition des Menschen gegenüber PAH, daß die Aufnahme über die Nahrung größer sein kann als die Aufnahme über die Luft (MARQUARDT & SCHÄFER 1994). Daher sollte auch die Deposition der PAH erfaßt werden. In diesem Zusammenhang wurde die bereits von POPP et al. (1997) verwandte Methode zunächst sowohl bezüglich der Kosten als auch bezüglich des zeitlichen und materiellen Aufwandes optimiert. Dies erfolgte vor allem durch den Einsatz der beschleunigten Lösemittelextraktion (ASE). Daneben wurden verschiedene clean up Prozeduren getestet und modifiziert. Mit den optimierten Bedingungen wurden Blindwerte und Wiederfindungsraten bestimmt, deren Ergebnisse in Tabelle 2 aufgelistet sind.

**Tab. 2:** Wiederfindungsraten von mit definierten Mengen eines Mischstandards dotierten Adsorbentmaterialien

PAH	BW (GF6, C18) ng/ml	STD Soll ng/ml	STD Ist		(GF6, C18) + STD %
			ng/ml	%	
Flu	245	475	374	79	82
Phe	61,5	342	328	96	104
Ant	n.d.	79,0	81,4	103	98
FLU	n.d.	764	712	93	92
PYR	n.d.	847	806	95	94
BaA	n.d.	409	396	97	90
CHR	n.d.	367	369	101	86
BbF	n.d.	417	418	100	99
BkF	n.d.	472	443	94	81
BaP	n.d.	491	452	92	80
DBahA	n.d.	354	346	98	82
BghiP	n.d.	368	345	94	79
INP	n.d.	428	425	99	89

In Anlehnung an die Bergerhoff-Methode wurden von 10/97 bis 09/98 an ausgewählten Standorten unterschiedlicher Belastung (Halle/Z, Leipzig, Greppin, Pouch, Eisleben, Bad Dürrenberg) spezielle bulk sampler aufgestellt (vgl. Kap. 3.1.5.). Diese wurden monatlich beprobt und entsprechend der optimierten Methode aufgearbeitet.

Die Ergebnisse belegen, daß die PAH-Belastung in urbanen Gebieten (Halle, Leipzig) deutlich höher ist als im Umland (Tab. 3). Trotz unterschiedlicher Depositionsmatrizes und unterschiedlicher PAH-Summen (vgl. SCHÄFER 1997) zeigten die ermittelten durchschnittlichen jährlichen Depositionsraten der eingetragenen PAH eine relativ gute Übereinstimmung. WILD & JONES (1995) schätzten für Großbritannien ebenfalls mittlere jährliche Einträge in dieser Größenordnung (8,54 g/ha\*a) ein. Die gegenüber Leipzig nochmals höhere Belastung in Halle ist vermutlich den unmittelbaren Standortbedingungen geschuldet. In Leipzig befand sich der bulk sampler auf einer Freifläche des UFZ-Geländes, während der Standort Halle mitten im dicht besiedelten Stadtzentrum auf dem Gelände der Kliniken der Martin-Luther-Universität situiert war.

**Tab. 3.:** Vergleich der mittleren jährlichen PAH-Depositionen [g/ha\*a]

Halle*	Leipzig*	Greppin*	Pouch*	Eisleben*	Bad Dürrenberg*	Bad Lauchstädt**
18,0	8,37	5,71	4,02	3,04	4,21	1,50

\* Depositionsmatrix: bulk sampler; Zeitraum: 10/97-09/98;  $\Sigma$ (Flu, Phe, Ant, FLU, PYR, BaA, CHR, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, INP)

\*\* Depositionsmatrix: Boden, Bodendichte: 1,35 g/cm<sup>3</sup>; Zeitraum: 05/95-11/96;  $\Sigma$ (FLU, PYR, BaA, CHR, BbF, BkF, BaP, BghiP, INP, COR); SCHÄFER 1997

Die mittleren PAH-Profile an den einzelnen Standorten unterschieden sich im Gegensatz zu den eingetragenen Gesamtmengen im wesentlichen nicht (Abb. 12). Die Verbindungen Phenanthren, Fluoranthen und Pyren lieferten den größten Anteil an der Gesamtbelastung

(Phe: 18 - 23%, FLU: 19 - 21%, PYR: 13 - 17%). Die kanzerogenen Verbindungen (BaA, CHR, BbF, BkF, BaP, DBahA, INP) trugen zusammen mit 24 - 37% zur Summe der PAH bei, wobei der Anteil des BaP nur 3 - 5% betrug. Prinzipiell ähnliche Profile erhielt auch SCHÄFER (1997) mit Unterbodenmaterial als Depositionsmatrix.

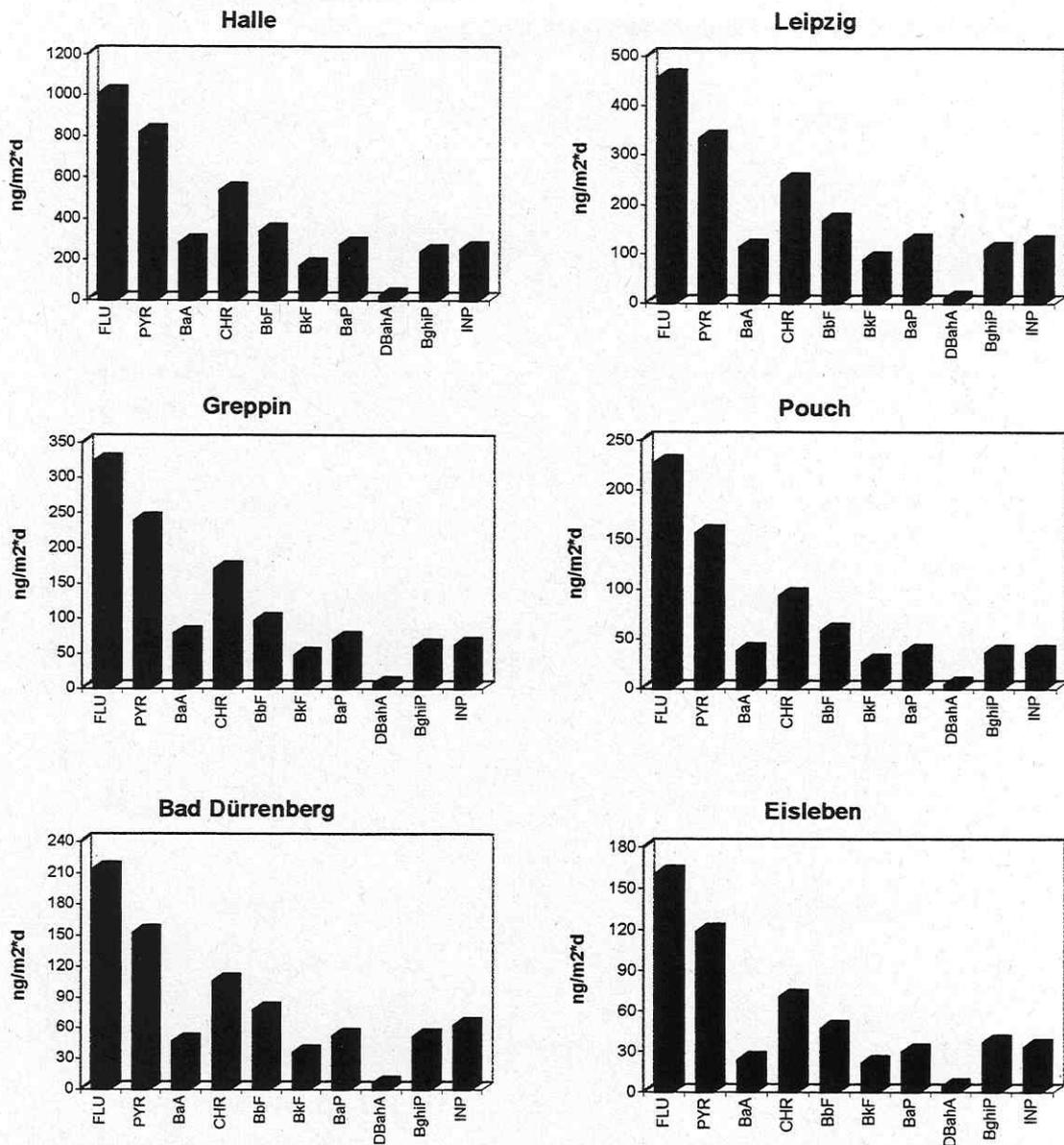
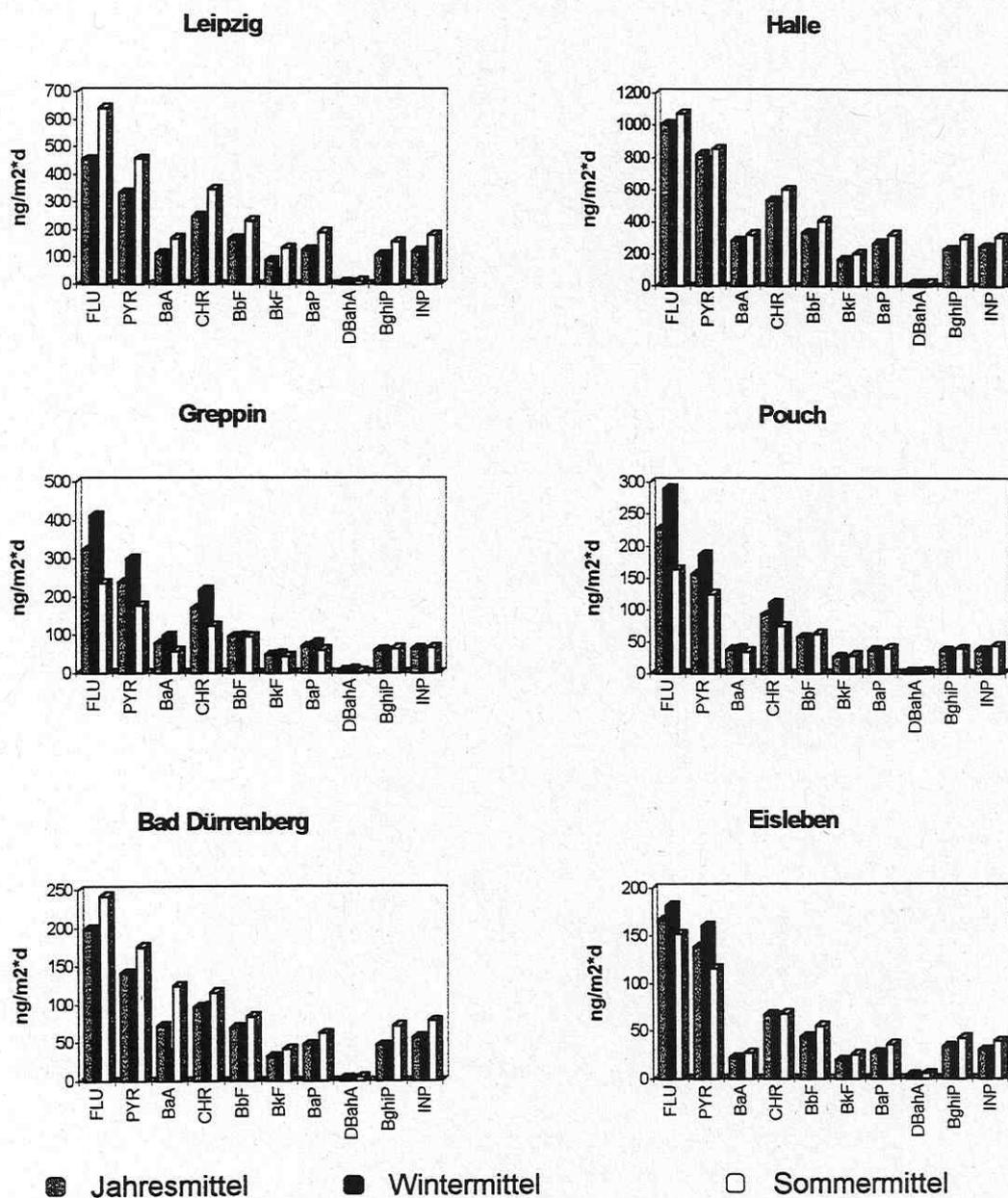


Abb. 12: Mittlere Profile der Deposition polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe ausgewählter Standorte im Zeitraum 10/97 - 09/98

Eindeutige jahreszeitliche Differenzierungen waren weder bezüglich der Höhe der eingetragenen PAH noch bezüglich der Profile festzustellen (Abb. 13). An den Standorten Greppin und Pouch lagen die mittleren Gehalte von FLU, PYR und teilweise auch BaA, CHR, BbF und BaP des Winterhalbjahres über denen des Sommerhalbjahres; eindeutig statistisch absichern ließ sich dieser Befund jedoch nicht. Die höheren durchschnittlichen PAH-

Gehalte während des Sommerhalbjahres an den Standorten Leipzig, Halle und Bad Dürrenberg lassen sich möglicherweise durch die stärkere Verschmutzung der Niederschläge infolge von Baumaßnahmen erklären. Insgesamt traten über den Untersuchungszeitraum erhebliche Schwankungen der deponierten Mengen der einzelnen PAH's auf (vgl. Anh. 6). Zu ähnlichen Resultaten kamen auch POPP et al. (1997) bei Depositionsuntersuchungen an unterschiedlich belasteten Standorten im Stadtgebiet von Halle.



**Abb. 13:** Jahreszeitliche Unterschiede der PAH-Deposition an ausgewählten Standorten im Zeitraum 10/97 - 09/98

Im Gegensatz dazu fand SCHÄFER (1997) bei Untersuchungen mit Unterbodenmaterial als Depositionsmatrix in Bad Lauchstädt jahreszeitliche Unterschiede, die für FLU, BbF, BkF und INP signifikant waren und weniger deutlich ausgeprägte Differenzen zwischen den

Sommer- und Wintergehalten bezüglich der Verbindungen PYR und BaA. Ebenfalls keine Unterschiede bestanden hinsichtlich der Verbindungen BaP, DBaH und BghiP.

Im Ergebnis einer Clusteranalyse (Abb. 14) wird dies nochmals deutlich. Mit Ausnahme der Probe von Juni 98 in Bad Dürrenberg (D06/98), die durch einen toten Vogel kontaminiert war sowie der Proben 01/98 in Bad Dürrenberg (insgesamt sehr geringe PAH-Gehalte) und 10/97 in Eisleben (durch sich zersetzende Blätter verunreinigt) ließen sich für die gebildeten Gruppen keine stichhaltigen Gründe angeben.

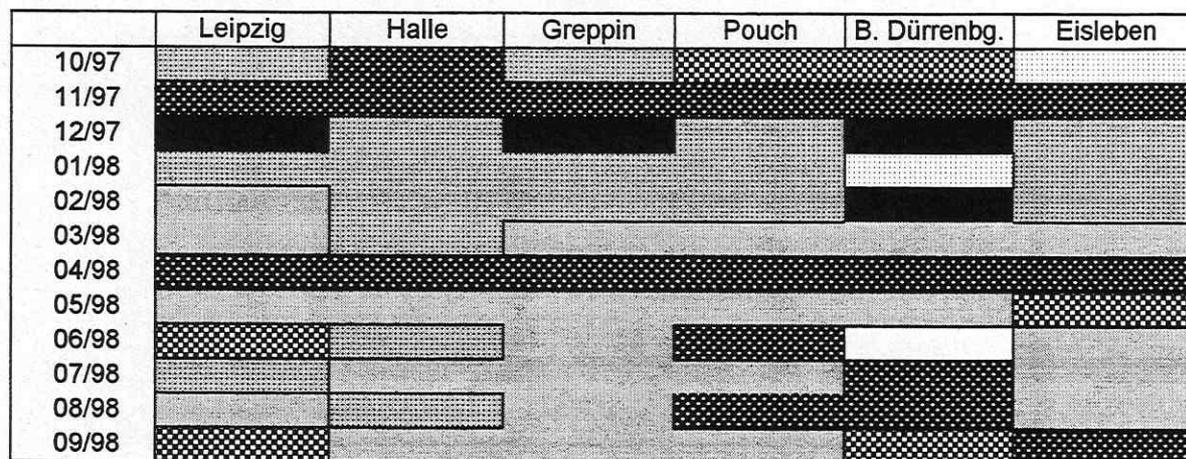


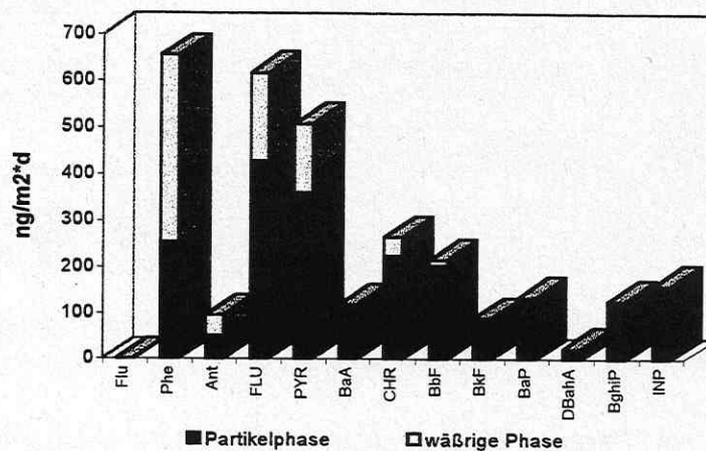
Abb. 14: Gruppen ähnlicher PAH-Depositionen im Ergebnis einer Clusteranalyse (72 Fälle, Ward-Methode, Distanz: 1-Pearson r, Distanz: 0,2)

Die Gründe für dieses Verhalten können sehr vielfältig sein. Aufgrund der sich sowohl räumlich als auch zeitlich ständig verändernden Einflußgröße einer der wichtigsten Emissionsquellen, nämlich dem Kraftfahrzeugverkehr, werden die PAH's bereits in unterschiedlichem Maße in die Atmosphäre eingetragen. Dort unterliegen sie sowohl der chemischen Oxidation als auch photochemischen Umwandlungen mit  $O_3$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$ - und OH-Radikalen (ALEBIC-JURETIC et al. 1990, NIKOLAU et al. 1984, VALERIO et al. 1984), wobei derzeit noch keine realistischen Verweilzeiten der einzelnen Verbindungen in der Atmosphäre bekannt sind (WILD & JONES 1995). Für die Verbreitung der PAH's in der Umwelt ist der atmosphärische Transport die wichtigste Quelle (COLOMBINI et al. 1998). Der Austrag aus der Atmosphäre erfolgt im wesentlichen durch nasse und trockene Deposition. Hieraus ergibt sich, daß die jeweils am Standort herrschenden meteorologischen Verhältnisse (z.B. Niederschlagsgeschehen, Lufttemperatur, Sonnenscheindauer, Ozongehalt der Luft, Windverhältnisse) für die Gehalte der einzelnen PAH in der Probe eine bedeutende Rolle spielen. Im Gegensatz zu GEORGII & SCHMIDT (1983), die eine enge Korrelation zwischen PAH-Konzentration und Temperatur der Atmosphäre feststellten und COLOMBINI et al. (1998), die bei erhöhten Niederschlägen bzw. längeren Regenperioden verminderte PAH-Gehalte in der Luft registrierten, zeigte sich bei unseren Untersuchungen zwar eine Beein-

flussung durch die Niederschlagshöhe und die Lufttemperatur (vgl. Kap. 4.1.2.), die sich statistisch jedoch nicht eindeutig absichern ließ.

#### Vor- und Nachteile des Einsatzes von bulk samplern

Die Methode der Erfassung der PAH-Deposition mit bulk samplern ermöglicht mit einem relativ geringen Aufwand bei der Probenahme und der analytischen Aufarbeitung (s. Kap. 3.1.5., 3.2.5.) Aussagen zur PAH-Belastung ausgewählter Regionen auch über längere Zeiträume hinweg. Da die toxisch relevanten Verbindungen BaA, CHR, BbF, BkF, BaP, DBahA und INP größtenteils (85-100%) an die Partikelphase gebunden sind (Abb. 15), ließe sich der analytische Aufwand sogar noch verringern, indem nur die belegten Glasfaserfilter aufgearbeitet würden.



**Abb. 15:** Verteilung der PAH-Gehalte zwischen Partikel- und wässriger Phase der bulk Deposition am Standort Halle im November 1997

Nachteilig wirkt sich, insbesondere während der Sommermonate, das Gefäßmaterial aus. Bei höheren Temperaturen und/oder längerer Sonneneinstrahlung erwärmen sich die Edelstahlbehälter, so daß es in den Gefäßen zu einer relativ starken Verdunstung und Algenbildung kommt. Darüber hinaus ist die Gefahr der Verschmutzung durch hineinfallende Insekten und Blätter aufgrund der relativ großen, ungeschützten Oberfläche und damit unerwünschter Matrixeffekte nicht zu unterschätzen.

#### **4.2.3. Einsatz von low volume samplern**

Zusätzlich zu den ursprünglich geplanten Untersuchungen wurde auf dem Gelände des UFZ im April '98 ein low volume sampler zur Ermittlung der PAH-Immissionskonzentration installiert. Dieser Sammlertyp gewinnt gegenüber den high volume samplern zunehmend an Bedeutung, da er aufgrund des geringeren Durchsatzes besser geeignet ist, längere Sam-

melperioden zu realisieren (vgl. GRIMMER et al. 1997, SCHNELLE et al. 1996). Im allgemeinen besteht zwischen den Ergebnissen beider Sammlertypen eine gute Übereinstimmung (KLOSTER 1992), so daß der Vergleich zu den in Routinemeßprogrammen erfaßten PAH-Konzentrationen in der Luft problemlos möglich ist. Mit dem gewählten Ansaugmodus (vgl. Kap. 3.1.6.) war es möglich, eine repräsentative integrative Probe der Immissionskonzentration für diesen Monat zu erhalten. Im Zeitraum Juni bis August 1998 wurden auf dem Gelände des UFZ und in Greppin nochmals low volume sampler und parallel dazu weitere bulk sampler installiert. Für die Probeaufarbeitung wurden, anders als bei den in Kap. 4.2.2. beschriebenen bulk samplern, mildere Extraktionsbedingungen gewählt, da die gewonnenen Proben in erster Linie bezüglich anderer organischer Inhaltsstoffe (HCH) analysiert wurden. Als Extraktionsmittel wurde Aceton/n-Hexan (1:1/v:v) eingesetzt. Die Extraktionstemperatur betrug 85°C und der Extraktionsdruck 100 bar (vgl. Kap. 3.2.6.). Ein Zehntel des auf 2 ml reduzierten Extraktes wurde nach Zusatz von 10 µl Octanol unter Stickstoff zur Trockne eingeeengt, in 500 µl Acetonitril aufgenommen und nach Filtration mittels HPLC gemessen.

Ein Vergleich der Ergebnisse der PAH-Immissionskonzentrationen mit Werten anderer Autoren (Tab. 4) belegt, mit Ausnahme des Verkehrsstandortes (Dessau), eine relativ gute Übereinstimmung. Die gegenüber Halle geringeren PAH-Gehalte in Leipzig sind möglicherweise darauf zurückzuführen, daß das Gelände des UFZ relativ frei gelegen ist und gute Luftaustauschbedingungen gegeben sind.

Tab.: 4: Mittlere PAH-Immissionskonzentrationen [ng/Nm<sup>3</sup>]

	eigene Werte		FEIST 1997		SCHÄFER 1997	GRIMMER 1997	LAU 1998
	Leipzig <sup>1)</sup>	Greppin <sup>2)</sup>	Halle <sup>3)</sup>	Halle <sup>4)</sup>	Bd. Lauchst. <sup>5)</sup>	Halle/Leipzig	Dessau <sup>6)</sup>
Flu	3,97	3,34					
Phe	17,7	0,27	16,8	30,5		6,73	
Ant	0,38	1,84	0,70	1,70		0,55	
FLU	3,31	0,60	5,80	10,4	1,96	1,95	
PYR	1,63	0,16	4,20	9,20	1,15	0,99	
BaA	0,25	0,10	0,70	1,30	0,10	0,09	1,22
CHR	0,22	0,13	1,00	1,90	0,24	0,21	1,83
BbF	0,26	0,03	0,70	1,40	0,18	0,49	1,55
BkF	0,09	0,01	0,40	0,80	0,08		0,81
BaP	0,10	0,00	0,30	0,40	0,10	0,11	1,47
DBahA	0,02	0,07			0,07	0,04	0,16
BghiP	0,18	0,10	0,90	2,00	0,14	0,17	1,34
INP	0,21	0,21		1,50	0,33	0,17	

1) Zeitraum: 04/98, 06 - 08/98

2) Zeitraum: 06 - 08/98

3) Zeitraum: 04/97, Sto.: Paulusschule

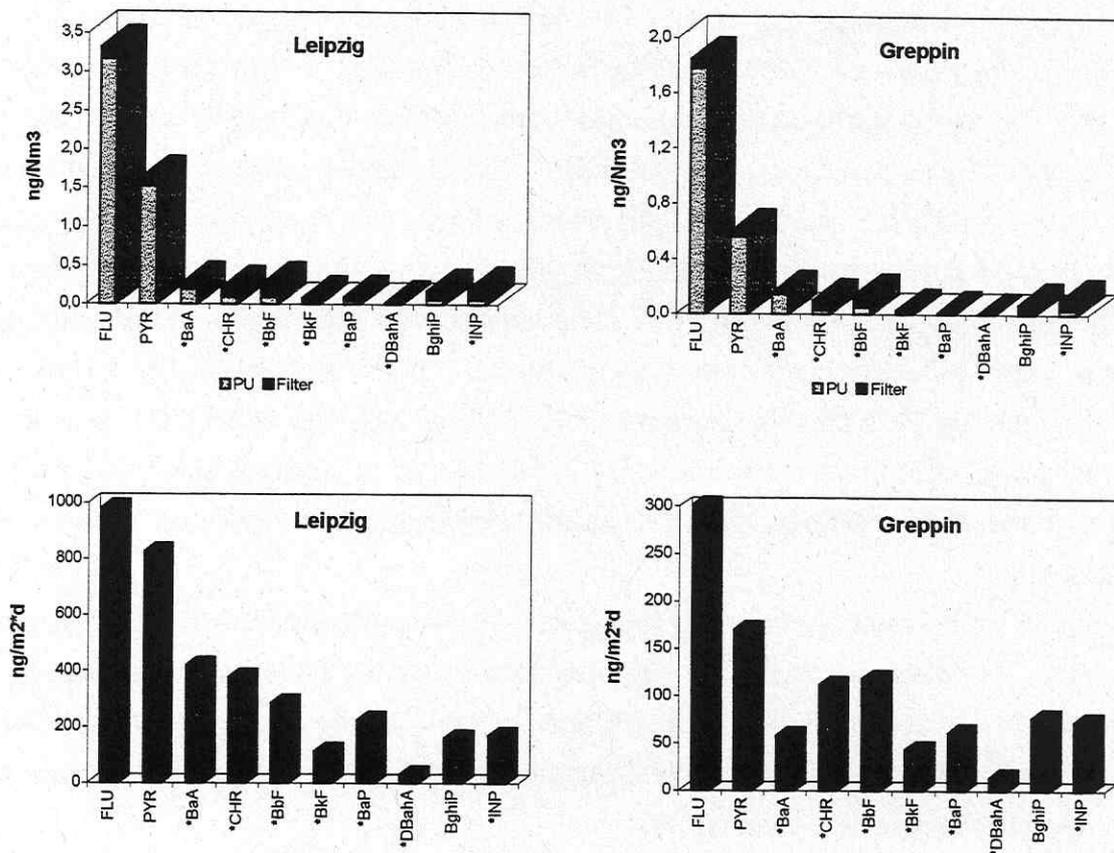
4) Zeitraum: 04/97, Sto.: Brunnenstr./Burgstr.

5) Zeitraum: 06/94, 04 - 09/95, 04/96

6) Zeitraum: 01 -12/97, Verkehrssto.

Betrachtet man die Sammelmedien der low volume sampler getrennt, zeigt sich erwartungsgemäß, daß auf den Glasfaserfiltern verstärkt die höhermolekularen, partikelgebun-

denen PAH gesammelt wurden, während in den PU-Schäumen eher die luftgetragenen, niedermolekularen Verbindungen vertreten waren (vgl. Abb. 16).

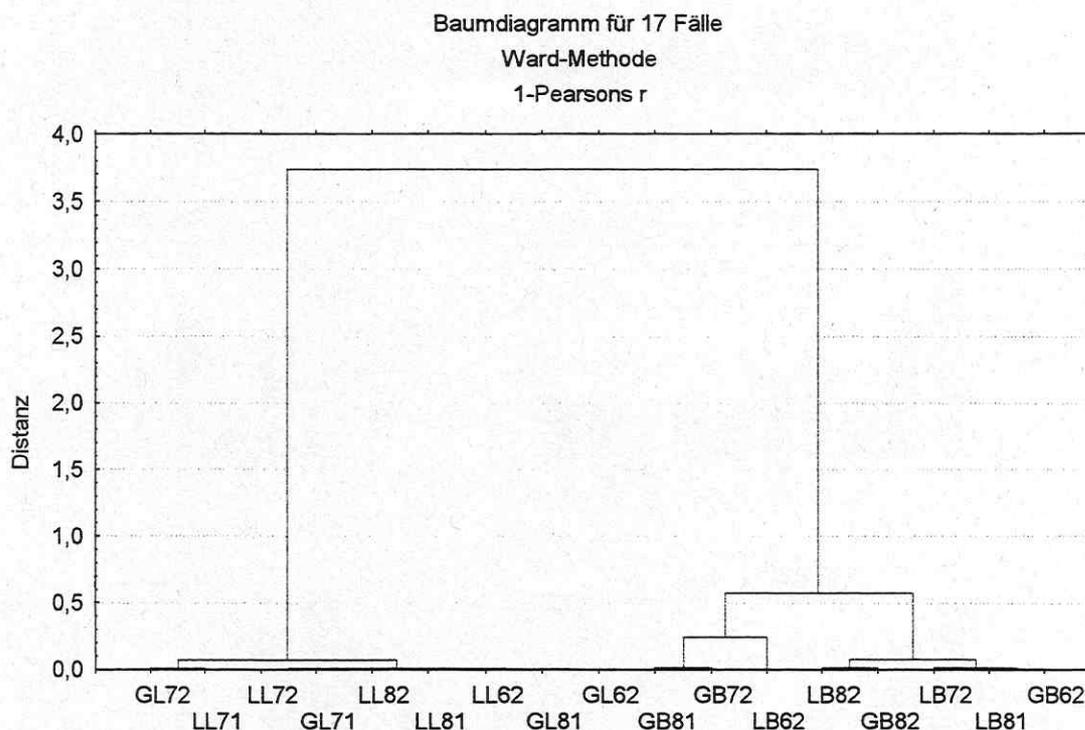


**Abb. 16:** Mittlere PAH-Immissions- [ $\text{ng}/\text{Nm}^3$ ] und -Depositionsprofile [ $\text{ng}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ] an ausgewählten Standorten im Sommer 1998

Anhand dieser Abbildung wird gleichzeitig deutlich, daß die Belastungsunterschiede beider Standorte bezüglich der Immissionssituation weniger deutlich zum Ausdruck kamen als bezüglich der PAH-Deposition. GRIMMER et al. (1997) erhielten bei Immissionsmessungen in verschiedenen Regionen der Bundesrepublik (Halle/Leipzig, Saarland, Großhansdorf bei Hamburg), die mehr als 400 km voneinander entfernt lagen, ähnliche Resultate. Insbesondere die Profile der eher flüchtigen PAH (Phe, Ant, FLU, PYR; vgl. Anh. 1) glichen sich in allen untersuchten Flächen sehr stark. Bei den höhermolekularen Verbindungen traten etwas größere Differenzen auf. Nach Meinung der Autoren weist dieser Effekt auf einen „long distance intermix“ in der Atmosphäre hin, der durch die besonders weite Verbreitung der flüchtigeren PAH begründet ist.

Zwischen den PAH-Profilen der beiden Matrices traten, wie durch eine Clusteranalyse (Abb. 17) belegt werden konnte, signifikante Unterschiede auf. So ist das Verhältnis der Verbindungen Fluoranthen und Pyren zu den übrigen PAH's bei den Depositionen deutlich enger als bei den Immissionen. Gründe für dieses Verhalten liegen in der weiträumigen Verteilung

der luftgetragenen PAH's sowie der relativ quellnahen Deposition der an größere Partikel gebundenen PAH's (vgl. WILD & JONES 1995).

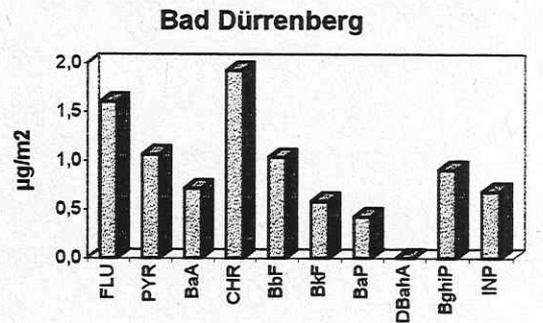
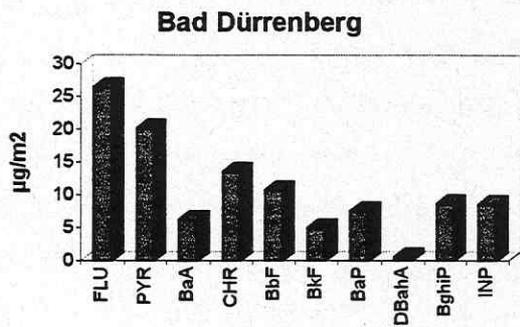
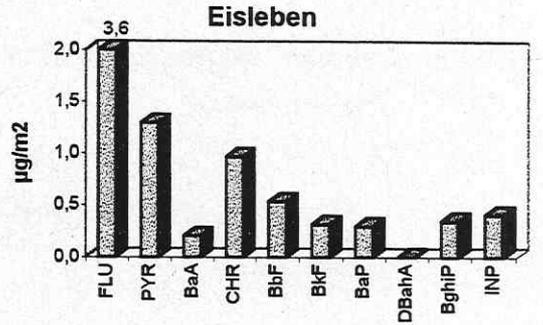
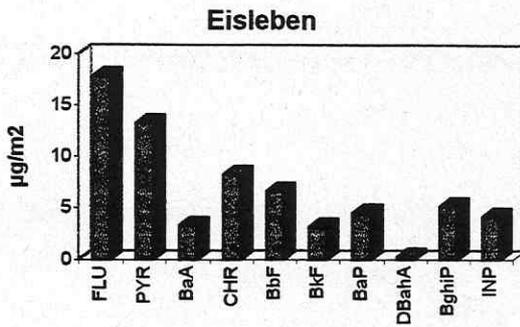
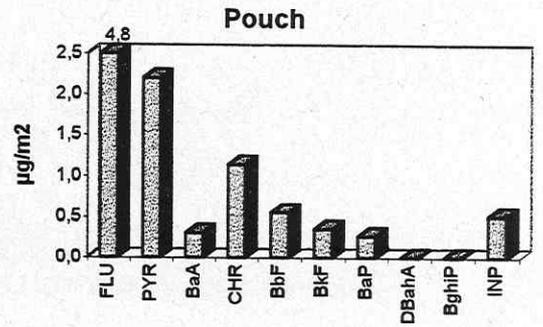
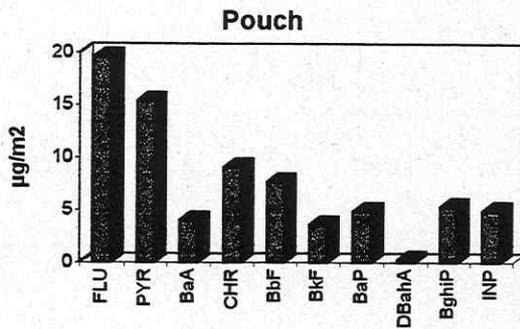
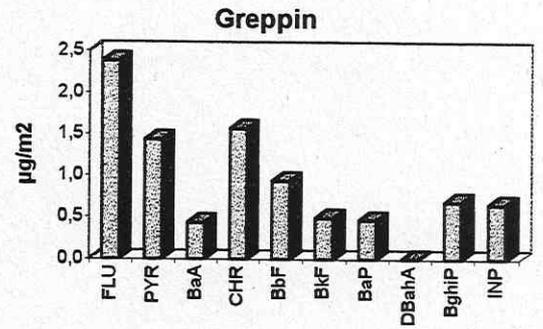
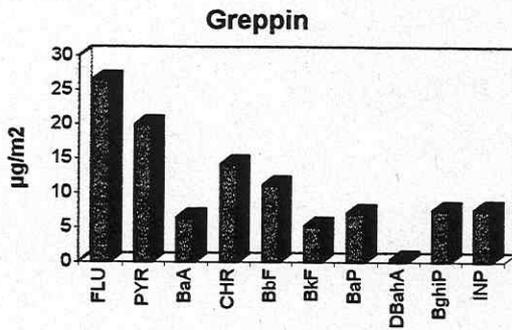
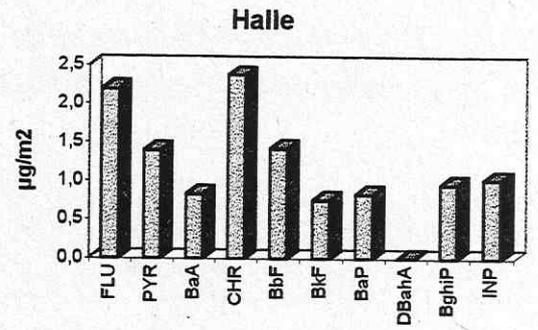
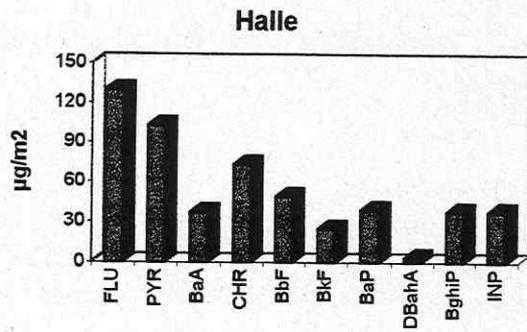


**Abb. 17:** Clusteranalyse der PAH-Gehalte in Proben von bulk samplern (GBXX, LBXX) und low volume samplern (GLXX, LLXX)

### 4.3. Vergleichende Betrachtungen zu PAH-Emissions-/Immissions- und -Depositionsprofilen

#### 4.3.1. Gegenüberstellung der PAH-Profile von bulk-Depositionen und Pappelblättern

Während der Vegetationsperiode 1998 (15.04. - 11.08. = 117 d) wurde an den ausgewählten Standorten die PAH-Deposition, ermittelt mit Hilfe von bulk samplern, der PAH-Belastung der Vegetation, bezogen auf die Beaufschlagung der Blattoberfläche von Pyramidenpappeln, gegenübergestellt (Abb. 18). Dabei wurden flächenbezogene Akkumulationsraten über das spezifische Blattflächengewicht derart berechnet, daß von 240 durchschnittlich großen Blättern die Blattfläche ermittelt wurde, die anschließend mit den jeweiligen Frischgewichten dieser 240 Blätter gewichtet wurde ( $\Rightarrow$  Halle 0,23 kg/m<sup>2</sup>; Greppin 0,27 kg/m<sup>2</sup>; Pouch 0,29 kg/m<sup>2</sup>; Eisleben 0,19 kg/m<sup>2</sup>; Bad Dürrenberg 0,26 kg/m<sup>2</sup>).



bulk sampler

Pappelblätter

Abb. 18: Vergleich der flächenbezogenen Depositionen (bulk sampler, Pappelblätter) im Zeitraum 15.4.98 - 11.08.98

Die mit den bulk samplern erfaßten Depositionsraten sind gegenüber den flächenbezogenen Akkumulationsraten der Pappelblätter für den betrachteten Zeitraum um das ca. zehnfache erhöht (vgl. Tab. 5). Am Standort Halle/Z sind die Depositionsraten sogar um das 50fache erhöht, was möglicherweise auf im betrachteten Zeitraum stattgefundene Baumaßnahmen mit unmittelbaren Auswirkungen im oberflächennahen Bereich zurückzuführen ist. Eine mögliche Erklärung für die große Differenz besteht darin, daß an den Pappelblättern oberflächlich anhaftende, noch nicht in die Wachsschicht eingelagerte PAH's mit den Niederschlägen wieder abgewaschen werden, während in den bulk samplern weniger Verluste auftreten. Darüber hinaus können sich die Depositionsraten durch in bulk sampler gefallene, sich zersetzende Blätter und Pflanzenteile zusätzlich erhöhen. Vergleicht man die Profile der Depositionsraten mit denen der Akkumulationsraten, so wird deutlich, daß sie mit Ausnahme der CHR-Gehalte in den Pappelblättern an den Standorten Halle/Z und Bad Dürrenberg relativ gut übereinstimmen. Die vergleichsweise hohen FLU-Gehalte in den Pappelblättern an den Standorten Pouch und Eisleben könnten aufgrund der größeren Anzahl von Tagen mit Starkwind (WS 11 - 17 m/s) innerhalb der Vegetationsperiode 1998 auf Ferntransport zurückzuführen sein.

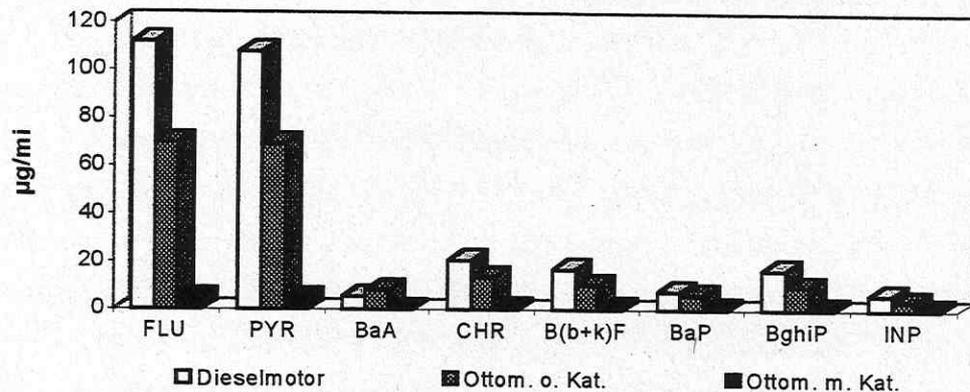
Insgesamt belegen die Untersuchungen, daß zur Beurteilung der immissionsbedingten regionalen PAH-Belastung beide Methoden gleichermaßen geeignet sind.

**Tab. 5:** Flächenbezogene Gegenüberstellung von PAH-Gehalten (Summe FLU bis INP) in Pappeln und bulk samplern

	Halle/Z	Greppin	Pouch	Eisleben	Bd. Dürrenbg.
<b>bulk sampler</b>	530	104	73,9	65,6	106
<b>Pappel</b>	11,7	9,02	10,1	7,97	8,91
<b>bulk/Pappel</b>	45,3	11,5	7,32	8,23	11,9

#### 4.3.2. Vergleich von Kfz-Emissionsprofilen mit Immissions-, Depositions- und Pappelblattprofilen an ausgewählten Standorten

Der Straßenverkehr wird wegen der geringen Ableithöhen seiner Emissionen, die im Aufenthaltsbereich der Menschen unmittelbar als Immissionen wahrnehmbar sind, häufig als Hauptverursacher von Luftverschmutzungen empfunden. Obwohl dies für bestimmte Schadstoffe und spezifische regionale bzw. lokale Gegebenheiten durchaus möglich sein kann, sollte der reale Tatbestand für konkrete Einzelfälle jeweils geprüft werden (LAU 1998). Unstrittig ist hingegen die wachsende Bedeutung des Kfz-Verkehrs als Emissionsquelle allgemein und für PAH's im besonderen. In diesem Zusammenhang zeigt sich, daß sich die PAH-Emissionen einzelner Motortypen erheblich unterscheiden (vgl. Abb. 19).



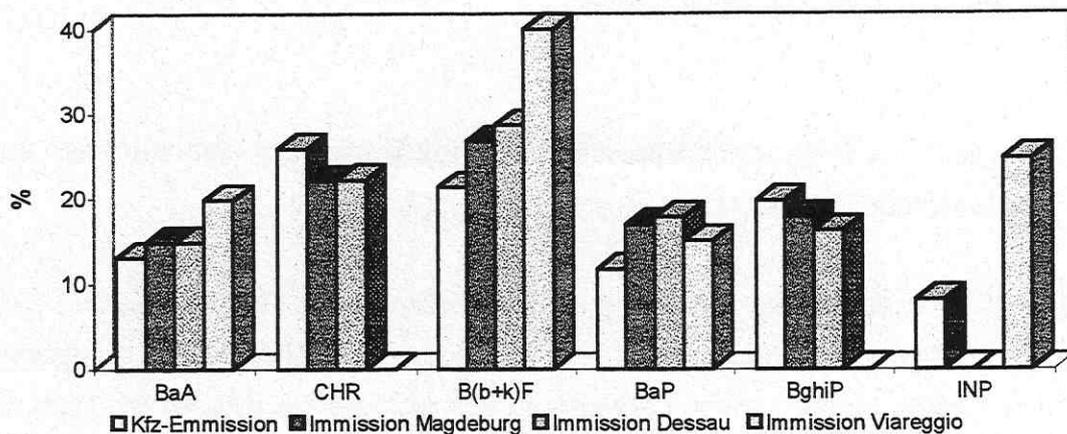
**Abb. 19:** PAH-Emissionen verschiedener Motortypen nach VW AG (1988); ( $\mu\text{g}/\text{mi}$  -  $\mu\text{g}/\text{Meile}$ )

Zum Vergleich der Emissionen und Immissionen ausgewählter, toxisch relevanter Verbindungen der Klasse der PAH wurde unter Berücksichtigung der aktuellen Anteile einzelner Motorkonzepte am Pkw-Bestand Sachsen-Anhalts (Tab. 6) ein gewichtetes mittleres Kfz-Emissionsprofil dieser Verbindungen berechnet und Messungen an Verkehrsknotenpunkten (LAU 1998, COLOMBINI et al. 1998) gegenübergestellt (Abb. 20).

**Tab. 6:** Anteile einzelner Motorkonzepte am Pkw-Bestand Sachsen-Anhalts 1997 (LAU 1998)

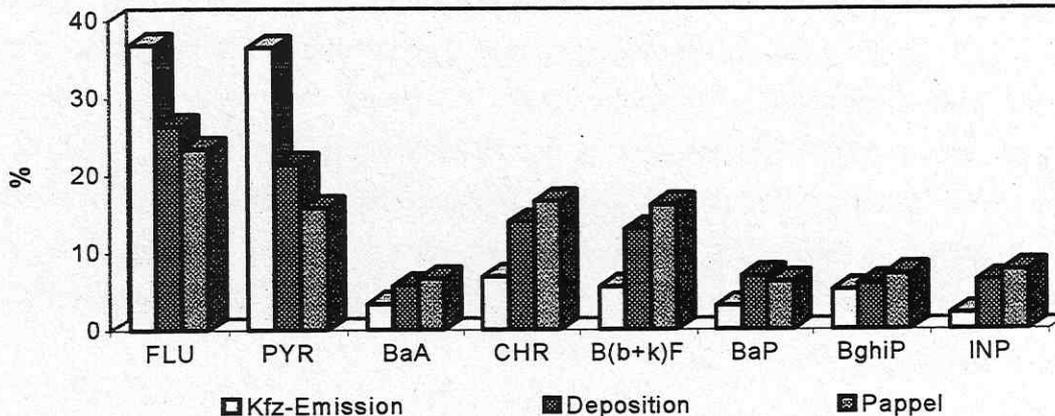
Pkw mit geregelterm Katalysator	61,0%
Pkw mit ungeregelterm Katalysator	1,8%
Pkw mit konventionellem 4-Takt-Motor	26,6%
Pkw mit konventionellem 2-Takt-Motor	2,8%
Pkw mit schadstoffminimiertem Dieselmotor	7,0%
Pkw mit konventionellem Dieselmotor	0,8%
Pkw mit sonstigem Antrieb	> 0,01%

Dargestellt sind jeweils die prozentualen Anteile ausgewählter PAH bezogen auf deren Summen. Dabei zeigte sich, daß das Emissionsprofil mit den Immissionsprofilen an den Verkehrsmeßcontainern in Magdeburg und Dessau sehr gut übereinstimmte, während zu dem Immissionsprofil an einer Mautstation im italienischen Viareggio (COLOMBINI et al. 1998) z.T. größere Differenzen auftraten. Zurückzuführen ist das möglicherweise darauf, daß bezüglich des mittleren Kfz-Emissionsprofils keine Anteile aus dem Lkw-Verkehr, der auf Autobahnen einen relativ großen Beitrag zum Gesamtverkehrsaufkommen leistet, berücksichtigt wurden.



**Abb. 20:** Gegenüberstellung der prozentualen Anteile ausgewählter PAH von Kfz-Emissionen und Immissionen

Vergleicht man dagegen die prozentualen Anteile ausgewählter PAH eines mittleren gewichteten Kfz-Emissionsprofils mit denen der mittleren Depositionsraten und denen der entsprechenden Akkumulationsraten in Pappelblättern (Abb. 21), so zeigt sich ein anderes Bild:



**Abb. 21:** Vergleich der prozentualen Anteile ausgewählter PAH eines mittleren Kfz-Emissionsprofils mit dem mittleren Depositions- und Pappelblattprofil am Standort Halle/Z

Während bezüglich der Verbindungen FLU und PYR die Anteile im Emissionsprofil diejenigen im Depositions- und Pappelblattprofil übersteigen, was, aufgrund einer vergleichsweise höheren Flüchtigkeit dieser Verbindungen (vgl. Anh. 1), möglicherweise auf Ferntransport dieser Verbindungen hinweist, sind die Anteile der übrigen Verbindungen in den Depositions- und Pappelblattprofilen gegenüber dem Emissionsprofil teilweise deutlich erhöht. Mög-

licherweise sind diese Effekte auf weitere Quellen bzw. auf eine Sekundärbeeinflussung durch aufgewirbelte Partikel zurückzuführen.

#### 4.3.3. Vergleich von Kfz- und Kohleemissionsprofilen mit Depositionsprofilen an ausgewählten Standorten

WILD & JONES (1995) postulierten, daß in Großbritannien die PAH-Emissionen zu mehr als 95% durch den Kohlehausbrand und den Kfz-Verkehr dominiert werden. Aufgrund ähnlicher Wirtschaftsstrukturen kann in Deutschland von einer vergleichbaren Situation ausgegangen werden. Der Immissionsbericht 1997 des Landes Sachsen-Anhalt (LAU 1998) weist für die Erhebungsjahre 1995/96 einen verkehrsbedingten Anteil an den Emissionen organischer Gase und Dämpfe, zu denen auch die Gruppe der PAH gerechnet wird, von 67% aus. Trotz des kontinuierlichen Rückgangs des Einsatzes von Kohle in den Haushalten der neuen Bundesländer, betrug der Anteil des Hausbrandes an diesen Emissionen im genannten Zeitraum in Sachsen-Anhalt noch 18%. Für den Bereich Haushalte und Kleinverbraucher wurden 1997 189523 t Braunkohlenbriketts bereitgestellt, davon 72022 t (38%) MIBRAG-Kohle und 117449 t (62%) Lausitzer Kohle (LAU 1998).

Die Gegenüberstellung der prozentualen Anteile ausgewählter PAH mittlerer gewichteter Kfz- und Kohle-Emissionen und der mittleren bulk Depositionen im Winterhalbjahr 1997/98 an unterschiedlich belasteten Standorten (Abb. 22) belegt eine relativ gute Übereinstimmung zwischen den PAH-Emissionen und den PAH-Depositionen. Da die Höhe der Depositionsraten der einzelnen PAH während des Sommerhalbjahres, in dem der Hausbrand nur von untergeordneter Bedeutung ist, vergleichbare Werte aufwies, könnte diese Übereinstimmung jedoch auch zufälligen Charakter tragen. Zur Klärung dieses Sachverhaltes wären weitere, gezielte Untersuchungen notwendig.

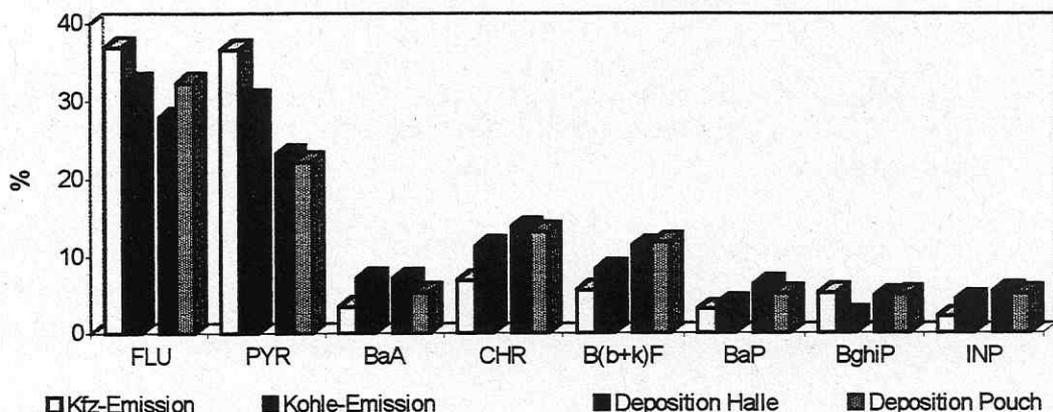


Abb. 22: Vergleich der prozentualen Anteile ausgewählter PAH in Emissionen und Depositionen im Winterhalbjahr 1997/98

## 5. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die vorliegenden Ergebnisse beinhalten zum einen ergänzende Untersuchungen zum LÜSA-Meßsystem bezüglich der Stoffgruppe der PAH. Dazu wurde die weit verbreitete Pyramidenpappel (*Populus nigra*) als Bioindikator zum Nachweis der PAH-Luftbelastung eingesetzt. Um eventuelle Einflüsse des Bodens abzuklären, wurden von allen Meßplätzen auch Bodenproben analysiert. Daneben wurden durch den gezielten Einsatz von Gefäßkulturen (Grünkohl, Mangold) Bezüge zu Kulturpflanzen hergestellt. Zum anderen wurden vergleichsweise einfach zu handhabende Methoden (Passivsammler, bulk und low volume sampler) getestet, die es erlauben, die Umweltbelastung mit PAH in größeren Regionen bzw. über längere Zeiträume zu erfassen. Analysiert wurden die von der EPA vorgeschlagenen Verbindungen: Naphthalin, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Dibenz(ah)anthracen, Benzo(ghi)perylen und Indeno(1,2,3-cd)pyren.

- Zur Aufbereitung der unterschiedlichen Probenmaterialien wurden bereits beschriebene Methoden bezüglich der konkreten Anforderungen modifiziert: Die Pflanzenproben wurden mit dem Ultra Thurrax bzw. der beschleunigten Lösemittelextraktion (ASE) extrahiert und an Kieselgel bzw. Kieselgel/Sephadex gereinigt. Die Bodenproben wurden ebenfalls mit der ASE extrahiert und an Kieselgel gereinigt. Die Proben der bulk Deposition wurden vakuumfiltriert und die in den Filtraten verbliebenen PAH's über eine Festphasenextraktion (SPE) angereichert. Anschließend wurden die Proben mit der ASE extrahiert und an einer miniaturisierten Kieselgelsäule gereinigt. Die PU-Schäume und Glasfaserfilter wurden nach der Extraktion mit ASE und Filtration der analytischen Bestimmung zugeführt. Die analytische Bestimmung der PAH erfolgte in allen Matrices mit der HPLC mit wellenlängenprogrammierter Fluoreszenzdetektion.
- Die PAH-Summengehalte der Pappelblattproben waren an den einzelnen LÜSA-Meßstandorten deutlich differenziert, wobei Standorte mit einem relativ hohen Verkehrsaufkommen die höheren PAH-Summen aufwiesen. Die höchsten Gehalte konnten in den Großstädten Magdeburg und Halle nachgewiesen werden. Insgesamt wurden im Jahr 1997 PAH-Summen zwischen 1,60 ng/g FS (Weißenfels) und 41,5 ng/g FS (Magdeburg/SE) ermittelt. Der Gebietsmittelwert lag bei 13,2 ng/g FS. Im Jahr 1998, in dem nur eine eingeschränkte Anzahl von Standorten beprobt wurde, bewegten sich die Werte zwischen 22,5 ng/g FS (Amsdorf) und 80,2 ng/g FS (Halle/N).
- Zwischen den BaP-Gehalten und den PAH-Summen konnte keine eindeutige Beziehung festgestellt werden. Der Richtwert für Lebensmittel (1 ng/g FS), der mangels anderer

Orientierungswerte zu Beurteilungszwecken herangezogen wurde, wurde in Magdeburg/SE, Magdeburg/Z, Halle/Z und Naumburg überschritten.

- Die PAH-Profile der Pappelblattproben an den einzelnen Meßstandorten ähnelten sich teilweise sehr stark, wobei Fluoranthren und Pyren als Hauptbestandteile der PAH-Deposition mengenmäßig dominierten. Aufgrund der in der Atmosphäre stattfindenden, intensiven Durchmischung und Veränderung der Emissionen ist es nur schwer möglich, Beziehungen zu einzelnen Emissionsquellen bzw. Quellentypen herzustellen.
- Im Ergebnis einer Clusteranalyse konnten die untersuchten Meßpunkte bezüglich ihrer PAH-Belastung in zwei Gruppen eingeteilt werden. Die erste Gruppe repräsentiert vorwiegend die Meßpunkte, die durch hohe PAH-Summengehalte, wahrscheinlich aufgrund eines hohen Verkehrsaufkommens, charakterisiert waren, während die zweite Gruppe eher durch niedrigere PAH-Gehalte in den Pappelblättern charakterisiert war.
- Die PAH-Gehalte in den Böden der LÜSA-Meßstandorte bewegten sich zwischen 0,32 und 21,1 mg/kg Boden. Zwischen den PAH-Gehalten in den Böden und denen der Pappelblätter besteht keine Beziehung, d.h. die Gehalte in den Pappelblättern sind auf Belastungen aus der Luft zurückzuführen.
- Im Jahr 1998 lagen die PAH-Gehalte der Pappelblätter an allen untersuchten Meßstationen insgesamt höher als 1997. Eine mögliche Ursache dafür könnten die geringeren Niederschläge in der Vegetationsperiode 1998 sein, wodurch möglicherweise ein teilweises Abwaschen der oberflächlich auf den Blättern abgelagerten PAH in geringerem Maße stattfand. Darüber hinaus waren Durchschnittstemperatur und Sonnenscheindauer der Vegetationsperiode 1998 deutlich niedriger als 1997, so daß Umsetzungs- und Abbauprozesse wahrscheinlich in geringerem Umfang stattgefunden haben und damit aufgrund höherer PAH-Gehalte in der Atmosphäre eine erhöhte PAH-Aufnahme resultierte.
- Vergleiche zwischen den PAH-Summengehalten und den BaP-Gehalten der Pappelblattproben und denen von Grünkohl und Mangold am Standort Halle in den Jahren 1997 und 1998, die im Rahmen zusätzlich durchgeführter Wirkungsuntersuchungen angestellt wurden, zeigten für die Pappelblätter höhere bzw. ähnlich hohe Gehalte wie in den untersuchten Kulturpflanzen. In diesem Zusammenhang sollte der BaP-Gehalt der Pappelblätter den Wert von 1,0 µg/kg FS (Richtwert für Lebensmittel pflanzlicher Herkunft) nicht überschreiten, um auch für Nahrungspflanzen die Einhaltung dieses Orientierungswertes annehmen zu können.

- Die Profile von Pappelblättern, Mangold und Grünkohl/Sommer sind sich aufgrund gleicher Immissionsverhältnisse relativ ähnlich, während die PAH-Gehalte, insbesondere die der Verbindungen Fluoranthren und Pyren, im Wintergrünkohl gegenüber dem Sommergrünkohl deutlich erhöht waren.
- Aufgrund der teilweise relativ hohen Anteile der kanzerogenen Verbindungen an der Gesamtsumme der PAH (13 - 55%) sollte für ökotoxikologische Betrachtungen anstelle des BaP die Summe der kanzerogenen Verbindungen, z.B. in Form von Toxizitätsäquivalenten genutzt werden.
- Wegen des hohen Aufwandes bei der Beschaffung, Installation und Wartung der zur PAH-Immissionsmessung eingesetzten high und low volume sampler und des daraus resultierenden punktuellen oder episodischen Einsatzes dieser Geräte wurden kostengünstige Alternativen getestet: Zum Einsatz kamen zum einen Passivsammler, die auf dem Prinzip der Exposition von Surrogatoberflächen zur Bestimmung der trockenen Deposition von Luftverunreinigungen beruhen, und zum anderen bulk sampler, mit deren Hilfe die nasse und Anteile der trockenen Deposition erfaßt werden, wobei der Erfassung der PAH-Deposition insgesamt wegen der direkten (Bodenkontakt spielender Kinder) und indirekten (Kontamination von Nahrungspflanzen) Einwirkungswege auf den Menschen eine besondere Bedeutung zukommt.
- Als Passivsammler wurden unterschiedliche Glasfasermaterialien verwendet, die zur Steigerung der Sorptionsfähigkeit teilweise mit Paraffinöl imprägniert waren. Im Ergebnis zeigte sich, daß mit dieser Methode vor allem die luftgetragenen niedermolekularen PAH's erfaßt wurden, während die Erfassung der überwiegend partikelgebundenen toxisch relevanteren Vertreter dieser Stoffklasse nur unzureichend gelang. Aus diesem Grund wurde der Ansatz nicht weiter verfolgt.
- Im Zeitraum 10/97 bis 09/98 wurden an ausgewählten LÜSA-Meßpunkten (Halle/Z, Greppin, Pouch, Eisleben, Bad Dürrenberg) und in Leipzig in Anlehnung an die Bergerhoff-Methode spezielle bulk sampler aus Edelstahl aufgestellt und monatlich beprobt. Die mittlere jährliche PAH-Deposition (Summe: Flu - INP) bewegte sich zwischen 4,21 und 18,0 g/ha\*a und war in urbanen Strukturen (Halle, Leipzig) gegenüber dem Umland deutlich erhöht ( $\approx$  Faktor 3). Die mittleren PAH-Profile unterschieden sich dagegen im wesentlichen nicht.  
Die toxikologisch relevanten Verbindungen BaA, CHR, BbF, BkF, BaP, DBaH und INP sind größtenteils (85-100%) an die Partikelphase gebunden.

- An den Standorten Greppin, Pouch und Eisleben waren die mittleren Depositionsraten während des Winterhalbjahres 97/98 geringfügig erhöht. Eindeutige jahreszeitliche Differenzierungen waren jedoch weder bezüglich der Höhe der eingetragenen PAH noch bezüglich der Profile festzustellen. Im Ergebnis einer Clusteranalyse konnte dieser Sachverhalt bestätigt werden. Mögliche Gründe für dieses Verhalten könnten darin bestehen, daß einerseits eine der wichtigsten aktuellen Quellen der PAH-Belastung, der Kfz-Verkehr, eine mobile Quelle wechselnder Emissionen ist und andererseits meteorologische und lokale Faktoren die Deposition der PAH erheblich beeinflussen können.
- Die Depositionsraten wiesen über den Untersuchungszeitraum an den einzelnen Standorten erhebliche Schwankungen auf, die die räumlichen Unterschiede zwischen den Standorten z.T. deutlich überschritten. In diesem Zusammenhang ist der Einsatz von bulk samplern besonders vorteilhaft, da die relativ unkomplizierte Handhabung die Bestimmung von mittleren Belastungen auch über größere Zeiträume erlaubt.
- Parallele Untersuchungen mit bulk und low volume samplern belegen, daß sich die Konzentrationsprofile von PAH-Immissionen und -Depositionen signifikant voneinander unterscheiden. Das Verhältnis der Verbindungen FLU und PYR zu den übrigen PAH's ist bezüglich der Depositionen deutlich enger als bezüglich der Immissionen.
- Die mittleren PAH-Summen der Immissionen betragen 28,3 (Leipzig) bzw. 6,86 (Greppin) ng/Nm<sup>3</sup>, wobei der Unterschied vor allem aus den differierenden Phenanthrengehalten resultiert, während die mittleren PAH-Immissionskonzentrationen der übrigen Verbindungen ähnlich waren. Auch zu anderen in der Region ermittelten Werten bestand eine relativ gute Übereinstimmung.
- Eine Gegenüberstellung der mit bulk samplern und Pappelblättern ermittelten Depositions- bzw. Akkumulationsraten an den ausgewählten Standorten für den Zeitraum Mitte April bis Mitte August 1998 ergab bezüglich der bulk sampler deutlich höhere Werte. Das Verhältnis der flächenhaften Beaufschlagung (bulk/Pappel) bewegte sich zwischen ca. 10 (Greppin, Pouch Eisleben, Bad Dürrenberg) und 45 (Halle/Z). Trotz geringer Unterschiede zwischen den Akkumulations- und Depositionsprofilen der untersuchten Matrices sind beide Methoden zur Beurteilung immissionsbedingter regionaler PAH-Belastungen gleichermaßen geeignet.
- Der Vergleich der prozentualen Anteile ausgewählter PAH eines mittleren gewichteten Kfz-Emissionsprofils mit denen entsprechender Immissionsprofile an Verkehrsknoten-

punkten (Magdeburg, Dessau) zeigte erwartungsgemäß eine sehr gute Übereinstimmung.

- Die Gegenüberstellung desselben Emissionsprofils mit prozentualen Anteilen eines mittleren Depositions- und Akkumulationsprofils von PAH's am Standort Halle/Z ergab ein anderes Bild: Bezüglich der Verbindungen FLU und PYR überstiegen die prozentualen Anteile des Emissionsprofils diejenigen des Depositions- und des Akkumulationsprofils, was, aufgrund einer vergleichsweise höheren Flüchtigkeit, vermutlich auf den Ferntransport dieser Verbindungen hinweist. Die prozentualen Anteile der übrigen Verbindungen (BaA, CHR, B(b+k)F, BaP, BghiP, INP) waren im Depositions-/Akkumulationsprofil gegenüber dem Emissionsprofil teilweise deutlich erhöht. Möglicherweise sind diese Effekte durch Einflüsse von weiteren Quellen und aufgewirbelten Sekundärstaub begründet.
- Der Vergleich der prozentualen Anteile ausgewählter PAH mittlerer gewichteter Kfz- und Kohle-Emissionsprofile mit mittleren Depositionsprofilen an unterschiedlich belasteten Standorten im Winterhalbjahr 1997/98 belegt eine relativ gute Übereinstimmung der betrachteten Profile. Zudem verdeutlicht er die Bedeutung/Dominanz des Kfz-Verkehrs und des Hausbrandes bezüglich der PAH-Belastung.

### Schlußfolgerungen

- Die Methoden zur Bestimmung der PAH-Akkumulation in Pappelblättern und zur Bestimmung der PAH-Deposition mit bulk samplern erwiesen sich als gut geeignet, die räumliche und/oder zeitliche Belastung einer Region mit diesen Schadstoffen zu charakterisieren, während die Methode der Exposition von Surrogatoberflächen keinen Erfolg verspricht.
- Zur detaillierten Erfassung und Kennzeichnung der PAH-Belastung und des damit verbundenen Gefährdungspotentials an besonderen Schwerpunkten der Belastung sollte dagegen eine Kombination komplexer Untersuchungen zur Immissionssituation (low volume sampler), zur Deposition (bulk sampler) und zur Auswirkung von PAH-Luftbelastungen auf Pflanzen (Akkumulation/Wirkung) eingesetzt werden.
- Da das BaP, das aufgrund seiner Kanzerogenität häufig als Leitsubstanz bezüglich der toxikologischen Wirkung der PAH verwendet wird, nur einen geringen Anteil an der Gesamtsumme der PAH ausmacht, ist nach heutigem Kenntnisstand mit dieser Größe keine objektive Aussage zur Gesamtoxizität der PAH möglich. Deshalb sollte für Toxizitätsbetrachtungen die Summe der kanzerogenen Verbindungen - in Form von Toxizitätäquivalenten (TEF) - betrachtet werden.

## 6. Literatur

- ALEBIC-JURETIC A., CVITAS T., KLASMIC L. (1990): Heterogenius Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Degradation with Ozone on Silica Gel Carrier. *Environ. Sci. Technol.* **24**, 62
- ARNDT U., NOBEL W., SCHWEIZER B. (1987): Bioindikatoren. Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. Ulmer Verlag, Stuttgart
- BACCI E., CALAMARI D., GAGGI C. (1990): Bioconcentration of Organic Chemical Vapors in Plant Leaves: Experimental Measurements and Correlation. *Environ. Sci. Technol.* **24**, 885-889
- CRÖSSMANN G., LIPHARD K., EUSTERMANN K. (1992): Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in Böden und Pflanzen - ein Beitrag zur Gefährdungsabschätzung in Altlasten. Bd. I - Untersuchungsverfahren. Bd II - Untersuchungsergebnisse. Arbeitshefte Ruhrgebiet A 041, Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen
- DELISTRATY D. (1997): Toxic Equivalency Factor Approach for Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Toxicol. Environ. Chem.* **64** (1-4), 81-108
- DÄSSLER H.-G. (1991): Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Ursachen - Wirkungen - Gegenmaßnahmen. 4. Aufl., G. Fischer Verl., Jena
- DREYHAUPT F.J., DIRSCHKE W., KROPP L., PRINZ B., SCHADE H. (1979): Handbuch zur Aufstellung von Luftreinhalteplänen (TÜV-Handbücher, Bd. 4) Köln, TÜV Rheinland
- ELLWARDT P.CHR. (1977): Variation in Content of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils and Plants by Using Municipal Waste Composts in Agriculture. IAEA-SM-211/31 „Soil Organic Matter Studies“ 291-297
- FECHNER D. (1980): Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in atmosphärischem Staub. Analyse, Vorkommen, Haltbarkeit. *WaBoLu-Berichte* **5**, Dietrich Reimer Verl., Bln.
- FRITZ W. (1983): Untersuchungen zum Verhalten von Benzo(a)pyren im Boden und zum Übergang aus dem Boden in Erntegüter. *Zbl. Mikrobiol.* **138**, 605-616
- GEORGII H.W., SCHMIDT G. (1983): Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Precipitation. In: PRUPPACHER et al. (Eds.) *Precipitation, Scavenging, Dry Deposition and Resuspension*. Elsevier Sci. Publishing Co., Inc.
- GRENZWERTE (1998): Kennzahlen zur Umweltbelastung in Deutschland und der EG. Tabellenwerk. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg und L. Roth, ecomed
- GRIMMER G., GLASER A., SCHNEIDER D. (1985): Analyse von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Pappelblättern. Umweltforschungsplan des Bundesministers des Inneren, Forschungsvorhaben Nr. 10605050
- GRIMMER G., HILDEBRANDT A. (1965): Der Gehalt polycyclischer Kohlenwasserstoffe verschiedener Gemüsesorten. 3. Mittl., *Dtsch. Lebensmittelrundscha* **61**, 237-239
- GRIMMER G., JACOB J., NAUJAK K.-W. (1997): Atmospheric Emission of PAH in Sampling Areas of the German Environmental Specimen Bank. Method for the Precise Measurement of Gaseous and Particle-associated PAH in the Sub-nanogram Range Using Deuterated Internal Standard. *Chemosphere* **34**, 2213-2226

- GRIMMER G., SCHNEIDER D., DETTBARN G. (1984): Kontrolle des Gehaltes an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in verschiedenen Matrices sowie des Gehaltes an Azaarenen im Klärschlamm während der Langzeitlagerung in einer Umweltprobenbank. Bundesministerium für Umwelt und Technologie, Forschungsbericht FKZ 1497017
- HEIN H., SCHWEDT G. (1995): Richt- und Grenzwerte. Luft-Wasser-Boden-Abfall-Chemikalien. Vogel Verlag, Würzburg
- HEINRICH G., GÜSTEN H. (1978): Staub - Reinhalt. Luft **38**, 94 ff
- HETTICHE H.O. (1971): Pflanzenwachse als Sammler für polyzyklische Aromaten in der Luft von Wohngebieten. Staub - Reinhalt. Luft **31**, 72-76
- HUANG X.D., ZEILER L.F., DIXON D.G., GREENBERG B.M. (1996): Photoinduced Toxicity of PAHs to the Foliar Regions of Brassica napus (Canola) and Cucumis sativus (Cucumber) in Simulated solar Radiation. Ecotoxikol. Environ. Saf. **35**, 190-197
- JACOB J., GRIMMER G., HILDEBRANDT A. (1997): Long-term Decline of Atmospheric and Marine Pollution by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Germany. Chemosphere **34**, 2099-2108
- JACOB J., GRIMMER G., HILDEBRANDT A. (1996): Trends in Environmental Pollution by PAH in Germany During the Period 1985-1995. Polycyclic Aromatic Compounds **9**, 143-149
- KERTEZ-SARINGER M. (1972): In: Erfassung und Auswirkung von Luftverunreinigungen. VEB Dt. Verl. f. Grundstoffind. Lpz.
- KLEIN R., PAULUS M. (1995): Umweltproben für die Schadstoffanalytik im Biomonitoring. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart
- KÖNIG J., FUNCKE W., BALFANZ E., GROSCHE B., ROMANOWSKI TH., POTT F. (1981): Untersuchung von 135 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in atmosphärischen Schwebstoffen aus 5 Städten der Bundesrepublik Deutschland. Staub - Reinhalt. Luft **41**, 73-78
- KÖNIG W., HEMBROCK-HEGER A., WILKENS M. (1991): Persistente organische Chemikalien im Boden - Eintragspfade und Vorkommen. UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox. **3**, 37-41
- LAHMANN, E. (1990): Luftverunreinigung - Luftreinhaltung. Verl. Paul Parey, Berlin u. Hamburg
- LAU (1998): Immissionsschutzbericht 1997 des Landes Sachsen-Anhalt, Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Heft 27
- LAU (1994): Luftreinhaltplan 1994 des Landes Sachsen-Anhalt. UG 10, Bd. 2
- LINNE C. MARTENS R. (1978): Überprüfung des Kontaminationsrisikos durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe im Erntegut von Möhren und Pilzen bei der Anwendung von Müllkompost. Z. Pflanzenemähr. Bodenkd. **141**, 265-274
- Lufthygienisches Überwachungssystem Sachsen-Anhalt (1995): Informationsbroschüre
- MANZ M. (1997): Mobilität und Bioverfügbarkeit luftgetragener Schadstoffe in emittentennahen Agrarböden Sachsen-Anhalts. UFZ-Bericht 20/1997, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Chem. Ökotoxikologie, ISSN 0948-9452
- METHODENBUCH I des Handbuches der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (1997), Darmstadt, LUFA-Verlag

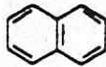
- MÜCKE W., STEINMETZER H.-C., STUMPP J., BAUMEISTER W., BONEBERG R., VIERLE O. (1991): PAK-Immissionskonzentrationen - Ergebnisse mehrjähriger Messungen polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Bayern. *UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox.* **3** (3), 176-179
- MÜLLER H. (1976): Aufnahme von 3,4-Benzpyren durch Nahrungspflanzen aus künstlich angereicherten Substraten. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* **139**, 685-695
- NIKOLAU K., MASCRET P., MOUVIER H.G. (1984): Sources and Chemical Reactivity of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in the Environment - A Critical Review. *Sci. Tot. Environ.* **32**, 103-132
- POPP P., FEIST B., NIEHUS B., PEKLO G., THUSS U. (1997): Vorkommen und Verteilung von toxisch relevanten organischen Komponenten und Schwermetallen in ausgewählten Untersuchungsgebieten. *UFZ-Bericht 25/1997*, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, ISSN 0948-9452
- POOS F. (1986): Bioindikator polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe im Großraum Frankfurt/M. Dissertation. Giessen
- SCHÄFER K. (1997): Untersuchungen zum Eintrag von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) über den Luftpfad in ländlichen Gebieten des Raumes Halle/Saale. *UFZ-Bericht 14/1997*, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung, ISSN 0948-9452
- SCHULTE G. (1996): Stadtböden, Schadstoffbelastung und Schadstoffmobilität. *UFZ-Bericht 11/96*, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Projektbereich Urbane Landschaften, ISSN 0948-9452
- SIEGFRIED R. (1975): Einfluß von Müllkompost auf den 3,4-Benzpyren-Gehalt von Möhren und Kopfsalat. *Naturwissenschaften* **62**, 300
- SIMONICH S.L., HITES R.A. (1995): Organic Pollutant Accumulation in Vegetation. *Environ. Sci. Technol.* **29**, 2905-2914
- SIMONICH S.L., HITES R.A. (1994): Importance of Vegetation in Removing Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from the Atmosphere. *Nature* **370**, 49-51
- SPEER K., HORSTMANN P., KÜHN TH., MONTAG A. (1990): Zur Analytik von Polycyclen in Gemüseproben. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* **191**, 442-448
- STEUBING L., KIRSCHBAUM U., POOS F., CORNELIUS R. (1983): Monitoring mittels Bioindikatoren in Belastungsgebieten. *Forschungsbericht 80-101-04034* für UBA, Frankfurt
- STRACHAN W.M., HUNEAULT H. (1984): Automated Rain Sampler for Trace Organic Substances. *Environ. Sci. Technol.* **18**, 127-130
- TURRIAN V., WANNER H.U., MAGYAR B., SUTER M., DEUBER A. (1977): Sozial- und Präventivmedizin. **22**, 130 ff
- URABE T., KODAMA Y., ISHINISHI S. (1973): *Nippon Eiseigaku Zassi (Jpn. J. Hyg.)* **28**, 14
- VALERIO F., BOTTINO P., UGOLINI D., CIMBERLE M.R., TOZZI G.A., FRIGERIO A. (1984): Chemical and Photochemical degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Atmosphere. *Sci. Tot. Environ.* **40**, 169-188
- VDI 2119/2 (1972): VDI-Richtlinien. Messen von Immissionen. Messen des Staubbiederschlages mit dem Bergerhoff-Gerät. VDI-Verl., Düsseldorf
- VDI 3875/1 (1991): VDI-Richtlinien. Messen von Immissionen. Messen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH). VDI-Verl., Düsseldorf

- VIERLE O. (1991): PAK-Immissionskonzentrationen - Ergebnisse mehrjähriger Messungen polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Bayern. UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. **3**, 176-179
- VWAG, (1998): Nicht limitierte Automobilabgaskomponenten. Volkswagen AG, Forschung und Entwicklung, Wolfsburg
- WAGNER G. (1993): Einsatzstrategien und Meßnetze für die Bioindikation im Umweltmonitoring. ECOINFORMA **4**, 23-31
- WAGNER G. (1987): Entwicklung einer Methode zur großräumigen Überwachung der Umweltkontamination mittels standardisierter Pappelblattproben von Pyramidenpappeln (*Populus nigra* „Italica“) am Beispiel von Blei, Cadmium und Zink. In: STOPPLER M. , DÜRBECK H.W. (Hrsg.): Beiträge zur Umweltprobenbank Nr. 5, Jül. Spez. 412. KFA Jülich
- WAGROWSKI D.M., HITES R.A. (1997): Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Accumulation in Urban, Suburban and Rural Vegetation. Environ. Sci. Technol. **31**, 279-282
- WEISWEILER W., PERSNER C., CREUTZNACHER H. (1993): Zur Meßbarkeit partikelgebundener und gasförmiger PAH in der Außenluft. Staub - Reinhalt. Luft **53**, 183-186
- WILD S.R., JONES K.C. (1995): Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in the United Kingdom Environment: A Preliminary Source Inventory and Budget. Environmental Pollution **88**, 91-108
- WITTE H., LANGENOHL T., OFFENBÄCHER G. (1989): Untersuchungen zum Eintrag von organischen Schadstoffen in Boden und Pflanze durch die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 103 01 249, UBA-FB 89-097

Anhang1: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe - Strukturformel und ausgewählte Eigenschaften

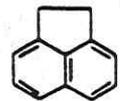
**Nap**

M: 128,2 g/mol  
 Log Kow: 3,50  
 Henry-K.: 5,00 E-2  
 Wasserlöslichk.: 32,0 mg/l  
 cancerogen: -



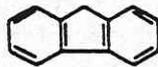
**Ace**

M = 154,2 g/mol  
 Log Kow: 3,95  
 Henry-K.: 2,60 E-3  
 Wasserlöslichk.: 5,30 mg/l  
 cancerogen: -



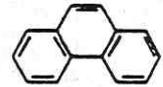
**Flu**

M: 166,2 g/mol  
 Log Kow: 4,28  
 Henry-K.: 2,60 E-3  
 Wasserlöslichk.: 1,85 mg/l  
 cancerogen: -



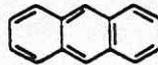
**Phe**

M = 178,2 g/mol  
 Log Kow: 5,61  
 Henry-K.: 9,58 E-4  
 Wasserlöslichk.: 1,24 mg/l  
 cancerogen: -



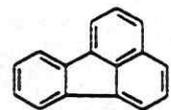
**Ant**

M: 178,2 g/mol  
 Log Kow: 5,33  
 Henry-K.: 7,92 E-4  
 Wasserlöslichk.: 6,4 E-2 mg/l  
 cancerogen: -



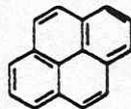
**FLU**

M: 202,3 g/mol  
 Log Kow: 5,33  
 Henry-K.: 3,51 E-4  
 Wasserlöslichk.: 0,25 mg/l  
 cancerogen: -



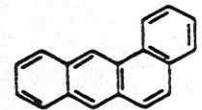
**PYR**

M: 202,3 g/mol  
 Log Kow: 5,32  
 Henry-K.: 3,74 E-4  
 Wasserlöslichk.: 0,13 mg/l  
 cancerogen: x



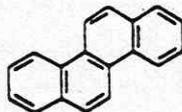
**BaA**

M: 228,3 g/mol  
 Log Kow: 5,61  
 Henry-K.: 4,83 E-5  
 Wasserlöslichk.: 1,40 E-2 mg/l  
 cancerogen: x



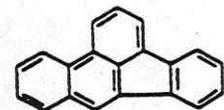
**CHR**

M: 228,3 g/mol  
 Log Kow: 5,61  
 Henry-K.: 4,38 E-5  
 Wasserlöslichk.: 1,80 E-3 mg/l  
 cancerogen: x



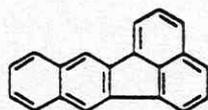
**BbF**

M: 252,3 g/mol  
 Log Kow: 6,57  
 Henry-K.: 4,96 E-4  
 Wasserlöslichk.: 1,00 E-3 mg/l  
 cancerogen: x



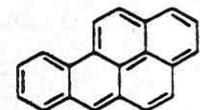
**BkF**

M: 252,3 g/mol  
 Log Kow: k.A.  
 Henry-K.: k.A.  
 Wasserlöslichk.: k.A.  
 cancerogen: x



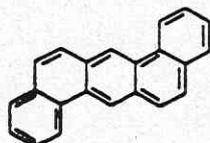
**BaP**

M: 252,3 g/mol  
 Log Kow: 6,30  
 Henry-K.: 6,46 E-5  
 Wasserlöslichk.: 1,60 E-3 mg/l  
 cancerogen: x



**DBahA**

M: 278,4 g/mol  
 Log Kow: k.A.  
 Henry-K.: k.A.  
 Wasserlöslichk.: k.A.  
 cancerogen: x



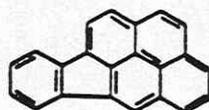
**BghiP**

M: 276,3 g/mol  
 Log Kow: 7,23  
 Henry-K.: 2,23 E-6  
 Wasserlöslichk.: 2,65 E-4 mg/l  
 cancerogen: x



**INP**

M: 276,3 g/mol  
 Log Kow: k.A.  
 Henry-K.: k.A.  
 Wasserlöslichk.: k.A.  
 cancerogen: x



Anhang 2: PAH-Gehalte in Pappelblättern an ausgewählten LÜSA- Meßstandorten 1997 und 1998 [ng/g FS]

1997	Flu	Phe	Ant	FLU	PYR	BaA	CHR	BbF	BkF	BaP	DBaHA	BghiP	INP
Dessau	0,00	0,00	0,00	6,58	3,34	0,54	1,34	0,97	0,41	0,49	0,00	0,63	0,90
Wittenberg	0,00	0,00	0,21	7,72	3,94	0,41	1,09	0,74	0,31	0,35	0,00	0,48	0,72
Wolfen	0,00	0,00	0,00	1,77	1,43	0,41	0,83	0,65	0,26	0,27	0,00	0,47	0,65
Greppin	0,00	0,00	0,02	3,61	2,21	0,57	1,22	1,02	0,42	0,54	0,12	0,74	0,76
Bitterfeld	0,00	0,00	0,00	0,96	0,66	0,19	0,54	0,47	0,14	0,19	0,00	0,18	0,00
Pouch	0,00	0,00	0,00	0,78	0,61	0,24	0,82	0,58	0,22	0,22	0,00	0,52	0,51
Eisleben	0,00	0,00	0,00	1,36	1,09	0,27	0,63	0,55	0,21	0,02	0,00	0,20	0,00
Sangerhshn.	0,00	0,74	0,15	4,13	2,65	0,67	1,44	0,67	0,33	0,24	0,00	0,38	0,40
Hettstedt	0,00	3,28	0,13	0,68	0,60	0,53	0,63	0,52	0,22	0,19	0,00	0,59	0,59
Quedlinburg	0,00	0,00	0,00	2,09	1,70	0,58	1,08	0,69	0,30	0,28	0,00	0,45	0,70
Blankenburg	0,00	0,00	0,00	1,02	1,12	0,27	0,61	0,48	0,20	0,18	0,00	0,24	0,00
Wernigerode	0,00	0,00	0,14	7,66	6,38	2,22	4,60	2,02	1,14	0,75	0,00	1,48	1,29
Halberstadt	0,00	0,00	0,00	2,95	2,45	0,53	1,34	0,87	0,37	0,39	0,00	0,60	0,67
Halle/Z.	0,00	0,00	0,20	9,03	6,49	1,71	2,94	2,34	1,03	1,41	0,27	1,60	1,68
Halle/SW	0,00	0,00	0,00	8,22	5,69	0,60	1,79	0,92	0,41	0,39	0,00	0,58	0,59
Schkopau	0,00	0,00	0,00	0,89	0,72	0,17	0,44	0,51	0,20	0,21	0,00	0,34	0,46
Merseburg	0,00	0,00	0,00	3,15	2,60	0,71	1,60	1,27	0,48	0,50	0,00	0,86	1,03
B. Dürrenbg.	0,00	0,00	0,00	0,69	0,79	0,23	0,63	0,35	0,17	0,14	0,00	0,24	0,00
Zeitzi	0,00	0,00	0,00	3,11	2,15	0,31	0,84	0,59	0,25	0,26	0,00	0,39	0,43
Naumburg	0,00	6,95	0,51	9,72	8,17	1,05	2,03	2,36	0,99	1,14	0,11	1,97	1,50
Weissenfels	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,15	0,42	0,38	0,13	0,16	0,00	0,25	0,00
Köthen	0,00	0,00	0,00	10,4	7,87	0,98	2,55	0,90	0,43	0,27	0,00	0,54	0,56
Bernburg	0,00	0,00	0,00	4,61	2,54	0,37	0,98	0,68	0,28	0,30	0,00	0,56	0,51
Zerbst	0,00	0,00	0,00	3,03	1,54	0,26	0,94	0,31	0,13	0,10	0,00	0,16	0,00
Schönebeck	0,00	0,00	0,00	0,52	0,34	0,15	0,40	0,22	0,09	0,09	0,00	0,18	0,00
Magdebg./SE	0,00	0,00	0,14	11,9	7,90	2,31	5,27	3,94	1,86	2,83	0,31	2,31	2,77
Magdebg./Z.	0,00	0,00	0,07	9,48	6,93	1,66	3,55	2,35	1,05	1,37	0,32	1,85	1,95
Burg	0,00	0,00	0,00	0,31	2,76	0,96	1,64	1,64	0,73	0,99	0,18	1,47	1,42
Genthin	0,00	0,00	0,00	1,10	0,86	0,35	0,70	0,58	0,21	0,26	0,00	0,43	0,56
1998													
Greppin	1,14	14,3	0,21	8,83	5,29	1,58	5,78	3,44	1,83	1,72	0,00	2,51	2,42
Pouch	7,15	66,3	1,05	16,6	7,60	1,04	3,94	1,88	1,22	0,9	0,00	0,00	1,74
Eisleben	1,71	103	1,52	19,2	6,79	1,06	5,08	2,78	1,63	1,53	0,00	1,78	2,12
Halle/Z.	1,21	4,04	0,25	9,52	6,06	3,59	10,3	6,18	3,26	3,56	0,00	4,12	4,39
Halle/N	1,45	13,7	0,50	16,9	12,1	5,16	13,5	8,84	4,58	6,48	0,00	6,52	6,44
Amsdorf	9,60	105	1,27	6,94	6,79	0,00	2,22	1,94	1,24	1,11	0,00	1,93	0,32
B. Dürrenbg.	1,05	8,64	0,22	6,14	4,07	2,73	7,38	3,98	2,24	1,62	0,00	3,48	2,63

Anhang 3: PAH-Gehalte in Mangold, Grünkohl/Sommer, Grünkohl/Winter 1997 und Grünkohl/Sommer 1998 [ng/g FS]

	Flu	Phe	Ant	FLU	PYR	BaA	CHR	BbF	BkF	BaP	DBaHA	BghiP	INP
<b>Mangold 97</b>													
Halle	0,00	0,00	0,54	12,7	8,21	1,36	3,01	2,70	1,03	2,01	0,00	1,45	1,42
Greppin	0,00	0,00	0,17	4,64	16,2	0,74	1,14	0,84	0,27	0,59	0,00	0,63	0,00
Pouch	0,00	0,00	0,25	4,39	2,66	0,00	0,83	0,57	0,22	0,39	0,00	0,59	0,00
Eisleben	0,00	0,00	0,05	2,71	2,53	0,28	0,71	0,47	0,19	0,27	0,00	0,36	0,00
B. Dürrenbg.	0,00	0,00	0,25	4,29	2,52	0,00	0,86	0,42	0,18	0,31	0,00	0,36	0,00
<b>Grünk./Som. 97</b>													
Halle	0,00	16,5	0,21	6,48	5,71	0,00	2,42	1,08	0,36	0,76	0,00	0,90	0,00
Greppin	0,00	18,8	0,13	1,98	5,38	0,00	1,94	0,00	0,34	0,83	0,00	0,78	0,00
Pouch	0,00	9,40	0,13	3,00	6,30	0,00	1,77	0,53	0,20	0,52	0,00	0,60	0,00
Eisleben	0,00	7,20	0,06	1,74	5,21	0,00	0,00	0,00	0,33	0,13	0,00	0,00	0,00
B. Dürrenbg.	0,00	10,5	0,14	3,23	8,41	0,00	0,75	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Grünk./Wint. 97</b>													
Halle	0,00	25,0	1,06	33,0	47,6	8,00	5,97	1,48	0,75	0,82	0,00	2,71	0,00
Greppin	0,00	28,8	0,58	28,5	34,2	0,55	4,92	2,08	0,91	0,84	0,00	0,25	0,00
Pouch	0,00	19,1	0,87	21,2	30,0	0,90	3,18	1,74	0,68	0,80	0,00	0,84	0,00
Eisleben	0,00	22,6	0,95	23,0	31,4	1,36	0,00	1,18	0,58	0,55	0,00	5,03	0,00
B. Dürrenbg.	0,00	22,6	0,95	23,0	31,4	1,36	0,00	1,18	0,58	0,55	0,00	5,03	0,00
<b>Grünk./Som. 98</b>													
Halle	2,45	22,00	1,47	16,50	7,55	1,82	4,59	2,49	1,14	1,73	0,00	1,35	1,60
Greppin	0,82	4,48	0,00	0,00	1,49	0,27	0,76	0,30	0,24	0,32	0,00	0,31	0,44
Pouch	0,76	6,47	0,00	2,36	1,78	0,25	0,84	0,36	0,25	0,30	0,00	0,36	0,40
Eisleben	0,59	4,93	0,00	0,41	2,70	0,35	1,44	0,98	0,29	0,35	0,00	0,38	0,40
B. Dürrenbg.	0,00	0,91	0,17	0,72	0,49	0,00	0,00	0,00	0,11	0,11	0,00	0,00	0,00

Anhang 4: PAH-Gehalte im Boden an ausgewählten LUSA- Messstandorten 1997 [mg/kg FS]

	Flu	Phe	Ant	FLU	PYR	BaA	CHR	BbF	BkF	BaP	DBaHA	BghiP	INP
Dessau	0,02	0,50	0,07	1,37	1,40	0,66	0,96	0,71	0,27	0,67	0,05	0,59	0,51
Wittenberg	0,01	0,21	0,02	0,44	0,38	0,23	0,34	0,29	0,11	0,22	0,03	0,23	0,20
Wolfen	0,00	0,05	0,00	0,09	0,07	0,04	0,07	0,05	0,02	0,04	0,01	0,03	0,03
Greppin	0,00	0,03	0,00	0,08	0,06	0,04	0,06	0,05	0,02	0,03	0,00	0,04	0,03
Bitterfeld	0,00	0,16	0,02	0,31	0,26	0,14	0,17	0,15	0,06	0,12	0,01	0,11	0,08
Pouch	0,00	0,13	0,01	0,28	0,21	0,12	0,18	0,13	0,05	0,10	0,01	0,09	0,06
Eisleben	0,00	0,33	0,06	0,89	0,81	0,48	0,64	0,43	0,17	0,40	0,03	0,32	0,22
Sangerhshn.	0,04	0,95	0,20	2,02	1,90	1,07	1,34	1,10	0,44	0,89	0,08	0,65	0,63
Hettstedt	0,00	0,11	0,01	0,35	0,28	0,18	0,23	0,22	0,09	0,16	0,03	0,12	0,10
Quedlinburg	0,00	0,17	0,03	0,36	0,32	0,18	0,26	0,20	0,08	0,17	0,02	0,15	0,11
Blankenburg	0,02	0,87	0,07	1,64	1,39	0,58	0,77	0,62	0,25	0,52	0,04	0,49	0,43
Wernigerode	0,00	0,15	0,02	0,62	0,48	0,36	0,46	0,38	0,15	0,31	0,04	0,23	0,27
Halberstadt	0,00	0,31	0,03	0,48	0,41	0,20	0,30	0,22	0,08	0,18	0,02	0,16	0,14
Halle/Z.	0,12	2,79	0,57	4,69	4,60	2,38	2,81	2,58	1,03	2,05	0,40	2,45	2,21
Halle/SW	0,02	0,41	0,05	0,63	0,43	0,26	0,40	0,25	0,09	0,19	0,01	0,12	0,13
Schkopau	0,03	0,68	0,13	1,18	1,09	0,55	0,74	0,50	0,21	0,51	0,05	0,39	0,32
Merseburg	0,00	0,18	0,02	0,29	0,27	0,12	0,16	0,12	0,04	0,09	0,01	0,13	0,07
B. Dürrenbg.	0,01	0,12	0,01	0,19	0,14	0,07	0,10	0,08	0,03	0,06	0,00	0,06	0,06
Zeititz	0,01	0,41	0,03	0,49	0,37	0,17	0,27	0,18	0,07	0,14	0,01	0,13	0,11
Naumburg	0,00	0,12	0,03	0,25	0,21	0,12	0,18	0,14	0,05	0,12	0,01	0,11	0,10
Weißenfels	0,00	0,25	0,03	0,52	0,43	0,23	0,33	0,24	0,10	0,18	0,00	0,18	0,16
Köthen	0,00	0,11	0,01	0,20	0,16	0,11	0,15	0,13	0,04	0,09	0,01	0,09	0,07
Bernburg	0,00	0,24	0,03	0,44	0,38	0,22	0,30	0,23	0,09	0,19	0,02	0,17	0,12
Zerbst	0,00	0,46	0,07	1,47	1,42	0,71	0,98	0,77	0,30	0,68	0,06	0,58	0,42
Schönebeck	0,00	0,85	0,12	3,19	2,87	1,49	2,01	1,93	0,78	1,47	0,12	0,85	1,09
Magdebg./SE	0,00	0,42	0,04	0,11	0,72	0,39	0,51	0,45	0,16	0,32	0,04	0,33	0,27
Magdebg./Z.	0,00	0,56	0,10	1,83	1,86	1,07	1,51	1,33	0,53	1,05	0,09	0,72	0,70
Burg	0,00	0,38	0,03	0,76	0,69	0,32	0,47	0,39	0,16	0,31	0,03	0,26	0,23
Genthin	0,03	0,78	0,09	4,28	3,80	2,54	2,83	2,93	1,19	2,03	0,35	1,22	1,46
Lauchstadt	0,00	0,05	0,00	0,09	0,07	0,03	0,06	0,06	0,02	0,03	0,01	0,04	0,04

Anhang 5: PAH-Gehalte der bulk Deposition an ausgewählten Standorten im Zeitraum 10/97 bis 09/98 [ng/m<sup>2</sup>\*d]  
PAH-S\* - PAH-Summe ab FLU

Probe	Flu	Phe	Ant	FLU	PYR	BaA	CHR	BbF	BkF	BaP	DBahA	BghiP	INP	PAH-Su	PAH-S*
<b>Leipzig</b>															
10/97	32,4	285	27,9	279	233	41,9	122	30,3	15,5	32,9	0,00	15,5	11,5	1127	782
11/97	0,00	418	45,2	449	384	114	228	222	90,1	123	27,3	131	180	2412	1949
12/97	0,00	204	14,9	195	120	45,6	129	108	38,4	32,1	0,00	51,6	0,00	939	720
01/98	20,6	182	9,18	154	101	22,3	75,3	27,9	12,6	20,7	2,95	14,0	12,8	655	444
02/98	15,6	132	14,7	216	176	62,2	158	89,9	41,3	54,0	0,00	63,7	65,0	1088	926
03/98	31,7	292	25,7	317	228	60,3	172	110	52,0	71,7	0,00	83,7	91,4	1536	1187
04/98	0,00	424	64,5	462	366	162	225	211	90,1	151	23,5	111	158	2446	1958
05/98	37,2	481	35,0	457	335	115	279	183	87,0	138	0,00	173	143	2463	1910
06/98	75,0	1394	63,7	1020	652	232	535	336	206	296	0,00	209	298	5316	3784
07/98	136	603	58,4	822	605	223	402	278	187	265	0,00	215	202	3996	3199
08/98	35,2	476	40,5	576	461	144	361	208	126	173	46,3	172	153	2970	2419
09/98	113	608	43,0	504	320	122	267	173	95,8	127	0,00	49,5	128	2550	1786
<b>Halle</b>															
10/97	14,1	1013	163	1407	1084	521	700	644	259	457	64,7	359	454	7141	5950
11/97	0,00	654	95,0	617	508	118	265	216	87,8	134	22,3	126	160	3003	2254
12/97	111	607	69,1	689	596	144	366	83,1	48,5	99,3	8,75	46,5	38,1	2906	2119
01/98	84,5	592	49,7	707	527	155	363	86,4	55,2	116	0,00	59,4	42,1	2837	2110
02/98	50,3	537	89,6	523	605	75,8	248	12,3	9,86	48,8	0,00	7,22	0,60	2207	1530
03/98	157	1817	160	1685	1367	426	851	507	293	425	0,00	372	399	8458	6325
04/98	0,00	1122	149	1501	1232	651	805	707	286	510	80,5	367	503	7913	6642
05/98	77,3	739	65,1	927	729	251	571	351	174	284	0,00	286	255	4709	3828
06/98	124	1321	131	1543	1226	374	847	510	281	441	0,00	430	414	7642	6066
07/98	51,6	581	42,8	665	514	163	383	253	125	181	47,6	211	200	3419	2743
08/98	56,9	895	101	1115	887	290	601	377	230	326	0,00	324	313	5517	4464
09/98	0,00	474	42,5	676	530	206	403	248	123	190	0,00	195	165	3251	2735

Fortsetzung Anhang 5:

Probe	Flu	Phe	Ant	FLU	PYR	BaA	CHR	BbF	BkF	BaP	DBahA	BghiP	INP	PAH-Su	PAH-S*
<b>Greppin</b>															
10/97	107	765	140	706	477	144	324	104	64,4	117	11,5	54,7	57,4	3073	2049
11/97	0,00	468	38,3	439	309	88,7	179	151	59,2	86,2	15,4	82,2	108	2024	1503
12/97	60,9	290	24,1	299	210	70,9	215	93,7	43,7	50,1	9,86	44,5	46,3	1457	1073
01/98	70,2	474	34,4	428	282	91,5	195	47,4	29,5	64,5	6,03	34,1	19,0	1776	1192
02/98	28,5	261	31,7	344	304	119	238	77,3	48,9	90,7	6,92	39,7	41,2	1631	1303
03/98	54,7	466	23,7	246	210	62,0	146	104	48,1	62,5	0,00	76,3	71,6	1571	1026
04/98	7,27	483	38,3	421	297	113	163	147	63,3	93,6	16,6	82,1	112	2038	1492
05/98	15,7	259	14,8	168	128	36,3	84,1	72,4	34,5	48,6	0,00	70,4	51,4	984	694
06/98	12,7	176	16,7	184	135	40,6	112	82,5	37,4	52,7	0,00	55,0	54,1	959	754
07/98	23,3	241	12,5	222	172	49,7	134	98,0	45,7	54,8	0,00	52,5	58,9	1164	888
08/98	0,00	184	22,2	246	199	68,5	146	104	48,5	74,7	0,00	62,7	72,0	1227	1021
09/98	27,7	178	13,4	169	125	34,6	95,3	67,1	28,8	36,4	0,00	52,7	45,9	873	655
<b>Pouch</b>															
10/97	107	662	59,2	330	157	22,1	71,7	30,2	12,4	16,0	5,33	14,0	13,8	1500	672
11/97	0,00	397	18,8	273	153	0,00	66,3	43,9	16,4	19,2	0,00	30,6	42,8	1061	646
12/97	73,8	481	41,0	348	242	53,8	152	48,8	23,9	29,0	4,94	22,4	17,7	1539	943
01/98	72,5	443	26,6	270	169	48,3	107	29,7	16,2	29,2	0,00	15,8	12,7	1239	697
02/98	45,4	263	24,8	149	116	21,9	61,8	17,6	7,05	16,5	0,00	8,71	3,38	734	402
03/98	55,2	512	37,2	368	286	94,6	202	140	64,7	87,6	0,00	98,6	80,0	2026	1421
04/98	0,00	380	29,2	265	184	46,9	87,6	81,0	33,3	46,6	9,95	46,0	58,5	1268	859
05/98	16,7	185	12,4	179	160	36,3	91,2	74,5	34,5	49,4	0,00	69,6	12,8	921	707
06/98	34,1	172	9,75	145	110	28,6	69,6	58,3	27,0	36,1	0,00	23,5	48,7	763	547
07/98	31,5	317	9,27	140	104	27,2	65,6	54,5	25,9	34,8	0,00	52,5	53,8	916	558
08/98	10,3	147	10,3	132	108	39,4	77,4	63,0	29,9	42,5	0,00	2,95	47,9	710	542
09/98	0,00	46,3	2,73	120	81,1	24,6	57,8	45,7	22,8	26,6	14,9	40,3	37,7	520	471

Fortsetzung Anhang 5:

Probe	Flu	Phe	Ant	FLU	PYR	BaA	CHR	BbF	BkF	BaP	DBaH	BghIP	INP	PAH-Su	PAH-S*
<b>Bad Dürrenberg</b>															
10/97	36,9	253	10,7	176	83,0	0,00	0,00	27,3	9,47	15,5	0,00	0,00	19,2	631	331
11/97	16,3	239	20,7	206	141	34,2	93,3	84,7	31,7	39,3	7,38	51,2	61,5	1027	750
12/97	44,5	259	21,9	224	164	51,9	149	49,9	23,5	37,2	2,00	6,98	20,4	1054	729
01/98	0,00	22,4	0,36	2,77	7,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,3	10,5
02/98	49,1	212	128	212	170	74,5	179	113	49,9	74,8	0,00	53,3	81,7	1397	1008
03/98	33,2	270	26,8	134	104	24,4	70,5	45,2	21,5	26,8	0,00	38,4	33,3	828	499
04/98	0,00	284	21,9	219	153	52,0	88,9	94,1	38,3	60,6	11,7	53,2	73,3	1151	845
06/98	29,9	268	22,8	250	175	82,2	105	66,5	33,3	52,5	0,00	52,8	57,9	1195	875
05/98	39,6	361	28,2	257	193	57,1	145	107	48,4	71,4	0,00	107	73,1	1489	1060
07/98	39,0	319	15,8	195	151	43,9	99,3	74,3	35,5	55,2	0,00	57,4	60,9	1147	773
08/98	64,1	430	24,8	310	244	82,2	146	131	60,7	94,0	26,1	90,6	138	1842	1323
09/98	50,7	235	15,2	199	112	39,4	83,6	43,7	29,9	38,6	0,00	50,8	62,3	960	659
<b>Eisleben</b>															
10/97	72,7	491	22,3	242	356	9,48	29,2	12,4	5,01	10,2	0,00	8,49	1,45	1260	674
11/97	0,00	221	17,4	280	182	0,00	81,6	56,4	19,0	17,9	0,00	40,0	54,1	968	730
12/97	33,0	191	10,7	147	111	17,2	74,2	26,2	11,0	9,78	2,90	14,6	9,17	658	420
01/98	35,5	190	5,50	67,2	44,3	5,78	25,0	7,67	3,41	5,28	1,40	4,19	0,00	395	163
02/98	32,9	234	17,5	155	132	33,4	91,6	27,6	13,5	30,8	0,00	17,3	11,6	797	513
03/98	29,5	341	12,0	200	135	33,0	91,1	58,7	25,9	38,6	0,00	63,0	46,5	1074	692
04/98	0,00	301	19,6	222	171	45,0	93,1	89,3	36,2	53,6	9,41	56,9	74,4	1171	841
05/98	20,0	169	6,82	179	78,2	24,3	69,2	53,3	25,9	36,1	0,00	22,2	2,88	687	491
06/98	32,8	335	12,1	164	140	33,3	91,1	66,3	30,1	45,2	0,00	72,2	49,9	1072	692
07/98	17,5	159	9,04	99,7	100	18,4	41,9	37,4	19,1	28,1	0,00	29,5	32,3	592	406
08/98	22,0	172	7,27	85,5	84,5	21,9	60,3	39,5	19,7	28,4	0,00	42,8	39,0	623	422
09/98	60,1	527	15,4	161	120	17,9	51,7	46,5	21,0	22,6	22,4	29,7	35,5	1130	505

**Anhang 6: Mittlere PAH-Konzentrationen und Schwankungsbreiten der bulk Deposition an ausgewählten Standorten im Zeitraum 10/97 bis 09/98 [ng/m<sup>2</sup>\*d]**

Standort	Flu			Phe	Ant	FLU	PYR	BaA	CHR	BbF	BkF	BaP	DBahA	BghiP	INP	PAH-Su
	MW	Min	Max													
Leipzig		41,4	458	36,9	454	332	112	246	165	86,8	124	8,34	107	120	2292	
	Min	0,00	132	9,18	154	101	22,3	75,3	27,9	12,6	20,7	0,00	14,0	0,00	655	
	Max	136	1394	64,5	1020	652	232	535	336	206	296	46,3	215	298	5316	
Halle	MW	60,6	863	96,5	1005	817	281	534	333	164	268	18,7	232	245	4917	
	Min	0,00	474	42,5	523	508	75,8	248	12,3	9,86	48,8	0,00	7,22	0,60	2207	
	Max	157	1817	163	1685	1367	651	851	707	293	510	80,5	430	503	8458	
Greppin	MW	34,0	354	34,2	323	237	76,6	169	95,7	46,0	69,3	5,52	58,9	61,5	1565	
	Min	0,00	176	12,5	168	125	34,6	84,1	47,4	28,8	36,4	0,00	34,1	19,0	874	
	Max	107	765	140	706	477	144	324	151	64,4	117	16,6	82,2	112	3073	
Pouch	MW	37,2	334	23,4	227	156	37,0	92,5	57,2	26,2	36,1	2,92	35,4	35,8	1100	
	Min	0,00	46,3	2,73	120	81,1	0,00	57,8	17,6	7,05	16,0	0,00	2,95	3,38	520	
	Max	107	662	59,2	368	286	94,6	202	140	64,7	87,6	14,9	98,6	80,0	2026	
Bad Dürrenberg	MW	33,9	262	28,6	194	139	41,8	95,9	70,0	31,7	46,7	4,28	46,3	56,7	1051	
	Min	0,00	22,4	0,36	2,77	7,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,3	
	Max	64,1	430	128	310	244	82,2	179	131	60,7	94,0	26,1	107	138	1842	
Eisleben	MW	29,7	278	13,0	167	138	21,6	66,7	43,4	19,2	27,2	3,01	33,4	29,7	869	
	Min	0,00	159	5,50	67,2	44,3	0,00	25,0	7,67	3,41	5,28	0,00	4,19	0,00	395	
	Max	72,7	527	22,3	280	356	45,0	93,1	89,3	36,2	53,6	22,4	72,2	74,4	1260	

Anhang 7: PAH-Imissionkonzentrationen (low volume sampler) und PAH-Depositionsraten (bulk sampler) an ausgewählten Standorten im Zeitraum 06 bis 08/98

Probe	Flu	Phe	Ant	FLU	PYR	*BaA	*CHR	*BbF	*BkF	*BaP	*DBahA	BghiP	*INP	Bemerkungen
<b>Greppin</b>														
bulk 06/2	12,1	345	23,0	299	178	40,9	107	86,5	34,6	55,0	13,2	67,5	32,4	ng/m2*d
bulk 07/2	11,4	189	12,6	352	214	83,1	141	179	63,9	84,3	15,3	101	110	
bulk 08/1	0,00	179	12,9	260	181	71,7	133	136	49,6	67,8	14,8	91,6	95,7	
bulk 08/2	17,0	267	7,12	296	103	32,6	62,9	68,5	22,7	36,2	6,80	45,4	49,3	
filter 06/2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,05	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	ng/Nm3
filter 07/1	0,00	0,05	0,00	0,12	0,09	0,00	0,08	0,11	0,03	0,01	0,00	0,05	0,00	
filter 07/2	0,00	0,00	0,01	0,05	0,02	0,00	0,07	0,08	0,02	0,02	0,00	0,06	0,16	
filter 08/1	0,00	0,00	0,00	0,08	0,05	0,00	0,08	0,10	0,03	0,00	0,00	0,06	0,13	
PU 06/2	1,72	12,7	0,27	1,93	0,72	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ng/m2*d
PU 07/1	4,97	20,3	0,44	3,02	0,87	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	
PU 07/2	6,68	15,0	0,38	2,09	0,59	0,59	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	
PU 08/1	0,00	0,00	0,00	0,08	0,05	0,00	0,08	0,10	0,03	0,00	0,00	0,06	0,13	
<b>Leipzig</b>														
bulk 06/2	20,7	845	242,0	2524	2444	1330	972	612	254	534,0	67,1	340	292	ng/m2*d
bulk 07/2	46,9	790	28,4	678	357	141	227	230	82,1	162	17,5	144	176	
bulk 08/1	32,3	394	27,2	345	214	70,9	130	122	42,0	78,7	8,77	64,6	66,3	
bulk 08/2	0,00	121	4,79	160	63,2	24,3	39,4	44,9	17,1	28,7	4,5	34,7	34,3	
filter 06/2	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,02	0,05	0,07	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	ng/Nm3
filter 07/1	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	
filter 07/2	0,00	0,05	0,00	0,17	0,13	0,06	0,14	0,20	0,05	0,05	0,00	0,15	0,19	
filter 08/1	0,00	0,00	0,01	0,09	0,06	0,04	0,11	0,12	0,04	0,02	0,00	0,08	0,17	
filter 08/2	0,00	0,00	0,00	0,17	0,09	0,10	0,14	0,15	0,05	0,02	0,03	0,14	0,14	
PU 06/2	1,50	7,83	0,11	1,09	0,52	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ng/Nm3
PU 07/1	1,81	4,71	0,14	1,03	0,49	0,05	0,00	0,07	0,01	0,03	0,00	0,04	0,00	
PU 07/2	5,67	22,4	0,43	3,98	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PU 08/1	4,30	23,4	0,53	4,02	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PU 08/2	4,17	21,2	0,29	3,59	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

mit \* gekennzeichnete Verbindungen sind kanzerogen  
 PU - Polyurethanschaum; filter + PU = low volume sampler

Anhang 8: PAH-Gehalte in Passivfiltern nach unterschiedlichen Aufarbeitungsprozeduren [ng/m<sup>2</sup>\*d]

Probe	Flu	Phe	Ant	FLU	PYR	BaA	CHR	BbF	BkF	BaP	DBahA	BghiP	INP	PAH-Su	Bemerkungen
iMF/ASEa		8,60	0,23	1,5	0,7									11,0	ASE: Ac/DCM; SPE Florisil, SPE HR-P
iMF/ASEb															
iMF/Sa															
iMF/Sb	0,82	7,30	0,28	3,8	0,8									13,1	Soxhlet: Toluol; SPE Florisil, Sephadex
niMF/ASEa	34,2	137	0,38	88,9	9,37		0,95	1,43	0,35	0,39	0,08	0,58	0,51	274	ASE: Ac/DCM; filtriert
niMF/ASEa	28,1	162	0,44	104	12,6	1,62	1,64	1,11	0,30	0,09		0,61	0,77	314	ASE: Ac/DCM; Kieselgel/Sephadex
niMF/ASEb	54,1	310	2,11	253	42,2	7,57	8,35	5,12	1,18	0,58		2,12	1,54	688	ASE: Toluol; Kieselgel/Sephadex
niMF/Sa		221	2,90	128	30,3	1,43	3,91	1,85						389	Soxhlet: Ac/DCM; filtriert
niMF/Sb	70,6	411	2,86	219	51,1	156	2,62	2,60	0,82	0,66		1,80	2,77	921	Soxhlet: Toluol; filtriert
niGF/ASE		20,8	0,56	2,50	1,10				0,35	0,42		0,46		26,2	ASE: Toluol; filtriert
niGF*/ASE		14,3	1,40	14,9	11,2	3,90	6,58	6,79	2,80	4,61	0,75	3,63	5,27	76,1	ASE: Toluol; filtriert

nach Einengen gelartiger Niederschlag, der sich nicht wieder lösen ließ

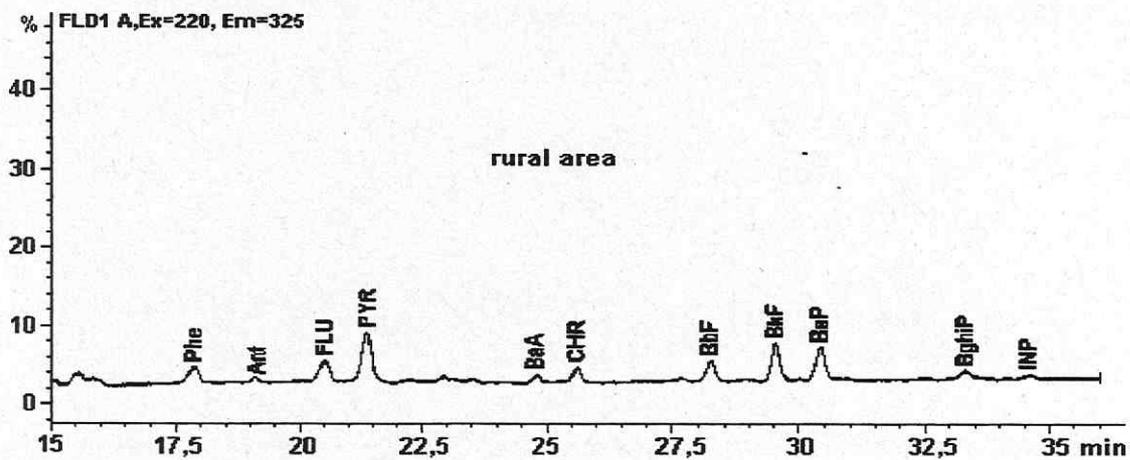
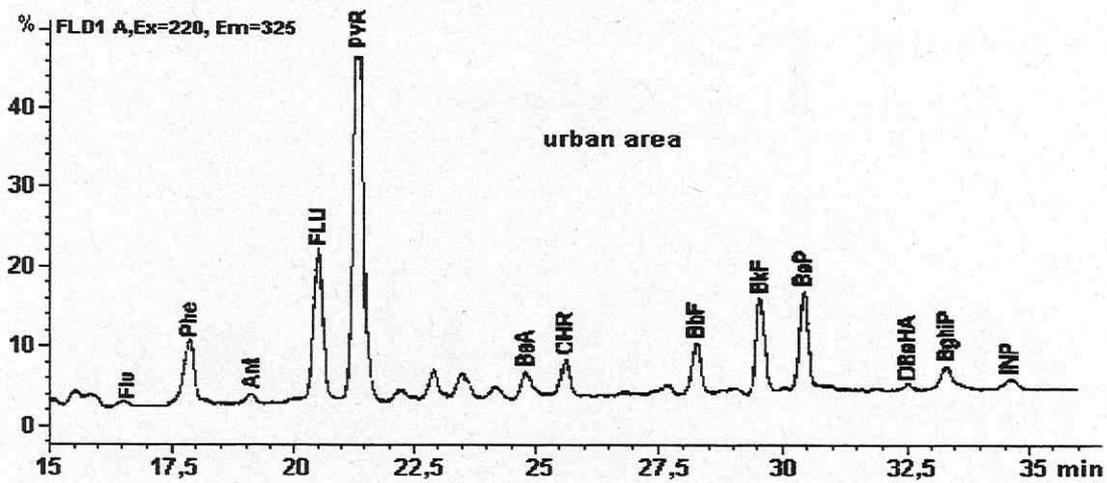
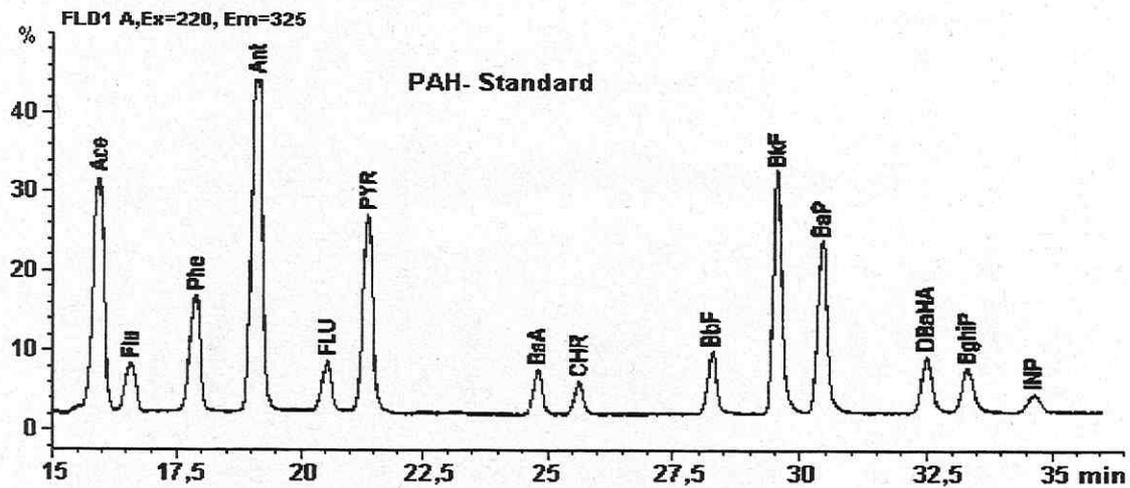
Probe zerstört

iMF - mit 5g Paraffinöl/1,05 m<sup>2</sup> imprägniertes Mikroglassasfilter WB 50; 9 Wochen exponiert

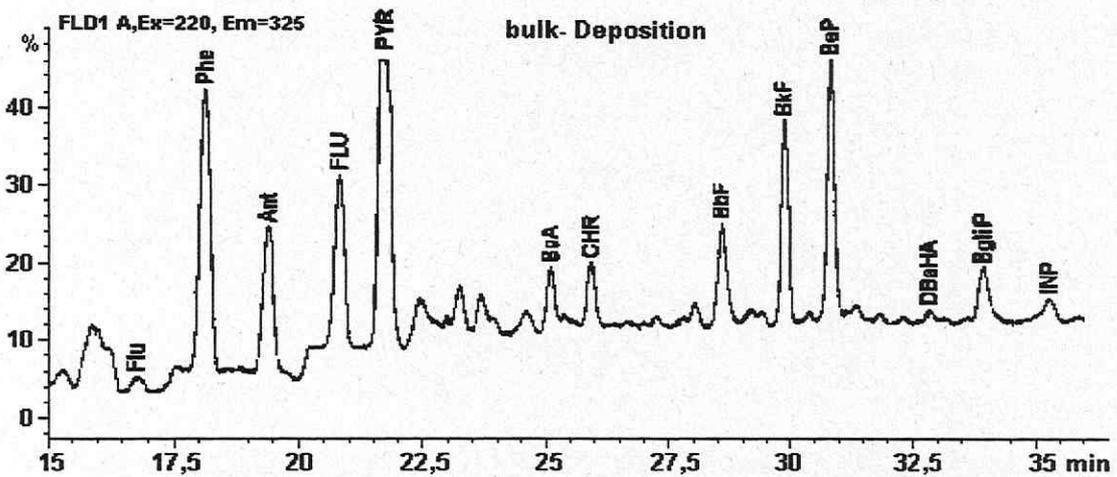
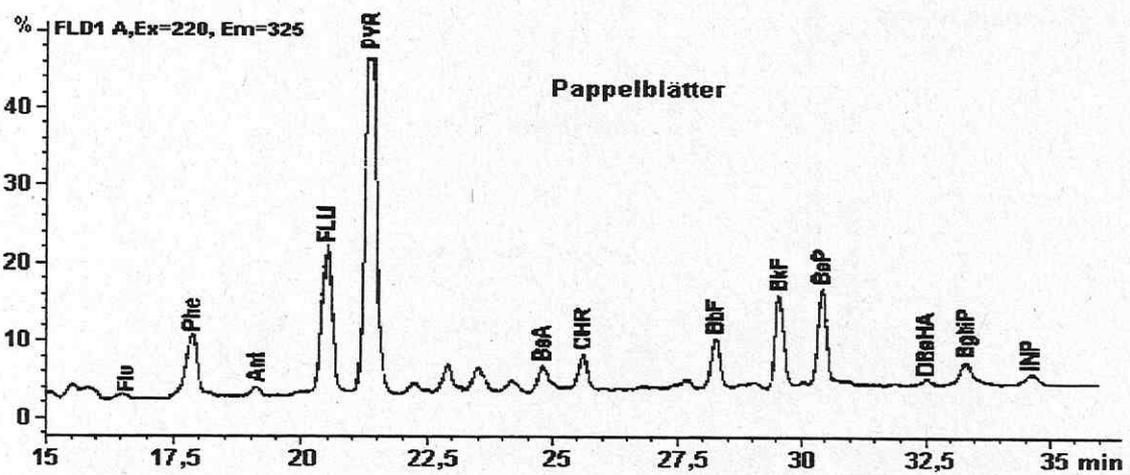
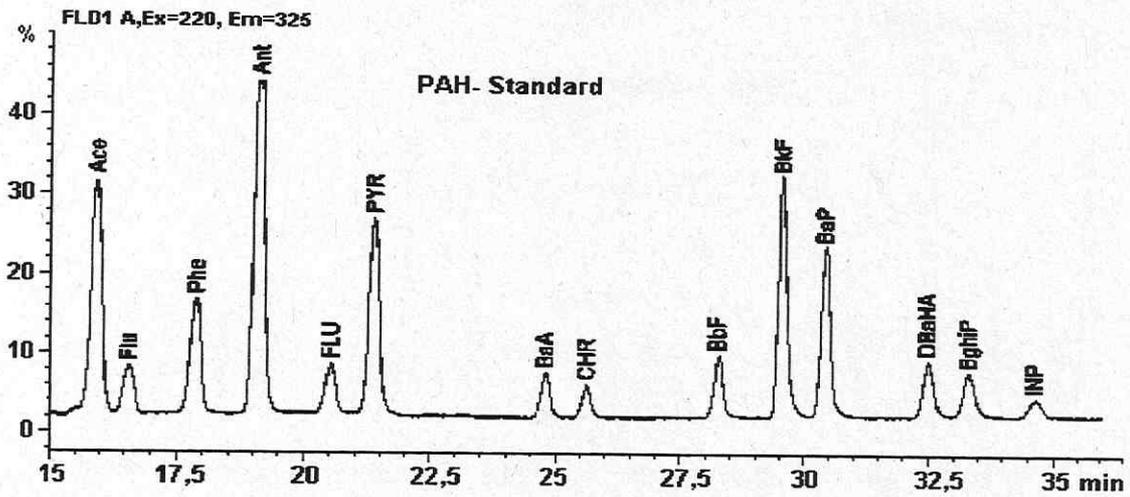
niMF - nicht imprägniertes Mikroglassasfilter WB 50 (OF = 1,05 m<sup>2</sup>); 9 Wochen exponiert

niGF - nicht imprägniertes Glasfasfilter GF 9 (OF = 0,82 m<sup>2</sup>); vor Deposition geschützt 4 Wochen exponiert

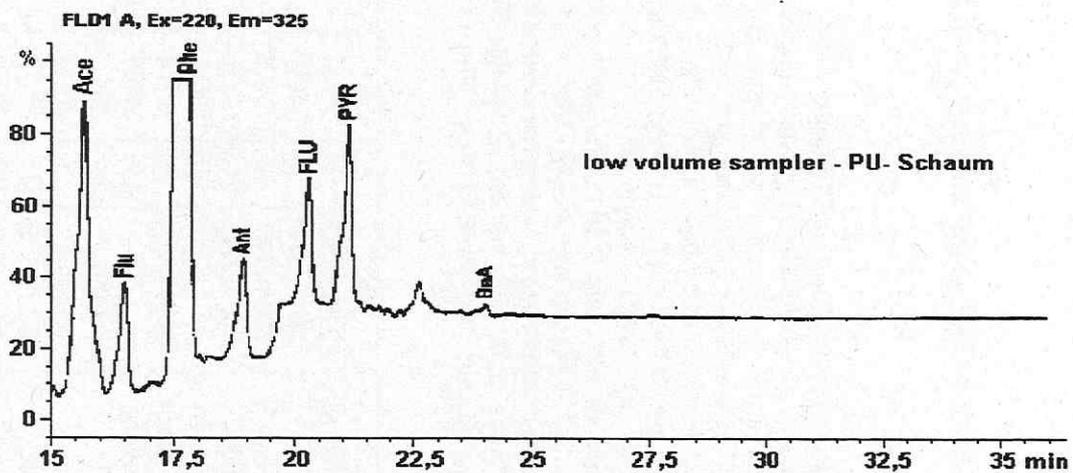
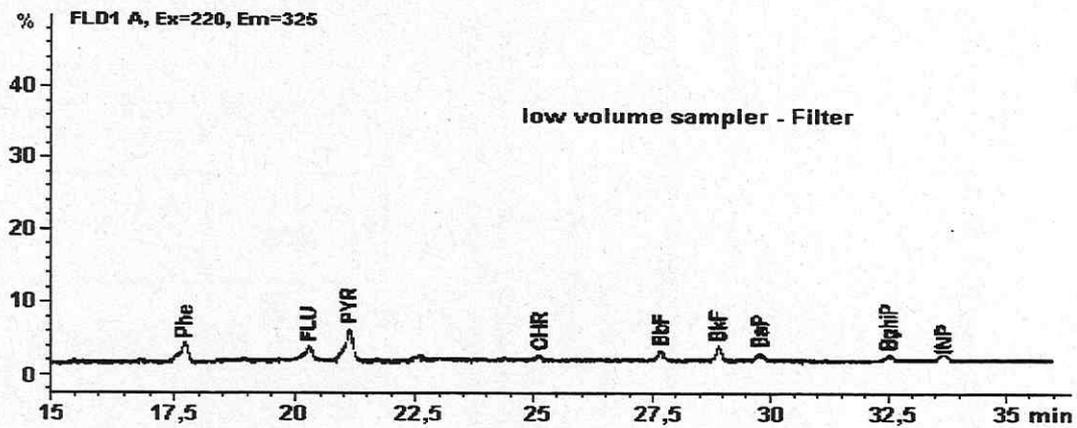
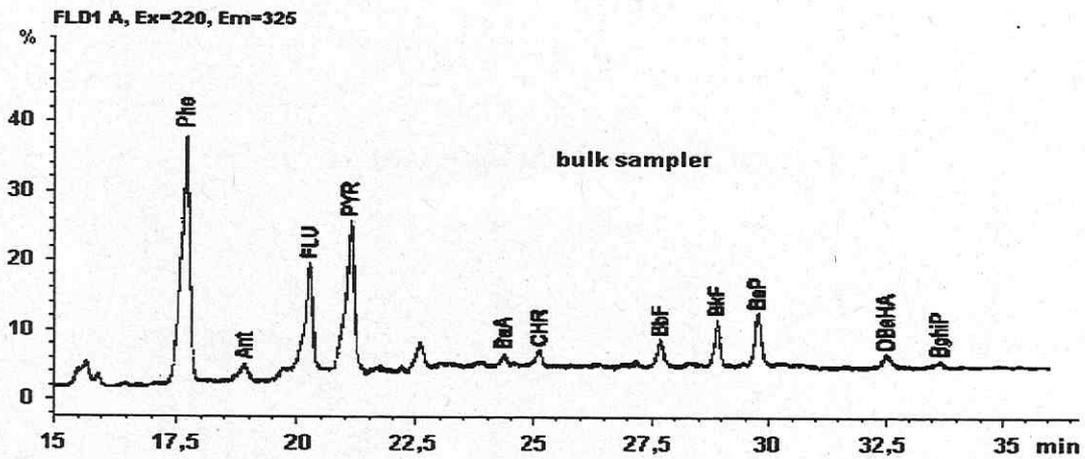
niGF\* - nicht imprägniertes Glasfasfilter GF 9 (OF = 0,82 m<sup>2</sup>); ungeschützt 4 Wochen exponiert



Anhang 9: Chromatogramme von PAH in Pappelblättern unterschiedlich belasteter Standorte



Anhang 10: Chromatogramme von PAH in unterschiedlichen Matrices am Standort Halle



Anhang 11: Chromatogramme von PAH aus Messungen der Deposition und Immission am Standort Greppin

**Anhang 12: Daten zur Mikroemissionssituation an ausgewählten LÜSA-Meßpunkten (500 m Umkreis) - nach Angaben des LAU,**

**Struktur der Daten**

- 1 Entfernung; Himmelsrichtung der Pappeln zum Container**
- 2 Kurzbezeichnung der Meßstelle Ziffer nach unserer Bez.**
- 3 a; b Verkehrssituation im Umkreis von 150m z. Container PKW/d; LKW/d**
- 3 c gVD - geringe Verkehrsdichte/Abstand zur Straße [m], mVD - mittlere Verkehrsdichte/Abstand zur Straße [m], hVD - hohe Verkehrsdichte/Abstand zur Straße [m]**
- 4 Emissionen genehmigungs- + nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen im Umkreis vom 1000m z. Container**
  - a - SO<sub>2</sub> [t/a]; b - OGD [t/a]; c - Staub [t/a]
- 5 Gebietsnutzung einschl. Abstand zur E-Quelle im Umkreis von 500m**
  - I - Industrie, HG - Handel/Gewerbe, W - Wohnen, LF - Land-/Forstwirtschaft
- 6 Einstufung und Charakterisierung der Immissionsbelastung**
  - ib - Industrie beeinflusst, vb - verkehrsbeeinflusst, FQ - Flächenquellen; h - hoch, d - durchschnittlich, g - gering
- 7 Entfernung der Pappeln zur Straße (xxx < 100m - starker Verkehr, xx > 100m - wenig Verkehr, x kaum Verkehr, - kein Verkehr),**

	1	2	3a	3b	3c	4a	4b	4c	5	6	7
DGCW	Bad Dürrenberg	18	7976	633	mVD/100	87,8	5,34	15,2	HG/200, W/100	FQ, d	xx
EICN	Eisleben	7	24000	KA	hVD/40	39,7	KA	9,96	I/100; W/50	FQ, h?	x
HECC	Halle/Zentrum	14	13238	487	hVD/25-300	41,3	1,53	14,4	HG/30-100; W/25	FQ, d?	xxx
HENN	Halle/Nord	14a	2857	KA	mVD/200	130	1,96	38,1	HG/15; W/10	FQ, d	xx
HEOO	Halle/Ost	14b	5681	303	gVD/180	741	23,1	155	HG/200-500, W/300	FQ, d	xx
HESW	Halle/Südwest	15	6075	355	hVD/100	3329	5,63	5,50	HG/1000; W/200	FQ, d	xx
HEVC	Halle/Verkehr	14v	59026	5478	hVD/10	254	4,73	194	I/?; HG/50-200, W/20	vb, h	xxx
HSCS	Hettstedt	9	5000	KA	hVD/60	KA	KA	KA	I/500, HG/600, W/30	FQ, d	xxx
MBCC	Merseburg	17	3746	27	mVD/80	190	50,6	72,9	I/200, HG/100, W/50	FQ, d	xx
NGOO	Naumburg	20	7570	692	hVD/80	119	8,62	26,4	HG/300, W/100	FQ, d	xxx
SUSS	Schkopau	16	5521	323	hVD/10	0,29	2,73	0,15	I/1200, W/50	FQ, h	x
WSGS	Weißenfels	21	6832	768	hVD/30	22,4	7,12	12,3	I/200, HG/200, W/50	FQ, d	-
WSVC	Weißenf./Verk.	21v	13600	1390	hVD/3-10	22,3	10,5	13,7	I/300, HG/200, W/20	vb, h	-
ZZCC	Zeitz	19	3302	162	mVD/20	450	2,83	337	HG/800, W/30	FQ, d	-

## Verzeichnis der UFZ-Berichte

Nr. 1/1994

**Prognose extremer Umweltereignisse**  
Sektion Expositionsforschung und Epidemiologie

Nr. 2/1994

**Handlungsstrategien für den Leipziger Raum - Visionen, Innovationen, Praktikabilität**  
Sigrun Kabisch  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 3/1994

**Weiche Standortfaktoren und Flächennutzung**  
Hans Neumann, Brigitte Usbeck, Hartmut Usbeck

Nr. 4/1994; Band 1 und 2

**Modellierung und Kurzfristvorhersage von Sommersmogsituationen**  
Sektion Expositionsforschung und Epidemiologie

Nr. 1/1995

**Vorkommen und Transfer von Dioxinen und Schwermetallen im Raum Merseburg, Lützen, Naumburg, Zeitz**  
Bernd Feist, Brigitte Niehus, Gisela Peklo, Peter Popp, Uwe Thuß  
Sektion Analytik

Nr. 2/1995

**Soziale Brüche und ökologische Konflikte in einer ländlichen Industrieregion: Der Südraum Leipzig**  
Ursula Bischoff, Sigrun Kabisch, Sabine Linke, Irene Ring, Dieter Rink  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 3/1995

**Modellierung von Bodenprozessen in Agrarlandschaften zur Untersuchung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen**  
Uwe Franko, Burkhard Oelschlägel, Stefan Schenk  
Sektion Bodenforschung

Nr. 4/1995

**Beiträge zum Workshop "Braunkohlebergbaurestseen"**  
Sektion Hydrogeologie

Nr. 1/1996

**Elutionsverhalten und ökotoxisches Potential von Sonderabfällen**  
Albrecht Paschke, Detlef Lazik, Helmut Segner, Elke Büttner  
Sektion Chemische Ökotoxikologie  
Sektion Hydrogeologie

Nr. 2/1996

**Biologische Indikation in Kleinfließgewässern der Dübener und Dahleener Heide**  
Claus Orendt  
Projektbereich Naturnahe Landschaften

Nr. 3/1996

**Potential und Strategien der Wiederbesiedlung am Beispiel des Makrozoobenthons in der mittleren Elbe (Dissertation)**  
Ute Dreyer  
Sektion Gewässerforschung

Nr. 4/1996

**Immissionsprognose - Univariate Modellierung und Kurzfristvorhersage von Wintersmogsituationen (Dissertation)**

Uwe Schlink

Sektion Expositionsforschung und Epidemiologie

Nr. 5/1996

**Untersuchungen zur gepflanzten Vegetation und ihrer ökologischen Bedeutung**

Michael Winkler

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 6/1996

**Ökologische Charakterisierung von Biotopen im urbanen Raum am Beispiel von Modelltiergruppen**

Erik Arndt, Hans Pellmann

Universität Leipzig, Institut für Zoologie

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 7/1996

**Ausgewählte Rechtsfragen in bezug auf die Sanierung von Braunkohletagebau-gebieten in den neuen Bundesländern**

Reinhard Müller, Birgit Süß

Max-Planck-Arbeitsgruppe Umweltrecht am UFZ

Nr. 8/1996

Hallesche Kleingärten

**Nutzung und Schadstoffbelastung als Funktion der sozioökonomischen Stadtstruktur und physisch-geographischer Besonderheiten**

Iris Breuste, Jürgen Breuste, Karamba Diaby, Manfred Frühauf, Martin Sauerwein,

Michael Zierdt

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 9/1996

**Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild**

Vera Heinz

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 10/1996

**Untersuchungen zu Wechselbeziehungen zwischen Immissionen und Flächennutzung auf strukturtypischen Testflächen in Leipzig**

K. Freyer, P. Popp, H.C. Treutler, D. Wagler, G. Schuhmann

UFZ, Sektion Analytik, Projektbereich Urbane Landschaften

Universität Leipzig, Interdisziplinäres Institut für Natur- und Umweltschutz

Nr. 11/1996

**Stadtböden**

**Schadstoffbelastung und Schadstoffmobilität**

Guido Schulte

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 12/1996

**Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen**

J. Breuste, T. Keidel, G. Meinel, B. Münchow, M. Netzband, M. Schramm

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden

Ingenieurgemeinschaft Wasser-Abfall-Boden, Karlsruhe

Nr. 13/1996

**Induktion von CYP1A1 durch Xenobiotica in Leberzellkulturen von Regenbogenforellen**  
(Dissertation)

Stefan Scholz

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 14/1996

**Ökotoxikologische Wirkungen atmogener anorganischer Schadstoffe auf Kiefernforste**

Horst Schulz, Gernot Huhn, Siegrid Härtling

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 15/1996

**Kinetische Untersuchungen zum Abbau chlorierter und methylierter Benzoesäuren durch Pseudomonas spec. B13 FR 1 (SN45P) (Dissertation)**

Roland A. Müller

Sektion Sanierungsforschung/Umweltbiotechnologisches Zentrum (UbZ)

Nr. 16/1996

**Untersuchungen zur Situation des Wohnumfeldes ostdeutscher Großsiedlungen am Beispiel von Leipzig-Grünau (Dissertation)**

Thomas Keidel

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 17/1996

**Chancen einer Umweltwirtschaft durch §249h-AFG-Projekte untersucht für den Freistaat Sachsen**

Helga Horsch

Sektion Ökosystemanalyse, Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie

Nr. 18/1996

**Modellierung der Ausbreitung kfz-bedingter Schadstoffe in der Stadt Leipzig**

Dietrich Wagler

Universität Leipzig, Interdisziplinäres Institut für Natur- und Umweltschutz

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 19/1996

**Umweltverhalten und Lebensqualität in urbanen Räumen**

Tagungsbericht und wissenschaftliche Beiträge der UFZ-Sommerschule 1996

Sigrun Kabisch (Hrsg.)

Sektion Ökosystemanalyse, Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie

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, Institut für Analytische Chemie

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 21/1996

**Zusammenstellung der vom UFZ sowie von Partnereinrichtungen durchgeführten Untersuchungen in repräsentativen Kleinzugsgebieten der Elbe**

Ralph Meißner, Helmut Guhr, Rudolf Krönert

Sektion Bodenforschung, Sektion Gewässerforschung

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 22/1996

**Untersuchungen zur atmogenen Stickstoffdeposition und zur Nitratverlagerung**  
(Dissertation)

Svenje Mehlert

Sektion Bodenforschung

Nr. 23/1996

**Untersuchungen zur Freisetzung der gelösten organischen Substanz des Bodens (DOM) und zum Einfluß der DOM auf die Mobilisierung ausgewählter Schadstoffe in Abhängigkeit von Boden- und Standorteigenschaften** (Dissertation)

Karsten Kalbitz

Sektion Bodenforschung

Nr. 24/1996

**Geschwindigkeitslimitierende Einflußgrößen beim mikrobiellen Schadstoffabbau in phenolischen Deponiewässern** (Dissertation)

Frank Eismann

Sektion Sanierungsforschung

Nr. 1/1997

**Dynamik von Wasser und Schadstoffen im Boden: Diskrete Simulationsmethoden**

Hans Vollmayr

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 2/1997

**Beziehungen zwischen Urbanen Flächennutzungsstrukturen und klimatischen Verhältnissen am Beispiel der Stadtregion Leipzig**

Ulrich Müller

Sektion Expositions- und Epidemiologie

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 3/1997

**Regionalökologie**

**Tagungsbericht und wissenschaftliche Beiträge des Deutsch-Argentinischen Workshops Mendoza - Argentinien**

Brigitte Großer

Nr. 4/1997

**Zur Stickstoffdynamik selbstbegrünter Ackerbrachen im mitteldeutschen Schwarzerdegebiet**  
(Dissertation)

Gerhard Sauerbeck

Sektion Bodenforschung

Nr. 5/1997

**Tern-Tagung**

**Terrestrische und ökosystemare Forschung in Deutschland**

**Stand und Ausblick**

Heidrun Mühle, Svenne Eichler (Hrsg.)

Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume

Nr. 6/1997

**Chancen für eine nachhaltige Regionalentwicklung in altindustriellen Regionen unter Berücksichtigung des Konzeptes des regionalen Lebenszyklus - das Beispiel Südraum Leipzig**  
(Dissertation)

Tillmann Scholbach

Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Nr. 7/1997

**2. Leipziger Symposium „Ökologische Aspekte der Suburbanisierung“  
Tagungsband der Veranstaltung am 13.6. und 14.6.96**

J. Breuste

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 8/1997

**Soziologisch-, ökonomisch- und ökologisch lebensfähige Entwicklung  
in der Informationsgesellschaft**

Wolf Dieter Grossmann, Stefan Fränzle, Karl-Michael Meiß, Thomas Multhaup, Andreas Rösch  
Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Nr. 9/1997

**Untersuchungen in Enclosures und im Freiwasser des Arendsees (Altmark): Mikrobielles  
Nahrungsnetz, Zoo- und Phytoplankton in einem cyanophyceen-dominierten eutrophen See  
(Dissertation)**

Jörg Tittel

Sektion Gewässerforschung

Nr. 10/1997

**Einfluß von Standort und Bewirtschaftung auf den N-Austrag aus Agrarökosystemen**

U. Franko, S. Schenk, D. Debevc, P. Petersohn, G. Schramm

Sektion Bodenforschung

Nr. 11/1997 (Dissertation)

**Der Einfluß von Immissionen auf ausgewählte Insektengruppen  
(Homoptera, Auchenorrhyncha; Coleoptera, Carabidae) verschiedener Trophieebenen  
(Dissertation)**

Sabine Neumann

Sektion Bodenforschung

Nr. 12/1997

**Optimierung umweltverträglicher Analysenverfahren für Mineralölkohlen-wasserstoffe im  
Boden**

H. Borsdorf, J. Flachowsky

Sektion Analytik

Nr. 13/1997

**Alternativer Landschaftsplan für eine kleine attraktive Stadt in der Informationsgesellschaft -  
Beispiel Visselhövede**

Wolf Dieter Grossmann, Karl-Michael Meiß, Stefan Fränzle, Thomas Multhaup

Donald F. Costello, Frank Simon, Michael Sorkin

Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Nr. 14/1997

**Untersuchungen zum Eintrag von Polycyclischen aromatischen Kohlen-wasserstoffen (PAK)  
über den Luftpfad in ländlichen Gebieten des Raumes Halle/Sachsen (Dissertation)**

Katja Schäfer†

Sektion Bodenforschung

Nr. 15/1997

**Schwermetallgehalte der Böden im mitteldeutschen Ballungsraum - ein Überblick**

Manfred Altermann, Reinart Feldmann, Michael Steininger

Büro für Bodenökologie, Bodenkartierung, Bodenschutz Halle

UFZ, Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume

Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg, Institut für Agrartechnik und Landeskultur

Nr. 16/1997

**Aspekte der Sozialverträglichkeit der Mobilitätsentwicklung in Leipzig**

E. Geisler

Universität Leipzig, Interdisziplinäres Institut für Natur- und Umweltschutz  
UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 17/1997

**<sup>15</sup>N-Traceruntersuchungen zur Nitrifikation/Denitrifikation, insbesondere zur Bildung von Stickstoffoxiden in Böden und wäßrigen Medien (Dissertation)**

Inken Sich

Sektion Bodenforschung

Nr. 18/1997

**The influence of soil organic matter (SOM) on the accumulation and transformation of inorganic and organic pollutants**

E. Schulz, E.-M. Klimanek, M. Körschens, N.A. Titova, L.S. Travnikova, B.M. Kogut,

V.A. Bol'schakov, Z.N. Kachnovic, S.J. Sorokin, T.N. Avdeeva, S.P. McGrath

UFZ, Department of Soil Sciences

Rothamsted Experimental Station Registered Office, Department Soil Chemistry

Dokutchaev Soil Science Institute, Department Soil Biology, Moscow

Nr. 19/1997

**Die Vegetation als Senke und biochemischer Reaktor für luftgetragene Schadstoffe**

Judwig Weißflog, Klaus-Dieter Wenzel

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 20/1997

**Mobilität und Bioverfügbarkeit luftgetragener Schadstoffe in emittentennahen Agrarböden Sachsen-Anhalts**

Michael Manz

Nr. 21/1997

**Bestimmung der Deposition von Fremd- und Schadstoffen in Kiefernforste mit Hilfe von Baumborke**

Horst Schulz, Gernot Huhn, Uwe Schulz

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 22/1997

**Naturschutz in Bergbaufolgelandschaften des Südraumes Leipzig unter besonderer Berücksichtigung spontaner Sukzession**

Walter Durka, Michael Altmöos, Klaus Henle

Sektion Biozönoseforschung

Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume

Nr. 23/1997

**Reststoffe der Kupferschieferverhüttung**

**Teil 1: Mansfelder Kupferschlacken**

Peter Schreck, Walter Gläßer (Hrsg.)

Sektion Hydrogeologie

Nr. 24/1997

**Landschaftsstrukturen und Regulationsfunktionen in Intensivagrarlandschaften im Raum Leipzig-Halle.**

**Regionalisierte Umweltqualitätsziele - Funktionsbewertungen - multikriterielle**

**Landschaftsoptimierung unter Verwendung von GIS (Dissertation)**

Burghard Meyer

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 25/1997

**Vorkommen und Verteilung von toxisch relevanten organischen Komponenten und Schwermetallen in ausgewählten Untersuchungsgebieten**

Peter Popp, Bernd Feist, Brigitte Niehus, Gisela Peklo, Uwe Thuß  
Sektion Analytik

Nr. 26/1997

**Mineralölbelastetes Grundwasser - Struktur, Dynamik, biochemisches Abbaupotential sowie Codierung und Verbreitung degradativer Leistungen in mikrobiellen Biozönosen dieses Ökosystems (Dissertation)**

Antje Birger  
Sektion Hydrogeologie  
Sektion Umweltmikrobiologie

Nr. 27/1997

**Sanierungsforschung in regional kontaminierten Aquiferen (SAFIRA)**

Holger Weiß, Georg Teutsch, Birgit Daus (Hrsg.)  
UFZ, Projektbereich Industrie- und Bergbaufolgelandschaften  
Eberhard-Karls-Universität, Geologisches Institut

Nr. 1/1998

**Experimentelle Tracerstudien und Modellierungen von Austauschprozessen in einem meromiktischen Restsee (Hufeisensee)**

Manfred Maiss, Volker Walz, Michael Zimmermann, Johann Ilmberger, Wolfgang Kinzelbach, Walter Gläßer  
Sektion Hydrogeologie

Nr. 3/1998

**Untersuchungen zur elektrothermischen Verdampfung als Probenzuführungs-technik für die induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ETV-ICP-MS) unter besonderer Berücksichtigung der Transportphänomene (Dissertation)**

Karsten Grünke  
Sektion Analytik

Nr. 4/1998

**Sorption von hydrophoben organischen Verbindungen an gelösten Huminstoffen (Dissertation)**

Anett Georgi  
Sektion Sanierungsforschung

Nr. 5/1998

**Rice Terraces of Ifugao (Northern-Luzon, Philippines)  
- Conflicts of Landuse and Environmental Conservation**

Josef Settele, Harald Plachter, Joachim Sauerborn, Doris Vetterlein  
UFZ, Interdisciplinary Department of Conservation Biology and Natural Resources  
Philipps-University Marburg  
Justus-Liebig-University Giessen  
Brandenburg-Technical-University Cottbus

Nr. 6/1998

**Landschaftsbewertung unter Verwendung analytischer Verfahren und Fuzzy-Logic**

Ergebnisse des Workshops "Einsatzmöglichkeiten von Fuzzy Sets in der Landschaftsbewertung" vom 26. bis 28. Februar 1997 am UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Ralf Grabaum und Uta Steinhard (Hrsg.)  
Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 7/1998

**Wassergewinnung in Talgrundwasserleitern im Einzugsgebiet der Elbe**

W. Nestler, W. Walther, F. Jacobs, R. Trettin, K. Freyer  
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), LB Geotechnik und Wasserwesen  
Technische Universität Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft  
Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie  
UFZ, Sektion Hydrogeologie, Sektion Analytik

Nr. 8/1998

**Diversität und regionale Nachhaltigkeit: Entwicklungsperspektiven des Industriestandortes Böhlen**

Irene Ring, Helga Horsch  
Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie an der Sektion Ökosystemanalyse

Nr. 9/1998

**Interdependenzen von gebauter, sozialer und natürlicher Umwelt und deren Einfluß auf Wohnzufriedenheit und Seßhaftigkeit**

Quartiersbezogene stadtsoziologische Untersuchungen in Leipzig-Stötteritz im Rahmen des Themenschwerpunktes "Sozialräumliche Differenzierung und stadtökologischer Strukturwandel"  
Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie an der Sektion Ökosystemanalyse

Nr. 10/1998

**Microbiology of Polluted Aquatic Ecosystems**

Proceedings of the Workshop held on the 4th and 5th December 1997 at the UFZ Centre for Environmental Research  
Leipzig-Halle  
Petra Maria Becker (Editor)  
Department of Remediation Research

Nr. 11/1998

**Untersuchungen zum Boden/Pflanze - Transfer ausgewählter organischer Umweltschadstoffe in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften (Dissertation)**

Kathrin Heinrich  
Sektion Bodenforschung

Nr. 12/1998

**Isotopenbiogeochemische Untersuchungen über Umsetzungsprozesse des Schwefels in Agrarökosystemen mittels der stabilen Isotope  $^{34}\text{S}$  und  $^{18}\text{O}$  (Dissertation)**

Katrin Knief  
Sektion Hydrogeologie

Nr. 13/1998

**Leistungssteigerung bei der biologischen Bodenreinigung in Perkolationsystemen**

Christian Löser, Andreas Zehnsdorf, Petra Hoffmann, Heinz Seidel  
Sektion Sanierungsforschung

Nr. 14/1998

**Qualitätszielkonzept für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig - Entwicklung einer Methodik zur Operationalisierung einer nachhaltigen Stadtentwicklung auf der Ebene von Stadtstrukturen -**

Evelyne Wickop, Peter Böhm, Katrin Eitner, Jürgen Breuste  
Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 15/1998

**Bewertung von Maßnahmennotwendigkeiten des Umwelt- und Ressourcenschutzes im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld**

Burghard C. Meyer, Rudolf Krönert  
Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 16/1998

**Durchflußzytometrische Charakterisierung der Populationsdynamik von *Acinetobacter calcoaceticus* und *Ralstonia eutropha*** (Dissertation)

Carsten Herrmann  
Sektion Umweltmikrobiologie

Nr. 17/1998

**Vom Individuum zur logistischen Gleichung - ein neues Verfahren zur Bestimmung der Populationsdynamik aus einem individuen-basierten Modell** (Dissertation)

Lorenz Fahse  
Sektion Ökosystemanalyse

Nr. 18/1998

Workshop-Bericht: **Bioremediation of polluted areas**

Luise Berthe-Corti (Hrsg.)  
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Fachbereich 7  
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Nr. 19/1998

**Geoökologische Bewertung urbaner Böden am Beispiel von Großsiedlungen in Halle und Leipzig - Kriterien zur Ableitung von Boden-Umweltstandards für Schwermetalle und Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe** (Dissertation)

Martin Sauerwein  
Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 20/1998

**Methanmonooxygenase-Charakterisierung aus Typ II-Methanotrophen** (Dissertation)

Stephan Große  
Sektion Sanierungsforschung

Nr. 21/1998

12. Osnabrücker Umweltgespräch  
**Schnelle Vor-Ort-Analytik**  
Helko Borsdorf, Johannes Flachowsky  
Sektion Analytik

Nr. 22/1998

2. Workshop **Huminstoffe**  
Jürgen Pörschmann, Dieter Freitag, Frank-Dieter Kopinke (Hrsg.)  
Sektion Sanierungsforschung

Nr. 23/1998

**Third Workshop on Physical Processes in Natural Waters  
31.8.-3.9.1998 in Magdeburg**  
Bertram Bohrer, Michael Schimmele  
Sektion Gewässerforschung

Nr. 24/1998

**Herkunft der balneologisch wertbestimmenden Eigenschaften in sächsischen Mineral- und Thermalwässern** (Dissertation)  
Kurt von Storch  
Sektion Hydrogeologie

Nr. 25/1998

**Vorhersagbarkeit und Beurteilung der aquatischen Toxizität von Stoffgemischen  
- Multiple Kombinationen von unähnlich wirkenden Substanzen in niedrigen  
Konzentrationen -**

L. Horst Grimme, Rolf Altenburger, Thomas Backhaus, Wolfgang Bödecker, Michael Faust, Martin Scholze  
Institut für Zellbiologie, Biochemie und Biotechnologie, Universität Bremen  
UFZ, Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 1/1999

Workshop

**Stoffhaushalt von Auenökosystemen der Elbe und ihrer Nebenflüsse**

Nähr- und Schadstoffe, Ökotoxikologie, Belastbarkeit von Flußauen

1. bis 3. Februar 1999 in der Sektion Gewässerforschung Magdeburg

Kurt Friese, Kathleen Kirschner, Barbara Witter

Sektion Gewässerforschung

Nr. 2/1999

**Kriterien der Nachhaltigkeit und ihre Anwendungsmöglichkeiten auf Landschaftsebene am  
Beispiel der Agrarinseln im Naturpark „Dübener Heide“ (Dissertation)**

Carola Bühler-Natour

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 5/1999

**Arsen-Speziationsanalytik mit Ionenchromatographie und Kapillarelektrophorese in  
Kopplung mit elementspezifischer Detektion (Dissertation)**

Dirk Schlegel

Sektion Analytik

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Analytik  
Permoserstraße 15  
D-04318 Leipzig  
Telefon 0341/235-2370  
Telefax 0391/235-2625