

Belastung von Sedimenten bremischer Gewässer durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

1. Einleitung

In den letzten beiden Güteberichten des Landes Bremen wurde die Belastung der Sedimente der Gewässer Bremens durch die Stoffgruppen Schwermetalle, schwerflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe sowie Organophosphorverbindungen vorgestellt. Mit dem Gewässergütebericht 1995 werden die Untersuchungsergebnisse einer weiteren umweltrelevanten Stoffgruppe dargestellt, nämlich die der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK).

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe sind Verbindungen mit unterschiedlicher Anzahl an kondensierten Benzolringen im Molekül. Der bekannteste Vertreter dieser Gruppe ist das besonders toxische Benzo(a)pyren. PAKs sind als Verunreinigung in Boden, Wasser und Luft sehr verbreitet. Fraglos ist die in den Gewässersedimenten weltweit zu beobachtende Anreicherung der PAKs maßgeblich anthropogener Herkunft und geht vorwiegend auf die unvollständige Verbrennung und Erhitzung fossiler Brennstoffe zurück (Abgase aus Kfz, Flugzeugturbinen, der Müllverbrennung, Kohlekraftwerke, Koksöfen, Tabakrauch). Einige Autoren bezeichnen den Kraftfahrzeugverkehr als Hauptemittenten. Ein weiterer Eintrag in die Umwelt erfolgt bei der Gewinnung und Verarbeitung von PAK-haltigem Steinkohlenteer, der bis 1991 als Holzschutzmittel, vor allem zum Behandeln von Bahnschwellen, Leitungsmasten und Pfählen, in den Verkehr gebracht wurde. Punktuelle, meist sehr starke Kontaminationen von Boden und Grundwasser kommen bei alten Gaswerkstandorten oder Dachpappefabriken vor.

Aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften zeigen PAKs eine starke Tendenz, sich an Partikel anzulagern. Sie können z.B. an Rußpartikel fest gebunden sein, wie etwa bei den Abgasen von Dieselfahrzeugen. Dementsprechend sind in den Gewässern vorwiegend die Sedimente und die Schwebstoffe mit PAKs belastet.

Bei den PAKs handelt es sich um eine in toxikologischer und ökotoxikologischer Hinsicht heterogene Gruppe. Da mindestens einige Substanzen dieser Stoffgruppe kanzerogen und damit stark gesundheitsgefährdend sind, muß man der Substanzklasse besondere Aufmerksamkeit schenken.

Die Datengrundlage für eine Gefährdungsabschätzung der untersuchten 16 Einzelstoffe muß noch als unzureichend bezeichnet werden. Eine eindeutige kanzerogene Wirkung konnte bislang für sieben der untersuchten PAKs nachgewiesen werden. Allerdings weisen die Wirkkonzentrationen, die zwischen 99 mg/kg KG (Körpergewicht) und 0,002 mg/kg KG liegen, einen großen Bereich auf.

Das kanzerogene Potential nimmt in der Reihenfolge Chrysen < Indeno(1,2,3-c,d)pyren = Benzo(k)fluoranthren < Benzo(b)fluoranthren < Benz(a)anthracen < Dibenz(a,h)anthracen < Benzo(a)pyren zu.

2. Auswahl der Stoffe

Die Gruppe der PAKs umfaßt eine Vielzahl an Einzelverbindungen. Von den Hunderten, bislang beschriebenen Einzelstoffen wurden für die Untersuchung der Gewässersedimente - in Anlehnung an die Auswahl der amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA - 16 PAKs berücksichtigt.

1) Naphthalin	9) Benz(a)anthracen
2) Acenaphthylen	10) Chrysen
3) Acenaphthen	11) Benzo(b)fluoranthen*
4) Fluoren	12) Benzo(k)fluoranthen*
5) Phenanthren	13) Benzo(a)pyren*
6) Anthracen	14) Indeno(1,2,3-c,d)pyren*
7) Fluoranthen*	15) Dibenz(a,h)anthracen
8) Pyren	16) Benzo(g,h,i)perylene*

Tabelle 1: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe. Auswahl der amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA (Environmental Protection Agency)

* = PAKs der TrinkwV (Trinkwasserverordnung)

3. Probenahme und Analytik

3.1 Probenahme

Zur Ermittlung der Sedimentbelastung bremischer Gewässer mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen wurden im Jahr 1994 insgesamt 208 Sedimentproben aus der Weser, den Kleingewässern und den Seen in Bremen und Bremerhaven gezogen. Als Probenahmegeräte standen Schöpfer und Greifer zur Verfügung. Mit Ausnahme von PTFE-Schöpfern wurden Materialien aus Kunststoff nicht verwendet. Je nach örtlicher Gegebenheit wurden zwischen drei und sechs Einzelproben aus den obersten zehn Sedimentzentimetern genommen. Vor Ort wurden diese Einzelproben vereinigt, homogenisiert und eine Teilmenge als Analysenmaterial abgefüllt. Die Wesersedimente wurden mittels Bodengreifer entnommen.

3.2 Analysenmethode

Die 208 Sedimentproben aus Weser, Kleingewässern und Seen in Bremen und Bremerhaven wurden durch das Limnologische Institut Dr. Nowak analysiert.

Das Probenmaterial wurde nach dem Homogenisieren einer Heißextraktion mit Aceton unterzogen. Nach einer Phasenverteilung mit n-Hexan erfolgte eine adsorptionschromatographische Reinigung der Extrakte an handelsüblichen Kieselgel-Säulen. Die chromatographische Trennung wurde an einer 60 m-Kapillarsäule (SE-54) temperaturprogrammiert durchgeführt. Identifiziert und quantifiziert wurden die PAKs mit einem Quadrupol-Massenspektrometer. Zur Identifizierung wurden für jede Substanz drei Fragmentmassen herangezogen. Quantifiziert wurde mit Normierung auf einen internen Standard. Die Bestimmungsgrenze des Verfahrens lag bei 0,5 µg/kg TS (Trockensubstanz).

Die Analysen wurden gemäß den AQS-Merkblättern zu den Rahmenempfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für die Qualitätssicherung bei Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen durchgeführt.

4. Grenzwerte und Orientierungswerte

Für die Beurteilung einer PAK-Belastung im Gewässersediment¹ gibt es in Deutschland noch keine gesetzlich festgelegten Grenzwerte. Es existieren aber für Boden- bzw. Sedimentbelastungen Richt- und Orientierungswerte. Nachfolgend wird eine kleine Auswahl zur Orientierung vorgestellt:

- *LAWA - Orientierungswerte für Bodenbelastungen:*

Prüfwert:	1 - 2 mg/kg	(Naphthalin)
Maßnahmenswellenwert:	5 mg/kg	(Naphthalin)
Prüfwert:	2 - 10 mg/kg	(Summe PAK)
Maßnahmenswellenwert:	10 - 100 mg/kg	(Summe PAK)

- *Berliner Liste, Boden - Eingreifwerte und Sanierungsziele für kontaminierte Standorte in Berlin:*

Wasserschutzgebiet:	10 mg/kg TS	(Summe PAK, EPA)
Flächen mit sensiblen Nutzungen:	1 mg/kg TS	(Summe PAK, EPA)
Urstromtal:	50 mg/kg TS	(Summe PAK, EPA)
Hochfläche:	100 mg/kg TS	(Summe PAK, EPA)

- *Berliner Liste, Boden - Einbauwerte für gereinigte Böden in Berlin:*

Einbauwert:	5 mg/kg	(Summe PAK, EPA)
-------------	---------	------------------

- *Holland-Liste, Boden, vom 9. Mai 1994 - Interventions- und Referenzwerte in den Niederlanden: (Standardboden 10 % org. Substanz, 25 % Ton)*

Referenzwerte:	1 mg/kg TS	(Summe PAK [Summe von 10])
Interventionswerte:	40 mg/kg TS	(Summe PAK [Summe von 10])

¹ Zum Vergleich: Immissionsmessungen in der windabgewandten Seite einer norddeutschen Großstadt

Acker:	0,02 - 2,34 mg/kg TS
Grünland:	0,36 - 4,28 mg/kg TS
Stadtböden (Bereich von Verkehrsflächen):	4,30 - 22,30 mg/kg TS

Auf Gaswerksflächen in Norddeutschland:	bis 30.000 mg/kg TS
---	---------------------

5. Ergebnisse

In allen untersuchten Proben konnten polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe nachgewiesen werden. Die PAK-Konzentration der Einzelverbindungen weist eine Spannweite von unterhalb der Bestimmungsgrenze bis 7 mg/kg TS auf. Fluoranthen tritt in allen Sedimentproben mit dem höchsten Gehalt auf. Der Schwerpunkt des Verteilungsmusters der PAKs liegt eindeutig auf der Seite der Moleküle mit 4 bis 6 Benzolringen (Pyren bis Benzo(g,h,i)perylen).

Gehalte an PAK (EPA) im Sediment der Gewässer im Land Bremen					
	Proben- anzahl	Mittelwert (µg/kg TS)	% - Anteil	Maximum (µg/kg TS)	Minimum (µg/kg TS)
Fluoranthen*	208	880,5	16,8	7000	<BG
Pyren	208	716,0	13,6	6400	<BG
Benzo(b)fluoranthen*	208	604,5	11,5	5000	<BG
Chrysen	208	580,4	11,1	4500	<BG
Benzo(a)pyren*	208	445,1	8,5	3800	<BG
Benz(a)anthracen	208	435,3	8,3	3800	<BG
Benzo(k)fluoranthen*	208	398,8	7,6	3300	<BG
Phenanthren	208	347,8	6,7	5700	<BG
Benzo(g,h,i)perylen*	208	346,9	6,6	2500	<BG
Indeno(1,2,3-c,d)pyren*	208	322,0	6,2	2700	<BG
Anthracen	208	78,7	1,6	1700	<BG
Fluoren	208	24,5	0,5	400	<BG
Dibenz(a,h)anthracen	208	19,5	0,4	610	<BG
Acenaphthen	208	13,6	0,3	410	<BG
Acenaphthylen	208	9,3	0,2	160	<BG
Naphthalin	208	6,7	0,1	190	<BG
Summe PAK EPA	208	5229,6	100	42000	8,7
Summe PAK TrinkwV*	208	2997,7		24000	3,0

Tabelle 2: Statistische Kenngrößen der in bremischen Gewässersedimenten nachgewiesenen PAKs

(BG = Bestimmungsgrenze, TS = Trockensubstanz, * = PAKs der TrinkwV [Trinkwasserverordnung])
(1 mg/kg TS = 1.000 µg/kg TS)

Die maximale Gesamtbelastung einer Probenstelle betrug 42 mg/kg TS (Summe PAK nach EPA) beziehungsweise 24 mg/kg TS (Summe PAK nach der Trinkwasserverordnung). Diese Werte wurden in den Sedimenten des Schmutzgrabens ermittelt. Die maximale Einzelstoffbelastung liegt für 11 PAKs zwischen 7 und 1 mg/kg TS (Fluoranthen > Pyren > Phenanthren > Benzo[b]fluoranthen > Chrysen > Benzo[a]pyren > Benz[a]anthracen > Benzo[k]fluoranthen > Indeno[1,2,3-c,d]pyren > Benzo[g,h,i]perylen > Anthracen und für 5 PAKs zwischen 1 und 0,1 mg/kg TS (Dibenz[a,h]anthracen > Acenaphthen > Fluoren > Naphthalin > Acenaphthylen). Die mittlere PAK-Gewässersedimentbelastung (Summe PAK nach EPA) beträgt ca. 5 mg/kg TS.

5.2 Karte der PAK Belastungen

5.1 Statistische Verteilung, Klassenbildung und Kartendarstellung

Die in den Bremer Gewässersedimenten ermittelten Untersuchungsergebnisse wurden zur besseren Veranschaulichung sieben verschiedenen Belastungsklassen zugeordnet. Diese Klassifizierung erfolgte jedoch nicht aufgrund einer ökotoxikologischen Einstufung (s. Kapitel 4), sondern basiert auf der Häufigkeitsverteilung der in den bremischen Gewässersedimenten ermittelten PAK-Konzentrationen. Die Klassenbreite wurde so gewählt, daß einerseits eine annähernd symmetrische Häufigkeitsverteilung (Gauss'sche Verteilung) vorlag und andererseits bekannte Richt- und Grenzwerte (z. B. der Grenzwert-Vorschlag der Klärschlammverordnung) mit einfließen konnten. Beide Aspekte wurden bei der Klasseneinteilung berücksichtigt.

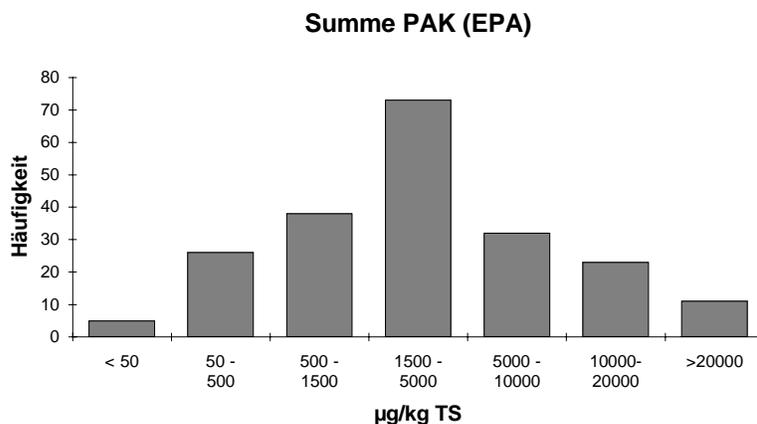


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung der Gehalte an PAKs (Summe EPA)

Klasse	Klassenbreite (µg/kg TS)	Häufigkeit
1	≤ 50	5
2	> 50-500	26
3	> 500 - 1.500	38
4	> 1.500 - 5.000	73
5	> 5.000 - 10.000	32
6	> 10.000 - 20.000	23
7	> 20.000	11

Tabelle 3: Klassen, Klassenbreiten und Häufigkeitsverteilungen (PAKs der EPA-Liste)

(1 mg/kg TS = 1.000 µg/kg TS)

Die PAK-Untersuchungsergebnisse wurden den o.g. Klassen zugeordnet und mit den entsprechenden Farben in die folgende Gewässergütekarte eingezeichnet. Es wurde eine Farbskala von dunkelblau (Klasse 1 = unbelastet) bis rot (Klasse 7) gewählt.

5.3 Belastungsschwerpunkte

Die Belastungsspitze wurde im Schmutzgraben (Probenahmestelle: Anfang) ermittelt. Dieser Gewässerabschnitt fiel bereits im Gewässergütebericht 1993 durch übermäßig hohe PCB-Konzentrationen im Sediment auf. Weitere Belastungsschwerpunkte (PAK-Gehalte n. EPA > 10 mg/kg TS) in Bremen und Bremerhaven wurden punktuell in den folgenden Gewässern festgestellt:

Gewässer (Probenahmestelle)	PAK-Gehalte (Σ PAK n. EPA)	Region
Arberger Kanal (<i>Autobahn</i>)	19 mg/kg TS	Rechts der Weser
Grambker See	21 mg/kg TS	"
Hemmstraßengraben (<i>am Umspannwerk</i>)	25 mg/kg TS	"
Holter Fleet (<i>Ehlersdamm</i>)	11 mg/kg TS	"
Kleine Wümme (<i>Höhe Mülldeponie</i>)	23 mg/kg TS	"
Kleine Wümme (<i>oberhalb Stau Horn</i>)	15 mg/kg TS	"
Kleine Wümme (<i>Höhe Osterholzer Friedhof</i>)	17 mg/kg TS	"
Kuhgraben (<i>vor Kuhsiel</i>)	15 mg/kg TS	"
Mahndorfer Bruchgraben (<i>Heerenholz</i>)	24 mg/kg TS	"
Maschinenfleet (<i>Ritterhuder Heerstr.</i>)	12 mg/kg TS	"
Neue Semkenfahrt (<i>Höhe MVA</i>)	30 mg/kg TS	"
Schmutzgraben (<i>Anfang</i>)	42 mg/kg TS	"
Torfkanal (<i>Anfang</i>)	15 mg/kg TS	"
Torfkanal (<i>oberhalb Verbindungskanal</i>)	11 mg/kg TS	"
Vahrer Fleet (<i>Bgm.-Spitta-Allee</i>)	11 mg/kg TS	"
Waller Fleet (<i>Hempsdamm</i>)	14 mg/kg TS	"
Waller Fleet (<i>Kanarienvweg</i>)	16 mg/kg TS	"
Wümme (<i>Ritterhuder Heerstr.</i>)	11 mg/kg TS	"
Arsterfeldfleet (<i>Martin-Buber-Str.</i>)	19 mg/kg TS	Links der Weser
Brückenstraßenfleet (<i>Anfang</i>)	13 mg/kg TS	"
Delme (<i>Stau Hasbergen</i>)	11 mg/kg TS	"
Huchtinger Fleet (<i>Roland-Center</i>)	11 mg/kg TS	"
Mittelshuchtinger Fleet (<i>Kloßkampsweg</i>)	11 mg/kg TS	"
Neuenlander Wasserlöse (<i>Am Reedeich</i>)	13 mg/kg TS	"
Neuenlander Wasserlöse (<i>Duisburger Str.</i>)	30 mg/kg TS	"
Neuer Rablinghauser Vorfluter (<i>Visbeker Str.</i>)	12 mg/kg TS	"
Hafen E	29 mg/kg TS	Industriehafen
Hafen F	13 mg/kg TS	"
Kalihafen	20 mg/kg TS	"
Ölhafen	12 mg/kg TS	"
Ackmann (<i>Brücke, Buschkämpen</i>)	39 mg/kg TS	Bremerhaven
Geeste (<i>Tidesperrwerk</i>)	13 mg/kg TS	"
Neue Aue (<i>Anfang</i>)	19 mg/kg TS	"
Reinkenheider Feuerlöschteich (<i>Gagel-Str.</i>)	23 mg/kg TS	"

Tabelle 4: PAK-Gehalte (Summe PAK nach EPA) in belasteten Gewässerabschnitten (> 10 mg/kg TS)

(1 mg/kg TS = 1.000 µg/kg TS)

Auffällig hohe PAK-Werte wurden in den Sedimentproben nachgewiesen, die in der Nähe von stark frequentierten Straßen, Mischwasser- und Niederschlagswassereinleitungen sowie Müllverbrennungsanlagen (MVA) gezogen wurden. Erheblich sind z. B. die Konzentrationen im Ackmann, im Grambker See (Nähe Grambker Heerstraße), im Hafen E (Industriehafen), im Hemmstraßengraben, im Kalihafen (Industriehafen), in der Kleinen Wümme (Höhe Mülldeponie), im Mahndorfer Bruchgraben, in der Neuenlander Wasserlöse (Höhe Duisburger Str.), in der Neuen Semkenfahrt (Höhe MVA), im Reinkenheider Feuerlöschteich und im Schmutzgraben.

Die Kleingewässer, die im Bremer Umland ihren Ursprung haben, zeigen nur eine sehr geringe Vorbelastung. Insbesondere die Blumenthaler Aue in Bremen-Nord und der Große Graben in Timmersloh zeichnen sich durch Gehalte von $< 0,050$ mg/kg TS aus. Auch die Schönebecker Aue, die Ihle, der Timmersloher Sielgraben, der Embser Mühlengraben, die Varreler Bäke und die Ochtum sind im ländlichen Bereich wenig bis unbelastet.

5.4 PAK-Verteilung auf Längsschnitten

Von den nachfolgenden Gewässerzügen wird exemplarisch die PAK-Belastung als Längsschnitt dargestellt:

Summe PAK (EPA) im Rodenfleet /Kl. Wümme /Maschinenfleet

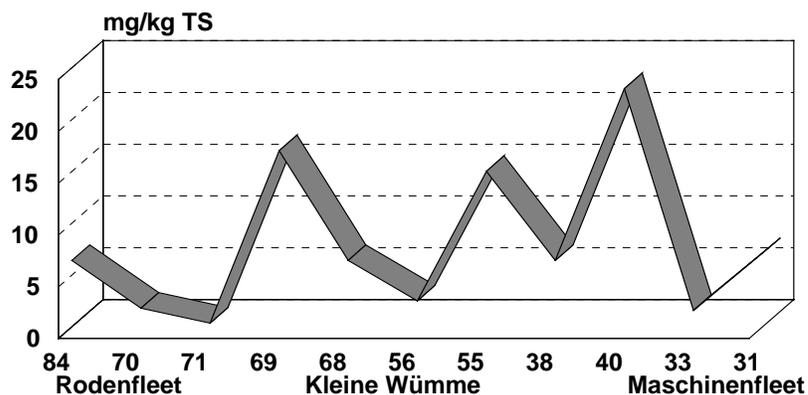


Abbildung 2: Verteilung der PAK im Gewässerzug Rodenfleet, Kleine Wümme, Maschinenfleet

(Probenahmestelle 84-71 = Rodenfleet; 69-40 = Kl. Wümme; 33-31 = Maschinenfleet)
(1 mg/kg TS = 1.000 µg/kg TS)

Im Längsschnitt des Gewässerzuges Rodenfleet / Kleine Wümme, bis hin zum Maschinenfleet sind drei Belastungsspitzen auszumachen: Mit Ausnahme der anfänglichen Belastung von 6,4 mg/kg TS weist das Rodenfleet eine relativ geringe PAK-Sedimentbelastung auf. In der Kleinen Wümme erfolgt in Höhe des Osterholzer Friedhofes (69) ein sprunghafter Konzentrationsanstieg auf 17 mg/kg TS. Die Meßstellen 68 (Ludwig-Roselius-Allee) und 56 (Rhododendronpark) zeigen wieder fallende Tendenz. Ein weiterer Belastungsschwerpunkt in der Kleinen Wümme liegt oberhalb der Stauanlage Horn mit 15 mg/kg TS. Unterhalb der Mülldeponie, dicht vor dem Übergang in das Maschinenfleet, wurde mit 23 mg/kg TS der höchste Belastungswert des Gewässerzuges ermittelt. (Diese Untersuchungsergebnisse korrelieren sehr gut mit den Messungen der polychlorierten Biphenyle aus dem Gewässergütebericht 1993.

Summe PAK (EPA) im Gewässerzug Große Wümme / Lesum

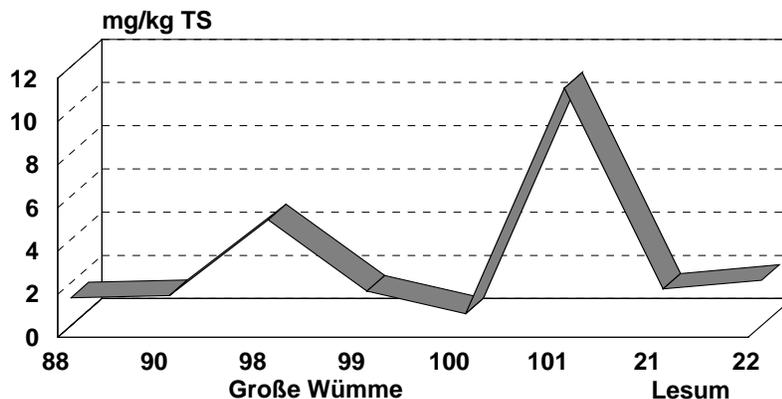


Abbildung 3: Verteilung der PAK im Gewässerzug Große Wümme, Lesum
(Probenahmestelle 88-101 = Wümme; 21-22 = Lesum)

Im Gewässerzug Große Wümme / Lesum (Abb.: s.o.) sind zwei Meßstellen auffällig: zum einen die Wümme-Meßstelle 98 mit einer PAK-Konzentration von 4,9 mg/kg TS und zum anderen in Höhe der Ritterhuder Heerstraße die Wümme-Meßstelle 101 mit einem PAK-Gehalt von 11 mg/kg TS.

Wie bei in anderen Güteberichten diskutierten Stoffgruppen ist auch bei den PAKs ein Einfluß durch die Weser nicht auszuschließen.

Summe PAK (EPA) in der Neuen Aue (Bhv)

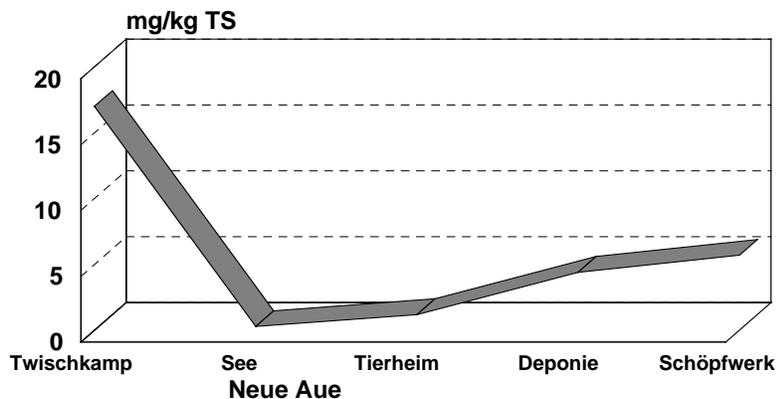


Abbildung 4: Verteilung der PAK im Sediment der Neuen Aue (Bhv)
(1 mg/kg TS = 1.000 µg/kg TS)

In der Neuen Aue ist, wie auch schon in den vorangegangenen Gewässergüteberichten, die Probestelle Am Twischkamp mit dem höchsten PAK-Gehalt auffällig. Das Sediment im Neue Aue See ist deutlich weniger belastet, im weiteren Verlauf steigen die Konzentrationen wieder leicht an.

6. Ursachen der PAK-Belastung

Da PAKs hauptsächlich bei unvollständigen Verbrennungsprozessen gebildet werden, erfolgt die PAK-Ausbreitung im wesentlichen über den Luftweg, um dann z.B. mit Niederschlägen (Depositionen) niederzugesen. So sind z.B. die Immissionen aus dem Kfz-Verkehr ein wichtiger Faktor für die Verbreitung der PAKs, wie Untersuchungen in der Nähe von stark frequentierten Straßen gezeigt haben^[6]. Die Straßen-, Parkflächen- und Gewerbeflächenentwässerung sowie die Mischwasser- und Regenwassereinträge führen schließlich zu einer PAK-Anreicherung im Gewässer.

Bei einer erhöhten PAK-Belastung im Gewässersediment ist der Nachweis einer direkten Gewässereinleitung allerdings nur unter größten Vorbehalten möglich. Da die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe auch im Wasser sehr fest an Partikel gebunden sind, werden sie mit den Schwebstoffen transportiert und abgelagert. Dies geschieht in Gewässern oftmals nicht unmittelbar am Ort des Eintrages, sondern bevorzugt in Bereichen mit geringerer Strömung. In Umkehrung kann man sagen, daß in Bereichen größerer Strömung wenig sedimentiert und damit auch die Gehalte an Verunreinigungen geringer sind.

Besonders deutlich wird dieses im Gewässerzug der Kleinen Wümme in Höhe des neuen Staubauwerkes in Höhe der Müllverbrennungsanlage (siehe Abbildung 2, Meßstelle 38). Das Probematerial war sandig mit einem sehr geringen Anteil an organischen Stoffen (sedimentierte Schwebstoffe). Und obwohl die Kleine Wümme davor und dahinter weit höhere Gehalte an PAKs aufweist, sind die ermittelten Werte hier erheblich niedriger.

Dennoch bestätigen einige Probestellen mit hohen PAK-Gehalten die Belastung durch Mischwassereinleitungen (Hemmstraßengraben, Kleine Wümme in Höhe der MVA und des Staus Horn, Maschinenfleet in Höhe der Ritterhuder Heerstraße, Schmutzgraben, Torfkanal, Waller Fleet) sowie ehemalige Altlasten (Kleine Wümme in Höhe des Osterholzer Friedhofes).

Die hohen PAK-Gehalte in der Nähe von Einleitungsstellen der Straßen-, Parkflächen- und Gewerbeflächenentwässerung (Arberger Kanal zwischen Autobahn und Gewerbegebiet, Holter Fleet, Huch-tinger Fleet in Höhe des Roland-Centers, Mahndorfer Bruchgraben, Mittels-huchtinger Fleet, Anfang der Neuen Aue, Neuenlander Wasserlöse, Vahrer Fleet) deuten auf den Einfluß von belastetem Niederschlagswasser hin.

Auf Auswirkungen des Kfz-Verkehrs der angrenzenden Straßen sind vermutlich die PAK-Belastungen im Ackmann, Arsterfeldfleet und Grambker See zurückzuführen.

Auffällig sind zudem die hohen PAK-Konzentrationen in den Sedimenten der Neuen Semkenfahrt und des Reinkenheider Feuerlöschteiches. Beide Gewässerabschnitte liegen in der Nähe von Müllverbrennungsanlagen.

7. Vergleich der PAK-Gehalte in den Hafenbecken von Bremen und NRW

Messungen, die in Nordrhein-Westfalen durchgeführt worden sind, zeigen vergleichbare Ergebnisse (Tabelle 5). Dort wurden 1990 im Rahmen eines Rheingüteberichtes die PAK-Gehalte im Sediment von verschiedenen Industriehäfen eingehend untersucht.

	Bremen Ölhafen	Bremen Hütten- hafen	Bremen Kohlen- hafen	Bremen Kali- hafen	Bremen Hafen E	Bremen Hafen F	Bremen Hafen A	Neuss Becken 2	Düssel- dorf Becken C	Duis- burg Eisen- bahn- hafen
Naphthalin	42,0	57,0	33,0	48,0	49,0	9,5	<BG	n.u.	n.u.	n.u.
Acenaphthylen	57,0	43,0	<BG	<BG	120,0	32,0	15,0	n.u.	n.u.	n.u.
Acenaphthen	30,0	89,0	<BG	180,0	130,0	39,0	56,0	n.u.	n.u.	n.u.
Fluoren	55,0	84,0	36,0	130,0	280,0	63,0	54,0	n.u.	n.u.	n.u.
Phenanthren	560,0	610,0	460,0	1300,0	3600,0	730,0	470,0	n.u.	n.u.	n.u.
Anthracen	200,0	120,0	85,0	210,0	550,0	160,0	120,0	230,0	260,0	270,0
Fluoranthren	1500,0	1200,0	850,0	2800,0	5400,0	1800,0	1400,0	3300,0	2700,0	3700,0
Pyren	1400,0	940,0	750,0	2300,0	3600,0	1500,0	1100,0	2600,0	2100,0	3000,0
Benz(a)anthracen	940,0	710,0	550,0	1900,0	2300,0	1000,0	640,0	1500,0	1200,0	1700,0
Chrysen	1200,0	820,0	700,0	2200,0	2700,0	1300,0	700,0	2800,0	2500,0	3500,0
Benzo(b)fluoranthren	1500,0	1000,0	910,0	2800,0	2800,0	1600,0	910,0	2400,0	1600,0	2500,0
Benzo(k)fluoranthren	980,0	660,0	600,0	1400,0	1600,0	1100,0	530,0	760,0	640,0	890,0
Benzo(a)pyren	1200,0	790,0	670,0	2300,0	2200,0	1300,0	670,0	1200,0	1200,0	1700,0
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	870,0	570,0	550,0	1400,0	1400,0	900,0	500,0	880,0	840,0	1100,0
Dibenz(a,h)anthracen	60,0	32,0	29,0	8,0	610,0	34,0	31,0	n.u.	n.u.	n.u.
Benzo(g,h,i)perylen	950,0	590,0	690,0	1400,0	1300,0	960,0	570,0	940,0	780,0	1100,0
Summe PAK TrinkwV	7000,0	4810,0	4270,0	12100,0	14700,0	7660,0	4580,0	9480,0	7760,0	11000,0

Tabelle 5: PAK-Gehalte bremischer (in µg/kg TS) und nordrhein-westfälischer Industriehäfen (in µg/kg).
Quelle: Rheingütebericht NRW 1990
n.u. = nicht untersucht <BG = kleiner Bestimmungsgrenze (1 mg/kg TS = 1.000 µg/kg TS)

8. Literatur

- [1] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.), Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden, Stuttgart, Januar 1994
- [2] altlasten Spektrum 3/95, Seite 165 - 166
- [3] Bewertungskriterien für die Beurteilung kontaminierter Standorte in Berlin (Berliner Liste), Amtsblatt für Berlin, 40. Jahrgang Nr. 65, 28. Dez. 1990, S. 2464 - 2469
- [4] Delschin, T.: Beurteilung von PAK und PCB in Kulturböden, Wasser & Boden 1/1994
- [5] Preuss, E; Kläschen, G.: PAK-Profile zur Ursachenermittlung bei Bodenbelastungen. Wasser & Boden 1/1994
- [6] Scheffer, Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag, Stuttgart 1989
- [7] Streit, B.: Lexikon Ökotoxikologie. VCH, Weinheim 1992
- [8] Unger, H.J.; Prinz, P.: Verkehrsbedingte Immissionen in Baden-Württemberg-Schwermetalle und organische Fremdstoffe in straßennahen Böden und Aufwuchs, Hrsg.: Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart 1992
- [9] Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Rheingütebericht NRW '90, Düsseldorf, August 1991