

Dezember 2013

Ermittlung der Ursachen der Schadstoffbelastung durch PAK's von Wasser und Sediment in der Jade

Vorwort und Veranlassung

Vor geraumer Zeit in Oberflächengewässern durchgeführte landesweite Untersuchungen haben ergeben, dass die Jade eine erhöhte Belastung mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK's) im Gewässersediment aufweist.

Um die Ursache für die erhöhte Sedimentbelastung zu ermitteln, wurde im Jahr 2010 von den damaligen Auszubildenden des NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) in Hildesheim ein „Jugend-forscht-Projekt“ durchgeführt. Beteiligt waren Dirk Müller, Jennifer Hübner und Tina Schödel.

Im Rahmen dieses Projektes sind sowohl Wasser- als auch Sedimentuntersuchungen durchgeführt worden. Die Ergebnisse wurden dokumentiert und sind hier nachzulesen.

Aus Zeitmangel konnte damals innerhalb der offiziellen „Jugend-forscht-Aktivitäten“ nicht mehr der wichtigen Frage nachgegangen werden, welche Schutz-Anstrichfarbe beim Jadeschöpfwerk verwendet wurde: Wies diese Bestandteile von PAK's auf? Da der Betreiber des Jadeschöpfwerkes keine Aussagen über die Zusammensetzung der verwendeten Anstrichfarbe machen konnte, wurde im Mai 2011 – nachdem das „Jugend forscht-Projekt“ bereits abgeschlossen war – von den Auszubildenden eine Farbprobe vom Jadeschöpfwerk entnommen und auf PAK's analysiert.

Ohne den folgenden Ergebnissen vorgreifen zu wollen: Es hat sich gezeigt, dass die am Jadeschöpfwerk verwendete Anstrichfarbe deutliche Anteile von PAK's enthielt. Insofern konnte letztlich ein schlüssiger Beweis geliefert und die Ursache ermittelt werden.

Da die Ergebnisse dieser Untersuchung sehr interessant sind und die Auszubildenden eine vorzügliche Arbeit geleistet haben, hat sich der NLWKN entschlossen, den „Jugend-forscht-Bericht“ öffentlich zu machen.

„Ermittlung der Ursachen der Schadstoffbelastung durch PAK`s von Wasser und Sediment in der Jade“

Projekt der Auszubildenden Chemielaboranten/innen
Ausbildungsjahrganges 2008 – 2012

Jugend forscht 2011

Auszubildende :	Dirk Müller Jennifer Hübner Tina Schödel
Ausbildungsleiter :	Ulrich Helwes
Fachberater	Dr. Dieter Steffen
Laborleiter:	Waldemar Bülow
ABL:	Guido Strumm

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
An der Scharlake 39

31135 Hildesheim

GB. 3 / AB. 33 / Ausbildung

Hildesheim im Januar 2011

Inhaltsverzeichnis

Seite

• Titelblatt	2
• Inhaltsverzeichnis	3
• Begründung für die Durchführung des Projektes	4
• Projektinhalt	4
• Parameter	4
• Acenaphthen	6
• Anthracen	7
• Benzo (a)- anthracen	8
• Benzo (a)- pyren	9
• Benzo (g,h,i)- perylen	10
• Benzo (k)- fluoranthen	11
• Chrysen	12
• Dibenzo (a,h)- anthracen	13
• Fluoranthen	14
• Fluoren	15
• Indeno (1,2,3,c,d)- pyren	16
• Phenanthren	17
• Pyren	18
• Naphthalin	19
• Benzo (b)- fluoranthen	20
• Probenahme und Probenahmestellen	21
• Tabelle: TOC-Werte und vor Ort Parameter	26
• Tabelle: PAK-Werte der Wasserproben	26
• Tabelle: PAK-Werte der Sedimentproben	27
• Messdaten der Wasserproben	28
• Auswertung der Wasserdaten mit Diagramen	29
• Stoffverteilung der PAK´s in Wasser	30
• Auswertung der Sedimenttabellen mit Diagrammen	31
• Stoffverteilung der PAK´s in Sediment	32
• Ergebnis	33
• Diskussion/ Schlusswort	33
• Zeitverbrauch für das Projekt	34
• Quellennachweis	35

Begründung für die Durchführung des Projektes

Seit geraumer Zeit wird eine erhöhte Belastung von Oberflächenwasser und Sedimenten mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in der Jade festgestellt. Bisher wurde immer nur die Belastung selbst ins Auge gefasst, die Ursachen blieben dabei völlig außer Acht. Es wird vermutet, dass die Belastung von einem Bauwerk im Bereich der Jade herrührt. Wir haben uns zum Ziel gesetzt, die Ursache des Eintrags an PAK aufzuspüren. Durch das Wissen der Ursache kann diese möglicherweise beseitigt und ein weiterer Eintrag verhindert werden. Dies entspricht auch den Anforderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinien (EG-WRRL).

Projekthalt

- Erkennen der Problemsituation
- Festlegung der Analyseparameter
- Planung von Probenahmen
- Festlegung der Probenahmestellen
- Durchführung der Probenahmen und Messung von Vorortparametern
- Probenaufarbeitung und Messung im Labor
- Auswertung der Daten
- Interpretierung der Ergebnisse
- Erstellung eines Berichtes

Parameter

Wasser: TOC (engl.: total organic carbon), PAK, abfiltrierbare Stoffe, Temperatur, pH-Wert, Witterung, Trübung, Färbung

Sediment: TOC, PAK, Korngrößenverteilung, Geruch

1. TOC - Gesamter organischer Kohlenstoff

Der TOC ist der aussagekräftigste Summenparameter für die Gewässereinstufung. Er beschreibt wie viel gelöster, ungelöster und organischer Kohlenstoff in einer Probe enthalten ist, wobei er nur als Summe aus allen aussagekräftig wird. Mit dem TOC lassen sich also Aussagen treffen, wie hoch die organische Belastung, welche schon als Spurenelemente gesundheitsschädlich sein können, in Wasser und Sedimenten vorliegt. Er ist auch ein Maß für die Verunreinigung der Probe. Zur Ermittlung des TOC-Gehaltes wird die Konzentration des gesamten organisch gebundenen Kohlenstoffes im Wasser bestimmt und zumeist mit automatisierten Messverfahren ermittelt. Im Bereich großer TOC-Konzentrationen wird häufig nach dem „Differenzverfahren“ gearbeitet. Dabei wird im ersten Schritt die Gesamtheit aller Kohlenstoffverbindungen („TC“= Total Carbon) bestimmt und

anschließend in einer zweiten Messung der Anteil anorganischer Kohlenstoffverbindungen (z. B. Carbonate) („TIC“ = Total Inorganic Carbon) ermittelt. Durch Subtraktion des TIC vom TC erhält man dann den TOC-Wert. Die Messmethode beruht auf der Oxidation von den in Wasser vorhandenen Kohlenstoffverbindungen und der anschließenden Bestimmung des dabei entstandenen CO_2 .

Die Oxidation wird üblicherweise durch thermische Verbrennung durchgeführt.

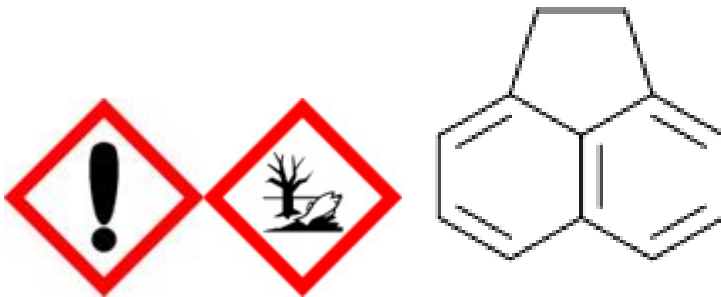
2. PAK - polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe

Die PAK stellen die am weitesten verbreiteten organischen Schadstoffe dar. Sie entstehen generell bei unvollständigen Verbrennungen organischer Substanzen, daher kommen sie auch in der Natur vor. Eine Freisetzung an PAK erfolgt also seit der Nutzung des Feuers und stieg zu Zeiten der Industrialisierung stark an. Damit besteht auch die Gefahr der Einwirkung in die Biosphäre und der Akkumulation, also „Anreicherung“, in die Nahrungskette. Es gibt mehrere hundert verschiedenen Einzelsubstanzen, von denen nur sehr wenige durch Routineanalytik erfasst werden können. Für einen Teil der PAK`s sind karzinogene, (Krebserzeugende oder Krebsfördernde) mutagene, (das Erbgute eines Organismus verändernd) oder auch östrogene (hormonell wirkende) Wirkungen beschrieben. Seit den neunziger Jahren werden standardmäßig 16 Substanzen erfasst, die hauptsächlich in Steinkohlenteer auftreten. Besondere Augenmerkmale liegen meistens bei Benzo(a)pyren wegen seiner hohen karzinogenen Wirkung und bei Naphthalin aufgrund seiner hohen Flüchtigkeit. Durch die Natur werden PAK`s z.B. durch Vulkane, Waldbrände und bei der Entstehung von Kohle, Torf und Erdöl an die Umwelt abgegeben. Durch den Menschen (anthropogen) kommen sie hauptsächlich durch die Rohöl- und Kohleverarbeitung in die Umwelt. Hinzu kommen Stahl- und Aluminiumschmelzen, die Energiegewinnung durch Kraftwerke sowie der Kraftfahrzeugverkehr, aber auch durch Hausbrände gelangen PAK`s in die Luft. Eine Emission (Ausstoß) vieler Substanzen erfolgt auch durch die weite Verbreitung von Teer und Teerölprodukten. Hier ist der wahrscheinlichste Eintrag in Grund- und Oberflächengewässern zu erwarten. Da einige Stoffe, z.B. Naphthalin, Acenaphthen, Anthracen, Phenanthren, Fluoranthen und Pyren, gezielt als Ausgangsstoffe für die Herstellung von Pharmazeutika und Farbstoffen eingesetzt werden, erfolgt ein Eintrag in Gewässer also auch durch Anstriche von wasserwirtschaftlichen Anlagen bzw. Schiffsanstriche usw.. Die Einleitung von gereinigten Abwässern ist durchaus auch in Betracht zu ziehen. Chemisch gesehen bestehen PAK`s aus mindestens zwei oder mehr kondensierten Benzolringen. Schmelzpunkte der PAK`s liegen zwischen -22 und 266°C , die Siedetemperaturen bei 218 bis 536°C . Damit kann man die Stoffe als überwiegend schwerflüchtig bezeichnen. Die Sorptionsfähigkeit ist generell sehr hoch, d.h. PAK Moleküle lagern sich an sehr kleinen Feststoffteilchen an. Je mehr Benzolringe die Verbindung enthält, desto unlöslicher sind sie in Wasser und umso mehr können sie sorbiert werden. Gleichzeitig ist auch eine Abnahme der biologischen Abbaubarkeit zu beobachten. Unser Augenmerk liegt auf folgenden 15 Verbindungen: Naphthalin, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Dibenzo(ah)anthracen, Benzo(ghi)perylen, Indeno(123cd)pyren.

Acenaphthen

IUPAC- Name *	1,8-Ethylenenaphthalene
Name	Acenaphthen
Summenformel	$C_{12}H_{10}$
Molare Masse	154,21 g/mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit	Unlöslich in Wasser
Dichte	1,15 g/ cm ³

* = IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry, zu deutsch „Internationale Union für reine und angewandte Chemie“



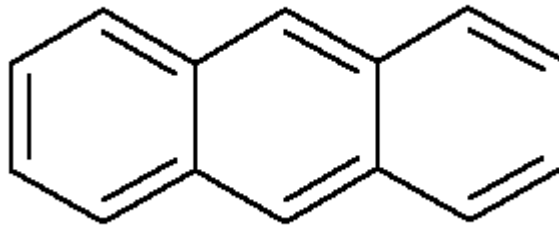
Acenaphthen ist ein leicht gelblicher Feststoff der in Wasser nicht löslich ist.

Acenaphthen weist eine reizende Wirkung auf. Weiterhin hat es eine langfristige giftige Wirkung auf Wasserorganismen und eine langfristige Schädliche Wirkung auf Gewässer.

Es sollte vermieden werden das Acenaphthen mit Oxidationsmitteln in Berührung kommt, da heftige Reaktionen zu erwarten sind.

Anthracen

IUPAC Name	Paranaphthalin, Anthracene
Name	Anthracen
Summenformel	$C_{14}H_{10}$
Molare Masse	178,24 g/mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit	Unlöslich
Dichte	1,25 g/cm ³



Anthracen ist ein farbloser kristalliner Feststoff der leicht sublimiert. Die Blättchen fluoreszieren violett.

Es hat nur einen geringen aromatischen Geruch.

Anthracen ist in Steinkohleteer enthalten.

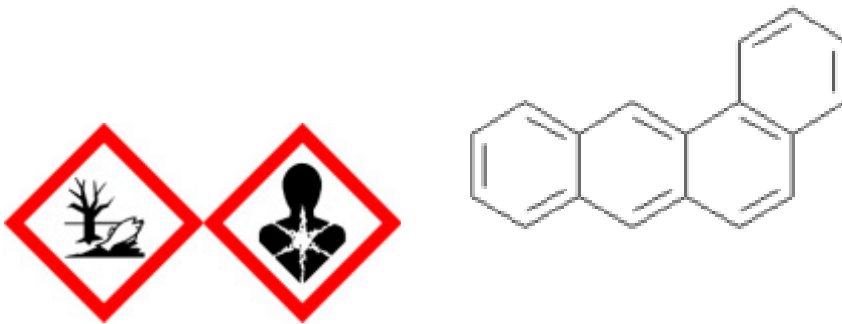
Positiv geladene Anthracenmoleküle wurden in Meteoriten und kürzlich in interstellarer Materie nachgewiesen.

Anthracen ist eines der Urrohstoffe zur Alizarinherstellung.

Eine weitere Verwendung für Anthracen ist es, als Basisstoff für die Herstellung von Schädlingbekämpfungsmitteln und Gerbstoffen zu benutzen.

Benzo (a)- anthracen

IUPAC Name	2,3-Benzphenanthren
Name	Benzo(a)- anthracen
Summenformel	$C_{18}H_{12}$
Molare Masse	228,3 g/mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit	Unlöslich
Dichte	



Benzo(a)- anthracen ist ein gelblicher bis brauner Feststoff der in Flocken oder staubähnlichen Zustand vorliegt.

Diese Flocken oder Staub können zu einer Staubexplosion führen.

Weiterhin steht Benzo(a)- anthracen in Verdacht Krebs zu verursachen. In Tierversuchen wurde festgestellt das es toxisch und mutagen ist.

Benzo(a)- anthracen ist ein Polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoff der im Gegenzug zu den meisten anderen PAK's leicht flüchtig ist.

Vorallem findet man Benzo(a)- anthracen in Auto- und Industrieabgasen sowie in Tabakrauch und auch kontaminierte Nahrungsmittel.

Benzo (a)- pyren

IUPAC Name	3,4-Benzopyren
Name	Benzo(a)- pyren
Summenformel	C ₂₀ H ₁₂
Molare Masse	252,3 g/mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit	Unlöslich
Dichte	1,4 g/cm ³



Benzo(a)- pyren ist ein gelber Feststoff der als Kristall oder in Pulverform vorliegt.

Benzo(a)- pyren geht mit Oxidationsmitteln und Nitroverbindungen eine Reaktion ein. Wie auch die meisten anderen PAK´s ist Benzo(a)- pyren ein starkes Kontaktgift.

Benzo(a)- pyren kommt in fossilen Brennstoffen und Tabakrauch, Auto- und Industrieabgasen und gegrilltem Fleisch vor.

Es ist nur geringfügig flüchtig und liegt partikelgebunden vor.

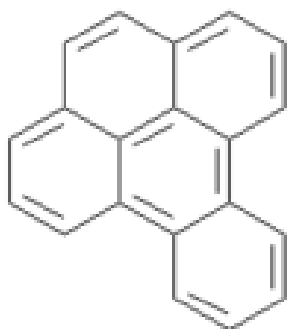
Durch Nass- und Trockendeposition gelangt es in Boden und Wasser.

Das Bioakkumulationspotenzial ist bei Benzo(a)- pyren sehr hoch und außerdem ist es hoch toxisch.

Im Tierversuch ist es kanzerogen und steht im Verdacht, auch bei Menschen Krebs auszulösen. Weiterhin ist es als mutagen und reproduktionstoxisch eingestuft.

Benzo (g,h,i)- perylen

IUPAC Name	1,12-Benzoperylene
Name	Benzo(g,h,i)- perylen
Summenformel	C ₂₂ H ₁₂
Molare Masse	276,3 g/mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit	Unlöslich
Dichte	



Benzo(g,h,i)- perylen ist ein gelbgrüner Feststoff der brennbar ist.

Er kommt in Rohöl und Kohleteer vor. Es findet sich auch beispielsweise in Tabakrauch, Auto- und Industrieabgasen sowie in Speiseölen.

In der Atmosphäre liegt Benzo(g,h,i)- perylen Partikelgebunden vor.

Durch Trocken- und Nassdeposition wird es in Böden und Gewässer eingetragen.

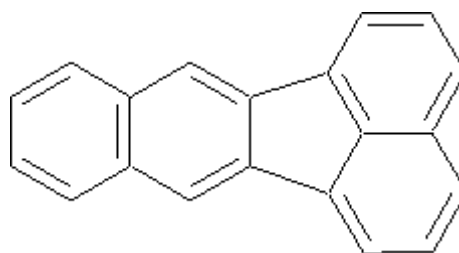
Das Akkumulationspotenzial von Benzo(g,h,i)- perylen ist sehr hoch. Darüber hinaus steht es im Verdacht mutagen zu sein.

Über die Toxizität und karzinogene Wirkung können aufgrund fehlender Daten noch keine Aussagen getroffen werden.

Jedoch gibt es einige Beweise für die Karzinogenität die jedoch keine endgültige Einstufung zulassen.

Benzo (k)- fluoranthen

IUPAC Name	11,12-Benzofluoranthen, Dibenzo(b,j,k)fluoren
Name	Benzo(k)- fluoranthen
Summenformel	$C_{20}H_{12}$
Molare Masse	252,3 g/mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit	Unlöslich
Dichte	-



Benzo(k)- fluoranthen ist ein gelber Feststoff der brennbar ist.

Bei der Verbrennung entstehen jedoch toxische Gase.

Mit starken Oxidationsmitteln kommt es auch zu Reaktion.

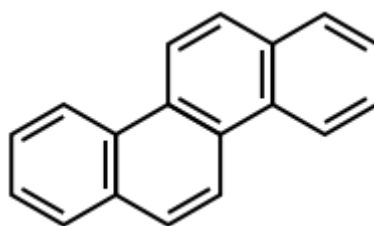
Es ist also zu beachten das Benzo(k)- fluoranthen mit keinerlei Oxidationsmitteln in Kontakt kommt.

Benzo(k)- fluoranthen ist ein starkes Kontaktgift und es besteht die Vermutung das er Krebs auslösen kann.

Also ist im Umgang mit Benzo(k)- fluoranthen höchste Sorgfalt und Vorsicht geboten.

Chrysen

IUPAC Name	1,2- Benzophenanthrene
Name	Chrysen
Summenformel	$C_{18}H_{12}$
Molare Masse	228,29 g/mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit	20 mg/l
Dichte	1,274 g/cm ³



Chrysen kommt in der Natur im Stein- und Braunkohleteer vor, wie auch in dem organischen Mineral Curtisit sowie im Tabakrauch.

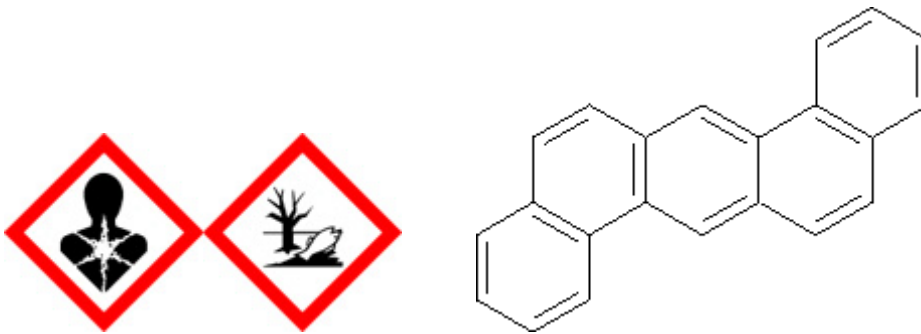
Im UV-Licht zeigt es eine starke Fluoreszenz.

Chrysen wird zur Herstellung von UV-Filtern und aufgrund seiner blauen Fluoreszenz zur Markierung von Objekten genutzt. Weiterhin kommt es zum Einsatz bei der Herstellung von Sensibilisatoren und Farbstoffen.

Die biologische Wirkung von Chrysen ist wie die meisten PAK's karzinogen und mutagen. Für in Wasser lebende Organismen ist Chrysen sehr giftig und kann durch Bioakkumulation angereichert werden, was wiederum bedeutet, dass es zu einer langfristigen Schädigung des Gewässers und der darin lebenden Organismen kommt.

Dibenzo (a,h)- anthracen

IUPAC Name	1,2 : 5,6 Dibenzanthracen
Name	Dibenzo(ah)- anthracen
Summenformel	C ₂₂ H ₁₄
Molare Masse	278,35
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit	unlöslich
Dichte	1,28 g/cm ³



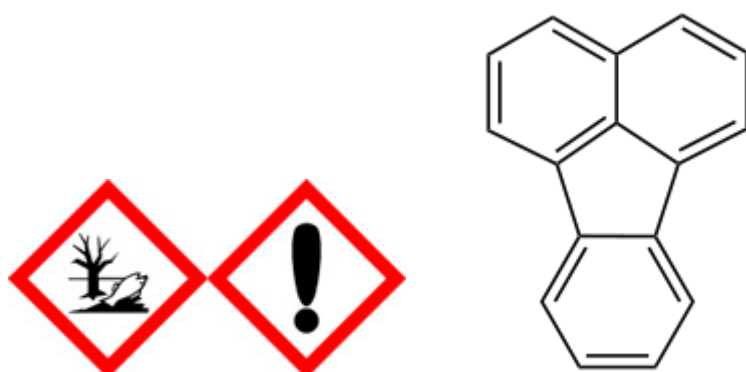
Dibenzo(ah)- anthracen ist ein farbloses kristallines Pulver welches brennbar ist.

Wie auch andere PAK's ist Dibenzo(ah)- anthracen ein starkes Kontaktgift.

Die genaue Wirkung auf den menschlichen Körper ist noch unbekannt aber es besteht der Verdacht, dass es ein Auslöser für Krebs sein könnte.

Fluoranthen

IUPAC Name	1,8-(<i>o</i> -Phenylen)naphthalin, Fluoranthene
Name	Fluoranthen
Summenformel	C ₁₆ H ₁₀
Molare Masse	202,26 g/mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit	Unlöslich in Wasser
Dichte	1,236 g/cm ³



Fluoranthen ist ein ungesättigter PAK. Es handelt sich um einen gelblichen bis grünen kristallinen Feststoff.

Fluoranthen ist ein Zwischenprodukt welches bei der Drogen- und Pharmazeutikaherstellung entsteht.

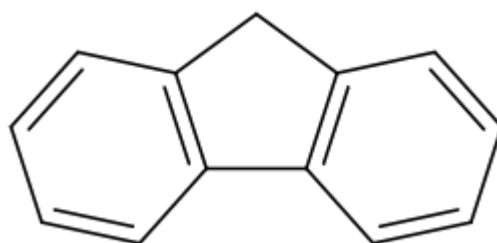
In der Natur kommt es in Steinkohleteer und fossilen Brennstoffen vor.

Es wird im Körper zu 2-Methylfluoranthen und zu 3-Methylfluoranthen und deren Zerfallsprodukte metabolisiert.

Bei Tests wurde eine mutagene und karzinogene Auswirkung beobachtet.

Fluoren

IUPAC Name	9H- Fluoren
Name	Fluoren
Summenformel	$C_{13}H_{10}$
Molare Masse	166,22 g/ mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit in Wasser	1,9 mg/l
Dichte	1,20 g/cm ²



Eine besondere Eigenschaft des Fluorens ist, dass es bei einer Deprotonierung zu einem aromatischen Anion wird. Weiterhin wird es als Ligand in der metallorganischen Chemie eingesetzt.

Vor allem wird Fluoren zur Herstellung von Farb- und Kunststoffen, sowie von Pestiziden verwendet. Fluoren wird auch als Dünger verwendet, da es eine Zellteilung einleitet.

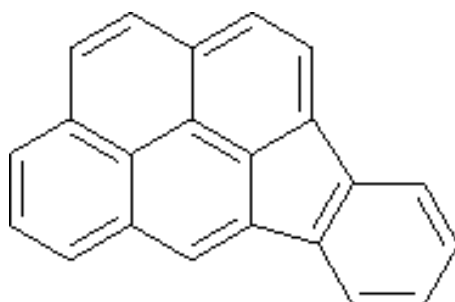
Aus diesem Grund wird in der Medizin auch diskutiert ob man in Zukunft ungiftige Derivate des Fluorens als Medikament nach Transplantationen einsetzen soll.

Fluoren wird aus Steinkohleteer gewonnen.

Es kann aber auch in geringen Mengen bei der Verbrennung von Organischen Material unter Sauerstoffmangel entstehen, so wie bei der Verbrennung von Diesel und Benzin.

Indeno (1,2,3,c,d)pyren

IUPAC Name	
Name	Indeno(123cd)pyren
Summenformel	$C_{22}H_{12}$
Molaren Masse	276,33
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit	Unlöslich
Dichte	-



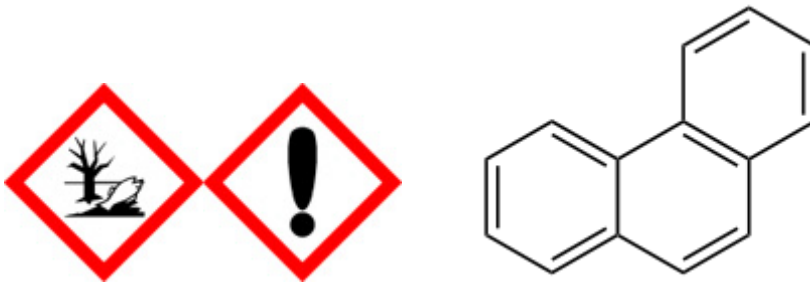
Indeno(123cd)pyren wurde in Boden, Grundwasser- und Oberflächenwasserproben im Umkreis von Deponien nachgewiesen. Außerdem ist es in gebrauchten Motorenölen, Tabakrauch, Schmierölen und in Abgasen von Benzinmotoren und Holzöfen zu finden.

In der Atmosphäre liegt es meist Partikelgebunden vor, dies kommt zustande weil das Indeno(123cd)pyren nur im geringem Maße flüchtig ist.

In Tierversuchen wurden karzinogene und mutagene Wirkungen festgestellt und steht im Verdacht auch beim Menschen Krebs auszulösen.

Phenanthren

IUPAC Name	Phenanthrin
Name	Phenanthren
Summenformel	$C_{14}H_{10}$
Molare Masse	178,23 g/mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit	11 mg/l
Dichte	1,18 g/cm ³



Phenanthren ist ein farbloser Feststoff welcher hauptsächlich in der Destillationsfraktion des Anthracens im Steinkohleteer vorkommt bzw. gewonnen wird.

Weiterhin wird es zu Synthese zur Herstellung von Medikamenten, Pestiziden, Farbstoffen und Sprengstoffen genutzt.

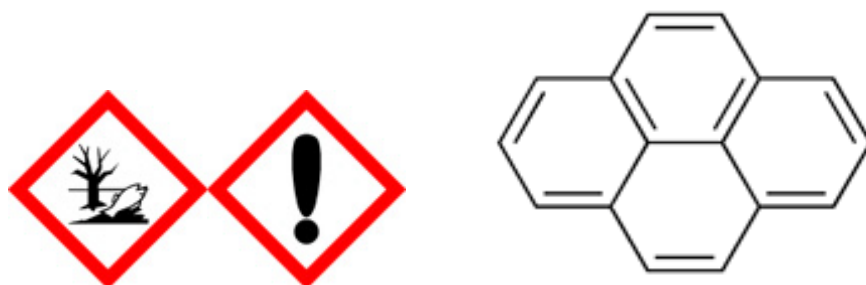
Im Körper wird Phenanthren zu Naphthalin- 1,2- diol oxidiert.

Es reizt die Augen und die Haut.

In der Natur kommt Phenanthren als das Mineral Ravatit vor, welches aber sehr selten ist.

Pyren

IUPAC –Name	Benzo[def]phenanthren
Name	Pyren
Summenformel	C ₁₆ H ₁₀
Molare Masse	202,26 g/mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit in Wasser	0,135 mg/l
Dichte	1,27g /cm ³



Pyren ist ein gelber, pulverförmige Feststoff.

Es gehört zu der Gruppe der PAK.

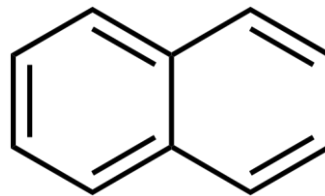
Es wirkt reizend auf Haut und Augen. Weiterhin ist es als reizend eingestuft.

Er ist in Wasser nahezu unlöslich, jedoch in aromatischen Lösemitteln und Diethylether löslich.

Pyren kommt alleinig in Steinkohleteer vor.

Naphtalin

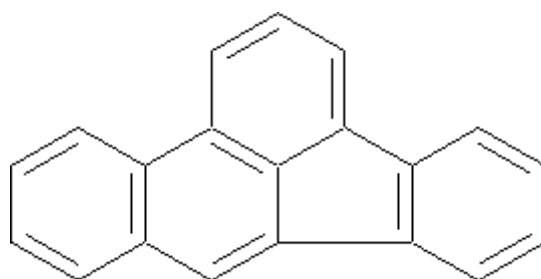
IUPAC Namen	Naphtalen
Name	Naphtalin
Summenformel	$C_{10}H_8$
Molare Masse	128,173 g/mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit in Wasser	Ca. 32 mg/L
Dichte	1,14 g/ml



Naphtalin ist ein farbloser Feststoff der schon bei Raumtemperatur Sublimiert (d.h. ohne flüssig zu werden vom festen in den gasförmigen Zustand übergehend.) Es besitzt den charakteristischen Geruch nach Teer. Es wird hauptsächlich aus Steinkoaleteer gewonnen wo es mengenmäßig am meisten vorhanden ist. Früher wurde es in Mottenkugeln und in der Medizin zur Darmdesinfektion verwendet. Heute weiß man das Naphtalin gesundheitsschädlich und umweltgefährdend ist. Es wird vermutet das es wie viele PAK eine karzinogene Wirkung aufweist.

Benzo (b)- fluoranthen

IUPAC Name	3,4-Benzofluoranthene
Name	Benzo(b)- fluoranthen
Summenformel	$C_{20}H_{12}$
Molare Masse	252,31 g/mol
Aggregatzustand	Fest
Löslichkeit	Unlöslich
Dichte	



Benzo(b)- fluoranthen ist ein farbloser Feststoff, welcher beim Erhitzen toxische Gase bildet.

Bei Benzo(b)- fluoranthen handelt es sich um ein gefährliches Kontaktgift, d.h. Hautkontakt ist dringend zu vermeiden.

Weiterhin besteht der Verdacht, dass der Stoff beim Menschen Krebs erzeugen kann.

Die genaue Wirkung auf den menschlichen Organismus ist nicht bekannt.

Benzo(b)- fluoranthen ist sehr Umweltgefährlich.

Die Trinkwasserverordnung, die zum 1.1.2003 die Ende 1998 geänderte EG Trinkwasserrichtlinie (98/83/EG) umsetzt, betrifft fünf PAK, und zwar einmal die Summe aus Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(ghi)perylene und Indeno(1,2,3-cd)pyren) mit einem Grenzwert von 0,1 µg/L sowie Benzo(a)pyren mit einem Grenzwert von 0,01 µg/L. Fluoranthen wird nicht mehr berücksichtigt. Gegenüber der Trinkwasserverordnung von 1990 ist der Grenzwert damit nahezu halbiert worden (0,11 µg/L gegenüber 0,2 µg/L).

3. Abfiltrierbare Stoffe

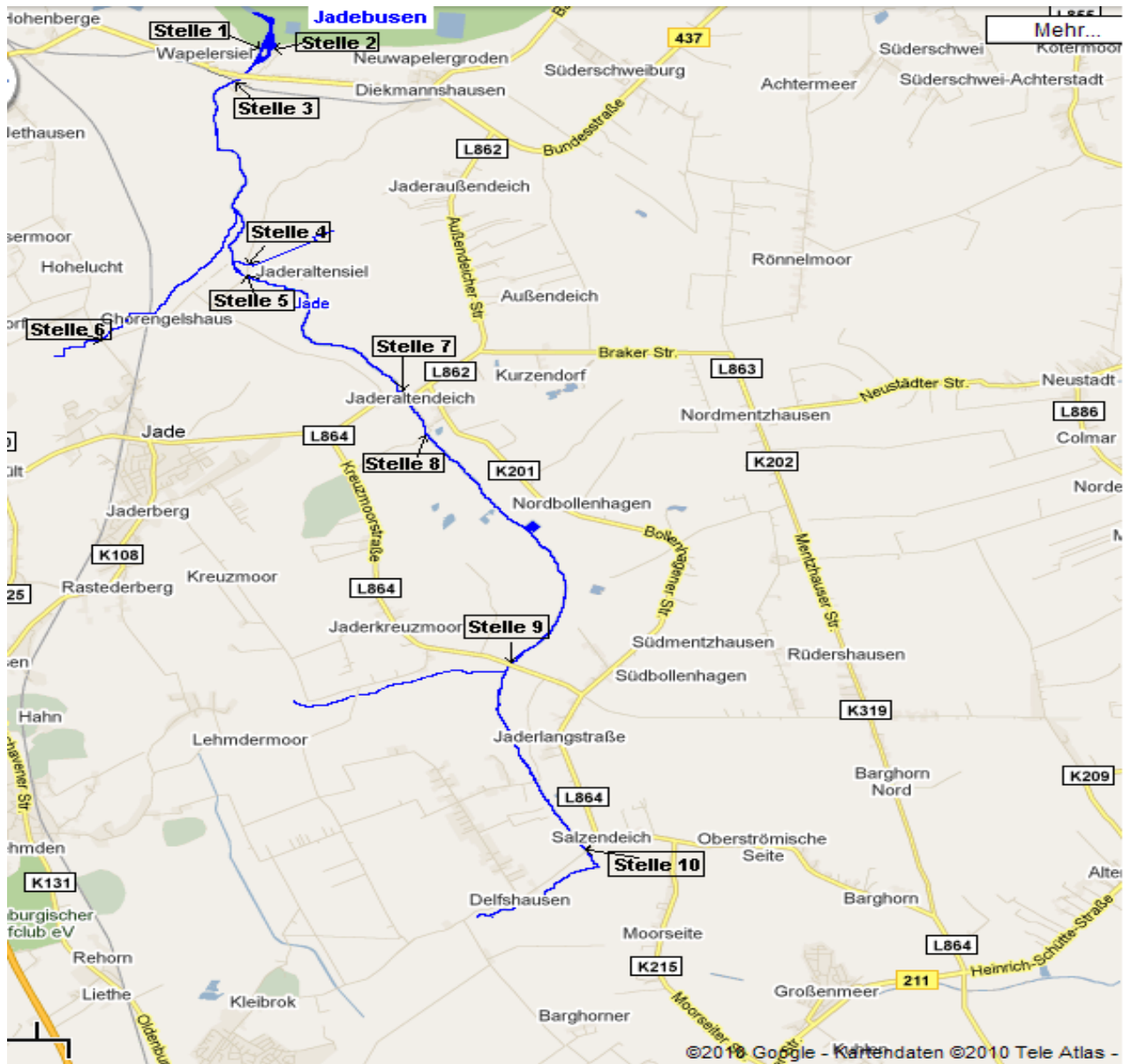
Die abfiltrierbaren Stoffe wurden bestimmt, um den Schwebstoffgehalt des Oberflächengewässers zu charakterisieren. Da sich die PAK`s an kleinen Feststoffteilchen akkumulieren, kann mit diesem Parameter eine Aussage über den Gehalt an PAK`s getroffen werden. Die Angabe erfolgt in mg/L. Um bei der Auswertung zu verhindern, dass durch hohe Anlagerungen die Ergebnisse verfälscht werden, rechnet man den TOC ein.

4. Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung wurde bestimmt, da sich PAK`s bevorzugt an kleinen Feststoffteilchen anlagern. Eine Probe mit hohem Feststoffanteil < 20 µm wird daher mehr PAK`s anlagern als eine Feststoffprobe mit großem Anteil an grobkörnigen Material. Dies muss bei der Auswertung von PAK`s in Sedimenten berücksichtigt werden. Bevorzugt wird der Feststoff TOC in die Auswertung mit einberechnet.

Probenahme und Probenahmestellen

Insgesamt wurden zwei Probenahmen durchgeführt. Der Zeitraum zwischen erster und zweiter Probenahme beträgt 13 Tage. Es wurde an zehn Stellen Proben genommen. Die Probenahmestellen liegen zwischen dem Jadesiel und -schöpfwerk und Delfshausen bei Rastede. Mithilfe von Satellitenbildern wurden die Probenahmestellen im Flussgebiet grob festgelegt. Die genaue Stelle der Probenahme wurde Vorort bestimmt. Vorteilhafte Bauwerke sind dabei Stege und Brücken. Es wurde bei der Wahl der Probenahmestellen darauf geachtet, dass sie ein Eingrenzen der Schadstoffquelle ermöglichen. Nähere Informationen befinden sich bei den Beschreibungen der Probenahmestellen. Bei allen Probenahmen wurde darauf geachtet, dass nur geeignete Entnahmegерäte (nur Edelstahl bei Wasser und Sediment) verwendet wurden. Die Probenahme von Wasser erfolgte ausschließlich von Nichtrauchern. Die Probengefäße wurden vorher auf Sauberkeit überprüft, die Wasserproben nach Befüllen der Gefäße luftdicht verschlossen um eine Kontamination der Probe durch Luft zu vermeiden.



Stelle 1 - Jadeschöpfwerk mit Pumpen und Rechenanlage

Es wurde an einer Kaimauer Probe genommen. Das Wasser steht hier bei nicht laufenden Pumpen. Es kann sehr gut Sedimentation stattfinden. Die Wasserprobe konnte problemlos mit einem Metalleimer genommen werden. Das Sediment war auch problemlos mit dem Sedimentgreifer zu nehmen.



Stelle 2 Jadesiel

Die Fließgeschwindigkeit des Wassers ist hier sehr hoch (gezeitenabhängig). Eine Sedimentation findet hier durch die verwinkelte Bauweise trotzdem gut statt. Sowohl Wasser als auch Sedimentprobe konnten problemlos entnommen werden.



Stelle 3 – Anleger 500 m oberhalb vom Siel

Der Anleger befindet sich 500 Meter flussaufwärts vom Siel- und Schöpfwerk entfernt. Bei der Bereisung viel auf, dass der Anleger zur Wässerung dort liegender Flöße genutzt wird. Die Entnahme der Wasser- als auch der Sedimentprobe war ohne Probleme möglich.



Stelle 4 - Schöpfwerk bei Jaderaltensiel

Das Schöpfwerk entwässert einen Seitengraben der Jade. Hier kann durch den späteren Befund ein Eintrag durch den Seitengraben ausgeschlossen werden. Die Wasserentnahme verlief problemlos. Das Sediment war schwierig zu entnehmen.



Stelle 5 – Brücke bei Jaderaltensiel

Von einer Brücke aus wurde die Wasserprobe entnommen, dies gelang problemlos. Das Sediment konnte nicht von der Brücke aus genommen werden, da das Flussbett befestigt war und keine Sedimente zu finden waren. Auch vom Flussufer war keine Sedimentprobenahme möglich.



Stelle 6 - Brücke über die Wapel

Die Wapel ist ein kleiner Zufluss der Jade. Um zu überprüfen, ob von hier ein eventueller Eintrag erfolgt, wurde diese Messstelle ausgewählt. Das Entnehmen einer Sedimentprobe erwies sich als schwierig, da auch hier unter der Brücke eine feste Oberfläche vorhanden war, die eine Sedimentation nicht zuließ. Die Wasserprobe konnte ohne Probleme entnommen werden. Hier wird durch eine Kläranlage Abwasser eingeleitet.



Stelle 7 - Jaderaltendeich Brücke beim Bauhof

Diese Probenahmestelle liegt direkt neben einem Bauhof. Die Betreiber des Bauhofes lagern Schutt und Asphaltreste ohne bauliche Trennung direkt an abschüssigem Gelände zur Jade hin. Ein Eintrag ist wäre möglich. Eine Sedimentprobe zu entnehmen war uns beide male nicht möglich, da die Probenahmestelle auch wieder unter der Brücke befestigt war und keine Sedimentation zulässt. Die Brücke liegt direkt hinter drei kleinen Zuflüssen die einen Eintrag verursachen könnten. Um sicher zu stellen, dass dies nicht der Fall ist wurde eine

weitere Messstelle (Stelle 8) gleich oberhalb der drei Zuflüsse gelegt.



Stelle 8 - Jaderaltendeich Brücke am Friedhof

Von der Brücke wurde eine Wasserprobe genommen. Die Stelle wurde ausgewählt weil sie die Kontrolle über drei Zuflüsse flussabwärts zulässt. Eine Sedimententnahme war wie an einigen anderen Stellen nicht möglich.



Stelle 9 – Jadebrücke Kreuzmoorstraße

Hier konnte ebenfalls nur Wasser aber kein Sediment entnommen werden. Die Messstelle deckt die Kontrolle der Eintragung einiger Nebengräben weiter flussaufwärts ab.



Stelle 10 – Jadebrücke Kleibroker Straße bei Delfshausen

Die Entnahme von Wasser wie auch von Sediment war erfolgreich. Vor der ersten Bereisung muss das Flussbett ausgebaggert worden sein, Spuren waren noch zu erkennen. Ein erhöhter Schwebstoffanteil war die Folge der Arbeiten.



Tabelle: TOC–Werte und vor Ort Parameter

	<u>Stelle1</u>		<u>Stelle2</u>		<u>Stelle3</u>		<u>Stelle4</u>		<u>Stelle5</u>	
	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010
TOC Wasser mg/l C	61,5	68,5	64,6	63,9	76,6	76,0	44,7	87,7	72,7	74,4
TOC Sediment g/kg C	38,7	39,7	53,3	73,8	78,8	72,4	37,4	7,1	-	-
pH- Wert	6,7	6,4	6,7	6,4	6,6	6,3	6,8	6,9	6,6	6,3
Temperatur in °C	8,2	4,4	8	4,3	8,6	4,3	8,1	4,2	8,6	4,3
Leitfähigkeit in µS/cm	597	549	619	420	516	379	873	814	463	361
Witterung	sonnig	bewölkt	sonnig	bewölkt	bewölkt	bewölkt	sonnig	bewölkt	sonnig/ bewölkt	bewölkt
Geruch	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Farbe	schwach braun	schwach braun	schwach braun	schwach braun	schwach braun	schwach braun	schwach braun	schwach braun	schwach braun	schwach braun

	<u>Stelle6</u>		<u>Stelle7</u>		<u>Stelle8</u>		<u>Stelle9</u>		<u>Stelle10</u>	
	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010
TOC Wasser mg/l C	47,6	66,9	76,4	77,4	76,5	75,8	90,5	82,5	134,0	118,2
TOC Sediment g/kg C	28,8	26,9	-	-	-	-	-	-	-	-
pH- Wert	6,4	6,4	6,5	6,2	6,5	6,2	6,2	6,3	5,7	5,2
Temperatur in °C	9,1	4,4	8,6	4,4	8,5	4,3	8,9	4,7	9,1	4,6
Leitfähigkeit in µS/cm	398	367	432	357	422	338	417	323	301	310
Witterung	sonnig/ bewölkt	Bewölkt	sonnig/ bewölkt	bewölkt	bewölkt	bewölkt	bewölkt	bewölkt	bewölkt	bewölkt
Geruch	ohne	Ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Farbe	schwach braun	schwach braun	schwach braun	schwach braun	schwach braun	schwach braun	schwach braun	schwach braun	stark braun	stark braun

Tabelle: PAK – Werte der Wasserproben

Wasser PAK Messwerte in ng/l	<u>Stelle1</u>		<u>Stelle2</u>		<u>Stelle3</u>		<u>Stelle4</u>		<u>Stelle5</u>	
	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010
Acenaphten	21	151	3	49	1	12	1	16	2	7
Anthracen	1	19	0	4	0	1	0	2	0	1
Benzo(a)anthracen	11	103	3	33	1	4	0	8	2	4
Benzo(a)pyren	14	74	2	28	1	3	0	4	1	3
Benzo(b)flouranthen	34	152	6	69	3	9	1	11	4	7
Benzo(ghi)perylen	17	75	3	39	1	4	1	5	2	3
Benzo(k)flouranthen	17	73	3	33	1	4	0	5	1	4
Chrysen	36	150	6	75	3	8	1	18	4	9
Dibenzo(ah)anthracen	3	16	1	8	0	1	0	1	0	1
Flouranthen	120	741	4	349	6	37	3	131	12	45
Flouren	14	128	3	38	1	10	1	14	2	6
Indeno(123cd)pyren	17	66	3	40	2	4	1	4	1	2
Naphtalin	23	160	2	77	1	16	0	15	0	7
Phenantren	151	1046	20	444	5	83	5	174	11	61
Pyren	70	453	12	194	4	23	2	71	7	25

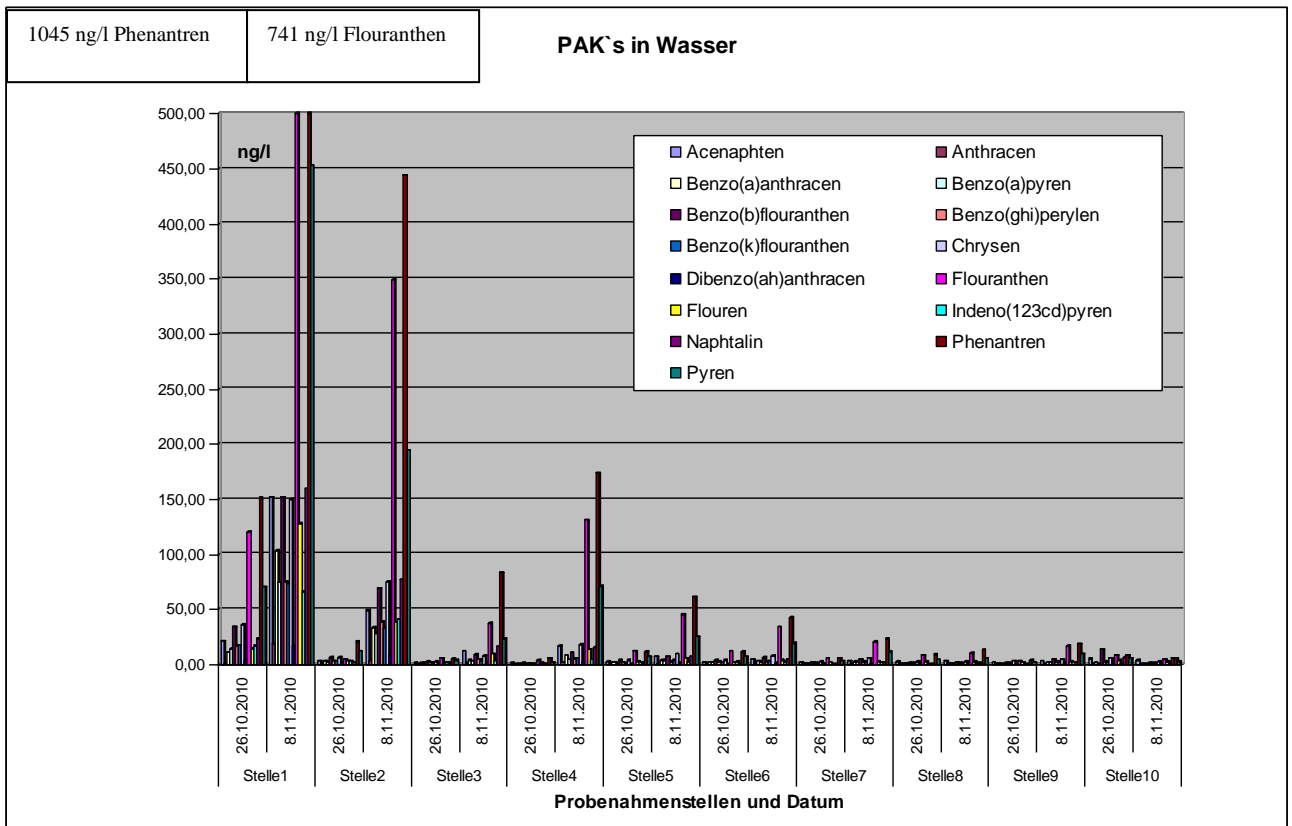
Wasser	<u>Stelle6</u>		<u>Stelle7</u>		<u>Stelle8</u>		<u>Stelle9</u>		<u>Stelle10</u>	
	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010
PAK										
Messwerte in ng/l										
Acenaphten	1	4	2	3	2	3	2	3	5	4
Anthracen	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Benzo(a)anthracen	1	3	1	2	1	1	0	2	1	0
Benzo(a)pyren	1	3	1	2	1	1	0	2	1	0
Benzo(b)flouranthen	4	6	2	4	1	2	1	4	14	1
Benzo(ghi)perylene	2	3	1	2	1	1	1	2	2	1
Benzo(k)flouranthen	2	3	1	2	1	1	0	2	2	1
Chrysen	4	7	2	6	2	2	3	4	5	2
Dibenzo(ah)anthracen	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Flouranthen	12	34	6	20	8	10	3	16	8	4
Flouren	2	4	2	2	2	2	2	3	4	2
Indeno(123cd)pyren	2	2	0	2	0	1	0	2	1	0
Naphtalin	0	5	0	2	0	1	0	2	6	5
Phenantren	11	43	5	23	9	14	4	19	8	6
Pyren	7	19	3	12	4	6	2	10	6	2

Tabelle: PAK – Werte der Sedimentproben

Sediment	<u>Stelle1</u>		<u>Stelle2</u>		<u>Stelle3</u>		<u>Stelle4</u>		<u>Stelle5</u>	
	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010
PAK										
Messwerte in µg/kg										
Acenaphten	35	169	5	5	10	1	2	0		
Anthracen	26	33	12	9	16	4	1	0		
Benzo(a)anthracen	161	209	33	29	80	22	7	2		
Benzo(a)pyren	88	129	39	15	46	11	3	3		
Benzo(b)flouranthen	220	306	80	53	124	52	12	5		
Benzo(ghi)perylene	103	147	53	23	56	16	7	5		
Benzo(k)flouranthen	100	159	33	23	61	24	2	2		
Chrysen	149	283	31	26	191	155	10	3		
Dibenzo(ah)anthracen	40	41	9	3	14	5	2	0		
Flouranthen	487	974	54	88	176	65	5	9		
Flouren	30	110	10	11	15	4	4	1		
Indeno(123cd)pyren	111	139	46	24	46	12	4	3		
Naphtalin	11	93	14	15	9	0	0	0		
Phenantren	211	1006	52	62	66	26	19	7		
Pyren	281	590	59	66	119	47	21	5		

Sediment	<u>Stelle6</u>		<u>Stelle7</u>		<u>Stelle8</u>		<u>Stelle9</u>		<u>Stelle10</u>	
	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010	26.10.2010	8.11.2010
PAK										
Messwerte in µg/kg										
Acenaphten	0	3	7	1					7	32
Anthracen	0	10	15	3					14	39
Benzo(a)anthracen	2	68	121	16					88	143
Benzo(a)pyren	16	36	86	5					55	101
Benzo(b)flouranthen	3	77	137	16					148	292
Benzo(ghi)perylene	34	38	125	12					78	150
Benzo(k)flouranthen	20	32	95	8					67	102
Chrysen	18	53	104	14					187	160
Dibenzo(ah)anthracen	16	9	29	2					102	91
Flouranthen	22	96	271	47					171	273
Flouren	10	4	10	3					10	26
Indeno(123cd)pyren	6	32	89	6					53	61
Naphtalin	3	0	0	0					0	37
Phenantren	12	27	94	16					66	130
Pyren	12	82	201	34					130	192

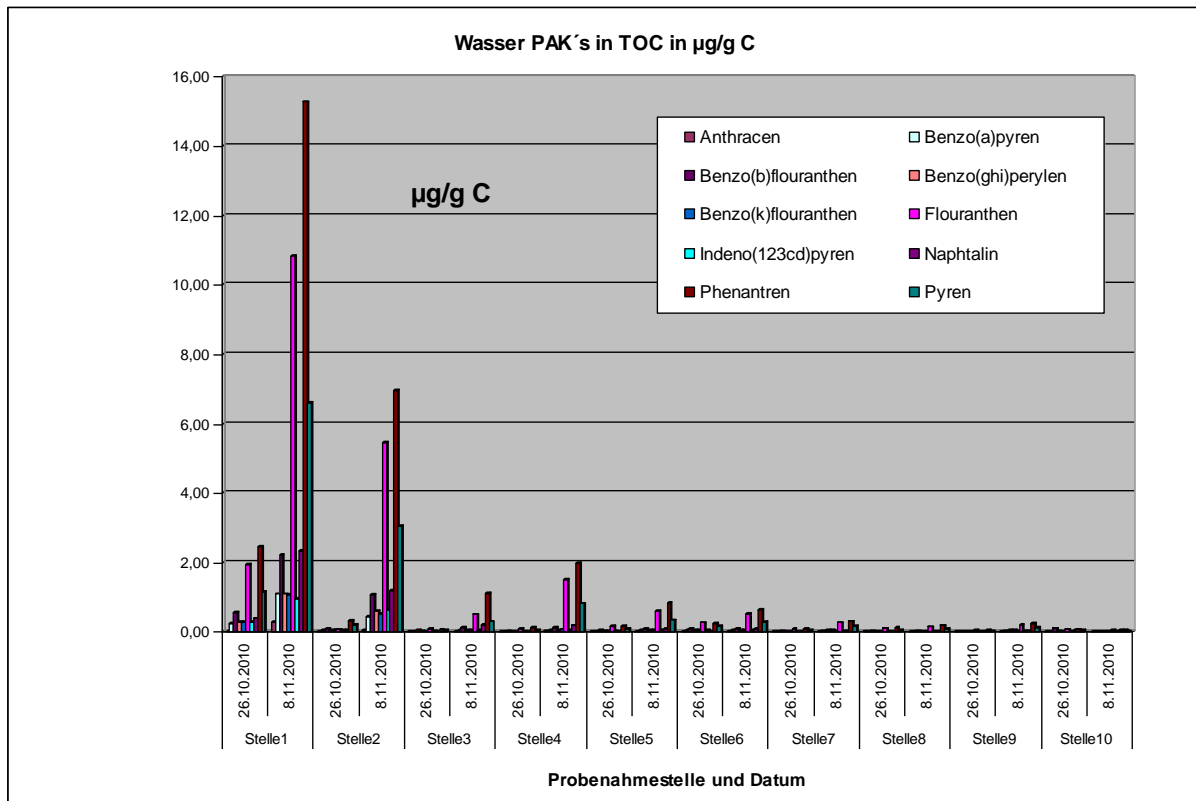
Messdaten der Wasserproben



Die oben dargestellten Wassermesswerte sind hier zu einem Diagramm zusammengefasst. Dies sind absolute Ergebnisse, die auch die Schwebstoffe beinhalten. Um den Einfluss der Schwebstoffe gerecht zu werden, werden die Befunde auf den TOC normiert.

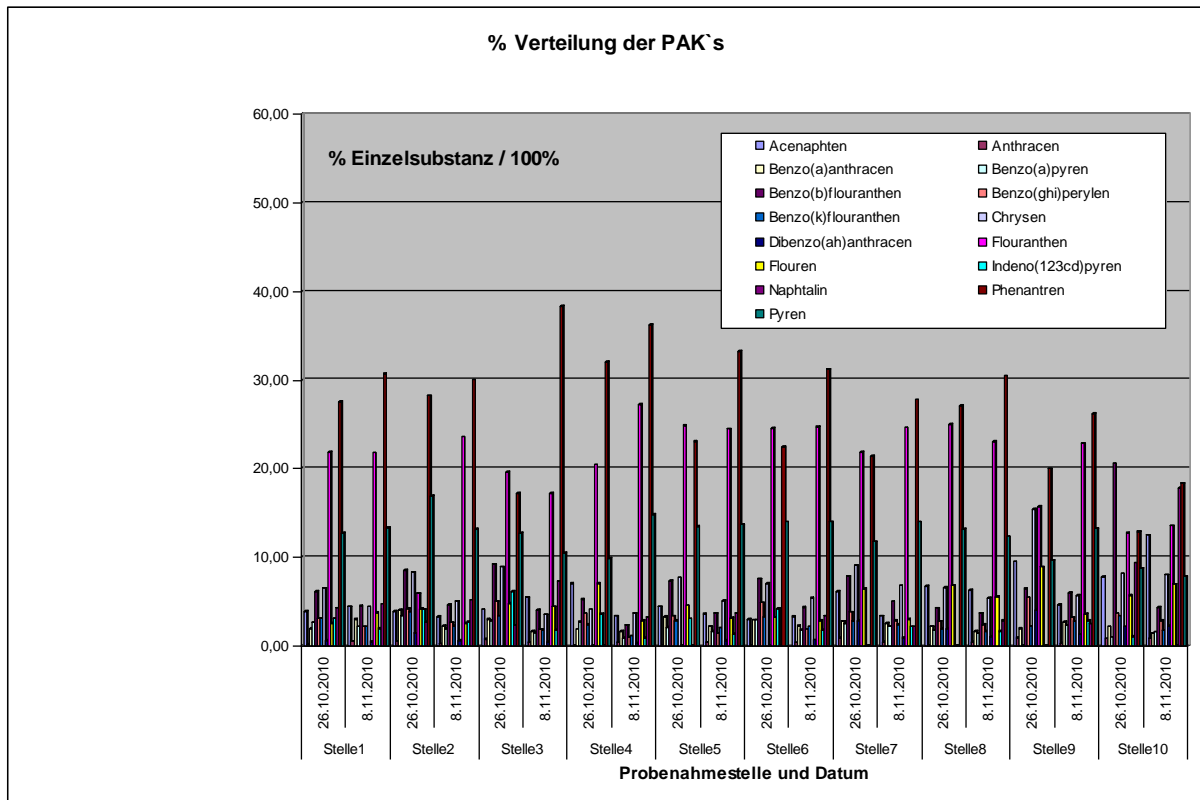
Auswertung der Wasserdaten mit Diagrammen

Die Stoffe Acenaphten, Benzo(a)anthracen, Dibenzo(ah)anthracen, Fluoren, und Chrysen werden bei der weiteren Auswertung mittels Diagramm außer acht gelassen, da sie laut der EG Wasserrahmrichtlinien 2008 nur eine untergeordnete Rolle spielen. Bei unserem Projekt sind diese genannten Substanzen auch nicht weiter auffällig.



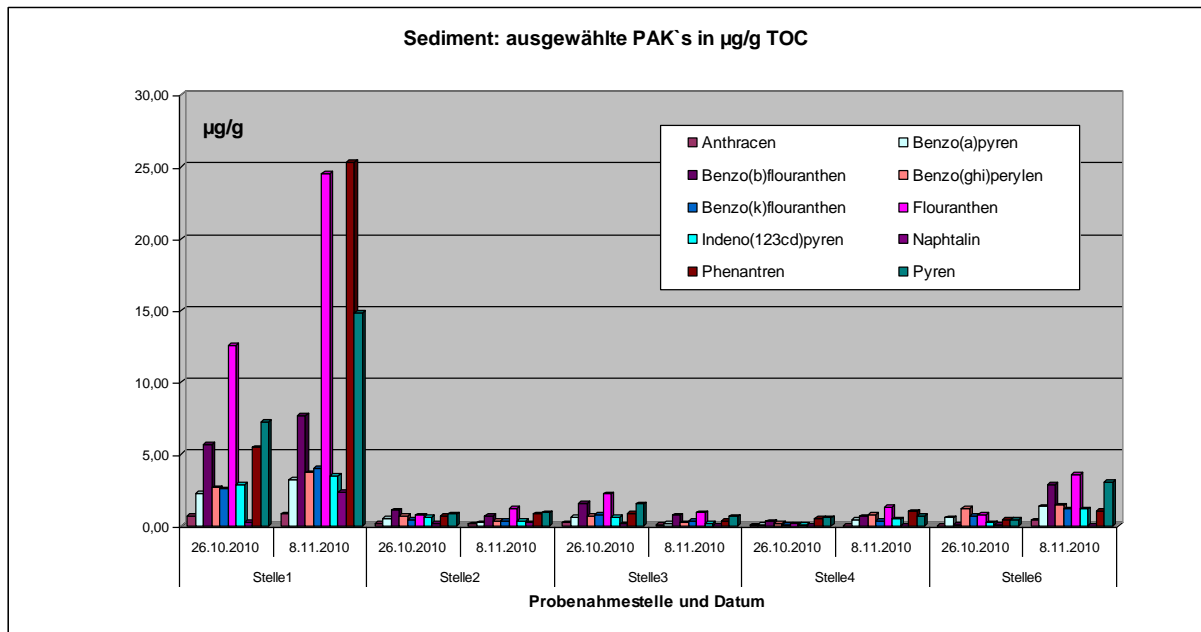
Dieses Diagramm stellt für die Einzelsubstanzen einen Bezug zu dem TOC im Wasser dar. Dadurch kann der unterschiedliche Schwebstoffgehalt im Wasser weitgehend ausgeglichen werden. Da PAK's im Wasser eher als Momentaufnahmen zu betrachten sind, kann mit den Werten keine klare Lokalisierung der Ursache vorgenommen werden. Allerdings ist festzustellen, dass an Stelle 1 sehr hohe PAK Werte gemessen wurden. Die Belastung nimmt weiter flussaufwärts ab. Generell ist zu sagen, dass die PAK Werte der ersten Bereisung niedriger liegen als die Werte der zweiten Bereisung. Am 26.10.2010 war bei der Probenahme festgestellt worden, dass die Jade Hochwasser führte. Dies hat eine „Verdünnung“ der genommen Wasserproben zur Folge, was den Unterschied der Werte zwischen den zwei Probenahmen erklärt. Die Grenzwerte der EG Wasserrahmenrichtlinie 2008 für Indeno(123cd)pyren und Benzo(ghi)perylene mit einem Grenzwert von 2 ng/l in der Summe der beiden Einzelsubstanzen werden an der Stelle 1 bis zum 70 fachen überschritten. Die Ergebnisse zeigen also, dass eine extreme Umweltbelastung der Jade an der Stelle 1 vorliegt. Und die Kriterien der EG-WRRL nicht erfüllt werden.

Stoffverteilung der PAK's in Wasser



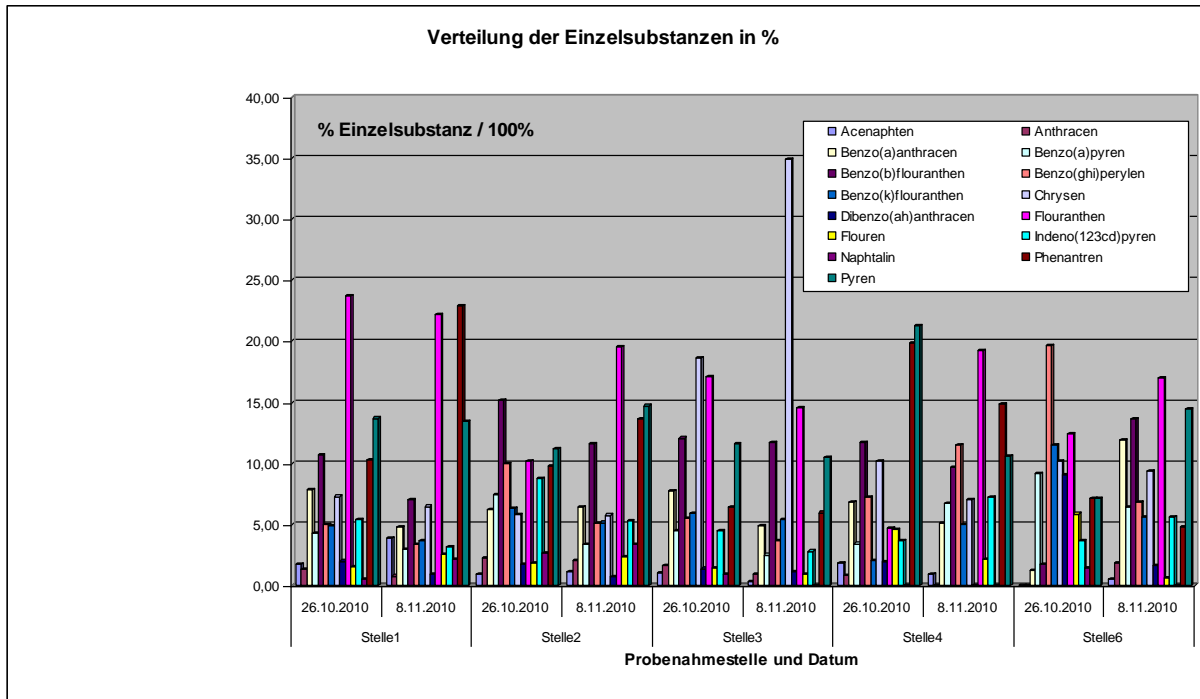
Anhand dieses Diagrammes kann man die Verteilung der einzelnen Stoffe untereinander aufzeigen. Hier ist deutlich zu erkennen, dass die Stoffverteilung an den Probenahmestellen in etwa gleich ist (mit Ausnahme von Stelle 10) und nicht vom Gesamtgehalt der PAK's in den Proben abhängt. Diese Werte sind unabhängig vom Gesamtgehalt der PAK's zu betrachten. Deshalb lassen sie sich in diesem Diagramm auch direkt miteinander vergleichen. Die Stoffe Flouranthen und Phenantren sind Prozentual am häufigsten vorhanden. Diese Stoffe wurden in den Oberflächengewässern vermutlich durch Luft eingetragen. Die anderen Stoffe sind mit Ausnahme von Pyren unter 10% der gesamten PAK's vorhanden.

Auswertung der Sedimenttabellen mit Diagrammen



Auch hier stellt das Diagramm den Bezug der Einzelsubstanzen zum TOC dar um die unterschiedliche Korngröße zu relativieren. Da PAK's hauptsächlich an kleinen Teilchen akkumulieren, ist es notwendig dies mit einzuberechnen, damit die Werte auch unmittelbar verglichen werden können. Die PAK Werte zeigen klar, dass an der Stelle 1 eine sehr erhöhte Belastung vorliegt. An den Stellen 2, 3 und 4 ist dazu eine normale Belastung festzustellen, da das Verteilungsmuster der Stoffe an den Stellen 2 und 4 gleich ist fällt auf, dass ein anderes Verhältnis an Stelle 3 vorhanden ist. Da bei Sedimenten keine Grenzwerte vorgesehen sind kann hier keine weitere Aussage getroffen werden.

Stoffverteilung der PAK's in



Anhand dieses Diagrammes erkennt man, wie beim Wasser die Stoffverteilung der Einzel PAK's unabhängig vom gesamt Gehalt. Man erkennt nur kleine Regelmäßigkeiten in der Stoffverteilung. Die Stoffe Flouren, Anthracen und Acenaphthen sind in allen Probenahmestellen unter 5% vorhanden. Stoffe wie Flouranthen, Phenantren und Pyren sind Prozentual mehr in den Sedimentproben enthalten, die Werte schwanken jedoch stark im Vergleich zu den Wasserwerten. Dies lässt sich dadurch erklären, dass sich Sedimentproben aus Sedimentiertem Material zusammensetzen, welches unterschiedlich alt ist. Der Chrysenwert bei Messstelle 3 am 08.11.2010 lässt sich durch unsere Untersuchungen nicht weiter erklären. Alle Aussagen über den Wert wären reine Spekulation.

Ergebnis

Durch die Auswertung der Daten (Wasser und Sediment) ist deutlich geworden, dass die erhöhte Belastung eindeutig vom Siel- und Schöpfwerk vorliegt. Nach unserer Recherche haben wir erfahren, dass das Siel- und Schöpfwerk 1962 erbaut wurde. 1964 ging es erstmalig in Betrieb. Die Kaimauern wurden in dieser Zeit mit Rostschutz-Farbe gestrichen. Da PAK's in Farbe sein können, ist zu vermuten, dass der Eintrag durch den Anstrich der Kaimauer erfolgt. Die genaue Zusammensetzung der Farbe ist uns nicht bekannt. Es ist bekannt, dass PAK's aus der Farbe heraus gelöst werden können, die dann an feinkörnigen Schwebstoffpartikeln akkumulieren und somit in das Sediment gelangen. Seit einigen Jahren wird das Schöpfwerk vor Probenahmestelle 1 und die Pumpen selbst überholt. Eine Erneuerung der Innenbeschichtung der Pumpen ist wahrscheinlich. Ist die Pumpe in Betrieb und wird dann ausgeschaltet, drückt von oben das sich in der Pumpe befindende Wasser nach unten und läuft zurück ins Siel- und Schöpfwerk. Dabei kommt es zur Herauslösung der PAK's aus der Beschichtung. Also sind 2 mögliche Quellen aufgezeigt. Eine genauere Differenzierung der Ursache an dieser Stelle ist nicht möglich.

Diskussion/ Schlusswort

Durch unser Projekt konnte die Ursache der erhöhten Belastung konkretisiert werden. Dies war nur durch umfangreiche Analysen möglich. Es verhärtete sich der Verdacht, dass im unmittelbarem Bereich des Siel und Schöpfwerkes die höchste Belastung vorhanden ist. Die weiter oberhalb genommenen Proben haben sich als unauffällig herausgestellt, sodass die Ursache im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Siel und Schöpfwerk gesehen werden muss. Eine genauere Ermittlung der Ursache erscheint schwierig, da beide mutmaßlichen Quellen zu nahe beieinander liegen. Ein Versuch wäre aber durchaus denkbar. Man könnte rund um Stelle1 eine neue Beprobung vornehmen, die Aufschluss geben kann, welches der beiden Quellen die wahrscheinlichste ist oder ob gar beide Quellen für den Eintrag verantwortlich sind.

Die von uns getroffenen Beobachtungen sind vermutlich längerfristig zu messen. Da die festgestellte PAK Belastung im Zusammenhang mit dem Bauwerk zu sehen ist, dürfte eine kurzfristige Reduzierung nicht zu erreichen sein. Es sind weitere Untersuchungen notwendig, um die konkrete Eintragsquelle ermitteln zu können. Erforderlich ist zudem zu recherchieren welcher konkrete Farbanstrich angewandt wurde.

Eine weitere Beobachtung der Jade ist zu empfehlen um die weiteren Ausbreitungen der PAK's im Auge zu behalten.

Zeitverbrauch für das Projekt

Art der Tätigkeit	Anzahl der Proben	Benötigte Zeit
Vorbereitung zur Probenahme	-	30 h
Probenahme	164	60 h
Aufarbeitung TOC	28	38 h
Aufarbeitung PAK (Wasser)	40	192 h
Aufarbeitung AFS	40	12 h
Aufarbeitung Korngrößen	28	56 h
Aufarbeitung PAK (Sediment)	28	240 h
Messung und Auswertung TOC	28	16 h
Messung und Auswertung PAK (Wasser)	40	40 h
Messung und Auswertung AFS	40	12 h
Messung und Auswertung Korngrößen	28	12 h
Messung und Auswertung PAK (Sediment)	28	56 h
Dokumentation	-	360 h
Zeitbedarf insgesamt		1124 h

Quellennachweis

Fotoverzeichnis:

Bei unserem Projekt waren wir auf Hilfe von anderen Personen angewiesen. Unter anderem von Dr. Dieter Steffen und einigen anderen Mitarbeitern von unserem Labor. Unser Ausbilder, Ulrich Helwes, hat uns bei der Planung des Projekts durch seinen Rat unterstützt. Alle Fotos, bis auf zwei Satellitenbilder, wurden von Jennifer Hübner, Steffen Zubakin und Dirk Müller selbst fotografiert. Personen wurden im einvernehmen abgelichtet. Satellitenbilder stammen von Google Earth.

Literaturverzeichnis und weitere Quellen:

- EG Wasserrahmlichtlinien 2008
- Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in Schwebstoffen und Sedimenten niedersächsischer Fließgewässer (1995-2000) 1 Auflage 2003 vom Niedersächsischem Landesamt für Ökologie (heute NLWKN)
- Standard Arbeitsanweisungen des NLWKN's neuster Stand
- Leitfaden Maßnahmenplanung Oberflächengewässer Teil C Chemie 1 Auflage 2008 vom NLWKN
- Wikipedia - Die freie Enzyklopädie
- www.eusdb.de