



# **Monitoring für ausgewählte Fließ- und Standgewässer des Leipziger Gewässerverbundes unter dem Aspekt der Erfassung der Motorbootemission und deren Auswirkungen**

## **Abschlussbericht**

Auftraggeber: Stadt Leipzig (in Vertretung des Grünen Rings Leipzig)  
Amt für Stadtgrün und Gewässer  
Abteilung Wasserwirtschaft/Flächenmanagement  
Prager Straße 118-136  
04317 Leipzig

Landkreis Leipzig  
Umweltamt  
Karl-Marx-Str. 22  
04668 Grimma

mit Unterstützung durch:  
Zweckverband Kommunales Forum Südraum Leipzig  
Rathausplatz 1  
04416 Markkleeberg

Auftragnehmer: ECOSYSTEM SAXONIA GmbH  
Tiergartenstraße 48  
01219 Dresden

**Dipl.-Biol. Johannes Kranich**  
**Dipl.-Ing. Christoph Franke**  
**Dr. Klaus-Peter Lange**

Nachauftragnehmer: BGD GmbH  
Tiergartenstraße 48  
01219 Dresden

**Dr. Ina Hildebrandt**

Projektnummer: P114023GB.1464.DD1

Dresden, 11. März 2015

.....  
Dr. Klaus-Peter Lange

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>AUFGABE UND ZIELSTELLUNG .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>UNTERSUCHUNGSKONZEPT .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>METHODEN UND UNTERSUCHUNGSUMFANG .....</b>	<b>12</b>
3.1	Probenahme und Probenaufbereitung .....	12
3.1.1	Methodik der Sedimentuntersuchungen.....	12
3.1.2	Methodik der Schwebstoffuntersuchungen in Seen.....	13
3.1.3	Methodik der Schwebstoffuntersuchungen in Fließgewässern.....	14
3.1.4	Methodik der Wasseranalysen .....	16
3.2	Analytische Methoden .....	17
3.3	Monitoring in Tagebauseen .....	19
3.3.1	Untersuchungsgebiet und Ausgangssituation.....	19
3.3.2	Messstellen .....	23
3.4	Monitoring in Fließgewässern .....	24
3.4.1	Untersuchungsgebiet.....	24
3.4.2	Messstellen .....	25
3.4.3	Abflussverhältnisse.....	27
3.5	Nutzungsmonitoring Cospudener See .....	28
3.5.1	Herangehensweise .....	28
3.5.2	Kurzbeschreibung der Erfassungsmethodik.....	28
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE DES MONITORINGS IN TAGEBAUSEEN .....</b>	<b>32</b>
4.1	Ergebnisse 2011.....	32
4.1.1	Freiwasser .....	32
4.1.2	Schwebstoffe .....	32
4.1.3	Sediment.....	34
4.2	Ergebnisse 2012.....	36
4.2.1	Sediment.....	37
4.2.2	Schwebstoffe .....	40
4.3	Ergebnisse 2013.....	41
4.3.1	Schwebstoffe .....	41
4.3.2	Sediment.....	43
4.4	Ergebnisse 2014.....	46
4.4.1	Schwebstoffe .....	46
4.5	Zusammenfassung und Bewertung.....	47
4.5.1	Potentielle Schadstoffquellen und Bewertungsmaßstab.....	47
4.5.2	Umweltqualitätsziele .....	48
4.5.3	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse.....	49
4.5.4	Bewertung der Ergebnisse .....	55

<b>5</b>	<b>MONITORING IN FLIEßGEWÄSSERN</b>	<b>60</b>
5.1	Untersuchungsumfang 2014	60
5.2	Ergebnisse 2012 – 2014	61
5.2.1	Wasserbeschaffenheit (Freiwasser)	61
5.2.2	Schwebstoffe	65
5.3	Zusammenfassung und Bewertung der Schwebstoffuntersuchungen	73
5.3.1	Bewertung hinsichtlich der Umweltqualitätsziele	73
5.3.2	Zustandsbewertung nach WRRL	75
5.3.3	Vergleich mit Schwebstoff-/Sedimentuntersuchungen des LfULG	77
5.3.4	Intensität der Motorbootnutzung auf den ausgewählten Fließgewässern	79
5.3.5	Vergleich mit Schwebstoffuntersuchung hessischer Gewässer	80
<b>6</b>	<b>NUTZUNGSMONITORING UND EMISSIONS-/IMMISSIONSBEWERTUNG FÜR DEN COSPUDENER SEE</b>	<b>81</b>
6.1	Ergebnisse der Bootszählungen 2012 bis 2014	81
6.2	Abschätzung der typischen Betriebszeiten von Booten mit Verbrennungsmotor als Grundlage für die Emissionsberechnung	87
6.3	Wasserrechtlich genehmigte Boote und Schifffbarkeit	89
6.4	Emissionsberechnung	91
6.5	Immissionsberechnung und Bewertung hinsichtlich Wasserbeschaffenheit	95
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN</b>	<b>98</b>
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	98
7.1.1	Monitoring Tagebauseen	98
7.1.2	Monitoring Fließgewässer	100
7.1.3	Nutzungsmonitoring Cospudener See	101
7.2	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	103
	<b>LITERATUR/ GRUNDLAGEN</b>	<b>109</b>

## Anlagen

- Anlage 1      Übersichtskarten mit Messstellen in den Tagebauseen (Süd-, Nordbereich)
- Anlage 2      Prüfbericht 1214/5
- Anlage 3      Rechercheergebnisse PAK in Seen und Fließgewässern (Literaturrecherche)
- Anlage 4:      Protokolle der Bootszählungen (Nutzungsmonitoring)
- Anlage 5:      Auswertung des Nutzungsmonitorings
  - 5.1      Ermittlung jährlicher Betriebsstunden
  - 5.2      Emissionsberechnung
- Anlage 6:      Auswertung behördlicher Gütedaten (LfULG)

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1:	Schwebstofffallen beim Einsatz im Cospudener See .....	13
Abb. 3-2:	Schematischer Aufbau der Schwebstofffallen für Fließgewässer und Foto beim Messeinsatz im Karl-Heine-Kanal in Leipzig .....	15
Abb. 3-3:	Gesammeltes Probenmaterial mit Schwebstofffallen im Fließgewässer (Bild 1-3) und Schwebstofffalle im eingebauten Zustand im Floßgraben (Bild 4) .....	16
Abb. 3-4:	Untersuchte Tagebauseen im Südraum von Leipzig im Rahmen des gewässerökologischen Monitorings (Kartengrundlage: Leitplan, WTNK) .....	19
Abb. 3-5:	Entwicklung der Anzahl zugelassener Boote für die untersuchten Tagebauseen.....	21
Abb. 3-6:	Lage der Messpunkte im Fließgewässermonitoring .....	24
Abb. 3-7:	Luftbildausschnitt des Untersuchungsgebietes am Cospudener See mit Kennzeichnung von drei wesentlichen Ortspunkten, dem Beobachtungspunkt für die Bootszählung und der Route des Fahrgastschiffes MS Cospuden .....	30
Abb. 4-1:	Sedimentfallen nach 3,5 Wochen Expositionsdauer im Cospudener See (links: RCS5 – Hafenbereich, rechts: RCS 3 – Südbereich) .....	33
Abb. 4-2:	PAK-Konzentration in der Schwebstoffprobe RCS 5 (Hafenbereich) des Cospudener Sees .....	34
Abb. 4-3:	Sedimentliner an der Messstelle RCS 2 im Cospudener See (rechts: Ausschnitt der oberen Schicht) .....	34
Abb. 4-4:	PAK-Konzentrationen in den Sedimentproben des Cospudener Sees .....	35
Abb. 4-5:	PAK-Konzentrationen in den Sedimentproben im Jahr 2012.....	39
Abb. 4-6:	links - typisches Substrat an der Ufer-Messstelle CSP III (Cospudener See) // rechts - Substratzusammensetzung an der Ufer-Messstelle Hafen im Markkleeberger See.....	45
Abb. 4-7:	Verteilungsmuster der PAK-Einzelverbindungen in den Uferproben der 2013 untersuchten Seen.....	46
Abb. 4-8:	PAK-Konzentrationen (Summe PAK) in den Schwebstoffuntersuchungen der Tagebauseen in den Jahren 2011-2014 .....	50
Abb. 4-9:	Verteilungsmuster der PAK-Einzelverbindungen in den Schwebstoffproben der untersuchten Seen 2011-2014.....	51
Abb. 4-10:	Verteilungsmuster der PAK-Einzelverbindungen in den Sedimentproben der untersuchten Seen.....	57
Abb. 4-11:	Verteilungsmuster der PAK-Einzelverbindungen in Sedimentproben (Fraktion <63 µm, jeweils einmalige Untersuchung zwischen 2008 und 2011) vergleichbarer Tagebauseen (Daten-Quelle: LfULG) .....	57
Abb. 4-12:	Verteilungsmuster der PAK-Einzelverbindungen in den Sedimentproben von unbelasteten Seen (nur mit atmosphärischer Deposition) .....	58
Abb. 5-1:	Abfiltrierbare Stoffe (AFS) der Freiwasserproben 2012 – 2014 .....	62
Abb. 5-2:	Elektrische Leitfähigkeit der Freiwasserproben 2012 – 2014 .....	62
Abb. 5-3:	Eisen (gelöst) der Freiwasserproben 2012 – 2014 (grau hinterlegt: Mittelwerte) .....	63
Abb. 5-4:	pH-Wert der Freiwasserproben 2012 – 2014 .....	63
Abb. 5-5:	Statistische Auswertung der LfULG-Gewässergütedaten 2010-2013 für die Messstelle Großzschocher (OBF50600) in der Weißen Elster und Mittelwerte der Freiwasserbeprobungen während der Schwebstoffuntersuchung (rote Punkte) .....	64

Abb. 5-6:	Statistische Auswertung der LfULG-Gewässergütedaten 2010-2013 für die Messstelle Weiße Brücke (OBF53780) im Floßgraben und Mittelwerte der Freiwasserbeprobungen während der Schwebstoffuntersuchung (rote Punkte) .....	65
Abb. 5-7:	Masse an Probenmaterial in den Schwebstofffallen 2012-2014 .....	66
Abb. 5-8:	Glühverlust der Schwebstoffuntersuchungen 2012-2014 .....	67
Abb. 5-9:	Aluminium gesamt der Schwebstoffuntersuchungen 2012-2014.....	67
Abb. 5-10:	Eisen gesamt der Schwebstoffuntersuchungen 2012-2014.....	68
Abb. 5-11:	Summe der PAK in den Schwebstoffuntersuchungen der Fließgewässer 2012-2014 .....	69
Abb. 5-12 (a,b):	PAK-Einzelverbindungen am Karl-Heine-Kanal (MP Engertstraße und MP Weißenfelder Straße) .....	70
Abb. 5-13 (a,b,c):	PAK-Einzelverbindungen am Karl-Heine-Kanal (MP Erich-Zeigner-Allee) und an der Weißen Elster (MP Klingerweg und MP Pistorisstraße).....	71
Abb. 5-14:	PAK-Einzelverbindungen am Floßgraben (MP Weiße Brücke und MP Markkleeberg KA) .....	73
Abb. 5-15:	Mittlere PAK-Konzentration (ng/l) der Weißen Elster und im Floßgraben (Datenbasis: LfULG, 2009-2013) .....	76
Abb. 5-16:	PAK-Konzentrationen des LfULG-Monitorings an der Messstelle Großzschocher in der Weißen Elster für die Korngrößenfraktion < 0,063 mm (Datenbasis: LfULG Sachsen).....	77
Abb. 5-17:	Mittlere PAK-Konzentrationen in den Schwebstoff- und Sedimentanalysen (Beprobung mit Schwebstoffsammelkiste und Sedimentsauger) unterschied-licher Messstellen der Weißen Elster in Sachsen (Datenbasis: LfULG, 2010-2013) .....	78
Abb. 6-1:	Beobachtete Betriebszeiten der Verbrennungsmotoren 2013, 2014 .....	84
Abb. 7-1:	Randbedingungen und Empfehlungen zur Erhaltung des „no-effect-levels“ durch Motorbootnutzungen .....	106
Abbildung 7-2:	Prämissen und empfohlene Maßnahmen bei künftig ausgebauter Nutzung .....	108

## Tabellenverzeichnis

Tab.3-1:	Analysenmethoden – Wasser .....	17
Tab. 3-2:	Analysenmethoden -Schwebstoffe und Sedimente .....	18
Tab. 3-3:	Charakteristik der untersuchten Seen .....	20
Tab. 3-4:	Zulassungen für Boote auf den untersuchten Seen (Stand: 1/2015) .....	20
Tab.3-5:	Sedimentuntersuchungen in Tagebauseen 2011-2014 .....	22
Tab.3-6:	Schwebstoffuntersuchungen in Tagebauseen 2011-2014.....	23
Tab.3-7:	Messpunkte in den Tagebauseen des gewässerökologischen Monitorings.....	23
Tab.3-8:	Messstellen des Monitorings an den Fließgewässern .....	25
Tab.3-9:	Durchflüsse des Messpegels Kleindalzig (Weiße Elster) während Messkampagnen .....	28
Tab.3-10:	Bootstypen für die Erfassung der Bootsnutzung auf dem Cospudener See .....	31
Tab.4-1:	Beschaffenheit der untersuchten Sedimentproben aus dem Cospudener See .....	35
Tab.4-2:	Milieubedingungen im Epilimnion der untersuchten Seen zum Zeitpunkt der Sediment-Probenahme .....	37
Tab.4-3:	Milieuparameter oberhalb des Sedimentes (aus Tiefenprofilen) im Jahr 2012 .....	37

Tab.4-4:	Beschaffenheit der 2012 untersuchten Sedimentproben.....	38
Tab.4-5:	Probemengen der Schwebstofffallen (12 Wochen Expositionsdauer) .....	40
Tab.4-6:	Schwebstoffmenge und PAK-Konzentrationen zur Untersuchung 2013.....	41
Tab.4-7:	Eisen-, Aluminium- und TOC-Konzentrationen in den akkumulierten Schwebstoffen der Sedimentfallen (13.-23. KW 2013).....	42
Tab.4-8:	Milieuparameter oberhalb des Sedimentes (aus Tiefenprofilen).....	43
Tab.4-9:	Charakteristik der 2013 untersuchten Sediment- und Uferproben.....	44
Tab.4-10:	Eintragspfade für PAK in Oberflächengewässer und Anteile (Datenbasis: Umweltbundesamt, 2010 [12]) .....	48
Tab.4-11:	Ausgewählte Umweltqualitätsziele (UQZ) für Schadstoffe in Schwebstoffen und Sedimenten der FGG Elbe [7].....	49
Tab. 4-12:	Statistische Auswertung der PAK-Konzentrationen aller 16 Schwebstoffproben (Sedimentfallen) – alle Angaben in mg/kg TS .....	51
Tab. 4-13:	Statistische Auswertung der prozentualen Anteile der PAK- Einzelverbindungen an der PAK-Summe in den 16 Schwebstoffproben (Sedimentfallen) - alle Angaben in % .....	52
Tab. 4-14:	Hydrochemische Charakteristik einiger Schwebstoffproben.....	52
Tab. 4-15:	Statistische Auswertung der PAK-Konzentrationen in 24 Sedimentproben aus Tagebauseen (1-3 cm Schicht) .....	53
Tab. 4-16:	Statistische Auswertung der prozentualen Anteile der PAK-Verbindungen in den 24 Sedimentproben aus Tagebauseen (1-3 cm Schicht) .....	54
Tab. 4-17:	Hydrochemische Charakteristika der Sedimente.....	55
Tab.4-18:	PAK-Konzentration in Sedimenten sächsischer Tagebaurestseen (Datenquelle: LfULG 2011) .....	56
Tab. 4-19:	Vergleich der Ergebnisse der Sediment- und Schwebstoff- Untersuchungen mit der Sedimentklassifikation nach [7] .....	59
Tab.5-1:	Randbedingungen der Fließgewässer-Messkampagne im April 2014.....	60
Tab.5-2:	Randbedingungen der Fließgewässer-Messkampagne im Juli 2014.....	60
Tab.5-3:	Durchfluss am Pegel Kleindalzig (Weiße Elster) während der Schwebstoffuntersuchung 2014.....	61
Tab.5-4:	Konzentrationen von Gesamteisen und Aluminium (gesamt) in den Schwebstoffen .....	68
Tab.5-5:	Statistische Auswertung der PAK-Konzentrationen (Summe 16 EPA- PAKs) der Schwebstoffproben für die untersuchten Fließgewässer .....	74
Tab. 5-6:	Prozentuale Anteile der PAK-Einzelverbindungen – Vergleich der Messstellen (Mittelwerte aller Einzelmessungen).....	74
Tab.5-7:	PAK-Gesamtkonzentration in der Weißen Elster und im Floßgraben (Datenbasis: LfULG, Zeitraum: 2009-2013) .....	76
Tab.5-8:	Umweltqualitätsnormen für ausgewählte prioritäre Stoffe gemäß WRRL und Messwerte der Gewässergüte der Weißen Elster und des Floßgrabens als Mittelwert aus den Jahren 2009-2013 (alle Angaben in ng/l) .....	76
Tab.5-9:	Anzahl Bootsbewegungen ausgewählter Gewässer in Leipzig (Datenbasis: BGMR, 11/2011) .....	79
Tab. 6-1:	Stichtage der Bootszählungen 2012 mit zugehörigen Randbedingungen und der beobachteten Anzahl der Boote mit Verbrennungsmotor .....	81
Tab.6-2:	Stichtage der Bootszählungen 2013 mit zugehörigen Randbedingungen und der beobachteten Einsatzdauer von Verbrennungsmotoren.....	82
Tab.6-3:	Stichtage der Bootszählungen 2014 mit zugehörigen Randbedingungen und der beobachteten Einsatzdauer von Verbrennungsmotoren.....	83
Tab.6-4:	Statistische Auswertung der Bootszählungen 2013 und 2014.....	85

Tab.6-5:	Summe der typischen täglichen Betriebsdauer von Verbrennungsmotoren der Segelboote (Kat. 3) in Abhängigkeit von den Randbedingungen der Bootsnutzung (Basis: Bootszählungen 2013 und 2014) .....	88
Tab.6-6:	Summe der typischen täglichen Betriebsdauer von Verbrennungsmotoren der Motorboote (Kat. 4) in Abhängigkeit von den Randbedingungen der Bootsnutzung (Basis: Bootszählungen 2013 und 2014) .....	89
Tab.6-7:	Motorisierung der zugelassenen Boote mit Verbrennungsmotor auf dem Cospudener See (Stand: 01/2015).....	90
Tab.6-8:	Klassifizierung meteorologischer Daten zur Quantifizierung der jährlichen potenziellen Nutzungstage.....	92
Tab.6-9:	Statistische Auswertung von Klimadaten und entsprechende Klassifizierung.....	93
Tab.6-10:	Jahressumme an Betriebsstunden der Verbrennungsmotoren am Cospudener See.....	93
Tab.6-11:	Durchschnittliche Betriebsstunden der Verbrennungsmotoren am Cospudener See bezogen auf jeweils ein Boot (Basis: Bootsgestattungen 01/2015) .....	93
Tab.6-12:	Berechnete HC-Emissionen jeweils in Summe aller Boote pro Bootskategorie.....	94
Tab.6-13:	HC-Emissionen für jeweils ein Boot pro Bootskategorie [kgHC/a].....	94
Tab.6-14:	Aktuell berechnete HC-Emissionen und HC-Immissionen am Cospudener See .....	96
Tab.6-15:	Immissionswirkung der mittleren Schadstoffbelastung am Cospudener See .....	97

## Abkürzungen

BG	Bestimmungsgrenze
BTEX	Stoffgruppe aromatischer Kohlenwasserstoffe <u>B</u> enzol, <u>T</u> oluol, <u>E</u> thylbenzol und <u>X</u> ylole
EZG	Einzugsgebiet
HC	Kohlenwasserstoffe (engl. Hydrocarbons)
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MP	Messpunkt (für Schwebstoffuntersuchung)
OS	Originalsubstanz
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
TS	Trockensubstanz

## 1 Aufgabe und Zielstellung

Mit den zunehmenden Möglichkeiten der wassertouristischen Nutzung im Gewässerverbund der Region Leipzig verändern sich die anthropogenen Belastungen der vom Wassertourismus betroffenen Gewässer. Entsprechend den unterschiedlichen Nutzungsarten und -intensitäten und den differenzierten Empfindlichkeiten der Gewässer können sich diese Belastungen unterschiedlich auswirken. Dabei besteht das Ziel, nachhaltig die Entwicklung des Wassertourismus und die Sicherung eines guten ökologischen Zustands bzw. Potenzials der Gewässer in Übereinstimmung zu entwickeln.

Mit dem durchgeführten Monitoring wurden die Auswirkungen von Motorbootemissionen über mehrere Jahre beobachtet und analysiert. Grundlage des Monitorings bilden die vorliegenden Studien zur

- Konzeption zur nachhaltigen Nutzung der Tagebauseen in der Region Leipzig (ECOSYSTEM SAXONIA, DESCON 2008) und der
- Optimierung der Emissionsbelastung der Fließ- und Verbindungsgewässer des Leipziger Gewässerverbundes durch die Motorbootnutzung (ECOSYSTEM SAXONIA 2009).

Im Rahmen dieser Studien wurden die zu erwartenden Stoffkomponenten aus der Nutzung mit Motorbooten, die eine Schadstoffbelastung für die Fließgewässer und Tagebauseen darstellen können, herausgearbeitet. Unter Beachtung der unterschiedlichen Empfindlichkeiten von Fließ- und Standgewässern mussten tolerable Belastungen zur Sicherung des guten ökologischen Potenzials bzw. Zustandes der Gewässer abgeschätzt werden. Daraus ergaben sich Empfehlungen für die Zulassung der Motorbootnutzung und für die Bewirtschaftung.

Es wurde ein Grundkonzept für Untersuchungen in den nachfolgenden Jahren entwickelt, das Grundlagen für eine ökologisch und wirtschaftlich nachhaltige Entwicklung des Wassertourismus mit Motorbooten schafft. Die Zielstellungen waren:

- Prognose der zu erwartenden Komponenten der Schadstoffbelastung der Tagebauseen und der Fließgewässer des Gewässerverbundes durch die wassertouristische Nutzung mit Motorbooten entsprechend des Wassertouristischen Nutzungskonzepts (WTNK),
- Einschätzung der für die Sicherung eines guten ökologischen Potenzials bzw. Zustandes der Gewässer tolerablen Belastung und
- Ableitung von Empfehlungen für die Zulassungspraxis der Motorbootnutzung und für die Bewirtschaftungsmaßnahmen.

Aus der Motorbootnutzung resultieren vor allem Belastungen aus den Schadstoffgruppen

- Mineralölkohlenwasserstoff (MKW)
- BTEX und
- PAK,

die insbesondere über den Verbrennungsprozess und den Umgang mit den Kraftstoffen in die Gewässer gelangen. Die Schadstoffe werden überwiegend aus der Gasphase der Abgase in die gelöste Phase oder an Partikel gebunden eingetragen. Über die Anlagerung



an Schwebstoffe, das Absinken ins Sediment bzw. die Aufnahmen in die Nahrungsketten können sich die Stoffe akkumulieren. In der Literatur liegen Kenntnisse vor, dass sich diese Verbindungen insbesondere schädlich auf das Makrozoobenthos, das Zooplankton und die Fischbesiedlung auswirken können. Bei der Bewertung ist zu beachten, dass die Erfahrungen zum Eintrag aus Motorbooten und zum Stoffumsatz hinsichtlich der Schadstoffe bei Tagebauseen gering sind. Die Tagebauseen stellen eine Besonderheit dar, da sie durch den bergbaubedingten Einfluss meist einen geringen Trophiegrad und eine geringe Pufferkapazität aufweisen. Durch geringe Stoffumsatzkapazität, wenig Schwebstoffe und hohe Aufenthaltszeiten ist davon auszugehen, dass sie besonders empfindlich auf Schadstoffbelastungen reagieren. Vorliegende Erkenntnisse, z.B. vom Bodensee, lassen sich deshalb nur eingeschränkt übertragen. Die Fließgewässer prägen im Gegensatz zu den Tagebauseen ständige Stoff- und Sedimenttransportprozesse und in Abhängigkeit der biologischen Aktivität meist höhere Umsatzprozesse.

Im Ergebnis der Studien zu den Seen und Fließgewässern (ECOSYSTEM SAXONIA, DESCON 2008 und ECOSYSTEM SAXONIA 2009) wurden folgende Richtwerte für die maximale Schadstoffbelastung erarbeitet:

- Standgewässer/Seen, abgeleitet aus der chronischen Ökotoxizität zulässige Gesamtbelastung
  - 0,010 mg/l MKW
  - 0,010 mg/l BTEX
  - 0,003 µg/l PAK
- Fließgewässer eine Zusatzbelastung von
  - 0,025 mg/l MKW
  - 0,010 mg/l BTEX
  - 0,010 µg/l PAK

Die Fließgewässer im Leipziger Gewässersystem weisen bereits eine erhöhte Vorbelastung mit den Schadstoffkomponenten MKW, BTEX und PAK auf (ECOSYSTEM SAXONIA 2009). Bei der Bewertung sind die Hintergrundbelastungen für die zusätzlich tolerierbare eingetragene Schadstoffbelastung zu beachten.

Die Zielstellungen des beschriebenen Monitorings bestanden deshalb darin:

- Erfassung der differenzierten Entwicklung der Motorbootnutzung der Tagebauseen und Fließgewässer,
- Erfassung des Schadstoffeintrages in die Gewässer im Vergleich zu den im Rahmen der o.g. Konzeptionen angesetzten theoretischen Eintragswerte,
- Bewertung des Verhaltens der Schadstoffe bezüglich Anreicherung in Partikeln und Sedimenten und des Schadstoffumsatzes im Gewässerökosystem,
- darauf aufbauend: Bilanzierung des Schadstoffeintrages und –umsatzes,
- Prognose der zu erwartenden Komponenten der Schadstoffbelastung (MKW, BTEX, PAK),
- Einschätzung der für die Sicherung eines guten ökologischen Potenzials bzw. Zustandes der Gewässer tolerablen Belastung,

- Ableitung von Empfehlungen für die Zulassungspraxis der Motorbootnutzung und für die Bewirtschaftungsmaßnahmen

Mit dem Monitoring wurde erfasst, ob die aktuelle Nutzung mit Motorbooten zu Belastungen bzw. Belastungserhöhungen mit organischen Schadstoffen in den Gewässern des Leipziger Gewässerverbundes führt. Für das Nutzungsmonitoring an Seen wurde eine Methodik entwickelt sowie am Cospudener See das Nutzungsverhalten quantifiziert.

Durch die komplexe Auswertung war letztendlich zu entscheiden, die Motorbootnutzung

- entweder bei Bestätigung der Ansätze aus der Konzeption beizubehalten
- bei dem Vorliegen von signifikanten Reserven infolge eines möglicherweise geringeren Schadstoffeintrags oder/und stärkeren Schadstoffabbaus die Grenzen für die Nutzungsintensität zu erhöhen oder
- bei dem Vorliegen höherer spezifischer Belastungsdaten und einer nachweisbaren Schadstoffakkumulation die Nutzungsintensität stärker zu begrenzen.

## **2 Untersuchungskonzept**

Das Monitoring in den Tagebauseen wird entsprechend der Konzeption zur nachhaltigen Nutzung durchgeführt (ECOSYSTEM SAXONIA/DESCON 2008/2009).

Das Bearbeitungskonzept für das hier vorliegende Monitoring war für eine Laufzeit von 2011 bis 2014 angelegt. Das Konzept beinhaltete:

- methodische Voruntersuchungen im Jahr 2011,
  - Testung der gebauten Sedimentfallen, Vergrößerung der Grundfläche
  - geeignete Expositionsdauer, insbesondere bei Tagebauseen
  - Erprobung der Probenaufbereitung, analytische Methodik
- Basisuntersuchungen: Monitoring zur Schadstoffbelastung 2012 bis 2014,
- Erarbeitung einer Methodik zur Erfassung der Nutzungsintensität im Jahr 2012 (siehe Kapitel 3.4),
- Erfassung der Nutzungsintensität in den Jahren 2013 und 2014.

Als Basisuntersuchungen an den Seen wurden 2012 und 2014 durchgeführt:

- a. Sedimentuntersuchung an allen ausgewählten Seen (Trockenmasse, Glühverlust, pH-Wert, Eisen- und Aluminiumgehalt, PAK, BTEX-Konzentrationen)
- b. Messung der Trübstoffbelastung mit Schwebstofffallen (6 Fallen in verschiedenen Seen) während der Zirkulationsphase (Trockenmasse, BTEX, PAK-Konzentrationen)
- c. Freiwasseruntersuchungen, während Zirkulationsphase.

Während die Sedimentuntersuchungen charakteristisch sind für bereits am Gewässergrund sedimentiertes, z.T. verfestigtes Schwebstoffmaterial, erfassen die Schwebstoffe die aktuelle Belastungssituation.

Da bisher unbekannt war, ob die für die Tagebauseen typischen hohen Eisen- und Aluminiumeinträge und die dadurch bedingten Anteile an den Schwebstoffen einen Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse bezüglich der Schadstoffe haben, wurden diese Konzentrationen sowohl in den Sediment- als auch in den Schwebstoffproben analysiert.

Die Untersuchungen der Wasserphase selbst ließen zwar kaum Befunde erwarten, wurden jedoch zur Kontrolle einmalig durchgeführt.

Als Basisuntersuchungen an den Fließgewässern wurden die Schwebstoff-Untersuchungen mittels Sedimentfallen durchgeführt. Ergänzend waren ausgewählte Wasseranalysen notwendig, um analytisch zwischen den gelösten und partikulär transportierten Anteilen der Eisen- und Aluminium-Konzentrationen unterscheiden zu können. Sedimentproben wurden nicht untersucht.

Bei den Tagebauseen wurden Seen mit unterschiedlicher Nutzung ausgewählt, z.B.:

Cospudener See	geringer Eisen- und Aciditätseintrag, intensive Nutzung
Störmthaler See	hoher Eisen- und Aciditätseintrag, gegenwärtig noch keine, zukünftig intensive Nutzung
Markkleeberger See	geringer Eisen- und Aciditätseintrag, geringe Nutzung
Hainer See	hoher Eisen- und Aciditätseintrag, beginnende Nutzung
Werbelineer See	geringer Eisen- und Aciditätseintrag, sehr geringe Nutzungsintensität.

2012 und 2013 wurden die Sedimentfallen in bis zu drei Messkampagnen exponiert, um jahreszeitlich und nutzungsbedingte Schwankungen der Belastung erfassen zu können. Ausgewählt wurden die Messstellen des LMBV-Routineprogrammes (nach MHM), für die dadurch Beschaffenheitsdaten aus den vergangenen Jahren vorlagen. Sie liegen jeweils im tiefsten Bereich der Seen. 2013 wurden zusätzlich vertiefende Sedimentuntersuchungen in bestimmten Uferbereichen des Cospudener und des Störmthaler Sees durchgeführt, um auszuschließen, dass in ufernahen Bereichen Kontaminationen bestehen.

Gegenüber den Tagebauseen ist in den eutrophierten Fließgewässern des Gewässerverbundes davon auszugehen, dass die Schwebstoffbelastung und Organismenbiomasse für Schadstoffabbau/-adsorption und –umsatz deutlich höher sind. Gleiches gilt für die Vorbelastung der Schwebstoffe und Sedimente. Auf dieser Grundlage wurde davon ausgegangen, dass durch die Mehrfachexposition von Zylinderfallen über 1-3 Tage eine verwertbare Aussage erzielt wird. Da hier jahreszeitliche Veränderungen und der Abflussaspekt eine größere Bedeutung einnehmen als an den Seen, wurden jährlich ca. 2-3 Messkampagnen durchgeführt.

Als Fließgewässer wurden untersucht:

- Stadtelster/Elsterflutbett
- Floßgraben
- Karl-Heine-Kanal

Die Messungen mit den Schwebstofffallen erfolgten an jeweils 2 Standorten pro Fließgewässer.

Die Fließabschnitte wurden unter folgenden Kriterien ausgewählt:

- beobachtete und potenzielle Nutzungsintensität durch Motorboote
- mögliche Beeinflussung durch urbane Stoffeinträge, Erfassung der Vorbelastung
- Eignung hydraulischer Verhältnisse (Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe) für Methodik der Schwebstoffuntersuchung
- Erreichbarkeit/Begehbarkeit der Messstelle.

Im Mittelpunkt der Betrachtung standen die Schadstoffgruppen MKW, PAK und BTEX. Für BTEX und PAK liegen praktikable Bestimmungsmethoden vor, die Nachweise bis in den toxischen Wirkungsbereich ermöglichen. Für die MKW-Bestimmung gibt es dagegen keine

übliche DIN-Methode, welche eine adäquate Bewertung ermöglicht. Eine gleichwertige Alternative wurde auch nach Rücksprache mit dem Labor der ERGO Umweltinstitut GmbH nicht gefunden. Eine Option, verschiedene Kohlenwasserstoffe – insbesondere im erforderlichen Bereich niederkettiger Aliphaten - spezifisch nachzuweisen, ist ein sogenannter „Leichtflüchter-Run“ (gaschromatografische Methode), der für Altstandorte entwickelt wurde. Die vorliegende Methode wurde deshalb bei den Voruntersuchungen 2011 auf seine Eignung für das Monitoring geprüft. Die Einzelverbindungen sind in Tab.3-1 aufgeführt.

Die Ergebnisse wurden zum Ende jeden Jahres in Form eines Zwischenberichtes dokumentiert und ausgewertet ([4], [5], [6]). Darin sind zusätzlich zum vorliegenden Abschlussbericht weitere und teils detailliertere Informationen zur Methodik und den Analyseergebnissen enthalten. Die Ergebnisse des Jahres 2014 wurden in diesem Endbericht dokumentiert und im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Vorjahre ausgewertet.

### **3 Methoden und Untersuchungsumfang**

#### **3.1 Probenahme und Probenaufbereitung**

##### **3.1.1 Methodik der Sedimentuntersuchungen**

Je Probenahmestelle wurden 5-6 Sedimentliner mittels UWITEC-Sedimentstecher (Fa. UWITEC, Mondsee, 60 cm Länge, durchsichtiges Plexiglas) entnommen. Die Kerne wurden umgehend dicht verschlossen, in Styroporboxen zum Labor transportiert und bis zur weiteren Aufarbeitung am nächsten Tag bei 4°C gelagert.

Zur visuellen Ansprache erfolgte vor der Abtrennung der Horizonte eine fotografische Dokumentation. Anschließend wurden von den Linern jeweils die oberen 2-3 cm gewonnen. Die Festlegung der Mächtigkeit dieser beiden untersuchten Schichten erfolgte nach optischer Beurteilung jedes einzelnen Sedimentkerns. Mit der oberen Schicht wurde die geringmächtige Auflage der neuesten Ablagerungen (z.T. abgestorbene organische Substanz, Pflanzenteile) erfasst.

Nur bei ausgewählten Untersuchungen wurde eine schichtweise Beprobung der Sedimentkerne vorgenommen. So wurden im Rahmen der Voruntersuchungen im Herbst 2011 die Oberflächenschicht (0-0,5 cm) und die darunter liegende 2,5 cm mächtige Schicht separat beprobt und untersucht. Um Informationen zur Verteilung der PAK in den Tiefenschichten des Sedimentes zu erhalten (bisher nur Information von der Oberfläche, 3-4 cm, erfasst), wurden 2013 von einem Bereich, in dem Belastungen wahrscheinlich erschienen, die Sedimentkerne tiefenorientiert aufgearbeitet und von vier Proben PAK-Analysen durchgeführt. Dafür wurde die Messstelle CSP 5 im Cospudener See (Hafenbereich) ausgewählt.

Zusätzliche Proben wurden 2013 aus dem Uferbereich ausgewählter Seen entnommen, in denen bereits eine Motorbootnutzung besteht (Cospudener See, Störmthaler See). Als Referenz dazu wurde der Markkleeberger See (mit nahezu keiner Nutzung durch Motorboote) ausgewählt. Es sollte überprüft werden, ob am Ufer im Vergleich zu den bisher in den Tiefbereichen der Seen erfassten Proben andere Befunde auftreten.

Um die bergbauliche Beeinflussung der Seen unter dem Aspekt des Anteils von Eisen- und Aluminiumspezies an der Gesamtmasse der akkumulierten Schwebstoffe beschreiben zu können, wurden von einigen Proben im Jahr 2013 die TOC-, Eisen- und Aluminiumkonzentrationen als Gesamtgehalte analysiert.

Die Milieubedingungen im Wasser über der Sedimentoberfläche wurden mittels Tiefenprofil mit einer Multiparametersonde (MS5 Fa. Hydrolab) für die Parameter Wassertemperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoff und Redoxpotential erfasst.

### 3.1.2 Methodik der Schwebstoffuntersuchungen in Seen

Die Schwebstofffallen bestehen aus einem Bündel von 4 Sammelrohren (Durchmesser 11 cm, Fläche pro Röhre: 95 cm<sup>2</sup>, Fläche pro Sedimentfalle mit 4 Röhren: 380 cm<sup>2</sup>). Die Voruntersuchungen 2011 hatten ergeben, dass die zunächst eingesetzten Sedimentfallen mit einem Innen-Durchmesser von 7 cm zu geringe Ausbeuten erbrachten. Deshalb wurden neue Sedimentfallen mit einem größeren Durchmesser angefertigt (Fa. 3D Edelstahl GmbH Dresden). Die Fläche wurde auf diese Weise um den Faktor 2,5 erhöht.

Die Sedimentfallen waren an einer Leine befestigt, die am Gewässergrund mit einem Gewicht beschwert (damit ortskonstant) und an der Wasseroberfläche mit einer Boje gekennzeichnet wurde (siehe Abb. 3-1). Zur Probenentnahme kann das untere Stück der Röhren abgenommen werden. Jedes Gerät war mit einem Schild versehen, das unbefugte Nutzungen vermeiden sollte. Während der Expositionsdauer waren zu mehreren Zeitpunkten an den Sedimentfallen unbefugte Nutzungen (Festmachen von Segelbooten) zu beobachten, die teilweise zu Verdriftungen des Gerätes führten. Die Lage wurde zeitnah wieder korrigiert.



**Abb. 3-1: Schwebstofffallen beim Einsatz im Cospudener See**

Ziel war es die potentiellen Belastungen durch Motorboote im Epilimnion zu erfassen. Daher wurde die Expositionstiefe je nach Schichtungsverhältnissen festgelegt. Die Sedimentfallen wurden jeweils im unteren Bereich des Epilimnion zwischen 6 und 10 m Wassertiefe eingebracht.

Meist wurden an einer Messstelle mehrere Schwebstofffallen ausgebracht, um möglichst viel Probenmaterial zu sammeln. Nach Abschluss der Exposition wurde das Material in Probenflaschen vereinigt, luftblasenfrei mit Seewasser aufgefüllt und so gekühlt zum Labor transportiert. Dort wurden die Proben in 2 l Messzylinder überführt und im Kühlschrank (mit

Parafilm bedeckt) ca. 10 h aufbewahrt, bis die Trübstoffe vollständig sedimentierten. Das überstehende Wasser wurde vorsichtig dekantiert, so dass das für die Analysen minimal notwendige Probenvolumen im Zylinder verblieb. Damit wurde eine Anreicherung der Partikel um den Faktor 2-3 erreicht.

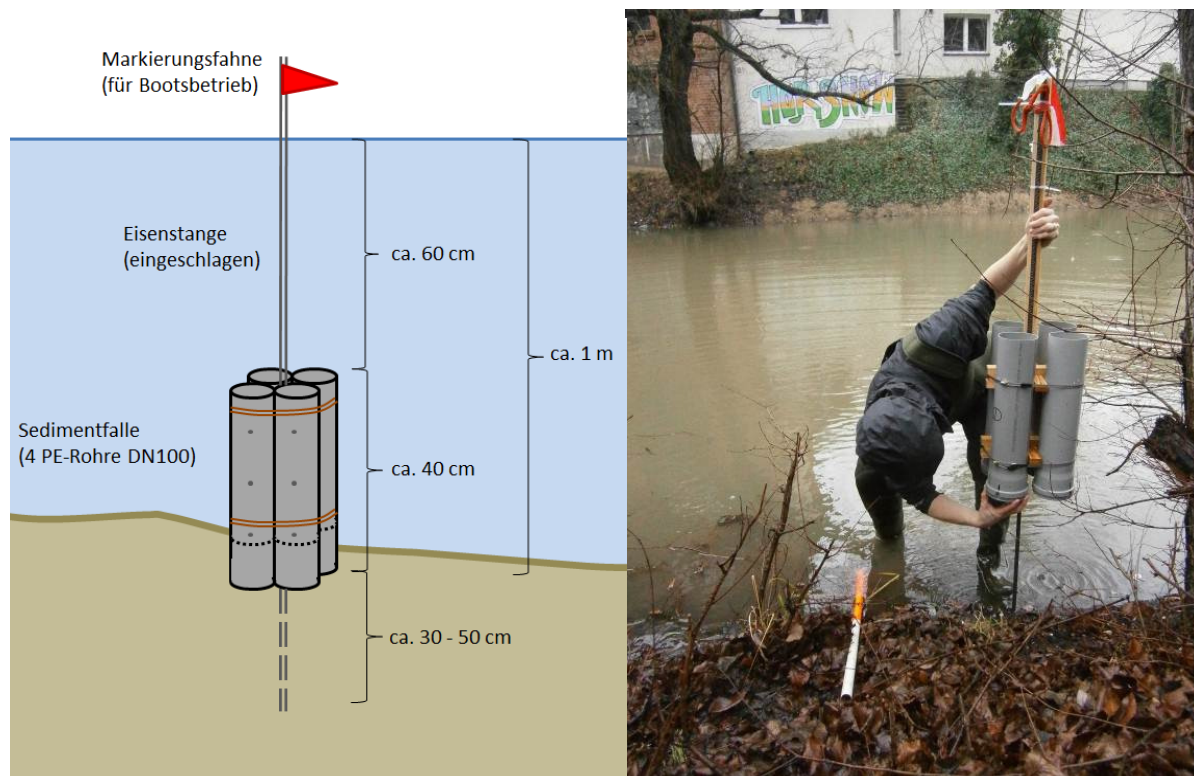
Die Proben wurden danach wieder gründlich homogenisiert und die Trübstoffe während der Abfüllung in die verschiedenen Probenflaschen (mittels Schlauchpumpe) auf einem Magnet-rührer in Schwebelage gehalten. Durch diese Prozedur wurde erreicht, dass für alle Analysen eine identische Probe gewonnen wurde, ohne das zwischenzeitliches Absetzen der Ausgangsprobe zu Fehlern geführt hätte.

Die Schadstoffanalysen wurden in der angereicherten Suspension durchgeführt und anschließend mit Hilfe der TS-Bestimmung auf Konzentrationen in µg/g TS umgerechnet.

### **3.1.3 Methodik der Schwebstoffuntersuchungen in Fließgewässern**

Die Untersuchungen erfolgten mittels Schwebstoff- bzw. Sedimentationsfallen. Die Schwebstofffallen wurden nach dem Prinzip von Röhrenfallen konstruiert. Eine Falle besteht aus 4 PE-Röhren mit einem Durchmesser von je 10 cm, die an einer Eisenstange befestigt wurden. Die Eisenstange dient der Sicherung in der Gewässersohle bzw. im Sediment. Die Position der Stange zeigt ein Markierungsband, wodurch der Bootsverkehr auf die Messung hingewiesen wird. Im Vergleich zu Tellerfallen haben Röhrenfallen die Eigenschaft, dass effektive Sedimentationsraten nicht korrekt bestimmbar sind, da die Resuspension von in der Falle abgelagerten Schwebstoffen nicht möglich ist. Für die Gewinnung von ausreichendem Material für Schwebstoffanalysen, was dem Ziel der hier durchgeführten Untersuchungen entspricht, sind Röhrenfallen jedoch zweckmäßig. Die Querschnittsfläche einer derartigen Schwebstofffalle beträgt insgesamt 314 cm<sup>2</sup>.

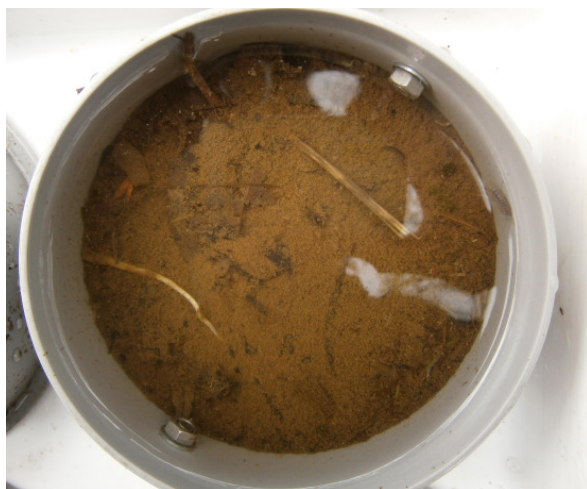




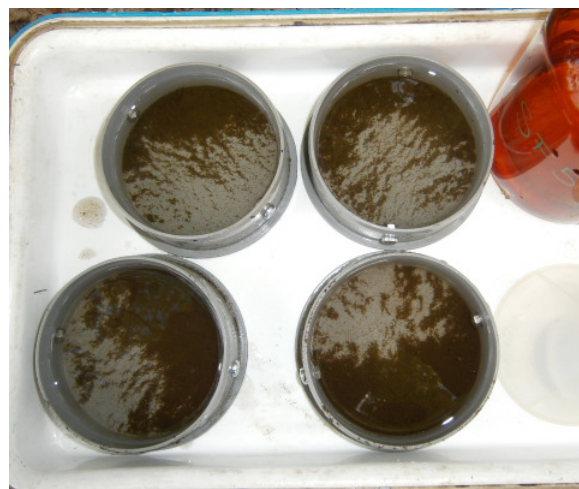
**Abb. 3-2: Schematischer Aufbau der Schwebstofffallen für Fließgewässer und Foto beim Messeinsatz im Karl-Heine-Kanal in Leipzig**

Nach der Expositionsdauer wurden die Proben der 4 Röhren vor Ort entnommen und zu einer Mischprobe je Falle vereinigt. Nach gravimetrischer Massebestimmung erfolgte die labortechnische Aufbereitung und Analyse. Die folgenden Abbildungen zeigen exemplarisch das gesammelte Probenmaterial verschiedener Messkampagnen sowie eine Schwebstofffalle im eingebauten Zustand im Floßgraben mit Schwemmgutablagerungen.

Nachdem im Rahmen der Voruntersuchung z.T. zu wenig Probenmaterial gewonnen werden konnte (siehe Abb. 3-3, Bild 3 vom Karl-Heine-Kanal), erfolgte eine Verlängerung der Expositionszeit auf 2 bis 3 Tage. Damit wurde zu allen Untersuchungsterminen ausreichend Probenmaterial für die labortechnische Aufbereitung gewonnen.



1 Weiße Elster – Pistorisstraße (04/2012)



2 Floßgraben – Weiße Brücke (04/2012)



3 Karl-Heine-Kanal – Engertstraße (01/2012)    4 Floßgraben – KA Markkleeberg (09/2012)

**Abb. 3-3:        Gesammeltes Probenmaterial mit Schwebstofffallen im Fließgewässer (Bild 1-3)  
                      und Schwebstofffalle im eingebauten Zustand im Floßgraben (Bild 4)**

Die Proben aus den Schwebstofffallen der Fließgewässer wurden zu allen Untersuchungen in gleicher Weise labortechnisch aufgearbeitet. Das Vorgehen gleicht der in Kap. 3.1.2 beschriebenen Methodik der Schwebstoffuntersuchung in den Tagebauseen. Das Monitoringprogramm umfasste pro Messung eine Beprobung der Wasserbeschaffenheit (Freiwasser) sowie die eigentliche Schwebstoffuntersuchung. Die Ergebnisse für Eisen und Aluminium (gelöst) wurden bei den Gesamtbestimmungen berücksichtigt.

#### **3.1.4 Methodik der Wasseranalysen**

Begleitend zu den Schwebstoff- und Sedimentuntersuchungen wurden in den Jahren 2011 und 2012 auch Freiwasserbeprobungen durchgeführt. Allerdings ist eine Bindung und potentielle Anreicherung der Schadstoffe in den Schwebstoffen bzw. Sedimenten insbesondere bei polaren Stoffen wie den PAK eher zu erwarten als Befunde im Wasser selbst. Die Analyse dieser Substanzen im Freiwasser erfolgte während der Sommerstagnation, zu der aufgrund der Separierung des Wasserkörpers die potentiell größte Belastung zu erwarten war.

Die Wasserproben wurden jeweils in der Mitte des Epilimnions entnommen.



### 3.2 Analytische Methoden

Zur analytischen Bestimmung der relevanten Stoffe wurden folgende Methoden angewendet (Tab. 3-2, Tab.3-1).

**Tab.3-1: Analysenmethoden – Wasser**

Parameter	Methode	Einheit	Bestimmungsgrenze
Trockenmasse°	DIN EN 12880	%	-
Glühverlust°	DIN EN 12879	%TS	-
pH-Wert°	DIN 38 404 - C5	-	-
El. Leitfähigkeit°	DIN EN ISO 27 888	µS/cm	-
abfiltrierbare Stoffe°	DIN 38409-H2-2	mg/L	1 *
Aluminium, gesamt°	DIN EN ISO 11885 nach Säureaufschluss	mg/L	0,1
Eisen, gesamt°		mg/L	0,02
<b>BTEX °</b>	DIN 38407-F9 (Headspace)		
Benzol		µg/L	0,5
Toluol		µg/L	0,5
Ethylbenzol		µg/L	0,5
m,p-Xylol		µg/L	0,5
o-Xylol		µg/L	0,5
<b>weitere Aromaten °</b>	DIN 38407-F9 (Headspace)		
Styrol		µg/L	0,5
Cumol(Isopropylbenzol)		µg/L	0,5
1,3,5-Trimethylbenzol		µg/L	0,5
1,2,4-Trimethylbenzol		µg/L	0,5
1,2,3-Trimethylbenzol		µg/L	0,5
2-Ethyltoluol		µg/L	0,5
3-Ethyltoluol		µg/L	0,5
4-Ethyltoluol		µg/L	0,5
n-Propylbenzol		µg/L	0,5
tert.-Butylbenzol		µg/L	0,5
sek.-Butylbenzol		µg/L	0,5
n-Butylbenzol		µg/L	0,5
1,2,4,5-Tetramethylbenzol		µg/L	0,5
<b>Aliphaten °</b>	DIN 38407-F9 (Headspace)		
n-Pentan		µg/L	0,5
n-Hexan		µg/L	0,5
n-Heptan		µg/L	0,5
n-Octan		µg/L	0,5
n-Nonan		µg/L	0,5
n-Decan		µg/L	0,5
n-Undecan		µg/L	0,5
n-Dodecan		µg/L	0,5
n-Tridecan		µg/L	0,5

Parameter	Methode	Einheit	Bestimmungsgrenze
<b>PAK nach EPA °</b>	entspr. EPA 610		
Naphthalin	(Extrakt. mit Cyclohexan)	µg/L	0,005
Acenaphthylen		µg/L	0,005
Acenaphthen		µg/L	0,005
Fluoren		µg/L	0,005
Phenanthren		µg/L	0,005
Anthracen		µg/L	0,005
Fluoranthen		µg/L	0,005
Pyren		µg/L	0,005
Benzo(a)anthracen		µg/L	0,005
Chrysen		µg/L	0,005
Benzo(b)fluoranthen		µg/L	0,005
Benzo(k)fluoranthen		µg/L	0,005
Benzo(a)pyren		µg/L	0,005
Indeno(1,2,3-cd)pyren		µg/L	0,005
Dibenzo(a,h)anthracen		µg/L	0,005
Benzo(ghi)perylene		µg/L	0,005

° unfiltrierte Probe analysiert

**Tab. 3-2: Analysenmethoden -Schwebstoffe und Sedimente**

Parameter	Methode	Einheit	BG Schwebstoffe	BG Sedimentproben
Trockensubstanz (bez. auf Feuchtmasse)	DIN EN 12880	% FM	-	-
Glühverlust (bez. auf Trockenmasse)	DIN EN 12879	% TS	-	-
BTEX, weitere Aromaten, Aliphaten (Einzelverbindungen, siehe Tabelle 3.1)	DIN 38407-F9 (Headspace)	mg/kg TS	0,05 - 0,9 #	0,05
PAK (nach EPA) (Einzelverbindungen, siehe Tabelle 3.1)	entspr. EPA 610, Extrakt. mit Cyclohexan	mg/kg TS	0,001 - 0,01 #	0,004-0,02#
weitere Aromaten (Leichtflüchter-Run, Einzelstoffe, siehe Tabelle 3.1)	DIN 38407-F9 (Headspace)	mg/kg TS	0,7-1 #	0,05
Aliphaten (Leichtflüchter-Run, Einzelstoffe, siehe Tabelle 3.1)	DIN 38407-F9 (Headspace)	mg/kg TS	0,7-1 #	0,05
<b>Gesamt-Konzentrationen nach Königswasseraufschluss DIN EN 13346, Meth. C (Mikrowellenaufschluss)</b>				
Eisen	DIN EN ISO 11885	mg/kg TS	0,7	0,7
Aluminium	DIN EN ISO 11885	mg/kg TS	3	3

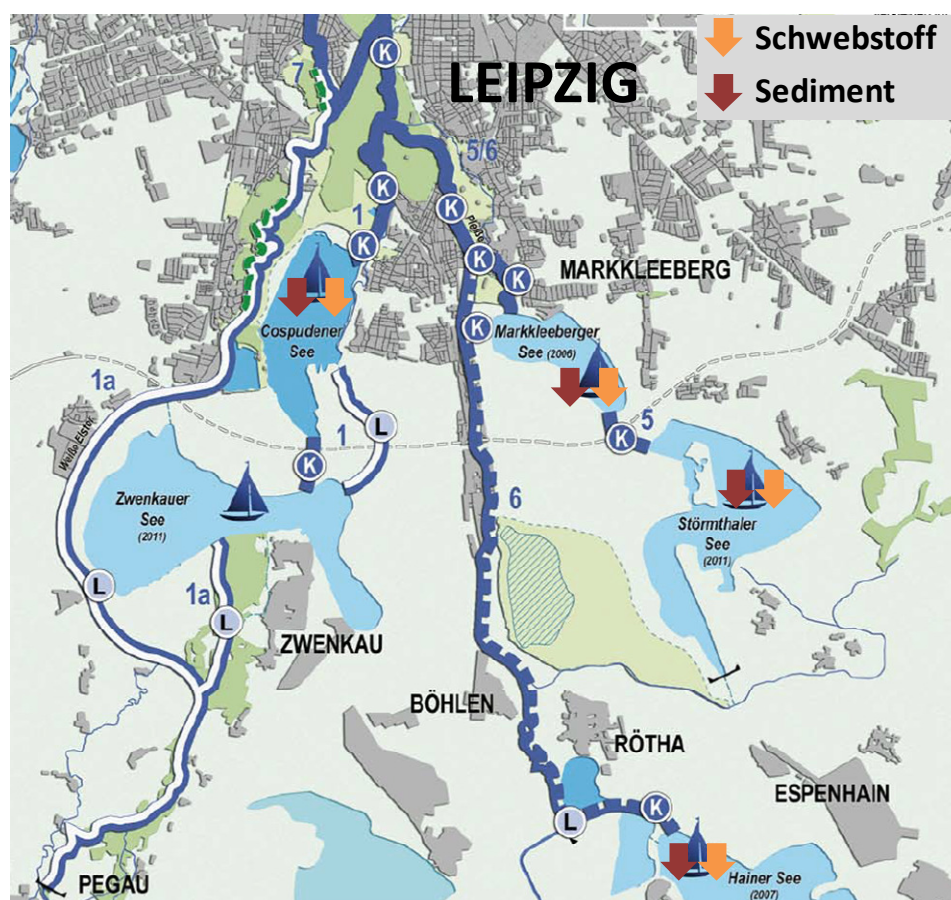
Für die Bestimmungsgrenze wird ein Bereich (# in Tab. 3.2) angegeben, da sie in Abhängigkeit von den Trockenmassen stark schwankt.

### 3.3 Monitoring in Tagebauseen

#### 3.3.1 Untersuchungsgebiet und Ausgangssituation

Das Monitoringkonzept zielte darauf ab, ausgewählte Tagebauseen mit unterschiedlich stark ausgeprägter wassertouristischer Motorbootnutzung zu untersuchen, um im Ergebnis ggf. Rückschlüsse zur Auswirkung der Nutzung auf die Wasserbeschaffenheit zu ziehen.

Die Untersuchungen an den Sedimenten und Schwebstoffen der Standgewässer (Tagebauseen) variierten über die Jahre 2011 bis 2014 in Abhängigkeit der jährlichen Zielstellung bzw. den bereits vorhandenen Ergebnissen (siehe Abschnitt 2). Beprobungen erfolgten am Cospudener See, Markkleeberger See, Störnthaler See, Hainer/Haubitzer See (Abb. 3-4) und Werbeliner See (nördlich von Leipzig, nicht in der Abbildung). Eine detaillierte Übersicht aller Messstellen bieten die Karten in Anlage 1.



**Abb. 3-4:** Untersuchte Tagebauseen im Südraum von Leipzig im Rahmen des gewässer-ökologischen Monitorings (Kartengrundlage: Leitplan, WTNK)

Der Cospudener See befindet sich als einziger der untersuchten Seen bereits seit 2001 in öffentlicher und damit auch wassersportlicher Nutzung. Alle anderen Seen erreichten erst zwischen 2010 und 2013 ihren Endwasserspiegel (siehe Tab. 3-3), zuletzt der Störnthaler See. Dementsprechend waren für diese Seen die wassersportlichen Nutzungen und damit der Motorbootverkehr noch sehr gering. Auf dem Werbeliner See ist bisher jegliche Bootsnutzung verboten (im Zusammenhang mit SPA-Gebiet).

**Tab. 3-3: Charakteristik der untersuchten Seen**

	Fläche	Volumen	mittlerer End-WS	Flutungs- beginn	Flutungs- ende	pH-Wert 1/2015
	ha	Mio m <sup>3</sup>	+mNHN			(-)
Haubitzer See	160	25	126,0	1999	2010	6,2
Hainer See	405	73	126,0	1999	2010	6,4
Störmthaler See	733	157	117,0	2003	2013	6,7
Markkleeberger See	252	60	113,0	1999	2012	7,4
Cospudener See	439	109	110,0	1993	2000	7,2
Werbelineer See	450	46	98,0	1998	2010	7,9

Fläche und Volumen, bezogen auf mittleren End-Wasserspiegel (WS)

Nach Abschluss der Flutung werden der Hainer und der Störmthaler See zeitweise mit Sumpfungswasser der MIBRAG versorgt (Stützungswasser aus Mengen- und Beschaffungsgründen). Das Überschusswasser des Störmthaler Sees entwässert über den Markkleeberger See zur Kleinen Pleiße. Der Cospudener und der Werbeliner See haben keine oberirdischen Zuflüsse.

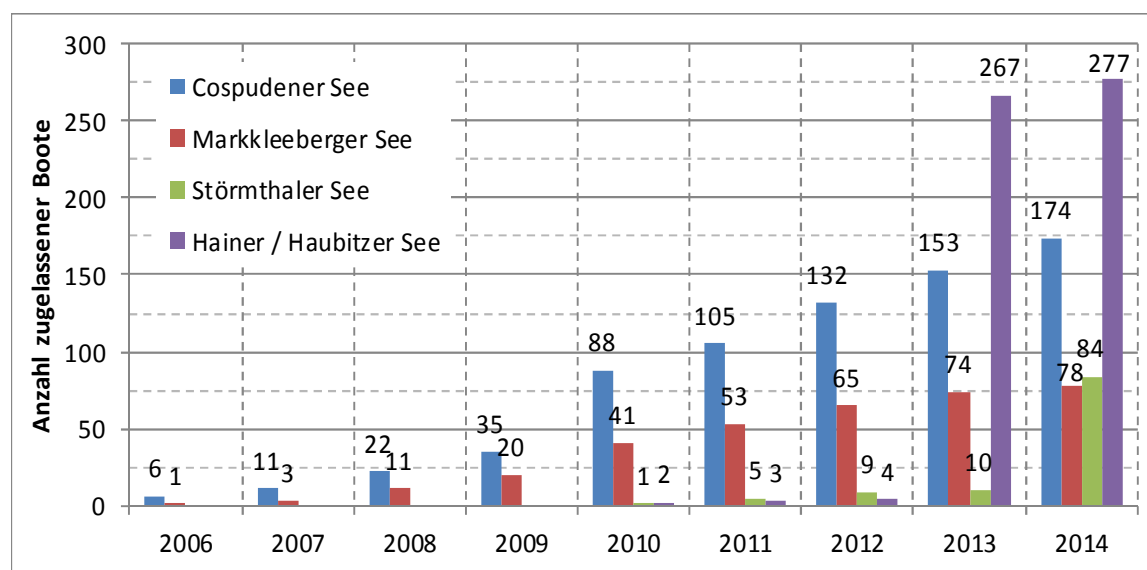
Auf dem Cospudener See erfolgten im Jahr 2002 die ersten Gestattungen zur Motorbootnutzung. Seither steigt die Anzahl der zugelassenen Boote stetig. Die größte Zunahme gab es zwischen 2009-2010 mit einem Anstieg von rund 50 Bootszulassungen. Zum aktuellen Zustand sind dort 174 Boote zugelassen. Dagegen beträgt die gegenwärtige Anzahl der Gestattungen auf dem Markkleeberger See und dem Störmthaler See jeweils rund die Hälfte davon. Am Markkleeberger See gab es seit 2012 nur noch wenige Neuzulassungen, während am Störmthaler See der Großteil erst 2014 zugelassen wurde. Die meisten Bootszulassungen liegen am Hainer See mit 277 Booten vor. Dort hatte sich die Blauwasser Seemanagement GmbH im Jahr 2013 ein Kontingent von insgesamt 240 Booten (140 Segel- und 100 Motorboote) gesichert. Vor 2012 gab es am Hainer See kaum Gestattungen. Über die aktuelle Ausnutzung dieses Kontingentes liegen keine Informationen vor.

**Tab. 3-4: Zulassungen für Boote auf den untersuchten Seen (Stand: 1/2015)**

Bootskategorie		Cospudener See	Markkleeberger See	Störmthaler See	Hainer / Haubitzer See
Verbrenner	Segelboote	86	19	27	146
	Motorboote	80	33	15	131
	Fahrgastschiffe	2	2	2	0
Boote mit alternat. Antrieb (E-Motor, solar)		6	24	40	1
SUMME		174	78	84	278
Bemerkungen		Gestattungen ab 2002	Gestattungen ab 2006	Gestattungen vorwiegend seit 2014	Gestattungen vorwiegend seit 2013

Der Motorbootverkehr auf dem Cospudener See wurde in den Jahren 2012-2014 durch insgesamt 11 Bootszählungen erfasst. Aus den Beobachtungsergebnissen ist kein zunehmender/abnehmender Trend der Nutzungsintensität über die Jahre 2012-2014 abzuleiten (siehe Abschnitt 6). Das variierende Nutzungsverhalten wird durch saisonale und meteorologische Randbedingungen beeinflusst.

Unabhängig davon wurde die Anzahl der wasserrechtlichen Gestattungen für die Motorbootnutzung auf den bisher freigegebenen Seen (Cospudener See, Markkleeberger See, Störmthaler See, Hainer See) analysiert (Abb. 3-5). Die Anzahl der Gestattungen lässt jedoch keine unmittelbaren Rückschlüsse zur Nutzungsintensität auf den jeweiligen Seen zu.



**Abb. 3-5: Entwicklung der Anzahl zugelassener Boote für die untersuchten Tagebauseen**

#### Untersuchungsumfang:

Die folgende Tabelle (Tab.3-5) zeigt eine Übersicht aller Sedimentuntersuchungen (insgesamt 32, teilweise tiefenorientiert) an den Tagebauseen in den Jahren 2011-2014.

Tab.3-6 zeigt die Übersicht aller Schwebstoffuntersuchungen (insgesamt 16) an den Tagebauseen in den Jahren 2011-2014.

**Tab.3-5: Sedimentuntersuchungen in Tagebauseen 2011-2014**

Jahr	See	Lage / Mst.bezeichnung	Bemerkung
2011	Cospudener See	Tiefbereich vor Hafen (RCS 2)	0,0 – 0,5 cm
			1,0 – 3,0 cm
		vor Südbucht (RCS 3)	0,0 – 0,5 cm
			1,0 – 3,0 cm
		Hafenbereich (RCS 5)	0,0 – 0,5 cm
			1,0 – 3,0 cm
2012	Markkleeberger See	Zentral-West-Bereich (REsS 1)	
	Störmthaler See	Zentralbereich (REeS 3)	
		Kippenplanum (REeS 6)	
	Haubitzer See	Süd-West-Bereich (RWS 2)	
	Hainer See	West (RWS 3)	
		Ost (RWS 4)	
	Werbelineer See	Nord (RDS 1)	
		Süd (RDS 1-3)	
2013	Markkleeberger See	Zentral-West-Bereich (REsS 1)	
	Störmthaler See	Zentralbereich (REeS 3)	
		Kippenplanum (REeS 6)	
	Werbelineer See	Nord (RDS 1)	
		Süd (RDS 1-3)	
	Haubitzer See	Süd-West-Bereich (RWS 2)	
	Hainer See	West (RWS 3)	
		Ost (RWS 4)	
	Cospudener See	Hafenbereich (RCS 5)	0,0 - 1,5 cm
			1,5 - 3,0 cm
			3,0 - 4,5 cm
			4,5 - 6,0 cm
	Markkleeberger See	Slipstelle (MKB 1)	Uferprobe
		Hafen (MKB 2)	
	Störmthaler See	Fähranleger (Stoe 1)	
	Cospudener See (Hafenbereich)	I (0-3 cm)	
		II (0-6 cm)	
		III (0-3 cm)	
2014	keine Sedimentuntersuchung		

**Tab.3-6: Schwebstoffuntersuchungen in Tagebauseen 2011-2014**

Jahr	See	Lage / Mst.bezeichnung	Bemerkung
2011	Cospudener See	Hafen (RCS 5)	November – Dezember (Voruntersuchung)
		Südbucht (RCS 3)	
2012	Cospudener See	Südbucht (RCS 3)	Juni – August
		Hafen 1 (RCS 5)	
		Hafen 2 (RCS 5)	
	Markkleeberger See	Zentral-West-Bereich (REsS 1)	
2013	Cospudener See	Südbucht (RCS 3)	April – Juni
			Juni – September
			September – November
		Hafen (RCS 5)	April – Juni
			Juni – September
			September – November
	Störmthaler See	Zentralbereich (REsS3)	April – Juni
			Juni – August
			August – November
2014	Hainer See	West (RWS 3)	Juli – September

### 3.3.2 Messstellen

Die genaue Lage der Messpunkte in den Tagebauseen ist anhand der Koordinaten in der folgenden Tab.3-7 charakterisiert. Die Lage der Messpunkte ist auch in der Kartendarstellung der Anlage 1 einsehbar.

**Tab.3-7: Messpunkte in den Tagebauseen des gewässerökologischen Monitorings**

Tagebausee	Messpkt.	RW	HW	Beschreibung der Lage	Probe
Cospudener See	RCS 2	4523874	5681184	Hafen Zöbiger (Tiefbereich vor Hafen, ca. 50 m tief)	SU
	RCS 3	4523138	5680943	Übergang zur Südbucht (ca. 41 m tief)	SU / SF
	RCS 5	4524050	5681000	Hafenbereich Zöbiger (ca. 24 m tief)	SU / SF
	CSP I	4524093	5680854	Uferprobe CSP I (Hafenbereich)	SU-UP
	CSP II	4524145	5680893	Uferprobe CSP II (Hafenbereich)	SU-UP
	CSP III	4523954	5680844	Uferprobe CSP III (Hafenbereich)	SU-UP
Werbelineer See	RDS 1	4521965	5705983	Nord	SU
	RDS 1-3	4521900	5703552	Süd	SU
Markkleeberger See	REsS 1	4527788	5681516	Zentral-West-Bereich	SU / SF
	MKB 1	4529772	5680306	Slipanlage	SU-UP
	MKB 2	4528009	5681833	Hafen	SU-UP
Störmthaler See	REsS 3	4530301	5677284	Zentralbereich, ehem. Drehpkt. Gruna	SU / SF
	REsS 6	4531858	5678777	Kippenplanum	SU
	Stoe 1	4530767	5677339	Fähranleger	SU-UP
Haubitzer See	RWS 2	4533817	5669253	Süd-West-Bereich	SU
Hainer See	RWS 3	4531483	5671018	West	SU / SF
	RWS 4	4532993	5670897	Ost	SU

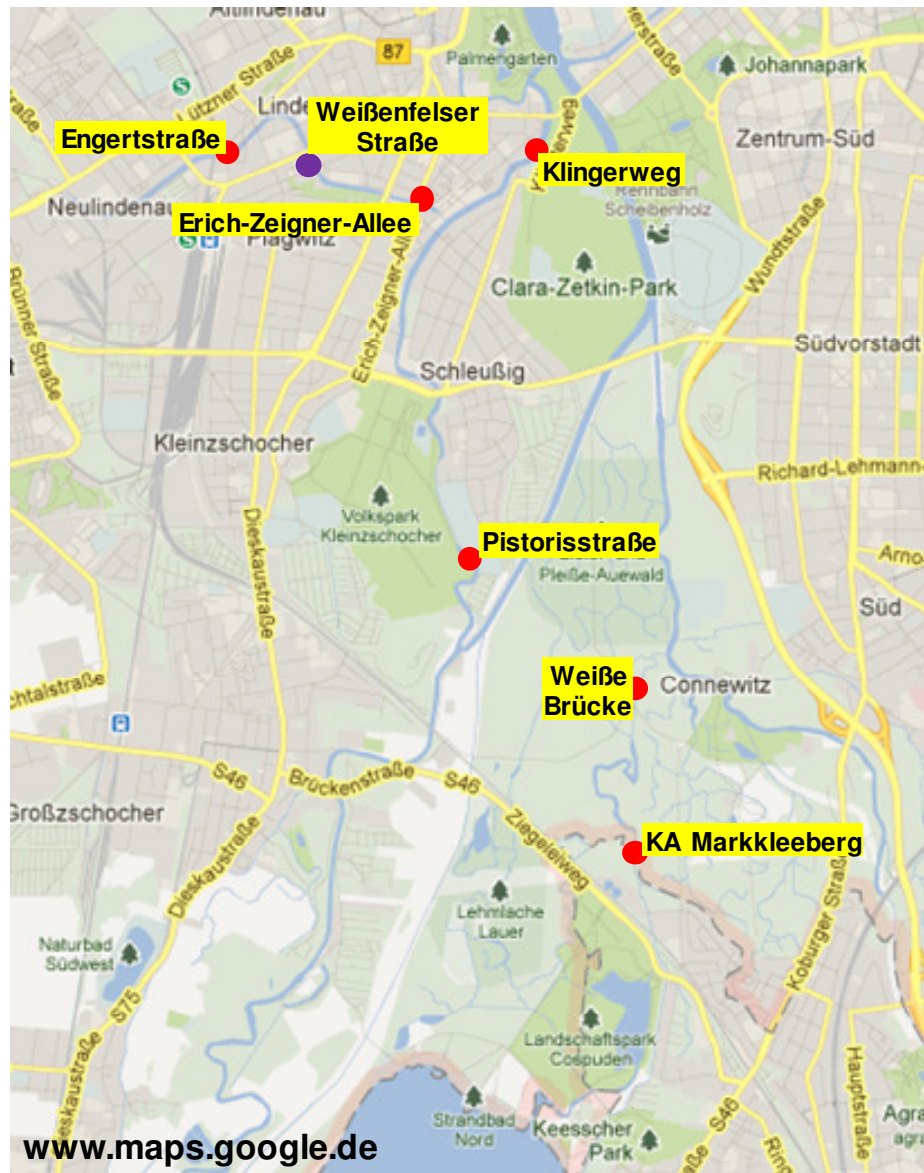
SF: Schwebstofffalle // SU: Sedimentuntersuchung // SU-UP: Sedimentuntersuchung im Uferbereich



### 3.4 Monitoring in Fließgewässern

#### 3.4.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im südlichen Stadtgebiet Leipzigs (siehe Abb. 3-6) und umfasst die gewässertouristisch genutzten Abschnitte der Weißen Elster, des Karl-Heine-Kanals und des Floßgrabens.



**Abb. 3-6: Lage der Messpunkte im Fließgewässermonitoring**

Die Nutzungsintensität des Motorbootverkehrs auf den Fließgewässern des Gewässerverbundes wurde im Vorfeld des Monitorings in den Jahren 2009 bis 2011 durch fünf Beobachtungstermine erfasst (BGMR [1]). Im Monitoringzeitraum 2011-2014 wurden keine weiteren Nutzungserfassungen auf den Fließgewässern durchgeführt. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass sich der Motorbootverkehr auf den Fließgewässern im Untersuchungszeitraum gegenüber 2009-2011 nicht wesentlich verändert hat.



### 3.4.2 Messstellen

Die Lage der Messstellen wurde im Vorfeld des Monitorings so ausgewählt, dass unterschiedliche Nutzungen bzw. Belastungen sowie Stoffumsatz- und Transportprozesse zu erwarten sind. Zudem musste die Erreichbarkeit/Begehrbarkeit vor Ort gegeben sein.

Der Karl-Heine-Kanal bindet linksseitig an die Weiße Elster an. Er weist praktisch keinen Abfluss auf. Das Gewässer weist keine naturnahe Struktur auf. Mögliche Belastungen durch eine Motobootnutzung könnten sich hier aufgrund eines verringerten Stoffaustausches akkumulieren. Auch andere urbane Stoffeinträge (Flächenentwässerungen, Einleitungen) prägen die Wasserbeschaffenheit. Der Karl-Heine-Kanal endet gegenwärtig an der Brücke Lützner Straße und ist nicht an den Lindenauer Hafen angebunden.

Die Lage der Messstelle Pistorisstraße steht für einen Basiswert der Weißer Elster. Sollte sich die Motorbootnutzung in der Weißen Elster messbar auswirken, wäre an der Messstelle Klingerweg am Kanuverein eine Belastungserhöhung zu erwarten. Die Entfernung zwischen den Messstellen beträgt ca. 3,0 km.

Der Floßgraben stellt z.T. ein strukturell natürliches Gewässer dar. Er verbindet die Bootsnutzung von der Pleiße bis in das Waldbad, den Cospudener See und zukünftig auch den Zwenkauer See. Die Messstelle 5 an der Weißen Brücke befindet sich im Bereich strukturell wertvoller Abschnitte und unweit der Mündung in die Pleiße. Die Messstelle 6 bei der Kläranlage Markleeberg liegt ca. 1,7 km oberhalb. Das Gewässer weist hier eine stärkere strukturelle Beeinträchtigung auf. Der Ablauf der Kläranlage befindet sich stromunterhalb der Messstelle. Der Motorbootverkehr ist auf dem Floßgraben nicht zulässig (nur mit Ausnahmeregelung für einzelne Boote mit Elektromotor).

**Tab.3-8: Messstellen des Monitorings an den Fließgewässern**

Messstelle	Gewässer	Lage	Bemerkungen
1	Karl-Heine Kanal	Engertstraße	kaum Durchfluss / Austausch, naturferne Struktur, geringe Bootsnutzung
1a (nur 2014)		Weißerfelser Straße (Rest. Stelzenhaus)	kaum Durchfluss / Austausch, naturferne Struktur, mäßige Bootsnutzung
2		Erich-Zeigner-Allee	geringer Abfluss / Austausch, nahe Weiße Elster, naturferne Struktur, Bootsnutzung
3 (nicht 2014)	Weiße Elster	Klingerweg (Kanuverein)	Bootsnutzung, 3 km unterhalb MS4
4 (nicht 2014)		Pistorisstraße (Geh- und Radwegbrücke)	starke Transportprozesse, Vorbelastung mit geringer Bootsnutzung, 3 km oberhalb MS4
5	Floßgraben	Weiße Brücke	im Bereich strukturell hochwertiger Abschnitte
6		oh. KA Markleeberg (Bahnbrücke)	strukturell veränderter Bereich

Die Lage der im Jahr 2011 festgelegten Messstellen für das Fließgewässermonitoring änderte sich innerhalb des Untersuchungszeitraums kaum. Lediglich im Floßgraben wurde die Messstelle an der Kläranlage Markleeberg etwas (rund 200 m) stromaufwärts zur Querung der Bahntrasse verschoben. Hintergrund hierfür waren teils starke Schwankungen

in den Analyseergebnissen, die vermutlich im Zusammenhang mit der Niederschlagswasser-einleitstelle an der Zufahrt der Kläranlage (stromoberhalb der Messstelle) zu sehen sind. Durch die Anpassung des Messstellen-Standortes wurde diese im Monitoring nicht erfasste Störgröße eliminiert.

Im Jahr 2014 wurde der Untersuchungsumfang von 6 auf 5 Standorte reduziert. Um die Ergebnisse im Karl-Heine-Kanal zu verdichten, wurde dort eine zusätzliche Messstelle eingerichtet (Brücke Weißenfelder Straße). Hingegen wurden die Schwebstoffmessungen in der Weißen Elster nicht fortgeführt. Die Tab.3-8 enthält die wesentlichen Informationen der Beprobungspunkte bzw. der charakteristischen Gewässerzustände.

Die folgenden Fotos zeigen die untersuchten Gewässer im Bereich der Messstellen.



Karl-Heine-Kanal: Mst. 1 (Engertstraße)



Karl-Heine-Kanal: Mst. 2 (Erich-Zeigner-Allee)



Karl-Heine-Kanal: Mst. 1a (Weißenfelder Straße)



Weißer Elster: Mst. 3 (Klingerweg)



Weißer Elster: Mst. 4 (Pistorisstraße)



Floßgraben: Mst. 5 (Weiße Brücke)



Floßgraben: Mst. 6 (oh. KA Markkleeberg)

Die Lage der Messpunkte im Betrachtungsraum ist in Abb. 3-6 dargestellt.

Insgesamt wurden im Rahmen des gewässerökologischen Monitorings sieben Messkampagnen zur Schwebstoffuntersuchung in den ausgewählten Fließgewässern durchgeführt.

- 2012: zwei Messkampagnen (April 2012, September 2012)
- 2013: drei Messkampagnen (Mai 2013, August 2013, September 2013)
- 2014: zwei Messkampagnen (April 2014, Juli 2014)

Damit wurden in den drei Jahren insgesamt 40 Einzeluntersuchungen durchgeführt.

### 3.4.3 Abflussverhältnisse

Für die Schwebstoffuntersuchungen in den Fließgewässern wurde berücksichtigt, dass der für die Stadt Leipzig relevante Durchflussmesspegel der Weißen Elster (Kleindalzig) während der Messkampagnen möglichst Niedrig- bis Mittelwasser führt, was normalen bzw. häufig auftretenden Strömungs- bzw. Schwebstoffverhältnissen entspricht. Hochwasserbedingte Sedimenttransport- und Geschiebeverhältnisse sind für die vorliegenden Schwebstoffuntersuchungen nicht relevant.



**Tab.3-9: Durchflüsse des Messpegels Kleindalzig (Weiße Elster) während Messkampagnen**

Zeitraum Messkampagne	Q Weiße Elster Pegel Kleindalzig	MNQ [m³/s]	MQ [m³/s]
23. – 25. April 2012	8,2 – 15,5 m³/s	<b>4,8</b>	<b>16,6</b>
03. – 05. September 2012	5,7 – 6,9 m³/s		
13. – 16. Mai 2013	18,2 – 15,8 m³/s		
02. – 05. August 2013	11,5 – 9,9 m³/s		
06. – 09. September 2013	9,7 – 10,1 m³/s		
04. – 07. April 2014	8,6 – 9,2 m³/s		
25. – 28. Juli 2014	6,5 – 12,5 (Zunahme ab 27.07.)		

Die Messkampagnen 09/2012 und 07/2014 waren durch besonders niedrige Abflüsse der Weißen Elster geprägt, während in 04/2012 und besonders in 05/2013 höhere Durchflüsse (teilweise etwas über MQ) vorlagen.

### 3.5 Nutzungsmonitoring Cospudener See

#### 3.5.1 Herangehensweise

Der Cospudener See wurde als Ausgangspunkt für die Methodenerprobung des Monitorings zur Motorbootnutzung ausgewählt, da:

- das Gewässer bereits einer Nutzung unterliegt (Passagierschiffe mit Dieselmotoren, Segelboote mit Hilfsmotor, sonstige Motorbootnutzung),
- durch den Anschluss über das Waldbad und den Floßgraben die Ankopplung der wassertouristischen Nutzung im Gewässerverbund realisiert wurde,
- durch verschiedene Nutzungsbereiche insbesondere im Vergleich zum Hafen unterschiedliche Belastungen zu erwarten sind,
- die tatsächliche Nutzung erfasst werden kann und zeitlich differenzierte Belastungen auftreten sollten,
- sich mit der künftigen Anbindung an den Zwenkauer See die touristische Bedeutung weiter erhöhen kann,
- das Gewässer einen geringeren Eisen- und Aziditätseintrag und eine sehr hohe Empfindlichkeit aufweist.

#### 3.5.2 Kurzbeschreibung der Erfassungsmethodik

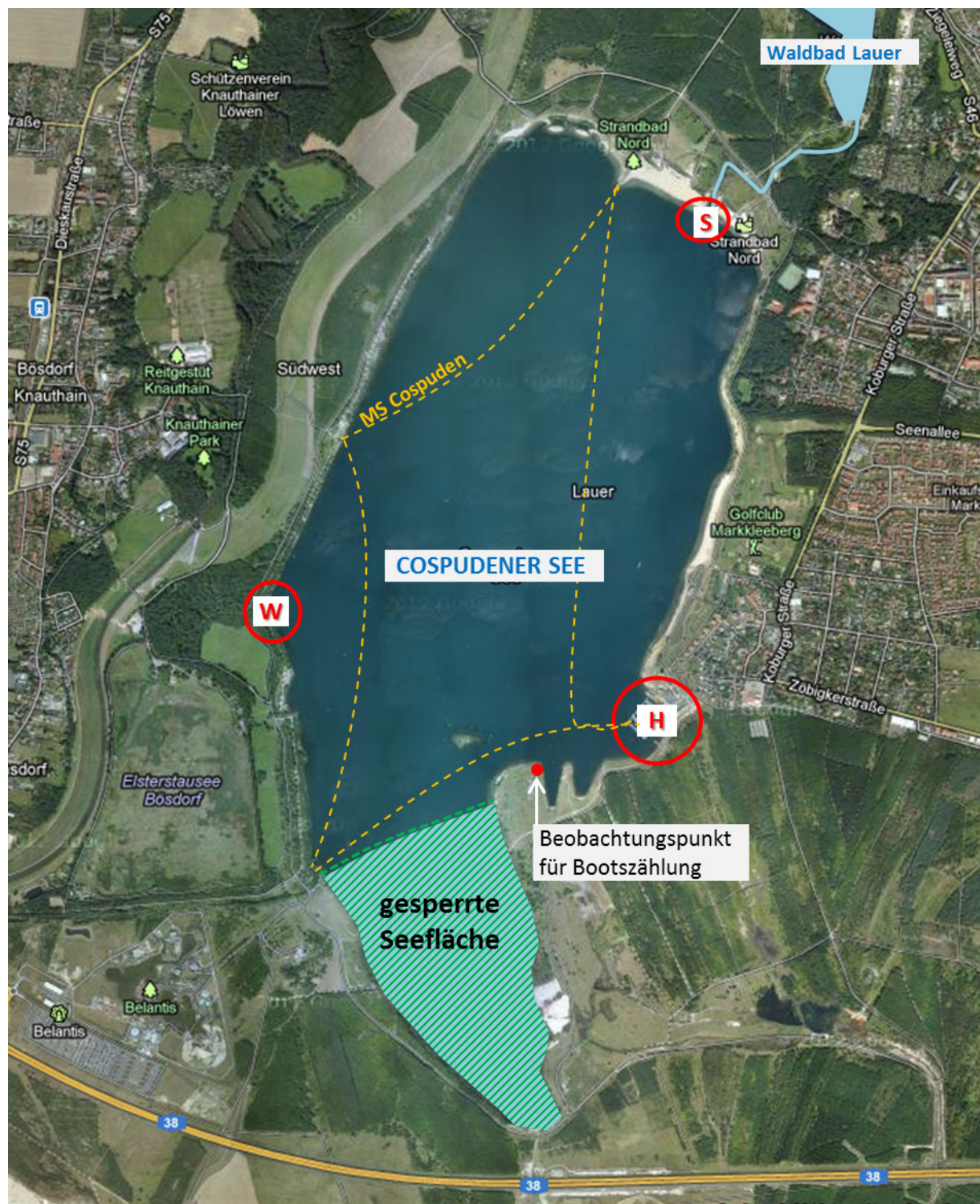
Im Jahr 2012 wurde eine Methodik zur Erfassung der Motorbootnutzung auf den Tagebauseen entwickelt und am Beispiel des Cospudener Sees erfolgreich erprobt. Daraufhin wurde die Erfassungsmethodik weiterführend entsprechend dem Nutzungsverhalten der Motorboote angepasst, um die Monitoringergebnisse zu präzisieren. Die aktuelle Motorbootnutzung auf dem Cospudener See wurde im Jahr 2013 an fünf Stichtagen und im Jahr 2014 an 4 Stichtagen durch Bootszählungen erfasst.

Die methodischen Inhalte des Nutzungsmonitorings sowie die Besonderheiten der beispielhaften Anwendung am Cospudener See wurden bereits in den Zwischenberichten der Jahre 2012 und 2013 (ECOSYSTEM SAXONIA [4], [6]) detailliert erläutert. Daher erfolgt hier nur eine Kurzbeschreibung der Methodik:

Für die Erfassung der Bootsnutzung ist zunächst die Herkunft der Boote zu berücksichtigen. Motorbetriebene Boote auf dem Cospudener See können sich von drei Punkten ausgehend auf die Seewasserfläche bewegen: Der Hafen Zöbiger als wassertouristisches Zentrum an der Ostseite, die Schleuse zum Floßgraben am Nordstrand (überwiegend durch Paddler genutzt, Motorbootnutzung hier stark beschränkt), der Bootsanleger in der Nähe des Hainholzparks am Westufer (geringe Nutzung).

Der folgende Luftbildausschnitt des Cospudener Sees (Quelle: [www.maps.google.de](http://www.maps.google.de), Abb. 3-7) zeigt die drei genannten für die Bootszählung wesentlichen Ortspunkte:

- Hafen Zöbiger (H),
- Schleuse Cospuden (S),
- Bootsanleger am Westufer (W).



**Abb. 3-7:** Luftbildausschnitt des Untersuchungsgebietes am Cospudener See mit Kennzeichnung von drei wesentlichen Ortspunkten, dem Beobachtungspunkt für die Bootszählung und der Route des Fahrgastschiffes MS Cospuden

Außerdem sind die gewöhnliche Route des Fahrgastschiffes MS Cospuden und der für die Bootszählung gewählte Beobachtungspunkt dargestellt. Der Beobachtungspunkt befindet sich in der Nähe der Hafens Zöbiger und ermöglicht so eine gute Sicht auf ein- und

ausfahrende Boote. Die beiden anderen Ortspunkte sind von dort aus ebenfalls zu sehen, allerdings nur unter Verwendung eines geeigneten Fernglases (betrifft insbesondere die Schleuse Cospuden). Die Seefläche südwestlich des Beobachtungspunktes ist für die Bootsnutzung derzeit gesperrt.

Auf der Grundlage des wassertouristischen Nutzungskonzeptes (WTNK, 2006 [13]) wurden die folgenden Bootskategorien im Rahmen der Bootszählungen differenziert berücksichtigt.

**Tab.3-10: Bootstypen für die Erfassung der Bootsnutzung auf dem Cospudener See**

muskelgetriebene Boote		motorgetriebene Boote			
		Antrieb durch Verbrennungsmotor			alternativer Antrieb (Elektromotor)
Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3	Kat. 4	Kat. 5	Kat. 6
Kanu-Paddel-, Freizeitboot	Sport-Wander-Ruder-Boot, Segelboot ohne Motor	Segelboot mit Hilfsmotor	Motorboot mit Außenbordmotor	Fahrgastschiff, Motorjacht	sonstige, z.B. LeipzigBoot, Solarboot

Im Blickpunkt der vorliegenden Untersuchung zur Auswirkung von Emissionen durch Nutzung von Booten mit Verbrennungsmotor stehen die Kategorien 3 bis 5, worin Bootsnutzungen mit wasserrechtlicher Genehmigung gefasst sind. Die Kategorien der muskelbetriebenen Boote werden nur zur vollständigen Erfassung aller Bootsnutzungen mitgeführt. Gleiches gilt für die Kategorie 6, worin Boote mit Elektromotor bzw. mit alternativem Antrieb ohne Verbrennungsmotor gefasst sind.

Das Vor-Ort-Protokoll zur Erfassung der Bootsnutzung berücksichtigt (jeweils mit zeitlichem Bezug) die Anzahl der Boote die auf den See fahren bzw. den See verlassen, die absolute Anzahl der Boote am Ende des jeweiligen Zeitschrittes sowie die geschätzte Betriebsdauer der Verbrennungsmotoren innerhalb eines Zeitschrittes. Es handelt sich dabei um einen Schätzwert, der auf Basis von optischen und akustischen Wahrnehmungen erfasst wird. Bei fahrenden Segelbooten mit Flautenschieber wurde davon ausgegangen, dass bei eingeholtem Segel der Antrieb mittels Verbrennungsmotor erfolgt. In der Praxis ist oft nicht eindeutig einzuschätzen, ob und mit welcher Dauer auf dem Wasser treibende Motorboote (z.B. Angler, Badegäste) mit Motorbetrieb unterwegs waren. Die Anzahl derartiger Fälle ist im Vergleich zur Gesamtnutzung allerdings gering. Die hierdurch bedingte Unschärfe im Ergebnis ist zu vernachlässigen. Die Dauer eines Erfassungszeitschrittes beträgt i.d.R. 30 Minuten.



## **4 Ergebnisse des Monitorings in Tagebauseen**

Im Weiteren werden die wichtigsten Untersuchungsergebnisse aus den Untersuchungen der Jahre 2011 bis 2014 beschrieben. Die detaillierte Darstellung aller Ergebnisse (inkl. Prüfberichte, Probenahme-Protokolle, Tiefenprofile) ist in den bisherigen Zwischenberichten enthalten:

Ergebnisse 2011:	1. Zwischenbericht	[4]
Ergebnisse 2012:	2. Zwischenbericht	[5]
Ergebnisse 2013:	3. Zwischenbericht	[6]

Die Ergebnisse des Jahres 2014 sind in Abschnitt 4.4 enthalten.

### **4.1 Ergebnisse 2011**

Die Voruntersuchungen im Cospudener See im Jahr 2011 beinhalteten Analysen im Freiwasser (26.10.2011), Sedimentuntersuchungen an drei Messstellen (26.10.2011) und die Methodentestung und Schwebstoffgewinnung mit Schwebstofffallen. Die Lage der Messstellen geht aus Tab.3-7 hervor. Die Schwebstofffallen wurden an den Messstellen am Hafen (RCS 5) und an der Südbucht (RCS 3) mit jeweils drei Fallen ausgebracht, um ausreichend Probenmaterial zu gewinnen. Die Sedimentuntersuchungen erfolgten an allen drei Messstellen des Cospudener Sees mit getrennten Analysen der obersten Schicht (0-0,5 cm) und des darunterliegenden Sedimentes (1-3 cm), um die neuen Schwebstoffablagerungen getrennt von dem bereits optisch abweichenden, tieferen Sediment zu erfassen.

#### **4.1.1 Freiwasser**

Das Freiwasser wurde ebenfalls an allen drei Messstellen (25./26.10.2011) untersucht. Die Wasserproben wurden jeweils in 7 m Tiefe entnommen und sind damit typisch für das Epilimnion, das zu diesem Zeitpunkt ca. 15 m mächtig war. Das Epilimnion wies zu diesem Zeitpunkt eine Wassertemperatur von 11,7 °C auf. Der Cospudener See weist neutrale Verhältnisse auf. Der pH-Wert lag bei der Messung im Oktober bei 7,6. Die hohe Leitfähigkeit von über 1.700 µS/cm ist vor allem auf die bergbaubedingten Sulfatgehalte zurückzuführen. Der Gehalt an Schwebstoffen ist mit 3 bis 4 mg/l sehr gering.

Die Untersuchungen im Freiwasser haben bei den BTEX, weiteren Aromaten und Aliphaten keine Werte über den Bestimmungsgrenzen (je Einzelverbindung: 0,5 µg/l) ergeben.

Die PAK (EPA) zeigten in der Summe ebenfalls sehr geringe Konzentrationen. Naphthalin wurde in Spuren zwischen 0,007 und 0,01 µg/l an allen Messpunkten nachgewiesen. Dieser Wertebereich ist als Hintergrundbelastung einzuschätzen. Allein an der Messstelle im Hafenbereich wurde darüber hinaus als einzige spezifische Einzelverbindung Phenanthren in einer geringen Konzentration von 0,03 µg/l festgestellt.

#### **4.1.2 Schwebstoffe**

Die Schwebstofffallen wurden am 01.11.2011 zu je drei Stück pro Messstelle exponiert. Die Fallen wurden zu drei verschiedenen Zeitpunkten beprobt, um so Informationen zur geeigneten Expositionsdauer zu erhalten. Die erste diesbezügliche Kontrolle fand am 25.11.2011



statt. Dazu wurde eine Falle pro Messstelle vorsichtig aus dem Wasser gehoben und der Füllstand visuell kontrolliert. Da sich in den 3,5 Wochen Expositionsdauer nur sehr wenig Material gesammelt hatte (Abb. 4-1), was eine analytische Aufarbeitung nicht ermöglichte, wurden die Fallen weiterhin im Gewässer belassen. Nach weiteren drei Wochen (15.12.11) wurden die Fallen endgültig eingeholt. Das Material aller drei Fallen pro Messstelle wurde anschließend labortechnisch aufbereitet (siehe Kap. 3.1.2).



**Abb. 4-1: Sedimentfallen nach 3,5 Wochen Expositionsdauer im Cospudener See (links: RCS5 – Hafenbereich, rechts: RCS 3 – Südbereich)**

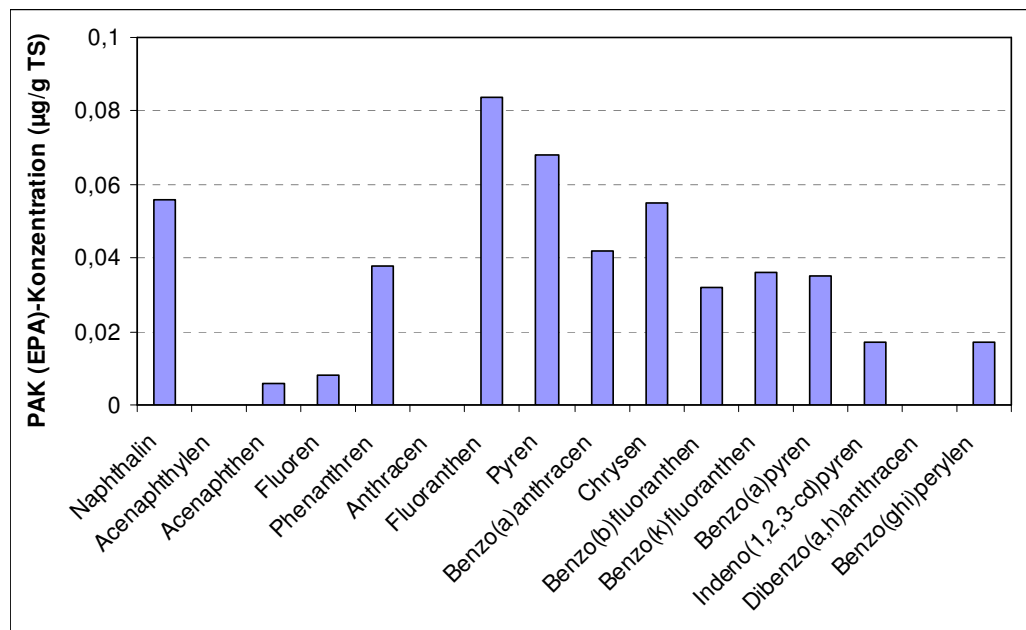
Die Mengenermittlung für die in der Sedimentfalle gesammelten Schwebstoffe ergab:

- Messstelle RCS 3 (Südbucht) 1,07 g TS, d.h. 2,8 mg/cm<sup>2</sup>
- Messstelle RCS 5 (Hafenbereich) 0,69 g TS, d.h. 1,8 mg/cm<sup>2</sup>

Die Schadstoffanalysen ergaben für die BTEX, Aromaten und Aliphaten (spezifischer GC/HS-Run für Rückstände, Abbauprodukte bei MKW-Verunreinigungen) keine Befunde. Alle Werte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,7 mg/kg TS.

Bezüglich der PAK wurden in den Schwebstoffen der Sedimentfalle aus dem Hafenbereich geringfügige Befunde festgestellt, in der Probe aus dem Südbereich lagen die Konzentrationen aller PAK-Einzelverbindungen unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,007 mg/kg TS.

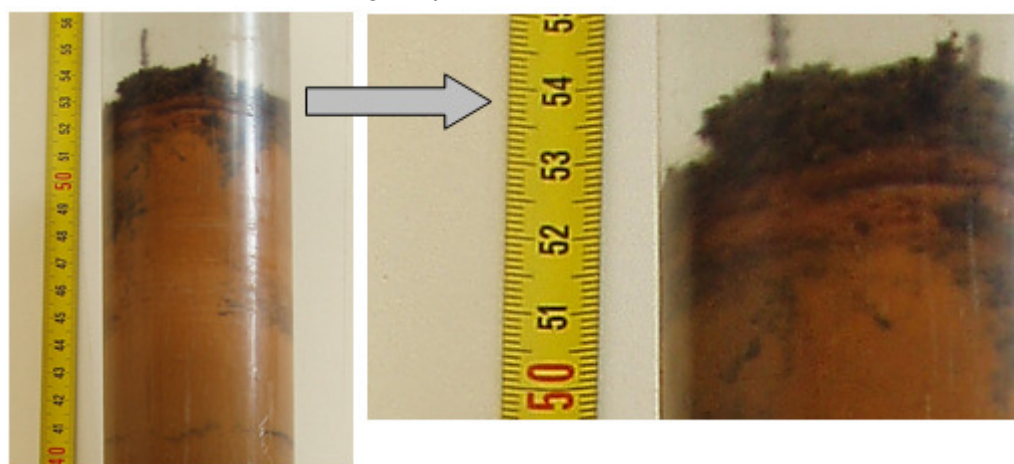
In der Schwebstoffprobe aus dem Hafenbereich war in Summe eine Konzentration von 1,07 mg/kg TS enthalten. Die Befunde verteilten sich auf fast alle Einzelverbindungen der PAK, wenn auch nur im Spurenbereich. Den größten prozentualen Anteil nahmen dabei mit 17 bzw. 14 % Fluoranthen und Pyren ein (siehe Abb. 4-2).



**Abb. 4-2: PAK-Konzentration in der Schwebstoffprobe RCS 5 (Hafenbereich) des Cospudener Sees**

#### 4.1.3 Sediment

Von den Linern wurden die oberen zwei Schichten in den Abständen 0,0-0,5 cm und 1,0-3,0 cm gewonnen und analysiert. Mit der oberen Schicht wurde die geringmächtige Auflage der neuesten Ablagerungen (z.T. abgestorbene organische Substanz, Pflanzenteile) erkennbar. Das darunter liegende Material unterschied sich optisch nur wenig vom gesamten anderen Sedimentmaterial. Es war deutlich durch Eisenhydroxid-Fällungsprodukte charakterisiert und wies eine braun-orangefarbene Färbung auf. Die Farbe schließt ein anaerobes Sediment aus. Nach den Tiefenprofilen lagen noch 50-80 % Sauerstoffsättigung über Grund vor, was den oligotrophen Charakter des Sees unterstreicht.



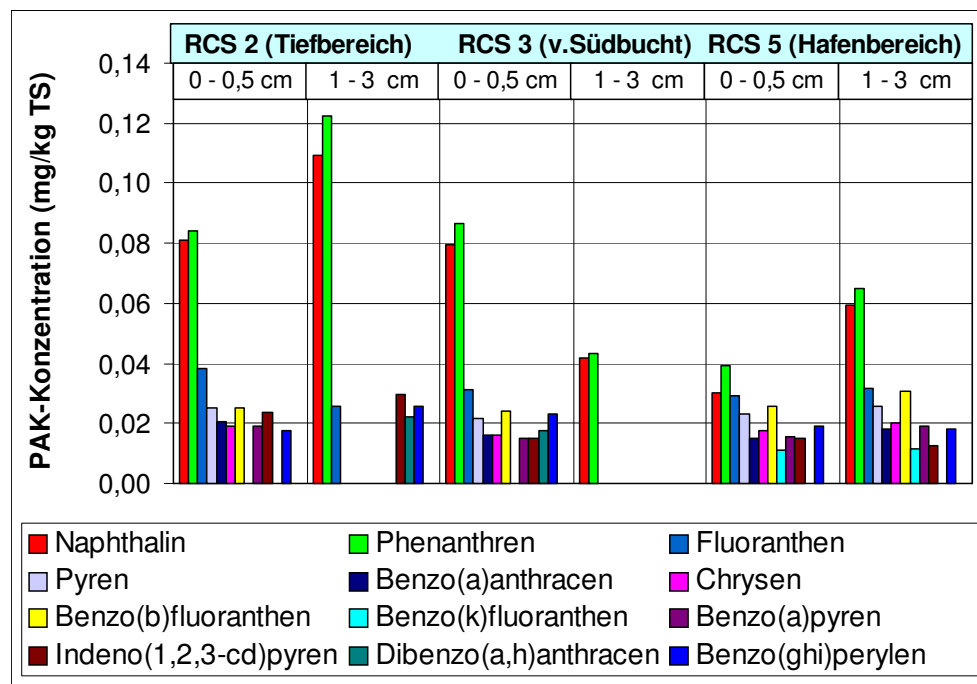
**Abb. 4-3: Sedimentliner an der Messstelle RCS 2 im Cospudener See (rechts: Ausschnitt der oberen Schicht)**

Die physikalisch-chemischen Analysen bestätigten den sehr hohen Wassergehalt (d.h. geringer Trockensubstanzgehalt) dieser Proben (Tab.4-1). Die Eisenkonzentration ist in allen Proben mit 11-43 % TS sehr hoch einzuschätzen und macht damit die Charakteristik dieser „Sedimente“ – als Eisenhydroxidschicht - aus. Mit 2-5 % TS ist die Aluminium-Konzentration ebenfalls sehr hoch. Die frische Sedimentauflage weist einen etwas geringeren Eisengehalt auf. Diese Charakteristik ist typisch für die Sedimente vieler Tagebauseen im Süden Leipzigs, in denen eine hohe Eisenfracht mit dem Grundwasser in den See gelangt und dort unter neutralen und aeroben Bedingungen oxidiert und ausgefällt wird.

**Tab.4-1: Beschaffenheit der untersuchten Sedimentproben aus dem Cospudener See**

Messstelle	Entnahmetiefe	TS [% OS]	Glühverlust [% TS]	Eisen, ges. [% TS]	Aluminium, ges. [% TS]
<b>vor Hafen RCS 2</b>	0,0 – 0,5 cm	6	22	16	2
	1,0 – 3,0 cm	5	20	27	5
<b>Südbucht RCS 3</b>	0,0 – 0,5 cm	7	22	17	4
	1,0 – 3,0 cm	6	20	43	3
<b>Hafen RCS 5</b>	0,0 – 0,5 cm	12	18	11	2
	1,0 – 3,0 cm	9	15	20	5

Die Schadstoffanalysen erbrachten für die BTEX, Aromaten und Aliphaten keine Befunde. Alle Proben wiesen Konzentrationen unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze auf, die aufgrund der unterschiedlichen TS-Gehalte in den Proben zwischen 0,5 und 0,9 mg/kg TS schwankte.



**Abb. 4-4: PAK-Konzentrationen in den Sedimentproben des Cospudener Sees**

Ebenso wie für die Schwebstoffproben wurden für die Sedimente geringe PAK-Konzentrationen nachgewiesen. Sie unterschieden sich in den jeweils zwei Schichten pro Messstelle nur geringfügig, tendenziell war die Konzentration in der unteren Schicht geringfügig niedriger:

- 0,0 – 0,5 cm: 0,24 – 0,35 mg/kg TS
- 1,0 – 3,0 cm: 0,085 – 0,33 mg/kg TS

Naphthalin und Phenanthren hatten in den meisten Proben den höchsten prozentualen Anteil an der PAK-Summe. Insbesondere in der oberen Schicht war aber auch fast das ganze Spektrum der anderen PAK-Einzelverbindungen vertreten (Abb. 4-4).

## 4.2 Ergebnisse 2012

im Jahr 2012 wurden die Sediment-Untersuchungen in folgenden Seen fortgesetzt (Umfang, Termine – siehe Tab.3-5, Tab.3-6):

Markkleeberger See

Störmthaler See, ehem. Wasserhaltung Drehpunkt Gruna (Mitte)

Störmthaler See (Kippenplanum, Nord)

Haubitzer See

Hainer See (West)

Hainer See (Ost)

Werbelineer See (Nord)

Werbelineer See (Süd)

Die Exposition der Schwebstofffallen erfolgte 2012 erneut im Cospudener See sowie im Markkleeberger See.

Die Fallen waren über einen Zeitraum von 85 Tagen (5.6. – 29.8.2012) exponiert.

Im Jahr 2012 wurden aufgrund der geringen Ausbeute bei den Voruntersuchungen 2011 Schwebstofffallen mit größerem Durchmesser eingesetzt, die speziell für diese Untersuchungen angefertigt wurden. Die Fläche wurde auf diese Weise um den Faktor 2,5 erhöht.

Die Schwebstofffallen wurden im Cospudener See sowie im Markkleeberger See für jeweils 12 Wochen exponiert. Anschließend wurden insgesamt 4 Proben aufgearbeitet. Das Material aller vier Sammler pro Falle wurde separat beprobt, so dass für die Messstelle CSP 3 zwei Proben parallel bearbeitet wurden und so eine Information zur Schwankungsbreite der gesammelten Menge gewonnen werden konnte.

Die Wasserproben wurden Ende September bzw. Oktober 2012 jeweils in der Mitte des Epilimnions entnommen (Tiefe: ca. 10 m im Störmthaler, Markkleeberger, Hainer See, ca. 17 m im Werbeliner See). Für das Epilimnion waren zu diesem Zeitpunkt die in Tab.4-2 zusammengestellten Milieubedingungen wirksam. Die Untersuchungen im Freiwasser haben bei den BTEX, weiteren Aromaten und Aliphaten keine Werte über den Bestimmungsgrenzen (je Einzelverbindung: 0,5 µg/l) ergeben. Alle PAK-Einzelverbindungen (EPA) zeigten ebenfalls Konzentrationen unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,005 µg/l.

**Tab.4-2: Milieubedingungen im Epilimnion der untersuchten Seen zum Zeitpunkt der Sediment-Probenahme**

See	Temperatur	pH-Wert	Sauerstoff	el. Leitfähigkeit	Abfiltrierbare Stoffe
	(°C)		(mg/l)	(µS/cm)	(mg/l)
Markkleeberger See	18,2	7,30	8,7	1700	4
Störmthaler See, ehem. Wasserhaltung DP Gruna	17,7	6,4	8,6	1690	4
Störmthaler See (Nord)	18,0	6,6	8,5	1640	3
Haubitzer See	18,0	5,9		2000	5
Hainer See (West)	18,0	6,5	8,5	2030	4
Hainer See (Ost)	18,0	5,9	8,5	2040	5
Werbelineer See (Nord)	12,0	7,8	k.W.	1350	2
Werbelineer See (Süd)	12,2	7,9	k.W.	1350	4

k.W.: Defekt der O<sub>2</sub>-Elektrode während der Messung

#### 4.2.1 Sediment

In Tab.4-3 sind die Messwerte der Milieubedingungen im Wasser über der Sedimentoberfläche zusammengestellt. Danach lag in allen Seen 58-88 % Sauerstoffsättigung über Grund vor, was den oligotrophen Charakter der Seen unterstreicht. Der pH-Wert schwankte zwischen pH 5,0 und pH 7,3 und war im Hainer See (Ost) durch dessen gegenwärtige Wiederversauerung besonders niedrig.

**Tab.4-3: Milieuparameter oberhalb des Sedimentes (aus Tiefenprofilen) im Jahr 2012**

See	Temperatur	pH-Wert	Sauerstoff-Konzentration	Sauerstoff-Sättigung
	°C	-	mg/l	%
Markkleeberger See	5,3	7,3	6,8	58
Störmthaler See, ehem. Wasserhaltung Drehpunkt Gruna	5,9	6,2	9,0	79
Störmthaler See (Kippenplanum)	6,3	6,6	8,6	76
Haubitzer See	6,9	5,8	8,3	75
Hainer See (West)	6,6	5,7	9,5	85
Hainer See (Ost)	7,0	5,0	9,8	88
Werbelineer See (Nord)	8,7	7,0	k.W.	k.W.
Werbelineer See (Süd)	8,9	7,2	k.W.	k.W.

k.W.: Defekt der O<sub>2</sub>-Elektrode während der Messung

Die physikalisch-chemischen Analysen zeigten insbesondere für die Proben aus dem Hainer/Haubitzer See einen sehr hohen Wassergehalt (d.h. geringer Trockensubstanzgehalt) dieser Proben (Tab.4-4). Der TS-Gehalt der Proben aus den anderen Seen schwankte zwischen 15 und 26 %. Charakteristisch sind die bergbaulich bedingten hohen Eisen- und Aluminiumkonzentrationen aller Proben. Im Hainer und Haubitzer See sind die Eisenkonzentrationen mit 17-24 % TS besonders hoch. Etwas geringer sind sie im Werbeliner See.

Auch die Aluminiumkonzentrationen sind mit 3,4 – 7,0 %TS hoch (Ausnahme: Markkleeberger See mit 1,3 % TS) und variieren zwischen den Seen weniger als die Eisenkonzentrationen. Mit dieser Charakteristik unterscheiden sich diese Sedimente sehr deutlich von denen natürlicher Seen, in denen das Sediment durch überwiegend organisches Material gebildet wird. Die hier vorgefundenen Substrate sind eher als Eisenhydroxidschlämme anzusprechen.

**Tab.4-4: Beschaffenheit der 2012 untersuchten Sedimentproben**

See	TS	Glühverlust	Eisen, ges.	Aluminium, ges.
	% OS	% TS	% TS	% TS
Markkleeberger See	26,0	8,6	9,6	1,3
Störmthaler See, ehem. Wasserhaltung Drehpunkt Gruna	14,8	11,4	15,5	4,1
Störmthaler See (Kippenplanum)	17,2	10,3	11,8	5,1
Haubitzer See	3,7	16,8	23,7	3,4
Hainer See (West)	8,8	14,7	16,9	4,5
Hainer See (Ost)	5,6	19,1	20,2	5,1
Werbelineer See (Nord)	19,4	10,4	4,7	6,9
Werbelineer See (Süd)	15,7	13,7	10,3	5,7

Die Schadstoffanalysen erbrachten auch für diese Seesedimente keine Befunde für die BTEX, Aromaten und Aliphaten. Alle Proben wiesen Konzentrationen unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (zwischen 0,5 und 0,9 mg/kg TS) auf.

Für die Sedimentproben wurden geringfügige PAK-Konzentrationen nachgewiesen (Abb. 4-5). Die Summe der PAK schwankten zwischen 0,16 mg/kg TS (Werbelineer See, Nord) und 1,22 mg/kg TS (Störmthaler See, Nord, vor Kippenplanum).

Das Verteilungsmuster der PAK-Einzelverbindungen ist sehr ähnlich, wobei Proben von Seen mit mehreren Messstellen noch deutlichere Ähnlichkeiten aufweisen (z.B. Hainer, Haubitzer See, siehe Abb. 4-5). Dieser Befund zeigt andererseits auch, dass die Probenahme, Probenaufbereitung und Analytik nach der beschriebenen Methodik reproduzierbare Ergebnisse liefert. Unerwartet hoch ist der Unterschied zwischen beiden Proben aus dem Werbeliner See. Für die südliche Messstelle wurden eine deutlich höhere PAK-Konzentration und ein abweichendes Verteilungsmuster im Vergleich zur nördlichen Messstelle nachgewiesen. Als mögliche Ursache für dieses Verhalten wird die Beeinflussung der südlichen Messstelle durch die Luppewassereinleitung während der Flutung und deren PAK-Belastung vermutet. Nutzungen für Motorsport sind hier nicht zugelassen.



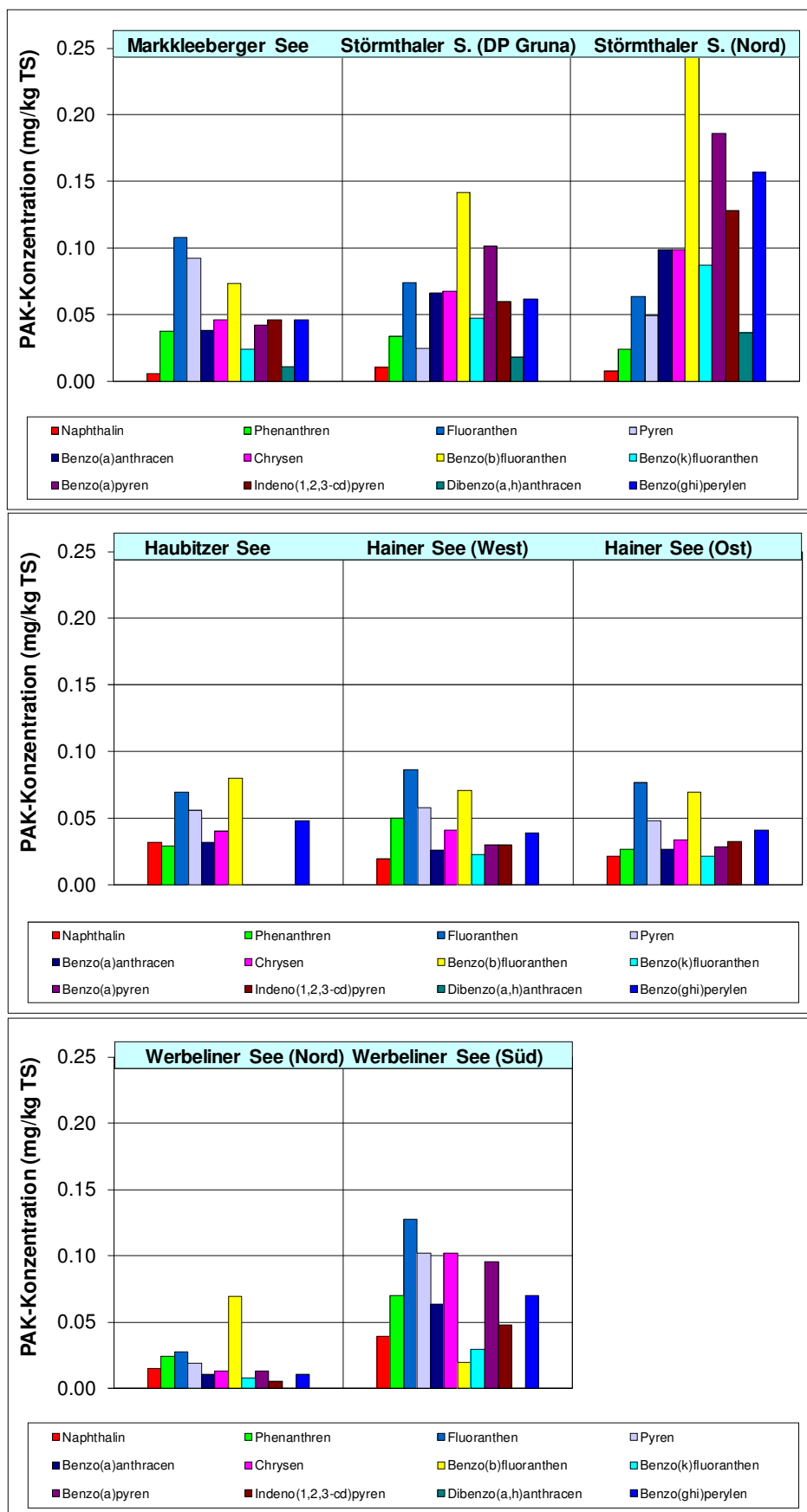


Abb. 4-5: PAK-Konzentrationen in den Sedimentproben im Jahr 2012

Den größten Anteil an der PAK-Summe nehmen höhermolekulare 4-6-Ring-PAK ein (die fast ausschließlich an Partikel gebunden in aquatischen Systemen vorkommen), während niedermolekulare Verbindungen wie Acenaphthylen, Acenaphthen und Fluoren als besser wasserlösliche Verbindungen fast völlig fehlen:

Benzo(b)fluoranthren	16 % an Summe PAK
Fluoranthren	15 %
Pyren	11 %
Benz(a)pyren	10 %
Benzo(ghi)perylen	9 %
Chrysen	9 %

Angegeben wurden jeweils Mittelwerte der prozentualen Anteile für alle 8 Sedimentproben aus dem Jahr 2012.

Aus diesen Befunden ist zu schlussfolgern, dass es sich um anthropogen bedingte Hintergrundkonzentrationen handelt, die in industriell geprägten Gebieten Mitteleuropas durch atmosphärische Depositionen aus der Luft bedingt sind.

#### 4.2.2 Schwebstoffe

Die Mengenermittlung für die Schwebstofffallen ergab flächenbezogene Werte zwischen 2 und 8,4 mg TS/cm<sup>2</sup> (siehe Tab.4-5). Im Hafenbereich des Cospudener Sees waren geringfügig höhere Werte als im Südbereich nachzuweisen. Die beiden parallel exponierten Fallen ergaben sehr gut übereinstimmende Mengen. Verglichen mit den im November/Dezember 2011 gewonnenen Werten von jeweils 2,3 mg TS/cm<sup>2</sup> für die beiden Messstellen im Cospudener See war keine deutliche Zunahme unter den 2012 erfassten sommerlichen Bedingungen zu beobachten.

**Tab.4-5: Probemengen der Schwebstofffallen (12 Wochen Expositionsdauer)**

See	Messstelle	mg TS/cm <sup>2</sup>	g TS
Markkleeberger See	REsS1	3,9	1,50
Cospudener See	CSP 3 Südbucht	1,7	0,65
	CSP 5 Hafen 1	6,3	2,38
	CSP 5 Hafen 2	7,2	2,75

Auch für diese Proben konnten keine BTEX, Aromaten und Aliphaten (MKW) nachgewiesen werden. Alle Werte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,01 µg/kg TS. Lediglich für die PAK konnten sehr geringfügige Konzentrationen nachgewiesen werden. Im Cospudener See wurden in den beiden Sedimentfallen, die im Hafenbereich (RCS 5) exponiert waren, übereinstimmende Konzentrationen im Bereich der analytischen Bestimmungsgrenze festgestellt. Lediglich Naphthalin war im Spurenbereich zu finden. In den Schwebstoffen am Rand der Südbucht des Sees (RCS 3) waren dagegen mit 0,63 mg/kg TS deutlich höhere Konzentrationen messbar. Der Vergleich zeigt zwar ein ähnliches Konzentrationsniveau, jedoch eine deutlich unterschiedliche Zusammensetzung. Die Zusammensetzung der PAK in den beiden höheren Befunden im Cospudener See (vor Südbucht 2012 und im Hafenbereich 2011) unterschied sich deutlich: Während in der Probe vom Herbst 2011 fast alle

Einzelverbindungen nachgewiesen werden konnten, waren in der Probe vom Sommer 2012 nur die höherkettigen PAK vertreten.

### 4.3 Ergebnisse 2013

2013 wurden die Sediment-Untersuchungen in allen bisher untersuchten Seen mit gleicher Methodik wiederholt (vgl. Tab.3-5, zwischen August und November 2013), um die zuvor einmalig erhobenen Daten zu bestätigen. Freiwasseruntersuchungen wurden im Jahr 2013 nicht mehr durchgeführt, da die vorangegangenen Untersuchungen gezeigt hatten, dass BTEX und PAK nicht nachweisbar sind.

Zusätzlich wurden noch weitere, vertiefende Untersuchungen durchgeführt. Es wurden Proben aus dem Uferbereich dreier Seen entnommen sowie einzelne Liner der Messstelle im Cospudener See (Hafenbereich, RCS 5) tiefenorientiert beprobt (siehe Abschnitt 3.1.1).

Die Exposition der Schwebstofffallen erfolgte 2013 wiederum im Cospudener See sowie erstmals im Störmthaler See. Da im Störmthaler See noch keine Verbrennungsmotoren zugelassen sind, dienten diese Untersuchungen dem Vergleich zum Cospudener See mit Nutzung durch Verbrennungsmotoren.

Die Schwebstofffallen waren zur Erfassung jahreszeitlicher Schwankungen über jeweils drei Perioden exponiert:

- Frühjahr/Frühsummer: 13.-23. KW
- Sommer/Spätsommer 23.-34. KW
- Spätsommer/Herbst 34.-44. KW

An einigen Messstellen wurden einmalig an den im Juni gewonnenen Proben die TOC-, Eisen- und Aluminiumkonzentrationen als Gesamtgehalte analysiert.

#### 4.3.1 Schwebstoffe

Die Mengenermittlung der gesammelten Schwebstoffe ergab flächenbezogene Werte für die Schwebstofffallen zwischen 2,6 und 16,1 mg TS/cm<sup>2</sup> (Tab.4-6). Verglichen mit den 2012 gewonnenen Werten für die beiden Messstellen im Cospudener See ist annähernd die gleiche Größenordnung der Schwebstoffmasse festzustellen. Übereinstimmend und erwartungsgemäß waren in den Expositionsphasen im Frühsommer und Sommer die akkumulierten Schwebstoffmengen am größten.

**Tab.4-6: Schwebstoffmenge und PAK-Konzentrationen zur Untersuchung 2013**

See	Messstelle	Expositionszeitraum	Masse Schwebstoffe	spezif. Masse Schwebstoffe	PAK-Summe
			[g TS]	[mg TS/cm <sup>2</sup> ]	[mg/kg TS]
Cospudener See	RCS3 Südbucht	13.-23. KW	3,27	8,6	0,074
		23.-34. KW	5,28	13,9	0,075
		34.-44. KW	0,93	2,4	0,490
	RCS5 Hafen	13.-23. KW	4,03	10,6	0,038
		23.-34. KW	1,90	5,0	0,013
		34.-44. KW	0,86	2,3	0,140

See	Messstelle	Expositions- zeitraum	Masse Schwebstoffe	spezif. Masse Schwebstoffe	PAK- Summe
Störmthaler See	REsS3, zentral	13.-23. KW	5,10	13,4	0,018
		23.-34. KW	4,50	11,8	0,052
		34.-44. KW	3,93	10,3	0,052

Die Schadstoffanalysen in den erstmals untersuchten Schwebstoffen des Störmthaler Sees ergaben für die BTEX keine Befunde. Alle Werte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Für die PAK konnten sehr geringfügige Konzentrationen zwischen 0,02 und 0,05 mg/kg TS nachgewiesen werden, was eine geringere Belastung als im Cospudener See darstellt. Im Störmthaler See werden die höchsten prozentualen Anteile der PAK-Belastung durch die Substanzen Phenanthren, Fluoranthren, Pyren und Naphthalin festgestellt. Acenaphthylen, Acenaphthen und Anthracen kommen nur in Ausnahmen vor. Höherkettige PAK (> 5 Ringe) kamen nur zu geringen Anteilen vor. Hier zeigt sich ein gewisser Unterschied zu den Ergebnissen der Sedimentuntersuchungen, bei denen der dominierende Anteil der PAK-Einzelverbindungen mit 4-5 Ringen nachgewiesen wurde.

Im Cospudener See wurden während der beiden Expositionsphasen zwischen Frühsommer und Spätsommer ebenfalls mit 0,013 bis 0,075 mg/kg TS nur geringe PAK-Konzentrationen nachgewiesen, die dem Konzentrationsniveau der Schwebstoffe im Störmthaler See entsprachen. In der letzten Expositionsphase zwischen September und November traten, wie bereits 2011 im November/Dezember festgestellt, deutlich höhere Belastungen auf (um Faktor 5-6). Im Unterschied zu vorangegangenen Proben konnten hier auch Acenaphthylen, Anthracen und insbesondere Naphthalin in deutlicher Konzentration nachgewiesen werden, was ein Hinweis auf aktuell eingetretene Verunreinigungen sein könnte. Höherkettige PAK-Verbindungen (>4 Ringe) fehlen auch zu diesem Zeitpunkt.

Die Ergebnisse der Eisen- und Aluminium-Konzentrationen sowie des organischen Anteils in den Schwebstoffen sind in Tab.4-7 zusammengestellt. Sie weisen die Schwebstoffe beider Seen auch nach diesen Kriterien als deutlich durch Eisen- und Aluminiumausfällungen beeinflusst aus. Dies ist für den Störmthaler See besonders deutlich. Es ist jedoch anzumerken, dass die Werte des untersuchten Zeitraums für den Störmthaler See als nicht repräsentativ angesehen werden dürfen, da Anfang Juni 2013 infolge des Göseldurchbruches (Hochwasser) sehr hohe mineralisch geprägte Trübstoffeinträge in den See erfolgten und diese Messstelle aufgrund ihrer Lage dadurch deutlich beeinflusst wurde. Im Cospudener See liegt der Gesamteisengehalt der Schwebstoffe bei 4-5 M%, der Gesamtaluminiumgehalt bei 0,4 bzw. 0,6 M%. Die TOC-Konzentration lag bei ca. 7 M%.

**Tab.4-7: Eisen-, Aluminium- und TOC-Konzentrationen in den akkumulierten Schwebstoffen der Sedimentfallen (13.-23. KW 2013)**

	Einheit	Cospudener See RCS 3 Südbucht	Cospudener See RCS 5 Hafen	Störmthaler See REsS3
Eisen, gesamt	% TS	3,9	4,9	10,2
Aluminium, gesamt	% TS	0,4	0,6	1,8
TOC	% TS	7,4	6,9	5,1

#### 4.3.2 Sediment

In Tab.4-8 sind die Messwerte der Milieubedingungen im Wasser über der Sedimentoberfläche zusammengestellt. Danach lag in allen Seen 66-99 % Sauerstoffsättigung über Grund vor, was den oligotrophen Charakter der Seen zeigt und aerobe Bedingungen in der Wasser-Sediment-Grenzschicht belegt. Der pH-Wert schwankte zwischen pH 4,7 und pH 7,5 und war im Hainer See (Ost) durch dessen temporäre Wiederversauerung besonders niedrig.

**Tab.4-8: Milieuparameter oberhalb des Sedimentes (aus Tiefenprofilen)**

See	Tiefe	Wasser-Temp.	pH-Wert	Sauerstoff-Konzentration	Sauerstoff-Sättigung
	m	°C	-	mg/l	%
Cospudener See, Hafen	21	5,0	7,5	11,5	99
Markkleeberger See	58	4,5	7,4	7,9	66
Störmthaler See, ehem. Wasserhaltung Drehpunkt Gruna	52	5,1	6,1	10,6	91
Störmthaler See (Kippenplanum)	34	5,1	6,5	9,4	81
Haubitzer See	25	5,5	6,2	9,9	86
Hainer See (West)	48	5,7	4,9	11,1	97
Hainer See (Ost)	32	5,8	4,7	11,3	98
Werbelineer See (Nord)	31	6,4	7,5	9,2	81
Werbelineer See (Süd)	33	6,7	7,3	8,1	72

Die physikalisch-chemischen Analysen zeigten insbesondere für die Proben aus dem Hainer/Haubitzer See einen sehr hohen Wassergehalt (d.h. geringer Trockensubstanzgehalt von 5-7%, Tab.4-9). Der TS-Gehalt der Proben aus den anderen Seen schwankte zwischen 12 und 28 %.

Charakteristisch sind die bergbaulich bedingten Eisen- und Aluminiumkonzentrationen aller untersuchten Proben aus den Uferbereichen des Cospudener, Störmthaler und Markkleeberger Sees. Diese sind aufgrund ihrer grob- bis feinsandigen Substratstruktur sowie aufgrund ihrer Herkunft aus den kontinuierlich entstehenden Ausfällungen wesentlich niedriger als die Seesedimente der tiefen Messstellen (2012 untersucht: Gesamteisen zwischen 5 und 24 %). Die Gesamteisen-Konzentrationen lagen in den Uferproben zwischen 0,27 und 1,52 % TS und die Gesamtaluminium-Konzentrationen zwischen 0,18 und 0,52 % TS.

Bei den tiefenorientierten Beprobungen der Sedimentliner der Messstelle RCS5 (Hafenbereich des Cospudener Sees, jeweils 1,5 cm Schichtdicke) konnten sowohl eine mit der Tiefe zunehmende Trockensubstanz (d.h. abnehmender Wassergehalt) als auch zunehmende Eisen- und Aluminium-Konzentrationen festgestellt werden (Tab.4-9).

Die Schadstoffanalysen auf BTEX wurden nur für die bisher noch nicht beprobten Messstellen durchgeführt und zeigten keinerlei Befunde. Alle Proben wiesen Konzentrationen unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze 0,05 mg/kg TS auf.

**Tab.4-9: Charakteristik der 2013 untersuchten Sediment- und Uferproben**

See	Messstelle	Trocken- substanz	Glüh- verlust	Eisen, gesamt	Aluminium, gesamt
		% OS	% TS	% TS	% TS
Markkleeberger See	REsS1	20,2	7,9	n.a.	n.a.
Störmthaler See	REsS3	12,0	10,3	n.a.	n.a.
	REsS6	13,1	10,0	n.a.	n.a.
Cospudener See	RCS5, 0-1,5 cm	22,1	9,9	5,66	2,11
	1,5-3,0 cm	19,5	8,6	8,15	2,26
	3,0-4,5 cm	24,1	8,5	7,46	2,71
	4,5-6,0 cm	28,2	7,5	7,23	2,76
Haubitzer See	RWS2	5,2	14,1	n.a.	n.a.
Hainer See - West	RWS3	5,6	17,9	n.a.	n.a.
Hainer See - Ost	RWS4	7,4	15,8	n.a.	n.a.
Werbelineer See - Nord	RDS1	18,7	10,3	n.a.	n.a.
Werbelineer See - Süd	RDS1-3	14,9	12,6	n.a.	n.a.
<b>Uferproben:</b>					
Cospudener See	Ufer I	47,9	1,0	0,54	0,23
	Ufer II	85,3	1,2	1,52	0,29
	Ufer III	82,3	3,5	0,57	0,52
Störmthaler See	Fähranleger	89,7	0,4	0,27	0,18
Markkleeberger See	Ufer / Slipstelle	86,2	0,4	0,67	0,37
	Ufer / Hafen	76,3	1,4	0,75	0,42

Ebenso wie für die Schwebstoffproben wurden für die Sedimentproben – ohne Berücksichtigung der Uferproben (s.u.) - jedoch sehr geringe PAK-Konzentrationen nachgewiesen. Die Summe der PAK-Verbindungen schwankte zwischen 0,1 mg/kg TS (Störmthaler See) und 1,47 mg/kg TS (Cospudener See, Hafen, obere 1,5 cm).

Das Verteilungsmuster der PAK-Einzelverbindungen ist sehr ähnlich, wobei Proben von Seen mit mehreren Messstellen noch deutlichere Ähnlichkeiten aufweisen. Den größten Anteil nahmen – ebenso wie bei den Untersuchungen 2012 - höhermolekulare 4-6-Ring-PAK ein, die fast ausschließlich an Partikel gebunden in aquatischen Systemen vorkommen (Vergleich aller Proben 2013 in Abschnitt 4.5.1) und ca. 70- 80% der  $\Sigma$  PAK ausmachten.

Benzo(b)fluoranthen	12 %
Fluoranthen	16 %
Pyren	12 %
Benz(a)pyren	7 %
Benzo(ghi)perylene	5 %
Chrysen	7 %

(Angaben als Mittelwert aller Sedimentproben, als prozentualer Anteil an der Summe der PAK)

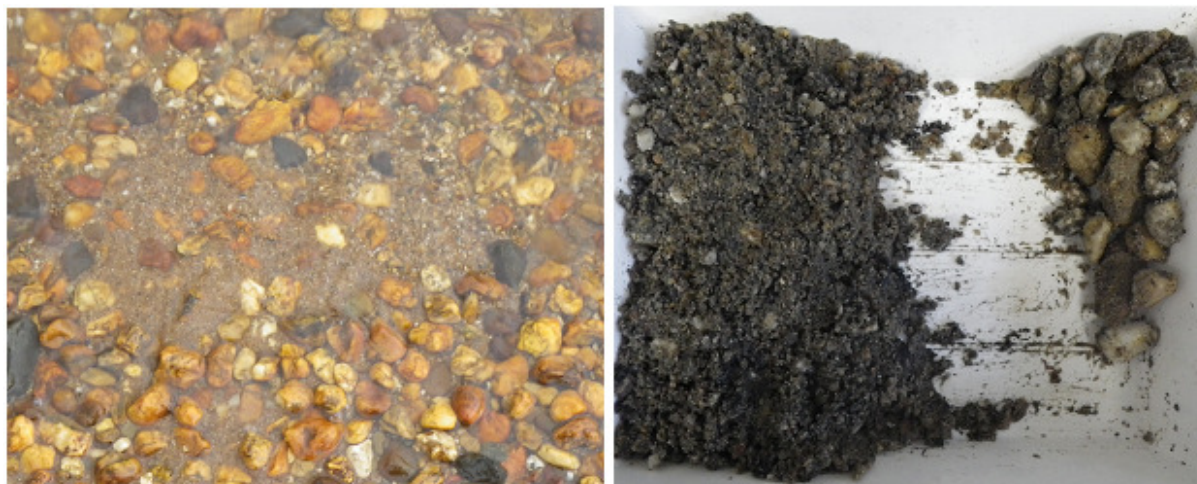
Niedermolekulare Verbindungen wie Acenaphthylen, Acenaphthen, Anthracen und Fluoren als besser wasserlösliche Verbindungen fehlten fast völlig. Naphthalin als eine leichtflüchtige



PAK-Komponente, die ein Hinweis auf frische Verunreinigungen durch Motorboote sein könnte, wurde auch 2013 nur für den Hainer und Haubitzer See festgestellt. Es bestätigten sich damit im Wesentlichen die in den Jahren 2011 und 2012 ermittelten Befunde zur PAK-Belastung der Seesedimente – sowohl in Bezug auf die absolute Konzentration als auch deren Zusammensetzung.

Für die Uferproben der drei untersuchten Seen wurden PAK-Konzentrationen in ähnlicher Größenordnung festgestellt wie für die Seesedimente aus größeren Tiefen. Auch dabei war für den Cospudener See – als den bisher am meisten genutzten See – kein abweichender Befund als für die anderen beiden Seen ohne bisherige Motorbootnutzung zu beobachten. Die PAK-Konzentrationen lagen zwischen 0,01 und 0,68 mg/kg TS in einem sehr geringen Bereich.

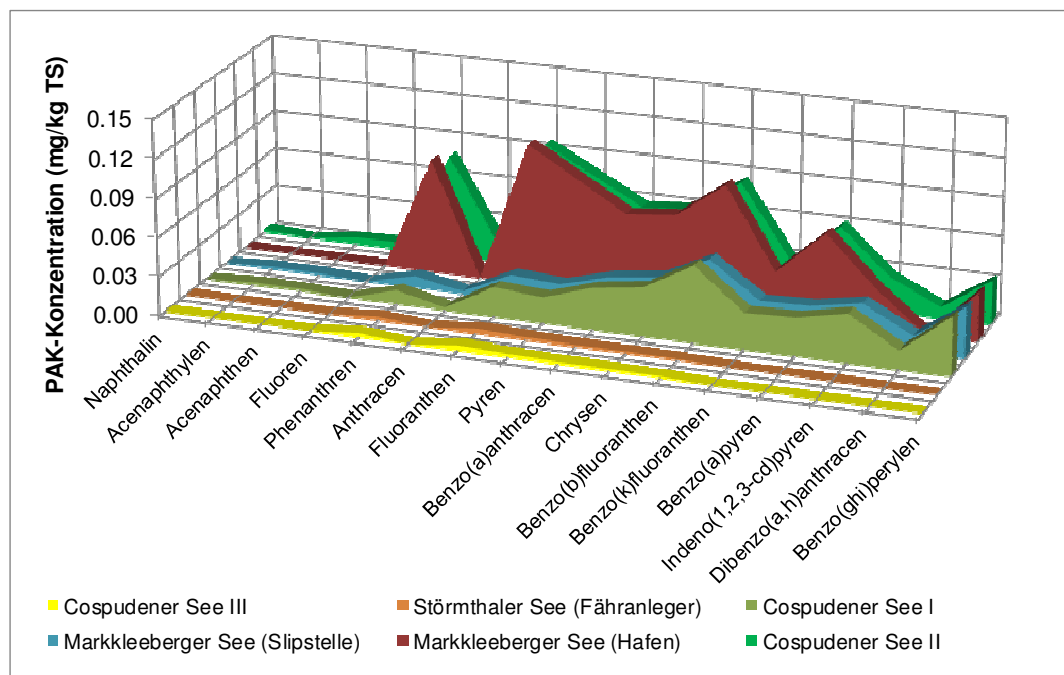
Die drei Uferproben vom Cospudener See unterschieden sich am deutlichsten voneinander. Ursache hierfür kann allein deren hoher Anteil von groben Substraten und Steinen sein (Abb. 4-6). Da die PAK aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften adsorbiert an feinem Material vorkommen, sind die an den Ufern vorgefundenen Substrate allein aufgrund ihrer Partikelzusammensetzung sehr gering mit PAK belastet.



**Abb. 4-6:** links - typisches Substrat an der Ufer-Messstelle CSP III (Cospudener See) // rechts - Substratzusammensetzung an der Ufer-Messstelle Hafen im Markkleeberger See

Dennoch ähnelt sich die Zusammensetzung der PAK-Einzelverbindungen z.T. sehr stark. Dies betrifft die Messstellen Markkleeberger See am Hafen und Cospudener See II sowie Markkleeberger See a. d. Slipanlage und Cospudener See I (vgl. Abb. 4-1).

Die PAK-Konzentrationen in den vier Proben am Cospudener See, die tiefenorientiert aus den ungestörten Linern gewonnen wurden, unterschieden sich nur geringfügig voneinander. Es war eine geringfügig abnehmende Konzentration mit zunehmender Tiefe zu erkennen. Die Zusammensetzung bezüglich der Einzelverbindungen war sehr ähnlich. Das lässt darauf schließen, dass durch die zeitliche Abfolge der Schwebstoffablagerungen kein Belastungstrend, der auf die Einträge durch Motorbootnutzungen hindeutet, erkennbar ist.



**Abb. 4-7: Verteilungsmuster der PAK-Einzelverbindungen in den Uferproben der 2013 untersuchten Seen**

#### 4.4 Ergebnisse 2014

Im Jahr 2014 wurden lediglich Schwebstoffuntersuchungen am Hainer See vorgenommen. Die Expositionsdauer betrug 50 Tage (28.07. – 16.09.2014). Die Sedimentfallen wurden im Epilimnion in 6 m Tiefe exponiert.

##### 4.4.1 Schwebstoffe

Die Mengenermittlung der gesammelten Schwebstoffe ergab eine flächenbezogene Schwebstoffmenge von  $10,8 \text{ mg TS/cm}^2$ . Die Schadstoffanalysen in den untersuchten Schwebstoffen des Hainer Sees ergaben für die BTEX keine Befunde. Alle Werte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze von  $0,05 \text{ mg/kg TS}$ . Mit einer PAK-Summe von  $0,004 \text{ mg/kg TS}$  ist die gemessene PAK-Belastung sehr gering. Lediglich Naphthalin ( $0,028 \text{ mg/kg TS}$ ) und Fluoranthren ( $0,001 \text{ mg/kg TS}$ ) konnten nachgewiesen werden.

## 4.5 Zusammenfassung und Bewertung

### 4.5.1 Potentielle Schadstoffquellen und Bewertungsmaßstab

Für die im Rahmen des vorliegenden Monitorings betrachteten Schadstoffgruppen sind zunächst allgemein die folgenden Quellen anzugeben:

#### Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) und BTEX:

- Als Bestandteile von diversen industriell eingesetzten Ölen sowie im Benzin und Dieselkraftstoff gelangen MKW u.U. auch in Oberflächengewässer. MKW sind im Wasser vollkommen unlöslich.
- Die Stoffgruppe der BTEX beinhaltet Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole. Es handelt sich um leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe, die aus Altlasten, Kraftstoffen oder über Abgase in Gewässer eingetragen werden können.

#### Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK):

- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bestehen aus zwei bis fünf kondensierten aromatischen Ringen, die unterschiedlich angeordnet sein können. PAK sind in Erdöl und Kohle enthalten, können aber auch bei (unvollständigen) Verbrennungsprozessen entstehen (Pyrolyse). Sie entstehen weiterhin auch als Zwischenprodukte bei der Erzeugung von PVC, Kunststoffen, Farben und Pestiziden (z.B. Kunststoffprodukte, Autoreifen, Beschichtungen, Dachabdeckungen etc.). Charakteristisch im Gewässer ist das starke Sorptionsverhalten der PAK an Schwebstoffe. Einige PAK wie z.B. Naphthalin, Pyren, Chrysen oder Benzo[a]pyren sind für Menschen gesundheitsschädlich bzw. kanzerogen.
- PAK gelangen überwiegend bei der Verbrennung fossiler Energieträger (Kohlekraftwerke, Hausbrand, KFZ-Verkehr) mit den Abgasen in die Luft. Die Konzentration von PAK in der Luft ist in Ballungsgebieten und bei Industrialisierung allgemein erhöht. Als Folge der Heizungsemission ist die PAK-Konzentration im Winter oft höher als im Sommer.
- PAK gelangen aus Kläranlagen und vielen diffusen Quellen der urbanen Systeme (Entwässerung von Verkehrsflächen, Regen- und Mischwasserentlastungen etc.) in Gewässer. Das Umweltbundesamt hat die Einträge von PAK untersucht (Fuchs et al., 2010 [12]). Die atmosphärischen Einträge (Luftbelastung) haben die größte Bedeutung. Neben der direkten Ablagerung auf Gewässeroberflächen (direkter Eintrag) werden auch Ablagerungen, die zunächst auf städtische Böden erfolgen, durch Erosion und Oberflächenabfluss in Gewässer gespült (indirekter Eintrag). Mehr als 80 % der PAK-Einträge in Gewässer sind direkt oder indirekt auf die atmosphärische Deposition zurückzuführen (Umweltbundesamt, 2012 [11]).

**Tab.4-10: Eintragspfade für PAK in Oberflächengewässer und Anteile  
(Datenbasis: Umweltbundesamt, 2010 [12])**

<b>Eintragspfade</b>	<b>Anteil PAK-Eintrag in Oberflächengewässer [%]</b>
Atmosphärische Deposition	22
Erosion	7
Grundwasserzufluss	7
Industrielle Direkteinleiter	2
Sonstige	7
Oberflächenabfluss	19
Drainagen	0
Urbane Systeme	30
Kommunale Kläranlagen	7

In der Liste der prioritären Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie werden sowohl die Einzelstoffe Anthracen, Fluoranthen und Naphthalin sowie die Stoffgruppe insgesamt aufgeführt. Die wichtigsten Regelungen zur Emissionsbegrenzung sind im Wasserbereich die Abwasserverordnung (Anhang 46, Steinkohleverkokung) sowie im Bereich Luftreinhaltung die Richtlinie 2004/107/EG, in der neben Cd, Hg und Ni auch die PAKs geregelt werden. Die Beschränkungsrichtlinien der EU für Teeröle (2001/90/EG) und von PAK in Weichmacherölen und Reifen (2005/69/EG) wurden über die ChemikalienverbotsV in deutsches Recht überführt (Fuchs et al., 2010 [12]).

Als Bewertungsmaßstab für die Einordnung der PAK-Befunde an den Schwebstoffen der Standgewässer können zunächst die in Kap. 4.5.2 angegebenen Umweltqualitätsziele dienen. Im Hinblick auf die durch Motorbootnutzungen bedingte PAK-Belastung erscheint es zweckmäßig, die Monitoringergebnisse der Tagebauseen untereinander mit Berücksichtigung der jeweils vorherrschenden Nutzungsintensität zu vergleichen. Die Vergleichbarkeit setzt die Annahme voraus, dass die untersuchten Tagebauseen durch die in Tab.4-10 angegebenen PAK-Quellen alle in ähnlichem Umfang beeinflusst werden.

#### **4.5.2 Umweltqualitätsziele**

Für Oberflächengewässer gelten Umweltqualitätsnormen für prioritäre Stoffe und bestimmte andere Schadstoffe nach der EU-Richtlinie 2013/39/EU, Anhang II. Bezüglich der PAK sind zulässige Jahresmittelwerte für

Anthracen	100 ng/l,
Fluoranthen	6,3 ng/,
Naphthalin	2000 ng/l,
Benz(a)pyren	0,17 ng/l

angegeben.

Die geltenden Umweltqualitätsziele für partikulär gebundene Schadstoffe (Schwebstoffe und Sedimente) in Oberflächengewässern wurden aus dem Sedimentmanagementkonzept der Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe, 11/2013 [7]) übernommen. Die Auswahl der im Einzugsgebiet der Elbe relevanten Schadstoffe basiert auf dem ersten Bewirtschaftungsansatz gemäß EG-WRRL.

**Tab.4-11: Ausgewählte Umweltqualitätsziele (UQZ) für Schadstoffe in Schwebstoffen und Sedimenten der FGG Elbe [7]**

Stoff / Stoffgruppe	Unterer Schwellenwert (USW)	Oberer Schwellenwert (OSW)	Quelle OSW
Σ PAK 5 Benzo(b)fluoranthen Benzo(k)fluoranthen Benzo(a)pyren Benzo(ghi)perylene Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,6 mg/kgTS	2,5 mg/kgTS	23/2011 Sb. <sup>2</sup>
Fluoranthen <sup>1</sup>	-	0,18 mg/kgTS	23/2011 Sb. <sup>2</sup>
Anthracen	0,03 mg/kgTS	0,31 mg/kgTS	23/2011 Sb. <sup>2</sup>
Benzo(a)pyren	0,01 mg/kgTS	0,60 mg/kgTS	de Deckere 2011

<sup>1</sup> OSW ist zugleich formal schärfste Anforderung, keine Klassifizierung möglich

<sup>2</sup> Regierungsverordnung vom 22. Dezember 2010 zur Änderung der Regierungsverordnung 61/2003 Sb. über Parameter und Werte der zulässigen Belastung von Oberflächengewässern und Abwasser, Grundlagen der Genehmigung von Abwassereinleitungen in Oberflächengewässer und in die Kanalisationen sowie über empfindliche Gebiete, in der Fassung der Regierungsverordnung 229/2007 Sb.

Der **untere Schwellenwert (USW)** wird durch Reihung der Qualitätsanforderungen an das Sediment über alle als gleichrangig betrachteten Schutzgüter hinweg gebildet und ist in dieser Reihe der niedrigste Wert („formal schärfste Anforderung“). Er stellt eine schadstoffspezifische Grenze dar, unterhalb derer nach gegenwärtigem Kenntnis- und Regelungsstand alle von einem guten Sedimentzustand abhängenden Bewirtschaftungsziele zeitlich uneingeschränkt und standortunabhängig erreicht werden können. Es handelt sich nicht um die Vorwegnahme eines konkreten Handlungsziels.

Der **obere Schwellenwert (OSW)** wird grundsätzlich durch die im Rahmen der nationalen Umsetzungen der EG-WRRL (OGewV - Anlage 5 bzw. 23/2011 Sb. - část B. Tab.2) gültigen Umweltqualitätsnormen (UQN) für Schadstoffe in Sedimenten definiert. Beide nationalen Regelungen werden im Kontext des Sedimentmanagementkonzepts als inhaltlich gleichrangig angesehen. Sie ergänzen sich und weisen für keinen der Schadstoffe konkurrierende Festlegungen auf. Für eine Reihe von Schadstoffen wird allerdings in keiner der beiden Verordnungen ein UQZ festgelegt. In diesen Fällen wurden in Auswertung der wissenschaftlichen Literatur (z.B. de Deckere et al. 2011) obere Schwellenwerte abgeleitet.

#### 4.5.3 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Für BTEX sowie weitere Aromaten und Aliphaten („Leichtflüchter“, die auf MKW-Belastung hindeuten können, siehe 3.2) wurden sowohl in den Wasser- als auch in den Schwebstoff- und Sedimentproben keine nachweisbaren Konzentrationen festgestellt.

##### Wasserproben:

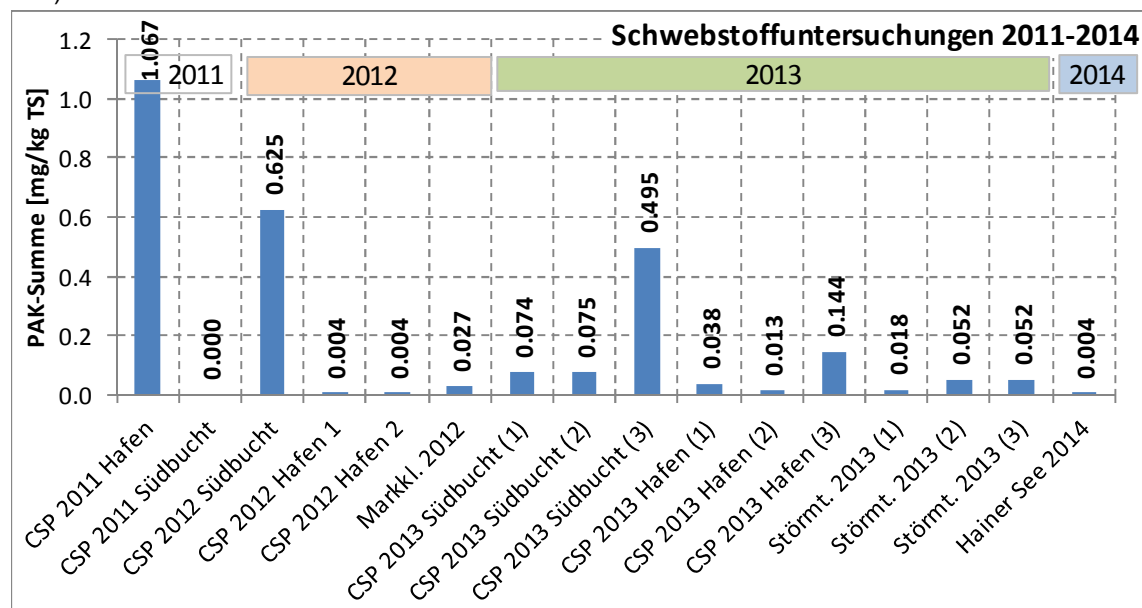
In den Wasserproben wurden lediglich in den drei Proben des Cospudener Sees vom Herbst 2011 geringfügige PAK-Konzentrationen (Naphthalin, Phenanthren) nachgewiesen. Die

zulässigen Jahresmittelwerte laut EU-Richtlinie 2013/39/EU, Anhang II (prioritäre Stoffe) für Anthracen, Fluoranthen und Naphthalin wurden damit in allen Proben eingehalten.

Für Benz(a)pyren ist eine Bewertung nicht möglich, da die übliche Bestimmungsgrenze von 5 ng/l deutlich über dem geforderten, sehr niedrigen Wert von 0,17 ng/l liegt.

#### Schwebstoffe:

Für PAK konnten in den Schwebstoffen sehr geringe Konzentrationen nachgewiesen werden. Der Mittelwert (Summe PAK) aller 16 Untersuchungen beträgt 0,18 mg/kg TS (Abb. 4-8).



**Abb. 4-8: PAK-Konzentrationen (Summe PAK) in den Schwebstoffuntersuchungen der Tagebauseen in den Jahren 2011-2014**

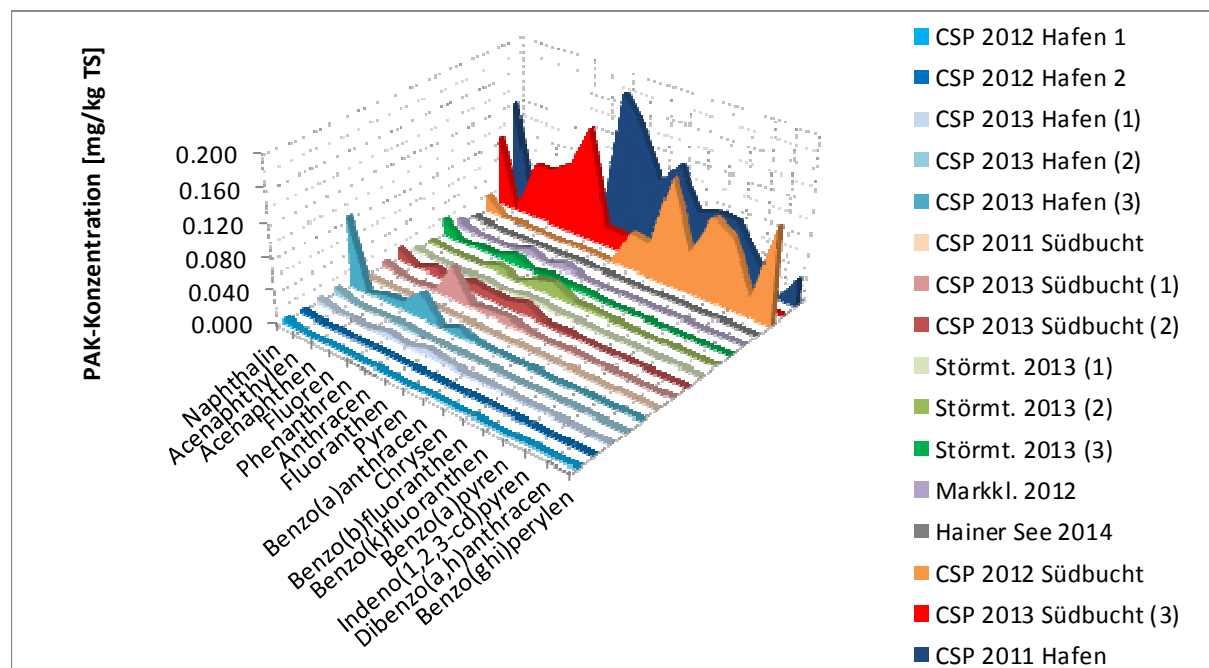
Die Ergebnisse schwankten im Bereich zwischen der jeweiligen Bestimmungsgrenze und max. 1,1 mg/kg TS und zeigten damit eine relativ hohe Streuung (Standardabweichung 0,29 mg/kg TS). Der 90-Perzentilwert (90 % aller Messwerte liegen darunter) beträgt 0,57 mg/kg TS.

Die leichter flüchtigen PAK-Verbindungen kamen erwartungsgemäß nicht oder nur in wenigen Proben vor. So konnte Acenaphthylen in keiner der 16 Schwebstoffproben gefunden werden. Acenaphthen, Fluoren und Anthracen kamen nur in 4-5 Proben vor.

Die mit 1,1 mg/kg TS höchste Konzentration wurde bei der ersten Untersuchung im November/Dezember 2011 im Hafenbereich des Cospudener Sees festgestellt. Zwei weitere deutliche Nachweise zeigten die Proben aus den Sedimentfallen, die im Sommer 2012 und Herbst 2013 jeweils im Bereich der Südbucht (RCS 3) exponiert waren. Die PAK-Konzentrationen lagen bei 0,31 und 0,49 mg/kg TS. Auffällig war jedoch, dass alle drei Proben sich sehr deutlich durch ihre Zusammensetzung unterschieden (dunkelblau, rot, orange in Abb. 4-9). Während im Herbst 2011 annähernd alle Einzelverbindungen nachweisbar waren, sind in der Probe vom Sommer 2012 nur die höhermolekulare PAK (4-5-Ring) vertreten. Im Herbst 2013 waren nur niedermolekulare PAK (2-3-Ring einschl. Naphthalin) festzustellen. Ebenfalls im Herbst 2013 wies auch die Probe aus dem



Hafenbereich mit 0,14 mg/kg TS geringfügig erhöhte Werte (hellblau in Abb. 4-9) auf, wobei deren Zusammensetzung weitgehend der der Messstelle im Südbereich entsprach.



**Abb. 4-9: Verteilungsmuster der PAK-Einzelverbindungen in den Schwebstoffproben der untersuchten Seen 2011-2014**

Insbesondere der Nachweis von niedermolekularen PAK-Verbindungen könnte ein Hinweis auf einen „frischen“ Eintrag sein, da diese Verbindungen unter aeroben Bedingungen oder durch photolytische Prozesse relativ schnell abgebaut werden. Das zeigte sich anhand aller anderen Untersuchungen, bei denen diese Verbindungen nur zu sehr geringen Anteilen vorkamen.

Alle übrigen Proben zeigten sehr niedrige PAK-Gehalte zwischen 0,004 und 0,075 mg/kg TS.

**Tab. 4-12: Statistische Auswertung der PAK-Konzentrationen aller 16 Schwebstoffproben (Sedimentfallen) – alle Angaben in mg/kg TS**

PAK	Mittelwert	Min	Max	Std.	90 % Perc.
Naphthalin	0.025	0.001	0.121	0.037	0.086
Acenaphthylen	0.002	0.001	0.007	0.002	0.003
Acenaphthen	0.010	0.001	0.067	0.019	0.013
Fluoren	0.010	0.001	0.069	0.019	0.017
<b>Phenanthren</b>	<b>0.024</b>	<b>0.001</b>	<b>0.086</b>	<b>0.029</b>	<b>0.074</b>
Anthracen	0.017	0.001	0.140	0.043	0.023
<b>Fluoranthren</b>	<b>0.022</b>	<b>0.001</b>	<b>0.181</b>	<b>0.048</b>	<b>0.021</b>
<b>Pyren</b>	<b>0.021</b>	<b>0.001</b>	<b>0.147</b>	<b>0.042</b>	<b>0.022</b>
Benzo(a)anthracen	0.012	0.001	0.091	0.027	0.023
<b>Chrysen</b>	<b>0.015</b>	<b>0.001</b>	<b>0.119</b>	<b>0.035</b>	<b>0.021</b>
<b>Benzo(b)fluoranthren</b>	<b>0.014</b>	<b>0.001</b>	<b>0.069</b>	<b>0.027</b>	<b>0.066</b>
Benzo(k)fluoranthren	0.011	0.001	0.078	0.023	0.025
<b>Benzo(a)pyren</b>	<b>0.013</b>	<b>0.001</b>	<b>0.076</b>	<b>0.025</b>	<b>0.051</b>
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.009	0.001	0.044	0.016	0.037

PAK	Mittelwert	Min	Max	Std.	90 % Perc.
Dibenzo(a,h)anthracen	0.003	0.001	0.012	0.004	0.008
<b>Benzo(ghi)perylene</b>	<b>0.011</b>	<b>0.001</b>	<b>0.061</b>	<b>0.020</b>	<b>0.037</b>
<b>Summe PAK nach EPA</b>	<b>0.16</b>	<b>0.001</b>	<b>1.07</b>	<b>0.29</b>	<b>0.42</b>

Weitere Informationen ergeben sich durch die Auswertung der prozentualen Anteile der PAK-Einzelverbindungen an der PAK-Summe. Auf der Basis der Mittelwerte aller 16 Schwebstoffproben zeigte sich, dass Phenanthren mit 16 %, Fluoranthren mit 14 % und Pyren mit 14 % die wesentlichsten Anteile an der PAK-Summe bildeten. Chrysen, Benzo(a)-pyren, Benzo(b)fluoranthren und Benzo(ghi)perylene hatten jeweils einen Anteil von 7-10 %.

**Tab. 4-13: Statistische Auswertung der prozentualen Anteile der PAK-Einzelverbindungen an der PAK-Summe in den 16 Schwebstoffproben (Sedimentfallen) - alle Angaben in %**

PAK	Mittelwert	Min	Max	Std.	90 % Perc.
Naphthalin	17	3	100	33	100
Acenaphthylen	1	0	0		
Acenaphthen	6	1	14	5	16
Fluoren	7	2	14	4	14
<b>Phenanthren</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>57</b>	<b>13</b>	<b>51</b>
Anthracen	11	3	28	12	29
<b>Fluoranthren</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>34</b>	<b>9</b>	<b>35</b>
<b>Pyren</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>35</b>	<b>10</b>	<b>34</b>
Benzo(a)anthracen	8	2	9	3	14
<b>Chrysen</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>15</b>
<b>Benzo(b)fluoranthren</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>21</b>	<b>7</b>	<b>30</b>
Benzo(k)fluoranthren	7	7	8	0	14
<b>Benzo(a)pyren</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>27</b>
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6	3	14	8	22
Dibenzo(a,h)anthracen	2	4	4		6
<b>Benzo(ghi)perylene</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>9</b>	<b>25</b>

Die Schwebstoffe in den untersuchten Tagebauseen sind sehr stark durch die permanente Bildung von Eisenhydroxidflocken durch die kontinuierlichen Eisen- und Aluminiumeinträge aus dem Grundwasser geprägt. Die exemplarische Untersuchung einiger Schwebstoffproben (Tab. 4-14) zeigte hohe Eisen- und Aluminium-Konzentrationen, insbesondere im Hainer und Störmthaler See, sowie relativ geringe TOC-Konzentrationen.

**Tab. 4-14: Hydrochemische Charakteristik einiger Schwebstoffproben**

		Eisen, ges.	Aluminium, ges.	TOC
		% TS	% TS	% TS
Hainer See (West)	RWS 4	13,2	1,6	-
Cospudener See	RCS 3	3,9	0,4	7,4
	RCS 5	4,9	0,6	6,9
Störmthaler See	REsS3	10,2	1,8	5,1

### Sedimente:

Zwischen 2011 und 2013 wurden insgesamt 24 Sedimentproben (ohne Uferproben) mit vergleichbarer Probenahme (0-3 cm), Probenaufbereitung und Analytik untersucht, die im Folgenden ausgewertet werden.

Die mittlere PAK-Konzentration lag bei 0,48 mg/kg TS (Standardabweichung: 0,38 mg/kg TS). Die PAK-Summe von 90 % der Proben lag unter 0,94 mg/kg TS. Die Maximal-Konzentration lag bei 1,47 mg/kg TS (siehe Tab. 4-15).

Acenaphthylen, Acenaphthen und Fluoren wurden nur in 2-3 Proben nachgewiesen (in Haubitzer/Hainer See 2013), Anthracen nur in 6 Proben.

**Tab. 4-15: Statistische Auswertung der PAK-Konzentrationen in 24 Sedimentproben aus Tagebauseen (1-3 cm Schicht)**

PAK	Mittelwert	Min	Max	Std.	90 % Perc.
	mg/kg TS				
Naphthalin	0,040	0,006	0,109	0,029	0,080
Acenaphthylen	0,019	0,017	0,020	0,002	0,020
Acenaphthen	0,022	0,005	0,054	0,020	0,043
Fluoren	0,023	0,006	0,043	0,017	0,040
<b>Phenanthren</b>	0,068	0,024	0,271	0,053	0,112
Anthracen	0,014	0,005	0,037	0,010	0,022
<b>Fluoranthren</b>	0,073	0,023	0,244	0,055	0,133
<b>Pyren</b>	0,054	0,015	0,199	0,046	0,102
Benzo(a)anthracen	0,041	0,011	0,122	0,031	0,082
<b>Chrysen</b>	0,048	0,011	0,131	0,036	0,099
<b>Benzo(b)fluoranthren*</b>	0,077	0,010	0,250	0,067	0,141
Benzo(k)fluoranthren*	0,033	0,008	0,095	0,027	0,071
<b>Benzo(a)pyren*</b>	0,053	0,010	0,186	0,050	0,111
Indeno(1,2,3-cd)pyren*	0,037	0,005	0,128	0,028	0,061
Dibenzo(a,h)anthracen	0,020	0,011	0,037	0,008	0,027
<b>Benzo(ghi)perylene*</b>	0,044	0,008	0,157	0,033	0,070
<b>Summe PAK nach EPA</b>	<b>0,48</b>	<b>0,000</b>	<b>1,47</b>	<b>0,38</b>	<b>0,94</b>
<b>Summe 5 PAK *</b>	<b>0,244</b>	<b>0,041</b>	<b>0,816</b>	<b>0,205</b>	<b>0,454</b>

Die einzelnen Seen unterschieden sich im Mittel der PAK-Summe nur wenig voneinander

Cospudener See	n=8	0,52 mg/kg TS	
Markkleeberger See	n=2	0,41 mg/kg TS	
Störmthaler See	n=4	0,55 mg/kg TS	
Hainer / Haubitzer See	n=6	0,55 mg/kg TS	
Werbelineer See	n=4	0,51 mg/kg TS	(Referenz)

Schon am Vergleich der mittleren Konzentrationen in den untersuchten Seen zeigte sich, dass die Werte im Werbeliner See, in dem keine Motorboote zugelassen sind, im gleichen niedrigen Bereich liegen wie die Werte der Seen mit Motorbootnutzungen.

Trotz einiger Abweichungen ist die prozentuale Zusammensetzung bezüglich der PAK-Einzelverbindungen als relativ übereinstimmend einzuschätzen (Tab. 4-16):

Phenanthren	18 %
Flouranthren	14 %
Benzo(b)fluoranthren	13 %
Pyren	11 %
Chrysen	8 %
Benzo(ghi)perylene	8 %
Benzo(a)pyren	8 %

Die sechs Proben vom November 2011 aus dem Cospudener See unterschieden sich hinsichtlich der Zusammensetzung von der ansonsten relativ gleichen Zusammensetzung. An diesem Termin war ein deutlich höherer Anteil von Naphthalin (Mittelwert 27% gegenüber Mittelwert aller anderen Proben bei 13 %) und Phenanthren (Mittelwert 29% gegenüber Mittelwert aller anderen Proben bei 18 %) nachweisbar. Es kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, dass dies auf eine geringfügige, aktuell wirksame Kontamination zurückzuführen ist. Bei gleichartigen Untersuchungen im September 2013 waren Konzentrationen nachweisbar, die im Mittel denen aller anderen Proben entsprachen. Die Naphthalin- und Phenanthren-Konzentrationen lagen nahe der analytischen Bestimmungsgrenzen.

Aufgrund der sandigen Beschaffenheit der Uferproben lagen die PAK-Konzentrationen in den Uferproben um ca. 30 % niedriger als in den Sedimentproben der tiefen Messstellen, bei denen im Wesentlichen Schwebstoffe erfasst wurden.

**Tab. 4-16: Statistische Auswertung der prozentualen Anteile der PAK-Verbindungen in den 24 Sedimentproben aus Tagebauseen (1-3 cm Schicht)**

	Mittelwert	Min	Max	Std.	90 % Perc.
Naphthalin	13	1	49	13	27
Acenaphthylen	1	0	2	0	2
Acenaphthen	4	0	6	3	6
Fluoren	3	0	7	3	6
<b>Phenanthren</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>51</b>	<b>13</b>	<b>36</b>
Anthracen	1	0	5	1	3
<b>Fluoranthren</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>26</b>	<b>5</b>	<b>19</b>
<b>Pyren</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>15</b>
Benzo(a)anthracen	7	3	10	2	8
<b>Chrysen</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>10</b>
<b>Benzo(b)fluoranthren</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>21</b>	<b>4</b>	<b>19</b>
Benzo(k)fluoranthren	5	0	7	2	7
<b>Benzo(a)pyren</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>11</b>
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6	0	12	3	9
Dibenzo(a,h)anthracen	3	2	7	2	6
<b>Benzo(ghi)perylene</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>10</b>

Wie bereits in den Abschnitten 4.1 bis 4.3 beschrieben, handelt es sich bei den Sedimenten aus den untersuchten Tagebauseen um keine Seesedimente im herkömmlichen Sinne. Durch die hohen Eisen- und Aluminiumeinträge, die über das Grundwasser in die Seen gelangen, sind sowohl die Schwebstoffe als auch vielmehr die Sedimente durch die

partikulären Fällungsprodukte der Eisen- und Aluminiumspezies geprägt. Wie die geringen Trockensubstanzwerte (d.h. hoher Wassergehalt) zeigen, sind die oberflächlich angetroffenen Sedimente eher als Eisenhydroxidschlämme anzusprechen. Die Eisenkonzentrationen schwankten in den Seen im Südraum Leipzigs zwischen 7 und 43 % TS sowie im Werbeliner See zwischen 5 und 10 %. Auch die Aluminium-Konzentrationen sind mit 1,3-5 % TS sehr hoch, im Werbeliner See noch geringfügig höher. Inwieweit diese Charakteristik der Sedimente, die überwiegend aus Eisenhydroxidflocken gebildet werden, einen Einfluss auf die Adsorption lipophiler Verbindungen wie der PAK hat, ist bisher nicht untersucht.

**Tab. 4-17: Hydrochemische Charakteristika der Sedimente**

See	Mess- stelle	Schicht	PN- Datum	Trocken- substanz	Glüh- verlust	Eisen, gesamt	Aluminium, gesamt
		cm		% OS	% TM	% TS	% TS
<b>Cospudener See</b>	RCS 2	0-0,5	26.10.11	6,3	22,2	15,6	2,2
		1-3	26.10.11	5,4	19,8	26,9	4,8
	RCS 3	0-0,5	26.10.11	7,4	22,0	17,4	3,6
		1-3	26.10.11	6,0	20,1	43,0	2,5
	RCS 5	0-0,5	26.10.11	12,0	17,5	10,8	2,3
		1-3	26.10.11	9,4	15,0	19,9	5,0
	RCS 5	0-1,5	11.09.13	22,1	9,9	5,7	2,1
		1,5-3,0	11.09.13	19,5	8,6	8,1	2,3
		3,0-4,5	11.09.13	24,4	8,5	7,5	2,7
		4,5-6,0	11.09.13	28,2	7,6	7,2	2,8
<b>Haubitzer See</b>	RWS 2	0-3	20.09.12	3,7	16,8	23,7	3,4
<b>Hainer See (Ost)</b>	RWS 4	0-3	19.09.12	5,6	19,1	20,2	5,1
<b>Hainer See (West)</b>	RWS 3	0-3	19.09.12	8,8	14,7	16,9	4,5
<b>Markkleeberger See</b>	REsS1	0-3	20.09.12	26,0	8,6	9,6	1,3
<b>Störmthaler See</b>	REeS3	0-3	20.09.12	14,8	11,4	15,5	4,1
	REeS6	0-3	20.09.12	17,2	10,3	11,8	5,1
<b>Werbeliner See (Nord)</b>	RDS 1	0-3	25.10.12	19,4	10,4	4,7	6,9
<b>Werbeliner See (Süd)</b>	RDS 1-3	0-3	25.10.12	15,7	13,7	10,3	5,7

#### 4.5.4 Bewertung der Ergebnisse

Die erhobenen Daten charakterisieren den Zustand 2011-2013 bei Motorboot-Nutzungen, die als noch sehr gering einzuschätzen sind (siehe Abschnitt 6):

- keine nachweisbaren PAK-, BTEX- und MKW-Konzentrationen (Aromaten, Aliphaten) im Wasser
- keine nachweisbaren BTEX- und MKW-Konzentrationen (Aromaten, Aliphaten) in den Schwebstoff- und Sedimentproben
- sehr geringe PAK-Konzentrationen in den Sediment- und Schwebstoffproben.

Die Bewertung der nachgewiesenen sehr geringen Belastungen ist dadurch erschwert, dass es kaum Vergleichswerte von ähnlichen oligotrophen Gewässern gibt. Des Weiteren liegen nur wenige Anhaltspunkte bezüglich der Bewertungsmaßstäbe vor (siehe 4.5.2).

Bei der Bewertung der PAK-Konzentrationen ist auch zu berücksichtigen, dass Schwebstoffe eher die aktuellen Belastungen zeigen, während anhand der Sedimente eine integrierte Aussage über Depositionen über den vergangenen Zeitraum zu erhalten ist. Umgekehrt bedeutet dies, dass bei geringen Konzentrationen im Sediment davon auszugehen ist, dass die Schadstoff-Konzentrationen in den Schwebstoffen noch geringer sein müssen.

In den Sedimentproben der untersuchten Seen wurden relativ gut übereinstimmende mittlere PAK-Konzentrationen zwischen 0,41 und 0,55 mg/kg TS festgestellt. Da keine Unterschiede zwischen dem Werbeliner See – ohne Motorbootnutzung – und den anderen Seen mit bisher sehr geringer Motorbootnutzung bestehen, muss geschlussfolgert werden, dass es sich bei den nachgewiesenen PAK-Belastungen um anthropogen bedingte Hintergrund-Konzentrationen urbaner Gebiete handelt bzw. sich die bestehenden Motorbootemissionen nicht signifikant auf die Wasser- und Schwebstoffbeschaffenheit auswirken. Die ubiquitären PAK-Einträge gelangen u.a. aus Verbrennungsprozessen und KFZ-Verkehr über die Luft und mit Niederschlägen in die Gewässer und werden dort aufgrund ihrer überwiegend hohen Adsorptionskoeffizienten vorwiegend an Partikel gebunden und in das Sediment verfrachtet.

Zum Vergleich lagen Ergebnisse für Sedimente ausgewählter sächsischer Tagebauseen vor, die im Rahmen der WRRL-Untersuchungen vom Sächsischen LfULG erhoben wurden. Es wurden die in Tab.4-18 aufgeführten PAK-Konzentrationen festgestellt. Berücksichtigt werden muss bei dem Vergleich, dass hier nur die Fraktion < 63 µm analysiert wurde, während im hier beschriebenen Monitoring die Gesamtprobe analysiert wurde.

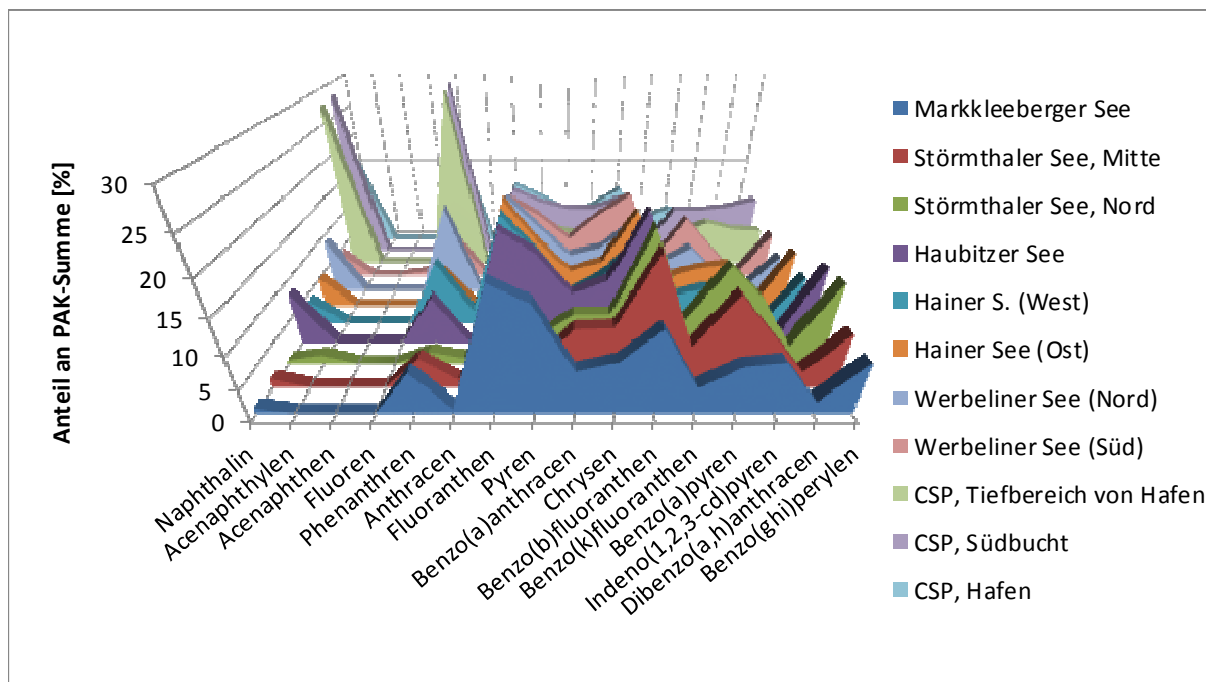
**Tab.4-18: PAK-Konzentration in Sedimenten sächsischer Tagebaurestseen (Datenquelle: LfULG 2011)**

See	Art der PAK	Konzentration ( $\Sigma$ PAK in mg/kg TS)
Kulkwitzer See	16 EPA PAK	6,43
Badesee Halbendorf	16 EPA PAK	1,29
Olbasee	16 EPA PAK	3,31
Olbersdorfer See	16 EPA PAK	1,02
Blaue Adria Crosta	16 EPA PAK	1,26
Waldbad Niesendorf	16 EPA PAK	1,00

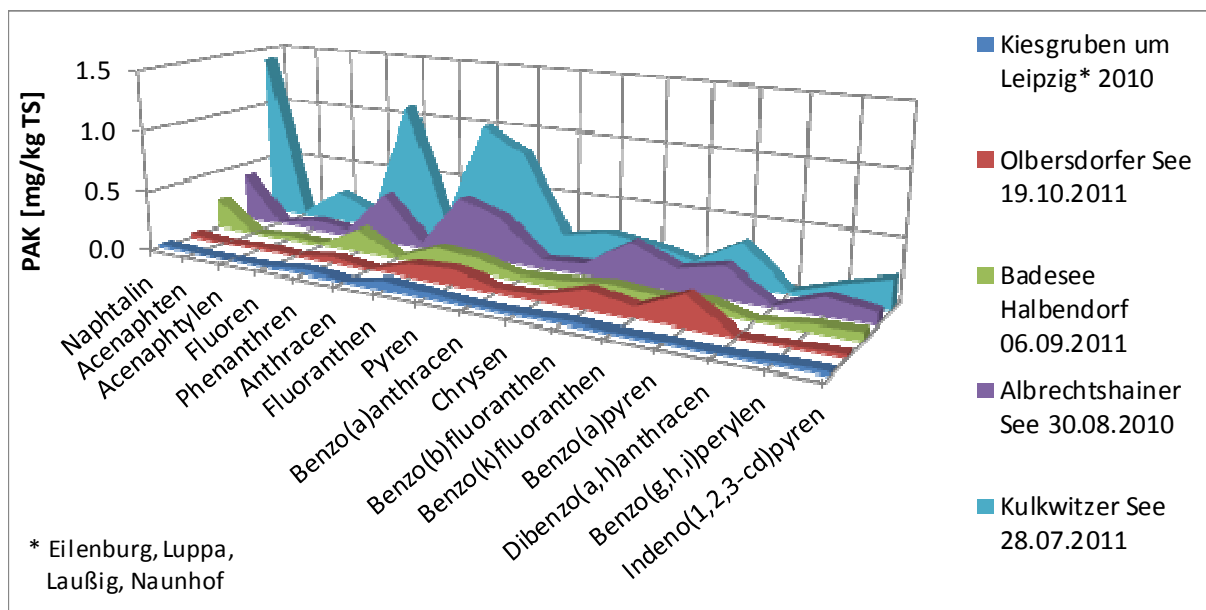
Die PAK-Belastung der aufgeführten Seen in Sachsen ist insgesamt höher als die Ergebnisse des vorliegenden Monitorings, wo lediglich zwei der Sedimentproben PAK-Befunde über 1 mg/kg TS zeigen und die mittlere PAK-Konzentration bei 0,48 mg/kgTS lag. Da auf den in Tab.4-18 aufgeführten Seen keine Nutzungen durch Motorboote erfolgen, ist die PAK-Belastung vermutlich auf geogene und urbane Einflüsse zurückzuführen.

Um die Herkunft der PAK-Befunde weiter zu spezifizieren, wurden die Verteilungsmuster der PAK-Einzelverbindungen für die Seen analysiert. Der Vergleich zeigt unabhängig vom Konzentrationsniveau eine annähernd gleiche Verteilung der Einzelverbindungen, die ebenfalls auf die Herkunft aus atmosphärischen Depositionen schließen lässt.





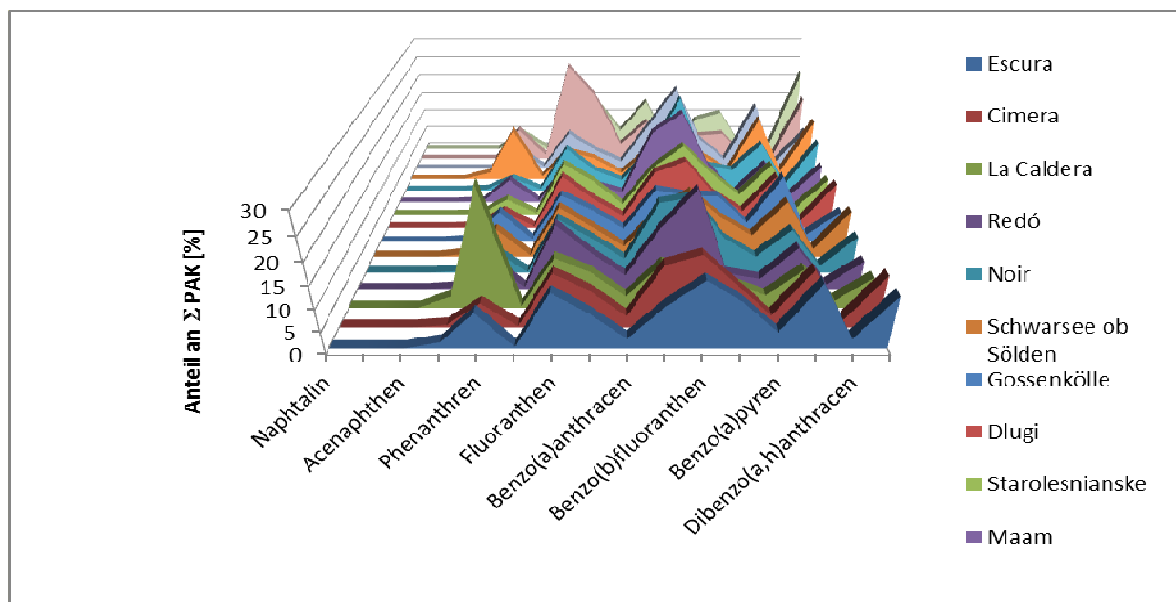
**Abb. 4-10:** Verteilungsmuster der PAK-Einzelverbindungen in den Sedimentproben der untersuchten Seen



**Abb. 4-11:** Verteilungsmuster der PAK-Einzelverbindungen in Sedimentproben (Fraktion <63 µm, jeweils einmalige Untersuchung zwischen 2008 und 2011) vergleichbarer Tagebauseen (Daten-Quelle: LfULG)

Um die Untersuchungsergebnisse in Relation zu anderen Seen einzuordnen, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, deren Ergebnisse in Anlage 3 dargestellt sind. Spezielle Untersuchungen bezüglich der motorbootbedingten PAK-Emissionen waren nur in sehr geringem Maße vorhanden.

Im Vergleich dazu werden Verteilungsmuster für entlegene Seen in Europa und den USA dargestellt, die sich außerhalb einer urbanen Beeinflussung befinden. Im Vergleich der Verteilungsmuster verhalten sich die PAK-Befunde der Sedimentuntersuchungen in den Leipziger Gewässern ähnlich wie in den Seen, die weitab von direkter anthropogener Belastung liegen und nur durch atmosphärische Depositionen geprägt werden.



**Abb. 4-12: Verteilungsmuster der PAK-Einzerverbindungen in den Sedimentproben von unbelasteten Seen (nur mit atmosphärischer Deposition)**

Auf der Grundlage der beschriebenen Untersuchungsergebnisse wird geschlussfolgert, dass es sich bei den festgestellten PAK-Befunden in den Sedimentproben überwiegend um die ubiquitär vorhandenen Hintergrundkonzentrationen handelt, die aufgrund der atmosphärischen Depositionen in einem industriell geprägten Untersuchungsraum wie dem Leipziger Ballungsgebiet typisch sind. Verbrennungsprodukte und Rußpartikel durch in der Nähe gelegene Kraftwerke und den Autoverkehr gelangen über den Niederschlag in den See, wo die höhermolekularen PAK-Verbindungen an Partikel gebunden dem Sediment zugehen und die niedermolekularen PAK-Verbindungen im Wasser gelöst werden und eliminierenden Prozessen (z.B. biologischer, photochemischer Abbau) unterworfen sind. Darüber hinaus können andere Stoffeinträge in die Gewässer aus punktförmigen oder diffusen Quellen (siehe Kap. 4.5.1) des urban geprägten Einzugsgebietes die entsprechende Schadstoffbelastung bewirken. Der Anteil des Schadstoffeintrages durch Boote mit Verbrennungsmotor wird auf Grundlage der Vergleiche mit Seen ohne Bootsverkehr und den Ergebnissen der Immissionsberechnung (siehe Kap. 6.5) als sehr gering (i.A. in nicht nachweisbarer Konzentration) eingeschätzt.

Im Folgenden werden die Untersuchungsergebnisse gegenüber den bestehenden Umweltqualitätsnormen geprüft.

Der obere Schwellenwert wird für Fluoranthen durch den Maximalwert sowohl der Sediment- als auch der Schwebstoffproben erreicht bzw. überschritten (Schwebstoffe: Cospuden, Hafen, Herbst 2011 sowie für Sedimentproben: Cospuden, Hafen, Sommer 2012).

Der untere Schwellenwert der Sedimentklassifikation nach [7] wird durch die Mittelwerte für Benz(a)pyren sowohl bei den Sediment- als auch den Schwebstoffproben überschritten. Die Mittelwerte aller anderen relevanten Verbindungen (Tab. 4-19) unterschreiten die unteren Schwellenwerte. Überschreitungen durch einen Maximalwert – in diesem Fall eines speziellen Sees – wurden für Anthracen (Schwebstoff, Cospuden, Südbucht im Herbst 2013) sowie die Summe der 5 PAK (Sediment, Störmthaler See 2012) beobachtet.

**Tab. 4-19: Vergleich der Ergebnisse der Sediment- und Schwebstoff-Untersuchungen mit der Sedimentklassifikation nach [7]**

		Mittelwert	von-bis	90 % Perc.	Schwellenwerte [7]	
					unterer	oberer
Σ 5 PAK	Sediment	0,24	<0,001 - <b>0,82</b>	0,37	0,6	2,5
	Schwebstoff	0,04	0,001-0,296	0,14		
Fluoranthen	Sediment	0,073	0,003- <b>0,24</b>	0,13	-	0,18
	Schwebstoff	0,022	0,001- <b>0,18</b>	0,021		
Anthracen	Sediment	0,014	0,001-0,037	0,022	0,03	0,31
	Schwebstoff	0,017	0,001-0, <b>140</b>	0,023		
Benz(a)pyren	Sediment	<b>0,039</b>	0,001- <b>0,186</b>	<b>0,097</b>	0,01	0,60
	Schwebstoff	<b>0,013</b>	0,001- <b>0,076</b>	<b>0,051</b>		

grün: unterer Schwellenwert wird überschritten

rot: oberer Schwellenwert wird erreicht/überschritten

Die Schwebstoffe in den untersuchten Tagebauseen sind sehr stark durch die permanente Bildung von Eisenhydroxidflocken durch die kontinuierlichen Eisen- und Aluminiumeinträge mit dem Grundwasser geprägt. Inwieweit sich diese Charakteristik auf die Adsorption der über Luft und Niederschläge eingetragenen PAK in urbanen Gebieten auswirkt, ist bisher nicht untersucht.

## 5 Monitoring in Fließgewässern

### 5.1 Untersuchungsumfang 2014

Die Durchführung der Fließgewässeruntersuchung im Rahmen des vorliegenden Monitoringprogrammes basierte im Jahr 2014 auf den Erfahrungen und Schlussfolgerungen der vorangegangenen Untersuchungen in den Jahren 2011 bis 2013. Die Vorgehensweise und die damaligen Ergebnisse sind in den entsprechenden Zwischenberichten ([4]–[6]) ausführlich dokumentiert.

Die folgenden Tabellen zeigen die Expositionszeiten und Bemerkungen der zwei Messkampagnen 2014.

**Tab.5-1: Randbedingungen der Fließgewässer-Messkampagne im April 2014**

Messstelle	Einbau	Ausbau	Expositionszeit [hh:mm]	Bemerkung
1	04/04/2014 11:25	07/04/2014 11:20	71:55	geringe Trübung
1a	04/04/2014 10:55	07/04/2014 10:55	72:00	geringe Trübung
2	04/04/2014 10:30	07/04/2014 10:30	72:00	geringe Trübung, grünlich-braun
5	04/04/2014 10:00	07/04/2014 10:00	72:00	geringe Trübung, bräunlich-grau
6	04/04/2014 09:30	07/04/2014 09:25	71:55	geringe Trübung, Falle lag im Gewässer aber ausreichend Schwebstoff enthalten

**Tab.5-2: Randbedingungen der Fließgewässer-Messkampagne im Juli 2014**

Messstelle	Einbau	Ausbau	Expositionszeit [hh:mm]	Bemerkung
1	25/07/2014 10:30	28/07/2014 10:30	72:00	keine Strömung, milchig, mäßig trüb grün-grau, Bootsverkehr (Paddler)
1a	25/07/2014 10:50	28/07/2014 11:20	72:30	gering trüb, grün-grau, erheblicher Bootsverkehr (Paddler, E-Motor, Fahrgastschiff)
2	25/07/2014 11:05	28/07/2014 11:50	72:45	gering trüb, grün-grau, erheblicher Bootsverkehr (Paddler, Fahrgastschiff, Gondel)
5	25/07/2014 11:25	28/07/2014 12:15	72:50	gering bis mäßig trüb, grün-grau, kein Bootsverkehr (wegen Eisvogel nur von 11-13 und 16-18 nicht motorisiert befahrbar)
6	25/07/2014 12:00	28/07/2014 12:45	72:45	fast keine Trübung, kein Bootsverkehr (wegen Eisvogel nur von 11-13 und 16-18 nicht motorisiert befahrbar)

Im Jahr 2014 wurden zwei Messkampagnen an den genannten Fließgewässermessstellen jeweils über ein Wochenende durchgeführt. Die erste Messung vom 04. bis 07. April 2014 erfolgte noch in der Vorsaison (Frühjahr) und ist daher durch eine vergleichsweise geringe Bootsnutzung begleitet. Die zweite Messung vom 25. bis 28. Juli 2014 lag im Zeitraum der Hochsaison.

Die Expositionsdauer zu den beiden Messungen 2014 betrug etwa 3 Tage (72 Stunden). Die Schwebstofffalle der Messstelle 6 (Floßgraben oh. KA Markkleeberg) lag zum Zeitpunkt der Entnahme schräg unter Wasser. Das bis dahin gesammelte Probenmaterial war aber für die labortechnische Aufbereitung ausreichend. Darüber hinaus sind die übrigen Schwebstoffmessungen 2014 ohne nennenswerte Zwischenfälle verlaufen.

Im Nachgang der Voruntersuchungen wurde festgelegt, dass die Messkampagnen des Fließgewässermonitorings nur bei Abflussverhältnissen  $\leq$  MQ durchgeführt werden sollen, um verwertbare Ergebnisse im Sinne der Aufgabenstellung zu erzielen. Hintergrund hierfür ist der Sedimenttransportprozess im Fließgewässer, der bei erhöhtem Durchfluss (Strömung) zunimmt und ggf. den Anteil kleinerer Schwebstoffe überprägt. Als Referenzpegel gilt der Pegel Kleindalzig an der Weißen Elster. Für die Untersuchungen im Jahr 2014 wurde berücksichtigt, dass während des FG-Monitorings möglichst eine Niedrig- bis Mittelwassersituationen vorlag (siehe Tab.5-3), was normalen bzw. häufig auftretenden hydraulischen Zuständen entspricht.

**Tab.5-3: Durchfluss am Pegel Kleindalzig (Weiße Elster) während der Schwebstoffuntersuchung 2014**

Zeitraum Messkampagne	Durchfluss Weiße Elster Pegel Kleindalzig [m³/s]	MNQ [m³/s]	MQ [m³/s]
04. – 07. April 2014	8,6 – 9,2 (kaum schwankend)	4,82	16,6
25. – 28. Juli 2014	6,5 – 12,5 (Zunahme ab 27.07. nach Niederschlag)		

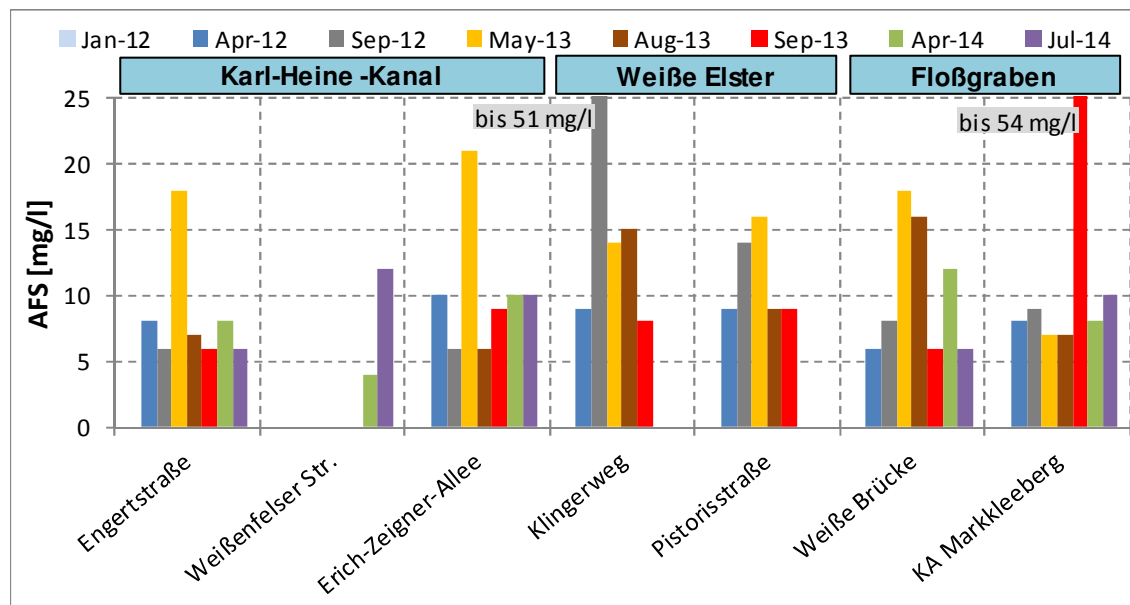
Die in der Tab.5-3 dargestellten Abflusswerte basieren auf den online verfügbaren Daten des Landeshochwasserzentrums Sachsen (LHWZ), die zur jeweiligen Messkampagne ausgewertet wurden. Die Abflüsse der Weißen Elster lagen jeweils im Abflussbereich MNQ-MQ. Damit war gewährleistet, dass das gesammelte Probenmaterial möglichst nicht durch den Anteil der Korngrößenklasse  $\geq 2$  mm (sandiger Anteil) dominiert wird.

## 5.2 Ergebnisse 2012 – 2014

### 5.2.1 Wasserbeschaffenheit (Freiwasser)

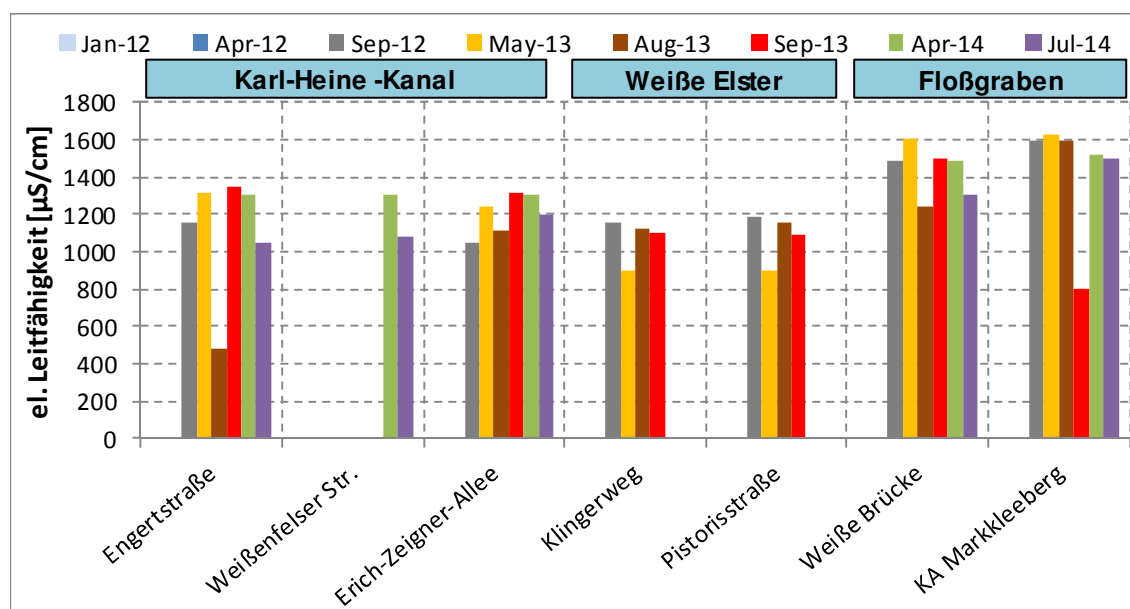
Während des Einholens der Schwebstofffallen wurden Freiwasserproben des jeweiligen Fließgewässers entnommen und analysiert. Die folgenden Abbildungen zeigen das Verhalten der Kenngrößen abfiltrierbare Stoffe (AFS), elektrische Leitfähigkeit, Eisen und Aluminium (gelöst) und pH-Wert.

Für Aluminium (gelöst) lagen alle Analyseergebnisse - mit Ausnahme der Messung 01/2012 - unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 mg/l.



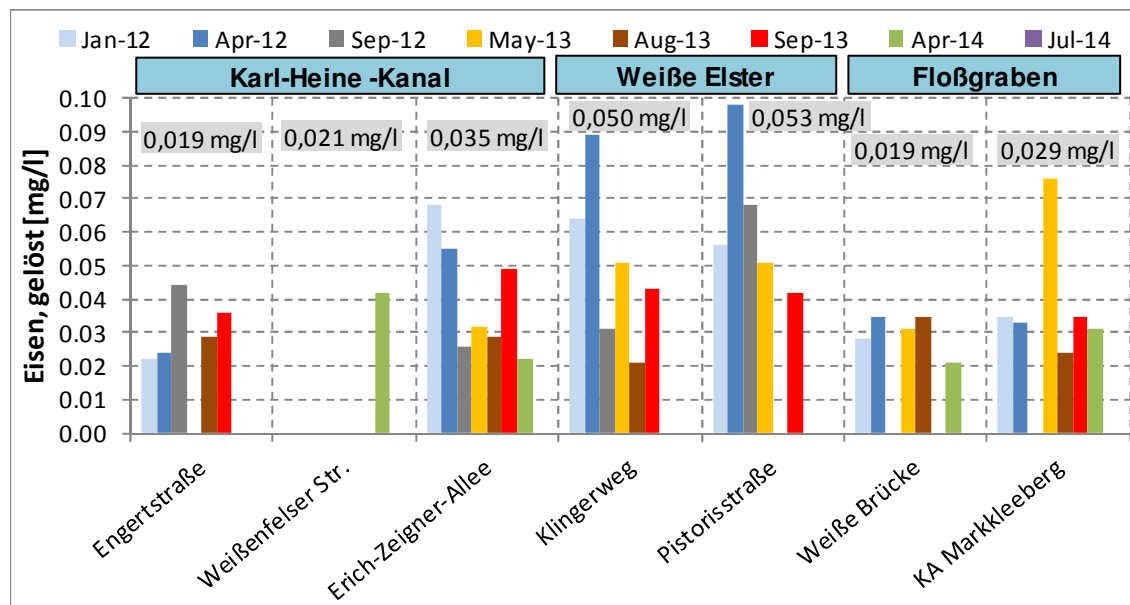
**Abb. 5-1: Abfiltrierbare Stoffe (AFS) der Freiwasserproben 2012 – 2014**

- Im Mittel sind die AFS im Karl-Heine-Kanal am geringsten (9,2 mg/l), gefolgt vom Floßgraben (12,5 mg/l) und der Weißen Elster (15,4 mg/l). Je nach Messstelle und Messtermin treten z.T. starke, überwiegend abflussabhängige Schwankungen auf.
- Die AFS waren im Mai 2013 an allen Messpunkten vergleichsweise hoch, was vermutlich auf die erhöhten Niederschlags-Abfluss-Verhältnisse und die damit verbundenen Stoffeinträge zurückzuführen ist.



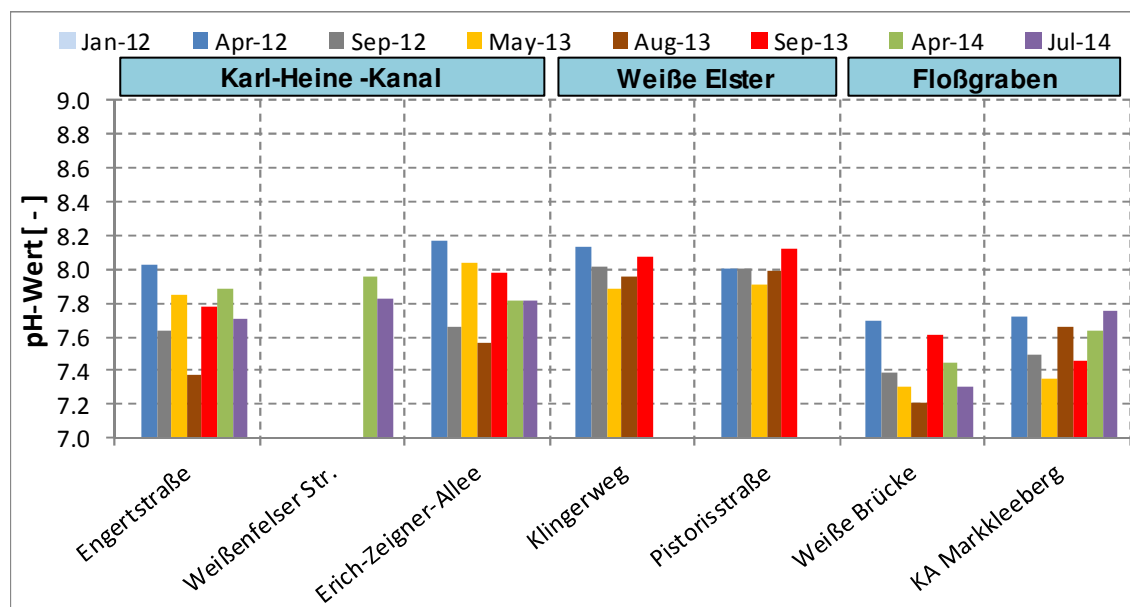
**Abb. 5-2: Elektrische Leitfähigkeit der Freiwasserproben 2012 – 2014**

- Die el. Leitfähigkeit ist im Floßgraben im Mittel mit 1440 µS/cm am höchsten. Die Messpunkte der Weißen Elster und im Karl-Heine-Kanal liegen mit ihren Schwankungsbreiten etwa auf gleichem Niveau von 1070-1200 µS/cm.



**Abb. 5-3: Eisen (gelöst) der Freiwasserproben 2012 – 2014 (grau hinterlegt: Mittelwerte)**

- Die Konzentration an gelöstem Eisen schwankt zwischen den Messpunkten und den Messterminen relativ stark. Die Werte bewegen sich zwischen der Bestimmungsgrenze (0,02 mg/l) und maximal 0,10 mg/l, was in der Weißen Elster im April 2012 gemessen wurde. Das Mittel über alle Messungen liegt bei 0,04 mg/l gelöstem Eisen.
- Die mittlere Konzentration pro Messstelle schwankt zwischen 0,019 mg/l und 0,053 mg/l. Die höchsten Werte wurden in der Weißen Elster gemessen. Im Floßgraben und dem Karl-Heine-Kanal liegen die Konzentrationen etwa auf dem gleichen Niveau.



**Abb. 5-4: pH-Wert der Freiwasserproben 2012 – 2014**

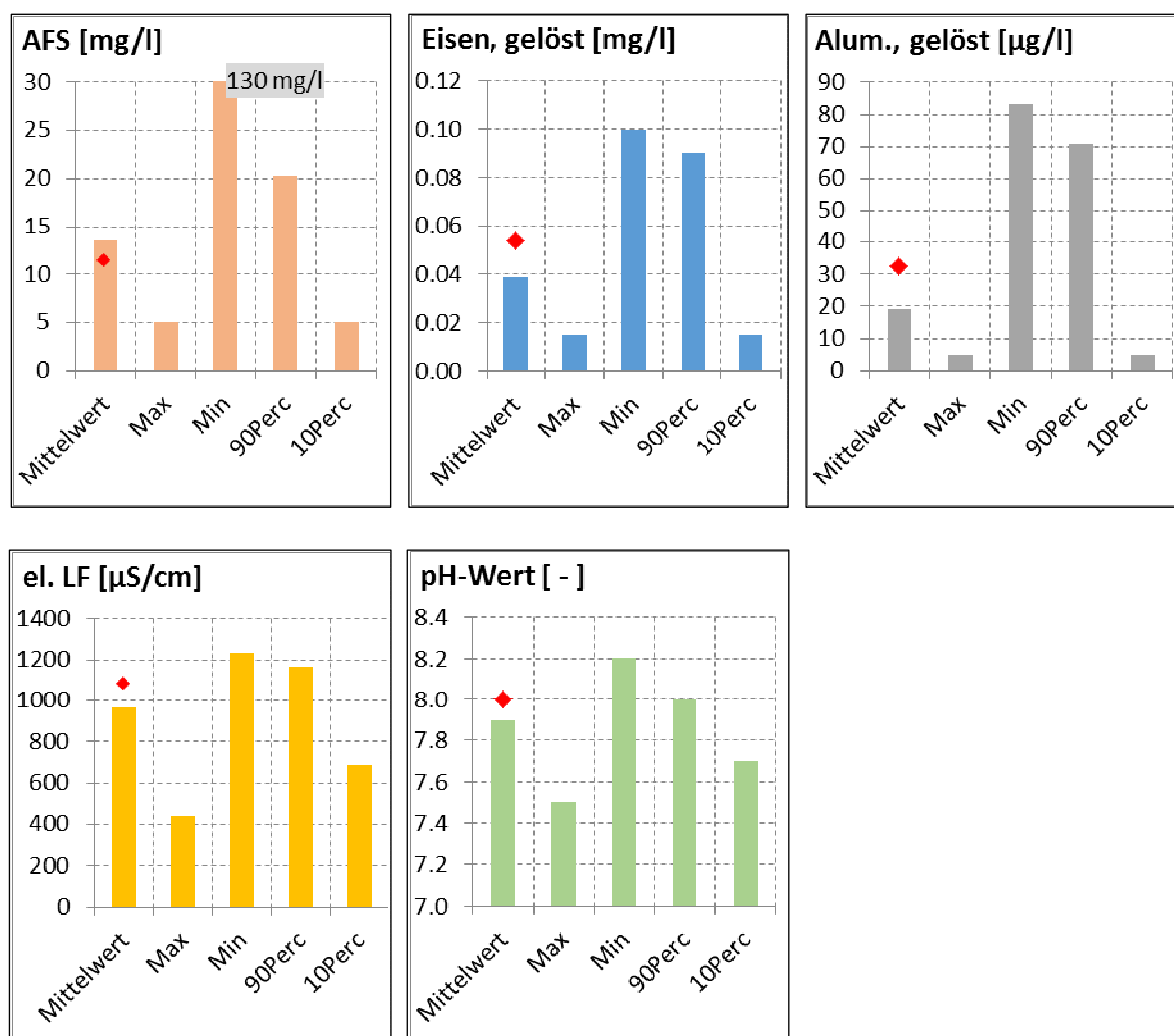


- Der pH-Wert ist im Mittel in der Weißen Elster mit 8,0 am höchsten, dicht gefolgt von den Messwerten im Karl-Heine-Kanal. Im Floßgraben beträgt der mittlere pH-Wert 7,5, wobei am MP der Weißen Brücke die niedrigsten Werte gemessen wurden.
- Die pH-Wert-Schwankungen sind im Karl-Heine-Kanal (MP Engertstraße und Erich-Zeigner-Allee) stärker als in der Weißen Elster und im Floßgraben.

Zum Abgleich bzw. zur Plausibilitätsprüfung wurden die Ergebnisse der Wasserbeprobung mit den routinemäßig erhobenen Wassergütedaten des LfULG verglichen.

#### Weiße Elster – Messstelle Großzschocher:

Die Messstelle Großzschocher (OBF50600) an der Weißen Elster liegt rund 1,0 km stromoberhalb des Messpunktes für die Schwebstoffuntersuchung an der Geh- und Radwegbrücke der Pistorisstraße und bildet daher eine vergleichsweise gute Referenz. Der Messpunkt Klingerweg befindet sich rund 3,0 km stromunterhalb der Messstelle Großzschocher. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte für die Jahre 2010 bis 2013 und wird in der folgenden Abbildung (Abb. 5-5) dargestellt. Pro Kenngröße gingen 47-75 Messwerte in die Auswertung ein.

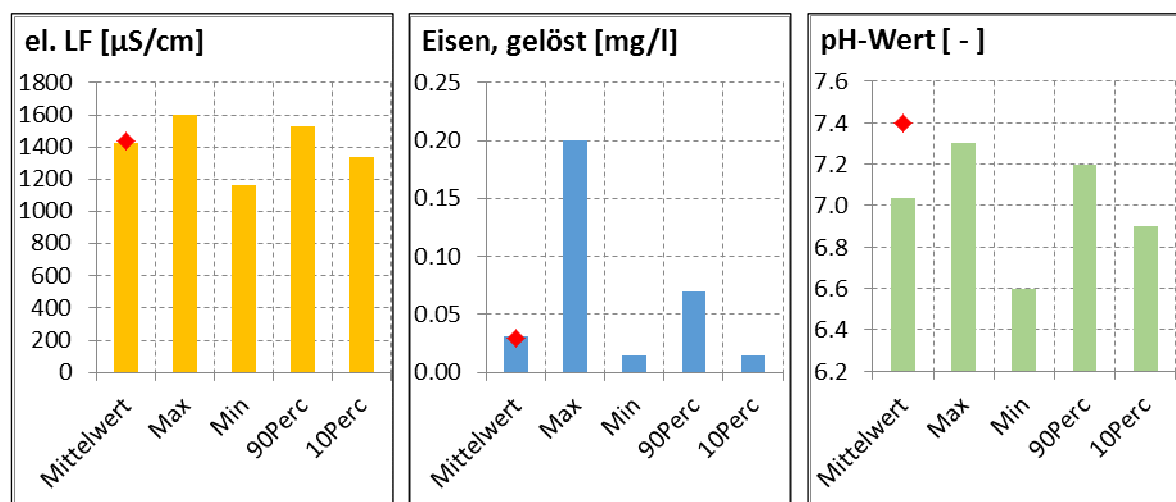


**Abb. 5-5: Statistische Auswertung der LfULG-Gewässergütedaten 2010-2013 für die Messstelle Großzschocher (OBF50600) in der Weißen Elster und Mittelwerte der Freiwasserbeprobungen während der Schwebstoffuntersuchung (rote Punkte)**

Die Größenordnungen und Schwankungsbereiche der dargestellten Kenngrößen stimmen im Mittel gut bis sehr gut mit den Analyseergebnissen der eigenen Wasserbeprobungen überein. In den LfULG-Gütedaten wurden die Bestimmungsgrenzen für abfiltrierbare Stoffe (10 mg/l) und Aluminium gelöst (10 µg/l) in nahezu allen Fällen unterschritten. Insgesamt weisen die Messdaten keine nennenswerten Besonderheiten auf.

#### Floßgraben – Messstelle Weiße Brücke:

Die Messstelle Weiße Brücke (OBF53780) am Floßgraben liegt unmittelbar am MP der Schwebstoffuntersuchung und stellt somit eine sehr gute Referenz dar. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte für die Jahre 2010 bis 2013 und wird in der folgenden Abbildung (Abb. 5-6) dargestellt. Pro Kenngröße gingen 36 Messwerte in die Auswertung ein.

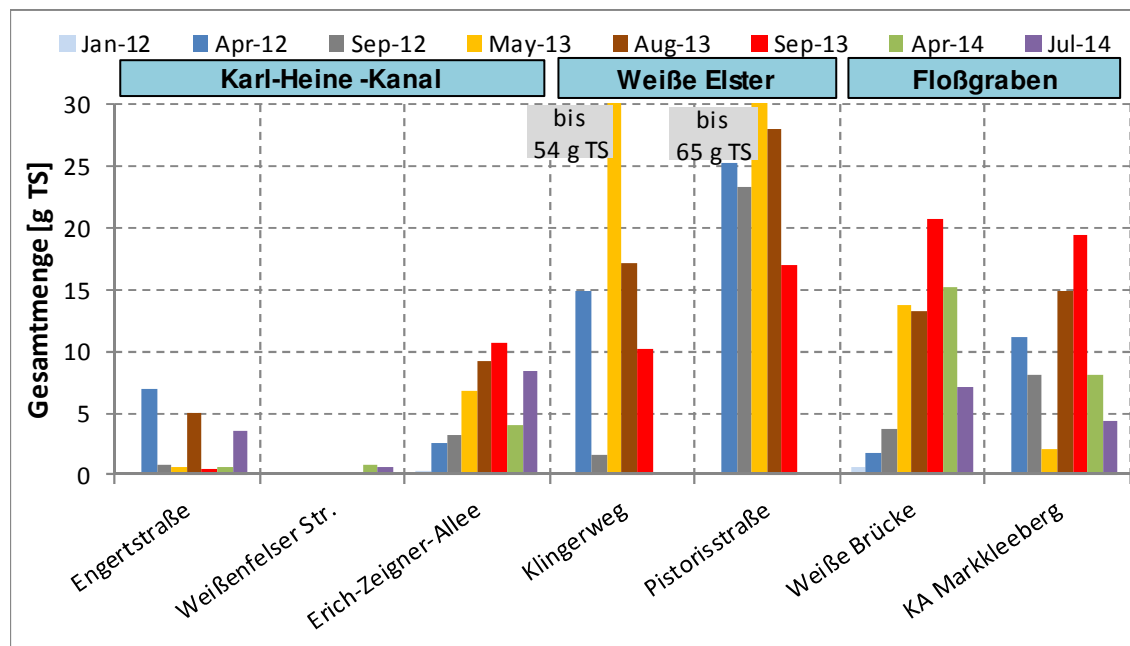


**Abb. 5-6: Statistische Auswertung der LfULG-Gewässergütedaten 2010-2013 für die Messstelle Weiße Brücke (OBF53780) im Floßgraben und Mittelwerte der Freiwasserbeprobungen während der Schwebstoffuntersuchung (rote Punkte)**

Die Größenordnungen und Schwankungsbereiche der dargestellten Kenngrößen passen gut bis sehr gut mit den Analyseergebnissen der Wasserbeprobungen überein. In den LfULG-Gütedaten wurden die Bestimmungsgrenzen für abfiltrierbare Stoffe (10 mg/l) und Aluminium gelöst (10 µg/l) in nahezu allen Fällen unterschritten. Insgesamt weisen die Messdaten keine nennenswerten Besonderheiten auf.

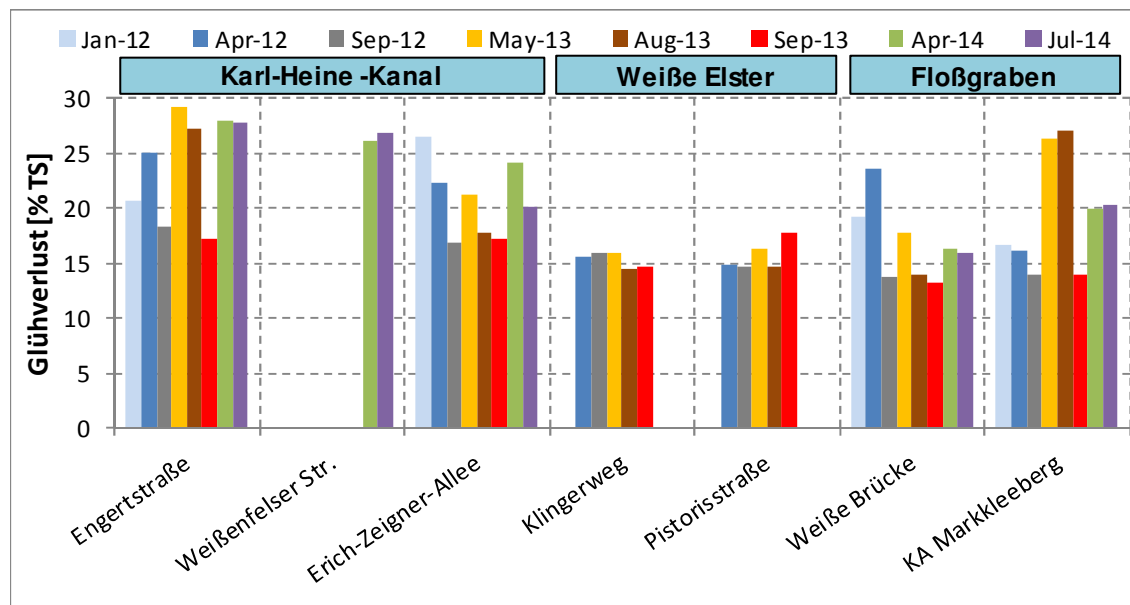
#### **5.2.2 Schwebstoffe**

Neben der Analyse der Wasserproben im Fließgewässer ging es vor allem darum, das gewonnene Schwebstoffmaterial hinsichtlich der partikulär gebundenen Schadstoffe zu untersuchen. Die folgende Abb. 5-7 zeigt die gewonnenen Schwebstoffmengen, die sich bei einer Expositionszeit von 2-3 Tagen ergaben.



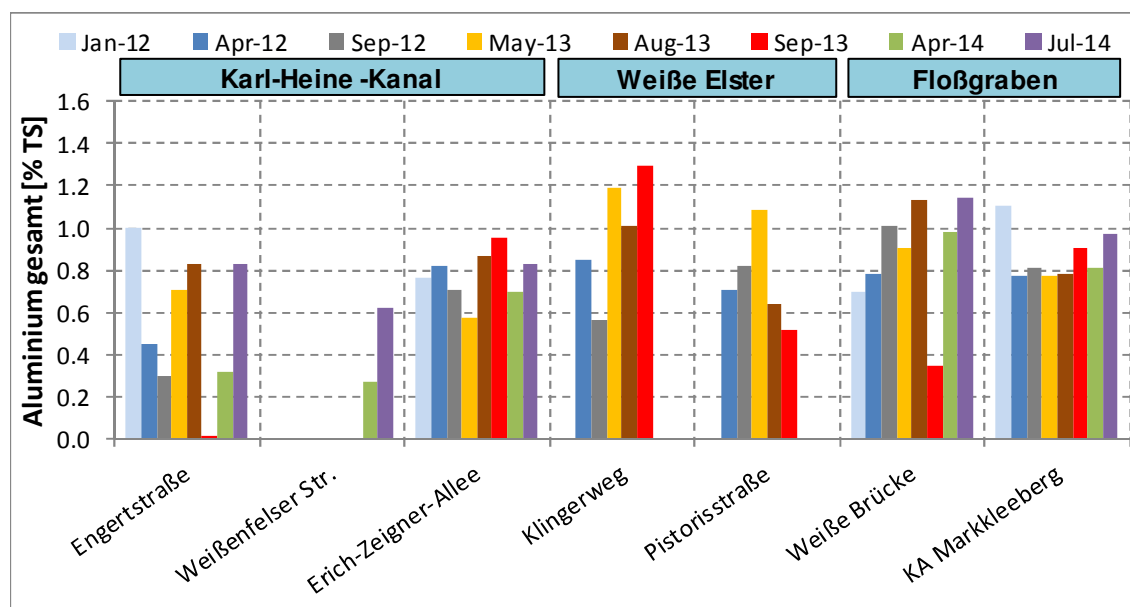
**Abb. 5-7: Masse an Probenmaterial in den Schwebstofffallen 2012-2014**

Die gewonnene Schwebstoffmenge ist wesentlich vom Schwebstoffgehalt (abfiltrierbare Stoffe) des Gewässers sowie von der Strömungsgeschwindigkeit am Messpunkt der Schwebstofffalle abhängig. Bei den meisten Messungen wurden in der Weißen Elster die höchsten Mengen gefangen, während der Karl-Heine-Kanal (vor allem am MP Engertstraße) durch vergleichsweise wenig Probenmaterial gekennzeichnet ist. Der MP Erich-Zeigner-Allee befindet sich durch Rückstau wiederum im Einflussbereich der Weißen Elster. Im Floßgraben kam es bedingt durch Treibgutansammlung an den Schwebstofffallen teilweise zur Reduzierung der Sedimentationsrate. Insgesamt schwanken die Gesamtmengen zwischen den Messpunkten und zwischen den Messterminen stark. Es ist zudem zu berücksichtigen, dass die Expositionszeit im Jahr 2012 rund 2 Tage und in den Jahren 2013 und 2014 rund 3 Tage betrug. Demnach sind die Probenmengen 2013 und 2014 systematisch etwas höher.



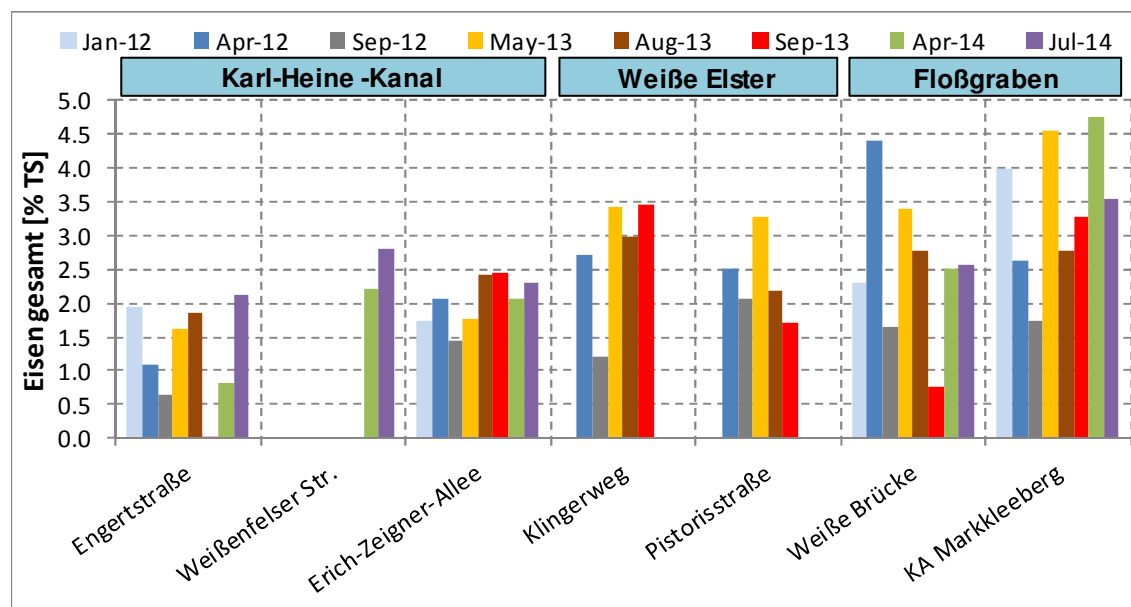
**Abb. 5-8: Glühverlust der Schwebstoffuntersuchungen 2012-2014**

Der Glühverlust (Abb. 5-8) der Proben beträgt teilweise über 15% bis maximal 28% der Trockenmasse. Dies gilt als Hinweis für einen erhöhten organischen Anteil der Schwebstoffe, der i.d.R. besonders durch Algen geprägt ist. Während in der Weißen Elster relativ konstante Werte um 15 % TS gemessen wurden, liegen im Karl-Heine-Kanal und z.T. auch im Floßgraben die Ergebnisse bei 20% TS und darüber. Durch eine langsame Fließgeschwindigkeit und fehlende Beschattung wird das Algenwachstum gefördert.



**Abb. 5-9: Aluminium gesamt der Schwebstoffuntersuchungen 2012-2014**

Der Aluminium-Gehalt (Abb. 5-9) liegt bei fast allen Proben um 1% TS oder darunter. Die auftretenden Schwankungen sind nicht wesentlich. Insgesamt sind die festgestellten Anteile sehr gering.



**Abb. 5-10: Eisen gesamt der Schwebstoffuntersuchungen 2012-2014**

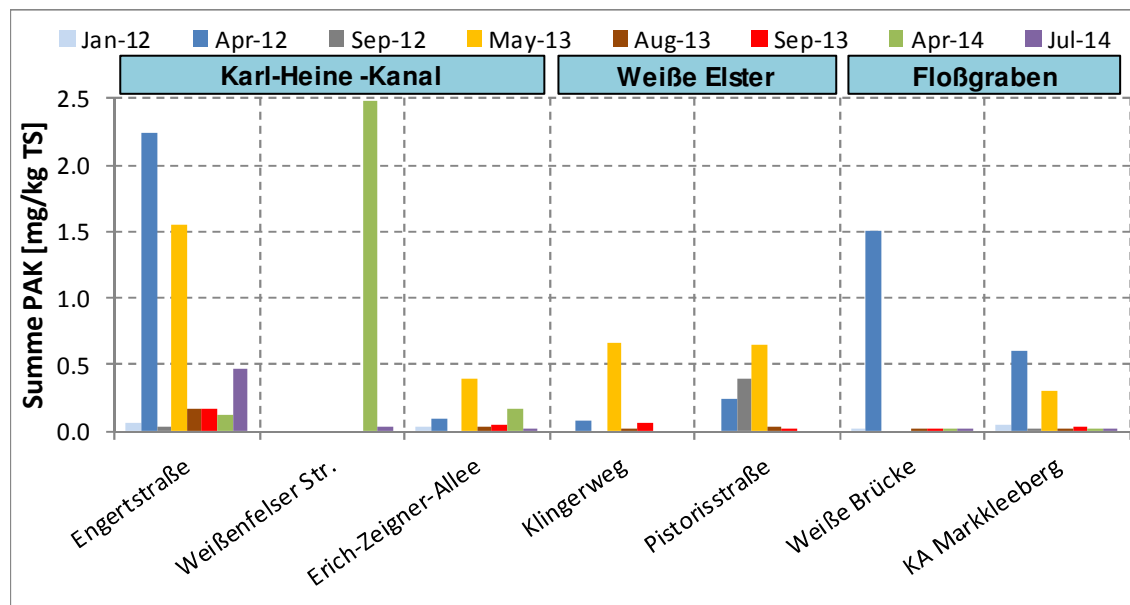
Der Gehalt an Gesamteisen (Abb. 5-10) schwankt zwischen 0,5 bis 4,5 % TS und ist damit insgesamt vergleichsweise niedrig. Die höchsten Werte (über 4 % TS) wurden im Floßgraben gemessen.

**Tab.5-4: Konzentrationen von Gesamteisen und Aluminium (gesamt) in den Schwebstoffen**

Gewässer	Messstelle	Anzahl Messungen	Eisen (gesamt)		Aluminium (gesamt)	
			[% TS]			
			Mittelw.	Std.Abw.	Mittelw.	Std.Abw.
Karl-Heine Kanal	Engertstraße	8	1,26	0,7	0,56	0,3
	Weißenfelser Str.	2	2,50	0,4	0,45	0,3
	Erich-Zeigner-Allee	8	2,03	0,4	0,78	0,1
Weiße Elster	Klingerweg	5	2,76	0,9	0,98	0,3
	Pistorisstraße	5	2,35	0,6	0,75	0,2
Floßgraben	Weiße Brücke	8	2,54	1,1	0,88	0,3
	KA Markkleeberg	8	3,40	1,0	0,86	0,1

Ein wesentliches Ziel des gewässerökologischen Monitorings bestand darin, das Vorkommen partikulär gebundener Schadstoffe in den ausgewählten Fließgewässern des Leipziger Gewässerverbundes zu untersuchen.

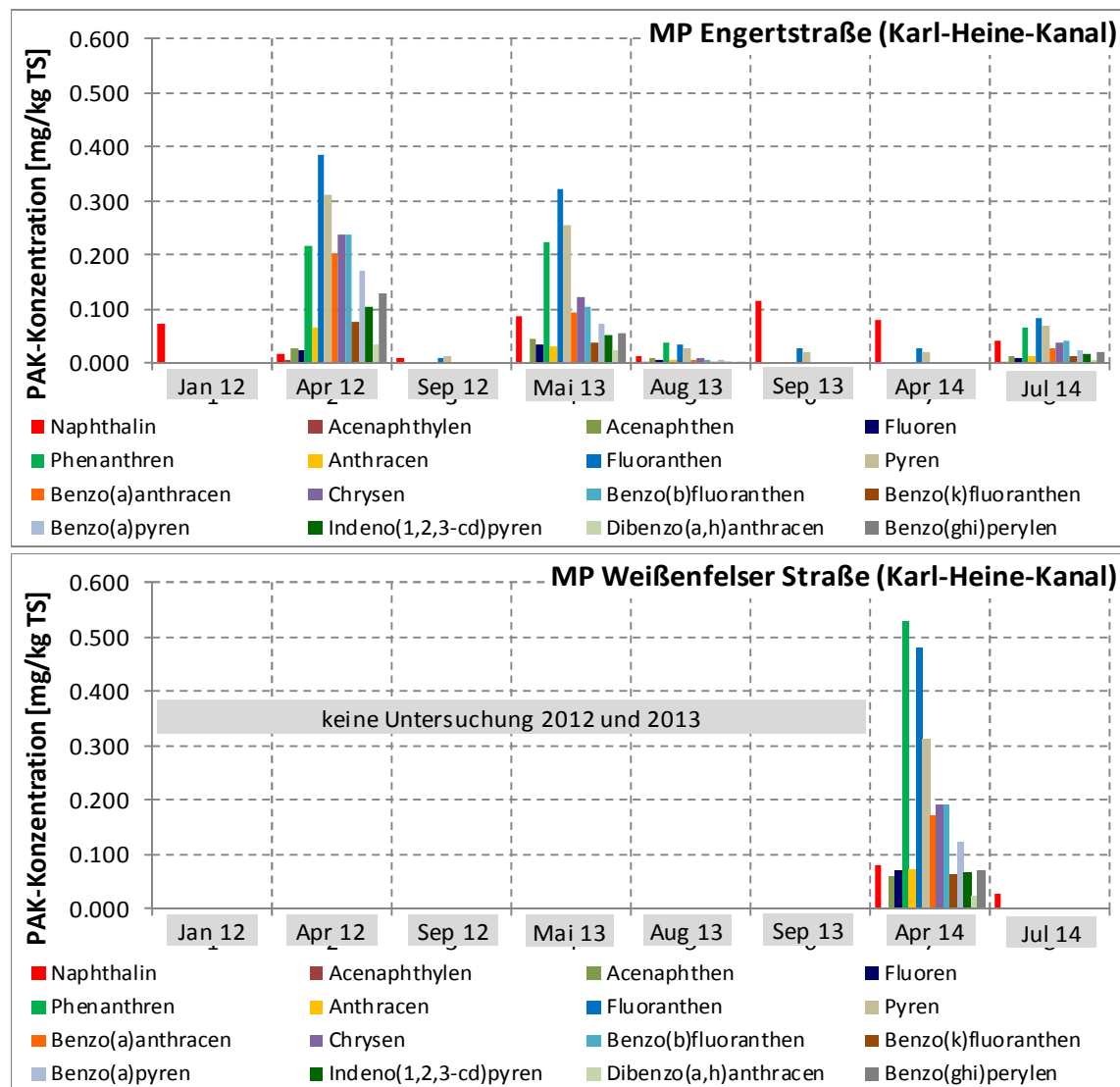
Die Analyseergebnisse zeigten für die leichtflüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffe (BTEX, Aliphaten, Aromaten des Leichtflüchter-Run) keine Befunde. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) wurden in den Schwebstoffen der Fließgewässer immer nachgewiesen (Abb. 5-11).



**Abb. 5-11: Summe der PAK in den Schwebstoffuntersuchungen der Fließgewässer 2012-2014**

Die Summe der 16 PAK-Einzelverbindungen schwankt in den Proben vergleichsweise stark. An 12 von 40 Einzeluntersuchungen wurden Konzentrationen über 0,25 mg/kgTS festgestellt. Konzentrationen größer 1,0 mg/kgTS wurden insgesamt nur 4 mal gemessen. Erhöhte PAK-Gehalte wurden mehrfach im Karl-Heine-Kanal am MP Engertstraße sowie einmalig am MP Weißenfelser Straße mit ca. 2,5 mg/kgTS festgestellt. Auch am Floßgraben (MP Weiße Brücke) wurde einmalig 1,5 mg/kgTS erreicht. Die Messtermine mit erhöhten PAK-Befunden lagen alle im Frühjahr (April, Mai) außerhalb der gewöhnlichen Bootsnutzungssaison. Während der Saison (Juni-September) wurden mit Ausnahme des MP Engertstraße nur äußerst niedrige PAK-Gehalte gemessen.

Im Folgenden werden die 16 PAK-Einzelverbindungen (Verteilungsmuster) aller Analyseergebnisse messstellenbezogen gegenübergestellt. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass aus Darstellungsgründen die Diagrammskalierung teilweise variiert.



**Abb. 5-12 (a,b): PAK-Einzelverbindungen am Karl-Heine-Kanal (MP Engertstraße und MP Weißenfelser Straße)**

Am MP Engertstraße waren die Messungen im April 2012 und Mai 2013 durch erhöhte Belastungen gekennzeichnet. Die Verteilungsmuster beider Proben ähneln sich. Es dominierten ( $\geq 0,2$  mg/kgTS) die Substanzen Phenanthren, Fluoranthren, Pyren sowie bei der Messung 04/2012 auch Benzo(a)anthracen, Chrysen und Benzo(b)fluoranthren. Außerdem wurden mehrfach Naphthalin-Konzentrationen um  $0,1$  mg/kgTS festgestellt. Im Mittel betrug die PAK-Summe  $0,60$  mg/kg TS, wobei 90 % der Werte bei  $<1,76$  mg/kg TS lagen.

Am MP Weißenfelser Straße wurden nur im Jahr 2014 Beprobungen vorgenommen, um die Ergebnisdichte im Karl-Heine-Kanal zu erhöhen. Die im April 2014 festgestellte PAK-Summe von ca.  $2,5$  mg/kgTS entspricht der Maximalsumme aller Schwebstoffuntersuchungen in den Fließgewässern. Es dominieren dabei die gleichen Substanzen wie am MP Engertstraße im April 2012 (besonders Phenanthren und Fluoranthren). Hingegen zeigt die Beprobung im Juli 2014 bis auf einen geringen Naphthalin-Gehalt keine weiteren PAK-Befunde.

Die erhöhten PAK-Belastungen der MP im Karl-Heine-Kanal traten nur im Frühjahr oder nur sporadisch auf und stehen nicht im Zusammenhang mit der Motorbootnutzung.



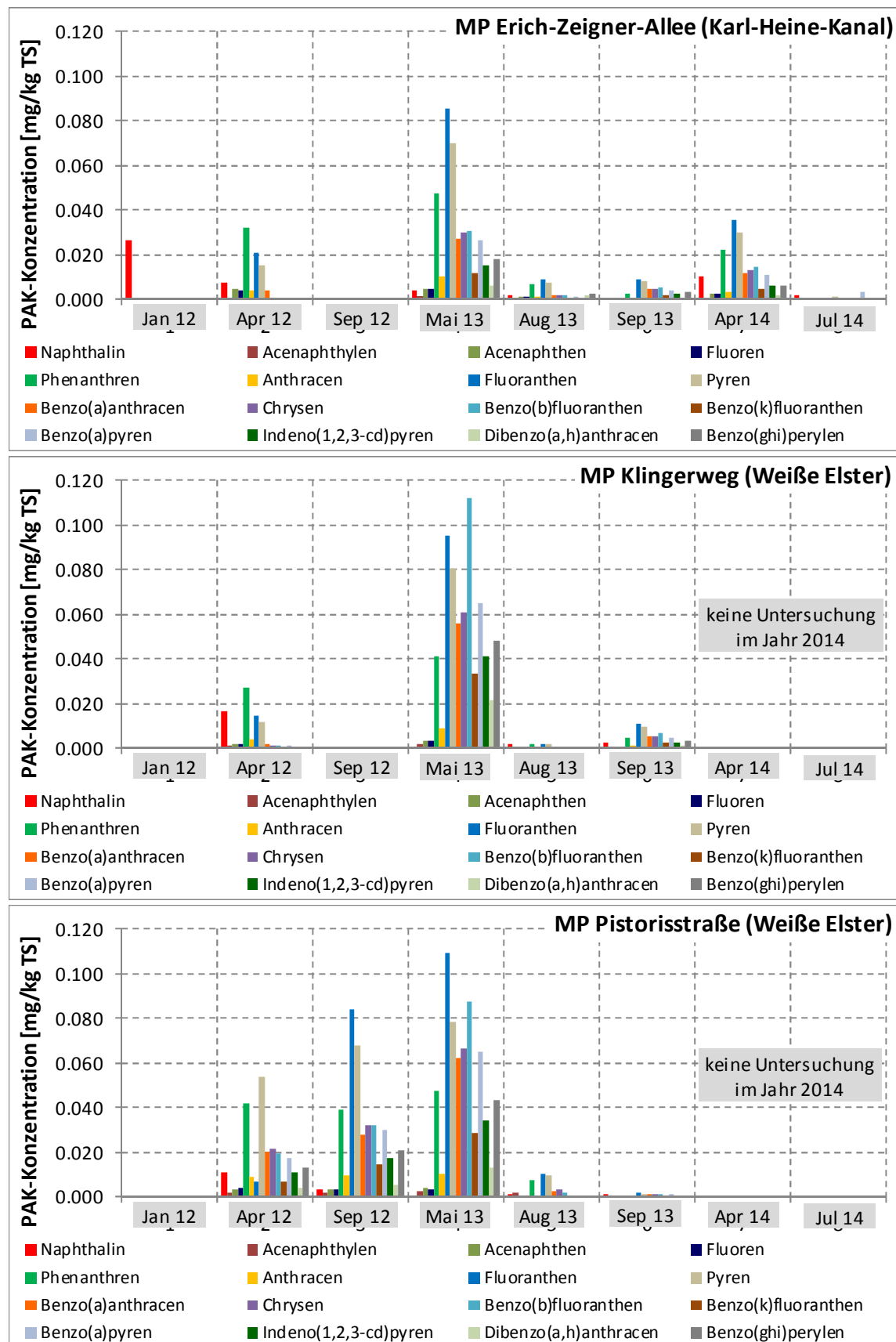


Abb. 5-13 (a,b,c): PAK-Einzelverbindungen am Karl-Heine-Kanal (MP Erich-Zeigner-Allee) und an der Weißen Elster (MP Klingerweg und MP Pistorisstraße)

Die Analyseergebnisse der Beprobungen am MP Erich-Zeigner-Allee (Karl-Heine-Kanal) und an den MP Klingerweg und Pistorisstraße (Weiße Elster) befinden sich z.T. in derselben Größenordnung (siehe Diagrammskalierung).

Am MP Erich-Zeigner-Allee wurden im Vergleich zu den anderen zwei Messstellen im Karl-Heine Kanal die geringsten PAK-Konzentrationen nachgewiesen. Das Verteilungsmuster der Einzelverbindungen ähnelt sehr dem vom MP Engertstraße. Es dominieren die Substanzen Phenanthren, Fluoranthen, Pyren. Im Mittel betrug die PAK-Summe 0,10 mg/kg TS, wobei 90 % der Werte bei <0,24 mg/kg TS lagen. Auch an dieser Messstelle wurden im Mai 2013 erhöhte PAK-Befunde festgestellt.

Am MP Klingerweg wurden PAK-Konzentrationen zwischen der Bestimmungsgrenze und 0,67 mg/kg TS gefunden. Der Mittelwert war mit 0,10 mg/kg TS sehr gering. 90 % aller Werte lagen unter 0,26 mg/kg TS. Der genannte Maximalwert wurde im Mai 2013 festgestellt. Neben den Substanzen Phenanthren, Fluoranthen, Pyren dominierten dabei auch Chrysen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(a)pyren und besonders Benzo(a)anthracen. An den übrigen Beprobungen waren die PAK-Gehalte niedrig bzw. nicht nachweisbar.

Am MP Pistorisstraße wurden an 3 von 6 Beprobungen PAK-Konzentrationen nachgewiesen. Im Mai 2013 wurden PAK in der gleichen Konzentration und Zusammensetzung festgestellt wie am MP Klingerweg. Im Mittel betrug die PAK-Summe 0,17 mg/kg TS, wobei 90 % der Werte bei <0,47 mg/kg TS lagen.

Die erhöhten PAK-Belastungen der hier genannten MP treten nur im Frühjahr oder nur sporadisch auf und stehen nicht im Zusammenhang mit der Motorbootnutzung.

#### Floßgraben

Am MP Weiße Brücke wurden nur einmalig (04/2012) deutliche PAK-Befunde festgestellt (Summe: 1,5 mg/kg TS). Dabei dominierten wie am MP Engertstraße (04/2012) die Substanzen Phenanthren, Fluoranthen, Pyren sowie auch Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthen und Benzo(a)pyren. Den größten Anteil nahm Fluoranthen mit 0,32 mg/kgTS ein. Bei allen anderen Messungen wurden PAK-Summen zwischen <0,002 und 0,02 mg/kg TS festgestellt.

Am MP Markkleeberg KA wurden an 2 von 8 Untersuchungsterminen geringfügige PAK-Befunde von 0,30 bzw. 0,60 mg/kg TS festgestellt (siehe Abb. 5-11). In beiden Beprobungen (04/2012 und 05/2013) dominierte die Substanz Fluoranthen mit Konzentrationen von 0,11 und 0,07 mg/kgTS. Zu zwei Terminen konnten außer Spuren von Naphthalin keine PAK nachgewiesen werden. Alle anderen Werte lagen zwischen 0,006 und 0,047 mg/kg TS.

Die erhöhten PAK-Belastungen der MP im Floßgraben treten nur im Frühjahr und nur selten auf und stehen nicht im Zusammenhang mit der Motorbootnutzung.

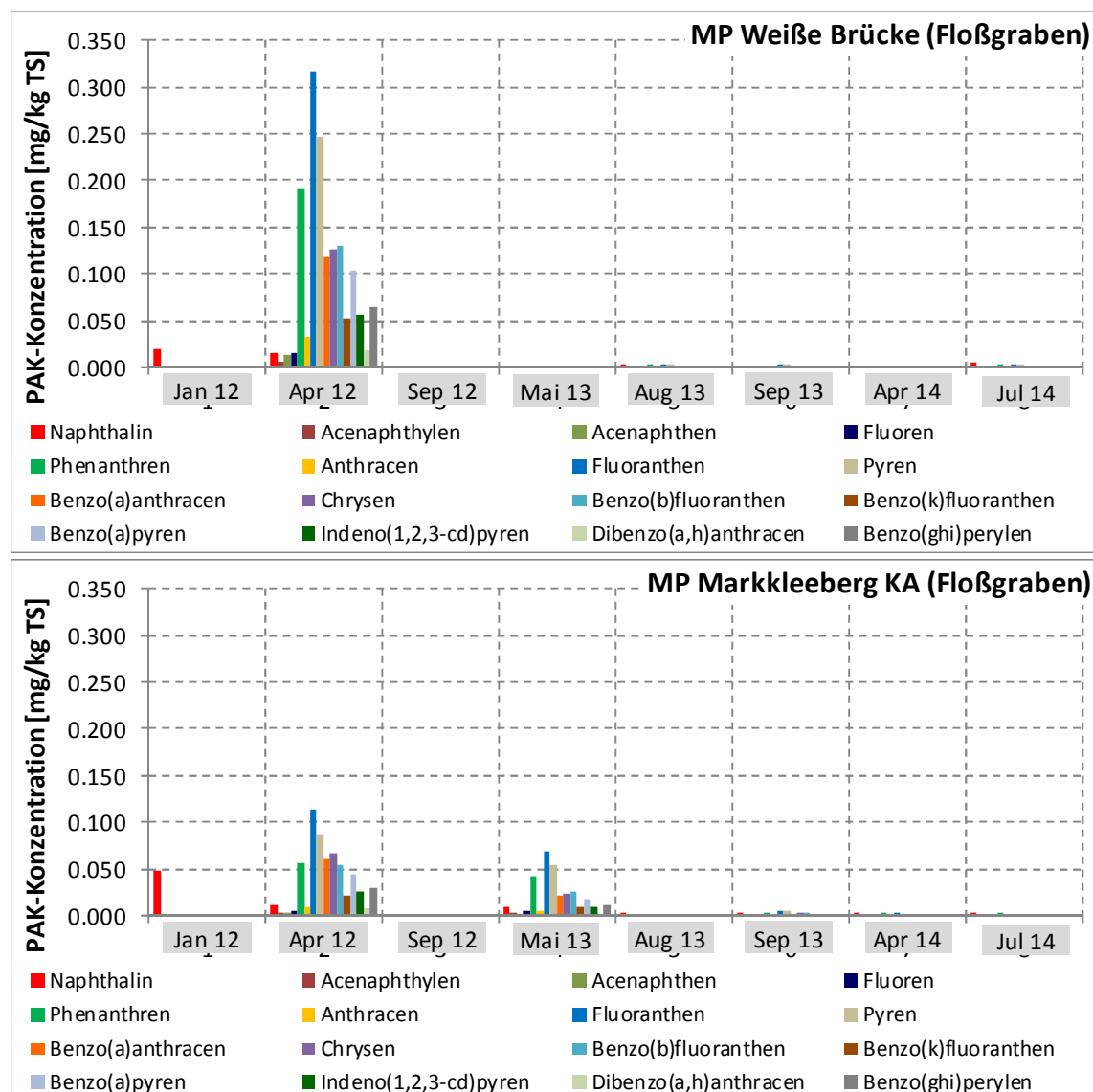


Abb. 5-14: PAK-Einzelverbindungen am Floßgraben (MP Weiße Brücke und MP Markkleeberg KA)

### 5.3 Zusammenfassung und Bewertung der Schwebstoffuntersuchungen

#### 5.3.1 Bewertung hinsichtlich der Umweltqualitätsziele

Die Analyseergebnisse der Schwebstoffuntersuchungen in den ausgewählten Fließgewässern zeigten keine Befunde für die Schadstoffgruppe der BTEX sowie MKW-typische Aliphaten und Aromaten.

PAK konnten fast immer, aber auf niedrigem Konzentrationsniveau, nachgewiesen werden. Dabei traten sehr hohen Schwankungen auf, deren Ursachen hier nicht näher untersucht werden konnten. Zur Verdeutlichung der Relationen wurden die messstellenspezifischen statistischen Größen in Tab.5-5 zusammengestellt. Die mittleren PAK-Konzentrationen (Tab.5-5) sind im Karl-Heine-Kanal (Engertstraße 0,60 mg/kgTS und Weißenfelder Straße 0,31 mg/kg TS) am höchsten. In der Weißen Elster ist der mittlere PAK-Gehalt der Schwebstoffe beider Messstellen mit 0,10-0,17 mg/kg TS noch geringer. Im Floßgraben

wurden nur sehr vereinzelt nennenswerte PAK-Befunde nachgewiesen, wobei die Mittelwerte beider Messstellen mit 0,13 bzw. 0,20 mg/kg TS sogar etwas oberhalb der Konzentration in der Weißen Elster lagen. Die Standardabweichung (betrifft besonders die Messstelle Weiße Brücke) ist entsprechend hoch.

Als relativ gut übereinstimmend zeigte sich die Zusammensetzung bezüglich der PAK-Einzelverbindungen: Den höchsten Anteil nahm für alle Messstellen Flouranthen mit 17-21 % der PAK-Summe ein. Die Anteile von Phenanthren und Pyren schwankten jeweils zwischen 12 und 19 %. Daran lassen sich keine deutlichen Unterschiede potentieller Belastungsquellen erkennen. Vielmehr zeigt der Vergleich mit den Ergebnissen für die Schwebstoffe aus den Tagebauseen, dass diese Zusammensetzung sehr ähnlich ist und somit ebenfalls überwiegend als anthropogen bedingte Hintergrundbelastung anzusehen ist. Motorboot-spezifische Einflüsse können auch durch diese Auswertung ausgeschlossen werden.

**Tab.5-5: Statistische Auswertung der PAK-Konzentrationen (Summe 16 EPA-PAKs) der Schwebstoffproben für die untersuchten Fließgewässer**

Gewässer	Messstelle	Mittelwert	Min	Max	Std.abw.	90-Perc.
		[mg/kg TS]				
Karl-Heine-Kanal	Engertstraße	0,60	0,030	2,24	0,78	1,76
	Weißenfeler Straße	0,31	BG	2,48	0,82	0,76
	Erich-Zeigner-Allee	0,10	BG	0,39	0,12	0,24
Weiße Elster	Klingerweg	0,10	BG	0,67	0,22	0,26
	Pistorisstraße	0,17	BG	0,65	0,23	0,47
Floßgraben	Weiße Brücke	0,20	BG	1,51	0,50	0,47
	KA Markkleeberg	0,13	BG	0,60	0,20	0,39

**Tab. 5-6: Prozentuale Anteile der PAK-Einzelverbindungen – Vergleich der Messstellen (Mittelwerte aller Einzelmessungen)**

	Karl-Heine-Kanal			Weiße Elster		Floßgraben	
	Engert- straße	Weißenfeler Straße*	Erich- Zeigner- Allee	Klinger- weg	Pistoris- straße	Weiße Brücke	KA Markklee- berg
Phenanthren	15	21	16	16	12	15	19
Fluoranthren	21	19	21	18	17	19	17
Pyren	17	12	17	15	18	15	13
Benzo(b)fluoranthren	7	8	8	8	10	8	8
Benzo(a)pyren	5	5	15	6	8	7	6
Chrysen	8	8	8	6	9	7	8
Benzo(ghi)perylene	4	3	5	5	6	4	4

\* nur 1 Messung vorhanden

Die detaillierte Bewertung der Untersuchungsergebnisse wird erschwert durch fehlende Richtwerte bzw. Grenzwerte für Schwebstoffe oder Sedimente. Anhaltspunkte bieten lediglich die von der FGG Elbe ausgewiesenen unteren und oberen Schwellenwerte für partikulär gebundene Schadstoffe (Schwebstoffe und Sedimente) in Oberflächengewässern des Sedimentmanagementkonzeptes [7].

Die geltenden Umweltqualitätsziele wurden aus dem Sedimentmanagementkonzept der Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe, 11/2013 [7]) übernommen (vgl. Kap. 4.5.2). Die Auswahl der im Einzugsgebiet der Elbe relevanten Schadstoffe basiert auf dem ersten Bewirtschaftungsansatz gemäß EG-WRRL. Die entsprechenden Schwellenwerte sind in Tab.4-11 aufgeführt.

Gegenüber den in Kap. 4.5.2 genannten Umweltqualitätszielen sind die Ergebnisse wie folgt zu bewerten:

- $\Sigma$  PAK 5 (USW=0,6 und OSW=2,5 mg/kgTS):  
einmalige Überschreitung des USW mit 0,72 mg/kgTS am MP Engertstraße bei der Untersuchung 04/2012, keine Überschreitung OSW
- Fluoranthen (USW/OSW = 0,18 mg/kgTS):  
mehrfache Überschreitung in Karl-Heine-Kanal (bis 0,48 mg/kgTS) und im Floßgraben (0,32 mg/kgTS)
- Anthracen (USW=0,03 und OSW=0,31 mg/kgTS):  
mehrfache Überschreitung des USW, keine Überschreitung OSW
- Benzo(a)pyren (USW=0,01 und OSW=0,60 mg/kgTS):  
mehrfache Überschreitung des USW, keine Überschreitung OSW

Die festgestellten UQZ-Überschreitungen stellen keine Belastungssituationen dar, aus denen unmittelbarer Handlungsbedarf resultiert. Die angesetzten UQZ gelten für Sedimente und Schwebstoffe gleichermaßen. Eine separate Einstufung, die nur für Schwebstoffe gilt, ist gegenwärtig beim Gesetzgeber bzw. den Umweltbehörden nicht verfügbar.

### 5.3.2 Zustandsbewertung nach WRRL

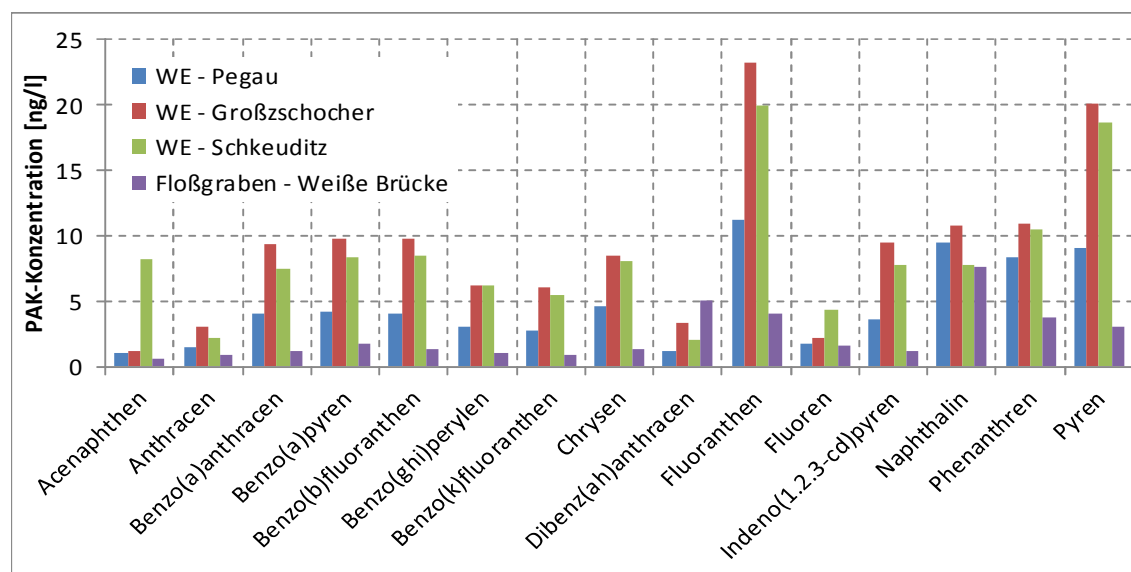
Um einen Vergleich der erhobenen Daten mit den langjährigen Messreihen der amtlichen Gewässerüberwachung zu ermöglichen, wurden die Wassergütedaten des LfULG ausgewertet. Sie ermöglichen die Zustandsbewertung der Wasserkörper nach WRRL unter der Voraussetzung, dass die hier untersuchten Schadstoffgruppen (MKW, BTEX, PAK) im Messprogramm enthalten waren. Für die Weiße Elster und den Floßgraben stehen für PAK entsprechende Messdaten für Wasserproben zur Verfügung (Abb. 5-15).

Zudem ist die Summe der PAK-Einzelverbindungen (entspricht der PAK-Gesamtkonzentration) in der folgenden Tabelle für die vier betrachteten Güte-Messstellen des LfULG dargestellt.

**Tab.5-7: PAK-Gesamtkonzentration in der Weißen Elster und im Floßgraben  
(Datenbasis: LfULG, Zeitraum: 2009-2013)**

Summe PAK [ng/l]	Weiße Elster			Floßgraben
	OBF50400	OBF50600	OBF50800	OBF53780
	Pegau	Großzschocher	Schkeuditz	Weißer Brücke
	70,6	134,1	125,5	35,6

Im Vergleich zwischen MS Pegau und MS. Weiße Brücke fällt auf, dass die Vorbelastung der Weißen Elster mit 70 ng/l etwa doppelt so hoch ist wie im Floßgraben mit 35 ng/l. Eine deutlich erhöhte Konzentration zeigen die Messstellen Großzschocher (134 ng/l) und Schkeuditz (126 ng/l).



**Abb. 5-15: Mittlere PAK-Konzentration (ng/l) der Weißen Elster und im Floßgraben  
(Datenbasis: LfULG, 2009-2013)**

Gemäß EG-WRRL gelten seit 08/2013 die folgenden Umweltqualitätsnormen für prioritäre Stoffe (nur Auswahl für PAK):

**Tab.5-8: Umweltqualitätsnormen für ausgewählte prioritäre Stoffe gemäß WRRL und Messwerte der Gewässergüte der Weißen Elster und des Floßgrabens als Mittelwert aus den Jahren 2009-2013 (alle Angaben in ng/l)**

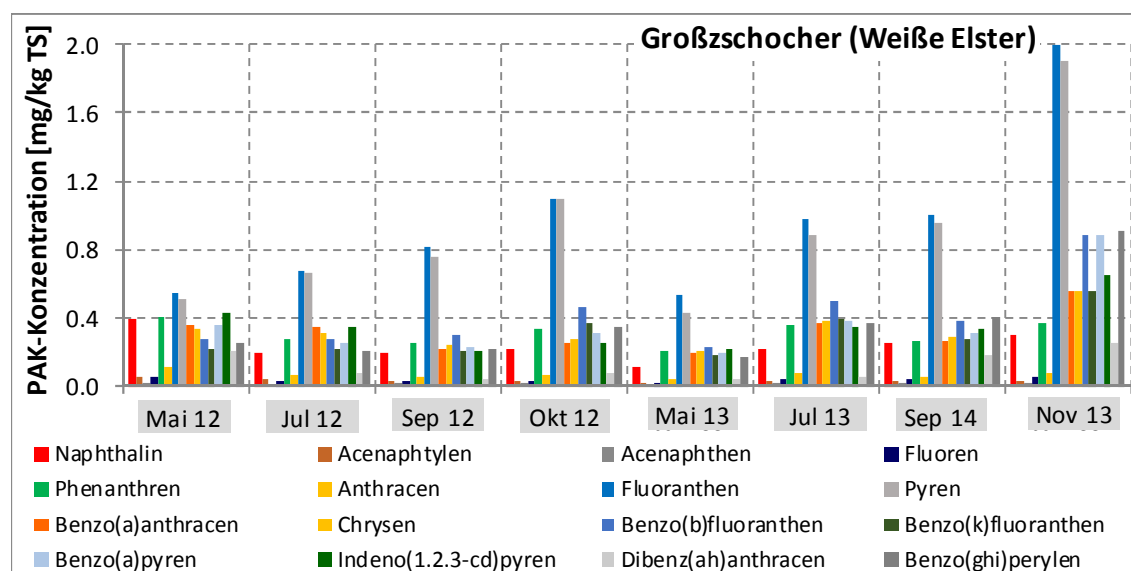
Substanz	Anthracen	Fluoranthren	Naphthalin	Benzo(a)pyren
<b>Zuläss. Jahresdurchschnitt [ng/l]</b>	100	6,3	2000	0,17
Messstellen	Messwerte			
Weiße Elster – Pegau [ng/l]	1,5	11,3	9,6	4,2
Weiße Elster – Großzschocher [ng/l]	3,0	23,3	10,7	9,8
Weiße Elster – Schkeuditz [ng/l]	2,2	20,0	7,8	8,4
Floßgraben – Weiße B. [ng/l]	0,9	4,1	7,7	1,8

Die UQN für Fluoranthene werden in der Weißen Elster überschritten. Die UQN für Benzo(a)pyren werden in der Weißen Elster und im Floßgraben überschritten. Die übrigen Parameter zeigen keine Überschreitung der UQN.

### 5.3.3 Vergleich mit Schwebstoff-/Sedimentuntersuchungen des LfULG

Zur Bewertung der Ergebnisse wurden zunächst Vergleiche mit den Messwerten der routinemäßigen Sediment- und Schwebstoffuntersuchungen des LfULG durchgeführt.

Das LfULG führte in den Jahren 2012 und 2013 Sedimentuntersuchungen an der Messstelle Großzschocher (OBF50600) an der Weißen Elster durch, wobei u.a. auch PAK analysiert wurden. Die Probenahme erfolgte mit einem Sedimentsauger und für die Analytik wurde die Korngrößen-Fraktion < 0,063 mm einbezogen. Die festgestellten PAK-Konzentrationen und Verteilungsmuster der 16 PAK-Einzelverbindungen zu den 8 durchgeführten Beprobungen sind in Abb. 5-16 dargestellt.



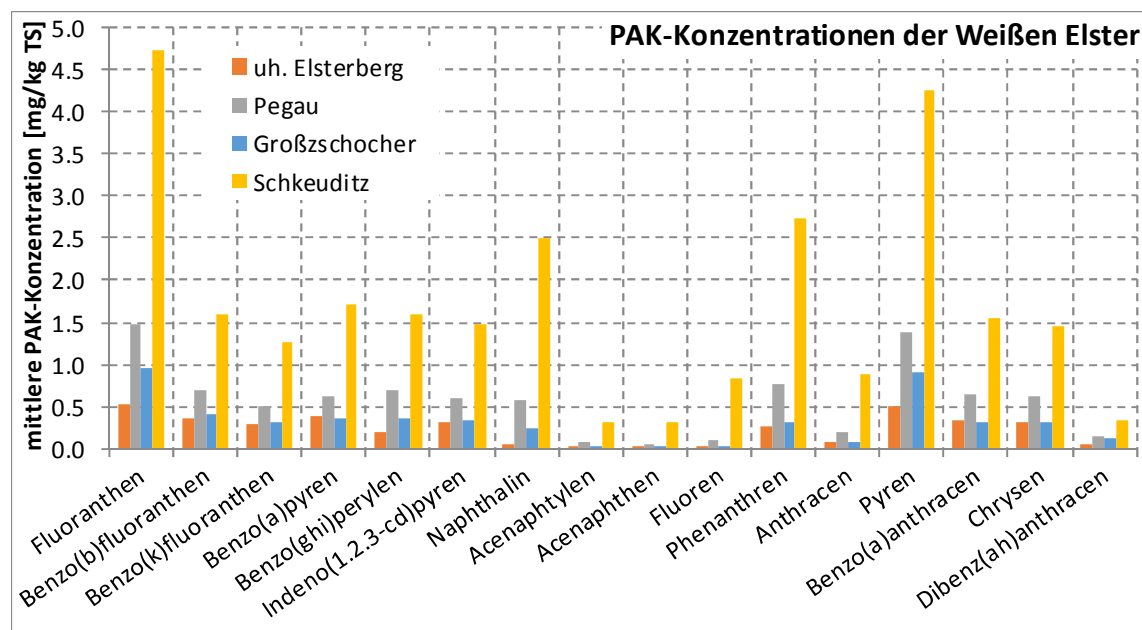
**Abb. 5-16: PAK-Konzentrationen des LfULG-Monitorings an der Messstelle Großzschocher in der Weißen Elster für die Korngrößenfraktion < 0,063 mm (Datenbasis: LfULG Sachsen)**

Das dargestellte Konzentrationsniveau der PAK ist gegenüber den PAK-Befunden der Schwebstoffuntersuchungen im gewässerökologischen Monitoring höher. Während im vorliegenden Monitoring maximale Werte um 0,1 mg/kgTS in der Weißen Elster festgestellt wurden, liegen die LfULG-Messwerte meist im Bereich zwischen 0,3-0,5 mg/kgTS mit Ausnahme von Fluoranthene und Pyren, deren Konzentrationsniveau deutlich über dem der übrigen Verbindungen liegt. Die Unterschiede der Messergebnisse sind zunächst durch die Probenahmemethode bedingt, da Schadstoffe im Sediment häufig höher angereichert vorliegen als im aktuellen Schwebstoff der fließenden Welle. Zudem führt die Abtrennung der Fraktion < 0,063 mm zu einer weiteren Erhöhung der Schadstoffkonzentration, da sich PAK vorzugsweise an sehr kleine Partikel binden. Im vorliegenden Monitoring wurde die Gesamtprobe aufgearbeitet. Das Spektrum der gefundenen PAK-Verbindungen in der Weißen Elster (vgl. Abb. 5-13) wird durch die LfULG-Messdaten bestätigt. Demnach treten aus der Gesamtheit der 16 PAK-Verbindungen (gemäß EPA) die Stoffe Acenaphthylen,



Acenaphthen, Fluoren, Anthracen und z.T. Dibenzo(ah)anthracen nur in kaum nachweisbarer Größenordnung auf.

Die Datenauswertung erfolgte weiterhin für die Messstellen uh. Elsterberg (OBF50300), Pegau (OBF50400) und Schkeuditz (OBF50800), die sich im Längsverlauf der Weißen Elster befinden. Über die durchgeführten Messkampagnen wurde pro Messstelle und PAK-Einzelverbindung jeweils der Mittelwert errechnet. Die eingegangenen Proben wurden mittels Sedimentsauger und teilweise mittels Schwebstoffsammelkiste (über Gewässersohle) gewonnen. In der Auswertung zeigte sich, dass die PAK-Gehalte der Analysen aus den Sedimentsaugern rund 20-30% höher liegen als aus den Sammelkisten. Die Verteilung der Einzelsubstanzen ist aber etwa vergleichbar. Für die Auswertung in Abb. 5-17 sind Analyseergebnisse beider Probenahmemethoden eingegangen.



**Abb. 5-17: Mittlere PAK-Konzentrationen in den Schwebstoff- und Sedimentanalysen (Beprobung mit Schwebstoffsammelkiste und Sedimentsauger) unterschiedlicher Messstellen der Weißen Elster in Sachsen (Datenbasis: LfULG, 2010-2013)**

Die mittleren PAK-Konzentrationen der 4 Messstellen der Weißen Elster unterscheiden sich deutlich. Die geringste Belastung wurde uh. Elsterberg festgestellt. Die mittlere PAK-Summe beträgt dort 3,8 mg/kgTS. In Pegau wurden deutliche höhere Werte gemessen, besonders Fluoranthen und Pyren treten mit Befunden um 1,5 mg/kgTS hervor. Die mittlere PAK-Summe beträgt in Pegau 9,2 mg/kgTS. Die Befunde in Großzschocher ähneln der Belastung bei Pegau, wobei die Konzentrationen etwas niedriger liegen. Die PAK-Summe beträgt im Mittel ca. 5,1 mg/kgTS. Die mit Abstand stärkste PAK-Belastung wurde bei Schkeuditz festgestellt, wo die anthropogene Beeinflussung im Abstrom des Großraumes Leipzig zum Tragen kommt. Neben Fluoranthen und Pyren treten auch Naphthalin und Phenanthren stärker hervor. Die mittlere PAK-Summe bei Schkeuditz beträgt 27,5 mg/kgTS und ist damit rund 5-fach höher als bei Großzschocher. Die Analyseergebnisse schwanken z.T. stark. Die Auswertung der Analysedaten zeigt, dass stromoberhalb von Leipzig (Messstelle Pegau) bereits PAK-Befunde vorliegen, die fast doppelt so hoch sind wie im südlichen Stadtbereich von Leipzig (Großzschocher). Die Messstelle Pegau befindet sich nicht im Einflussbereich

von Motorbootnutzungen und urbanen Belastungen. Der Schadstoffeintrag aus der Luft (z.B. über nahe gelegene Kraftwerke) kommt dennoch zum Tragen, ist aber im Hinblick auf die Wassergütedaten hier nicht weiter bilanzierbar.

### 5.3.4 Intensität der Motorbootnutzung auf den ausgewählten Fließgewässern

Für die Einschätzung zum Zusammenhang der PAK-Belastung mit der Motorbootnutzung ist außerdem zu berücksichtigen, ob und wie intensiv der Bootsverkehr (mit Verbrennungsmotoren) im Bereich der verwendeten Messstellen bzw. der Vergleichsgewässer stattfindet.

Die wassertouristische Nutzung im Gewässerverbund Leipziger Neuseenland wurde im Rahmen eines Monitorings 2009 bis 2011 im Auftrag der Stadt Leipzig untersucht (BGMR, 2011 [1]). Ziel des Monitorings war die Erfassung von Nutzungsspitzen, um die maximalen Belastungen zu charakterisieren. In der Nähe der verwendeten Messstellen der Schwebstoffuntersuchungen wurden die folgenden Nutzungsintensitäten für motorbetriebene Boote festgestellt (Tab.5-9):

**Tab.5-9: Anzahl Bootsbewegungen ausgewählter Gewässer in Leipzig (Datenbasis: BGMR, 11/2011)**

Abschnitt		1.Zählung 09/2009	2.Zählung 05/2010	3.Zählung 07/2010	4.Zählung 06/2011	5.Zählung 09/2011
Z4	Floßgraben <sup>1</sup>	3	2	2	3	8
Z6	Karl-Heine-Kanal <sup>2</sup>	79	0	86	91	64
	Stadelster Pistorissteig – Karl-Heine-Kanal	73	92	61	83	49
	Stadelster Karl-Heine- Kanal - Elsterflutbett	97	92	86	98	60

<sup>1</sup>...Mündungsbereich des Floßgrabens in die Pleiße

<sup>2</sup>...Nonnenbrücke am Karl-Heine-Kanal

Aufgrund der geltenden naturschutzbedingten Einschränkungen für die Motorbootnutzung im Floßgraben wurden in diesem Gewässer kaum (< 10) motorbetriebene Bootsnutzungen erfasst. Hingegen wurden im Mündungsbereich des Karl-Heine-Kanals sowie auf der Stadelster zwischen Pistorissteig und Elsterflutbett teilweise ca. 100 motorbetriebene Bootsnutzungen pro Tag beobachtet. Demnach findet die Bootsnutzung auf diesen Gewässerabschnitten gegenüber dem Floßgraben relativ intensiv während der gesamten Saison statt (die Bootszählungen erfolgten innerhalb der typischen Nutzungsaison zwischen Mai und September). Eine prognostische Schätzung geht von einer Zunahme auf ca. 200 Motorboote (als Bootsbewegung) für die Stadelster/Karl-Heine-Kanal aus.

In Gegenüberstellung mit den Schadstoffbefunden der Schwebstoffuntersuchungen in den Fließgewässern (Kap. 5.2.2) ist kein Zusammenhang zwischen Nutzungsintensität und PAK-Belastung festzustellen. Die erhöhten PAK-Befunde außerhalb der Nutzungsaison sprechen eher für andere Belastungsquellen. Selbst bei intensivster Bootsnutzung (über ein Wochenende in der Hauptsaison) zeigen die Analyseergebnisse der Schwebstoffuntersuchungen mehrfach nur geringe oder keine PAK-Belastungen.

Um eine Abschätzung der durch Motorboote in die Fließgewässer eingetragenen Schadstoffemissionen zu erhalten, müssen unter Berücksichtigung der Beobachtungswerte (Tab.5-9) sinnvolle Annahmen getroffen werden.

### **5.3.5 Vergleich mit Schwebstoffuntersuchung hessischer Gewässer**

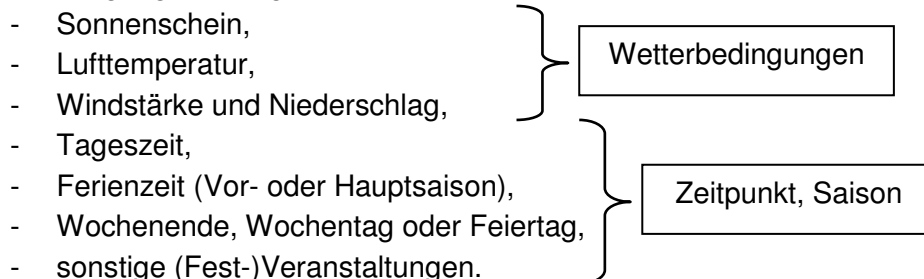
Um die Untersuchungsergebnisse vergleichen zu können mit Ergebnissen aus anderen Fließgewässern urban geprägter Gebiete, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt (Anlage 3). Die wesentlichsten Ergebnisse werden hier angeführt.

Im Rahmen einer landesweiten Untersuchung auf organische Spurenverunreinigungen in Hessen wurden an ausgewählten Fließgewässern PAK-Gehalte in den Schwebstoffen analysiert (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 1996-2003 [9]). Die Untersuchung diente zur Zustandsbewertung der Gewässergüte ohne konkrete Berücksichtigung/Auswertung der bestehenden PAK-Einträge (vgl. Kap. 4.5.1 und Tab.4-10). Inwiefern die aufgeführten Gewässer bzw. Messstellen durch anthropogene Nutzungen geprägt sind (Einleitungen, urbanes Umfeld, Schiffs-/Bootsverkehr), konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht bestimmt werden. PAK-Gehalte in der Größenordnung von 2,0...2,5 mg/kg TS, was den maximalen Belastungen des Leipziger Gewässermonitorings entspricht (vgl. Abb. 4-5), wurden in den ausgewählten Gewässern Hessens nur selten gefunden. In fast allen Fällen wurden (teils deutlich) höhere Belastungen festgestellt. Gegenüber diesen Ergebnissen sind die PAK-Befunde in den Leipziger Gewässern vergleichsweise niedrig.

## 6 Nutzungsmonitoring und Emissions-/Immissionsbewertung für den Cospudener See

### 6.1 Ergebnisse der Bootszählungen 2012 bis 2014

Die Intensität der Bootsnutzung auf einem See wird von folgenden nutzungsbezogenen Randbedingungen maßgeblich beeinflusst:



Unter Berücksichtigung dieser wesentlichen Faktoren wurden 2012 und 2014 die folgenden Termine als geeignete Stichtage für die Bootszählung gewählt. Dabei ist anzumerken, dass die Wetterbedingungen zum Zeitpunkt der Arbeitsplanung nur bedingt eingeschätzt bzw. berücksichtigt werden können.

Im Jahr 2012 wurde die Erfassungsmethodik erprobt und im Anschluss für die Folgejahre weiterentwickelt. Die Ergebnisse 2012 sind entsprechend etwas weniger umfangreich als in den Folgejahren. Die Betriebszeiten der Motoren wurden zu den Bootszählungen 2013 und 2014 erfasst.

**Tab. 6-1: Stichtage der Bootszählungen 2012 mit zugehörigen Randbedingungen und der beobachteten Anzahl der Boote mit Verbrennungsmotor**

Nutzungsmonitoring Cospudener See: Übersicht Bootszählungen 2012			
Zählung Nr.		1	2
Datum		21.08.2012	26.08.2012
Wochentag		Dienstag	Sonntag
Wetterbedingungen (Datenbasis: DWD, Station Leipzig/Halle)			
Lufttemp. maximal	°C	30	22
Niederschlagshöhe	mm	0	0,2
Windstärke (durchschn.)	bft	2	4
Anzahl beobachteter Boote mit Verbrennungsmotor (Mittelwert / Maximalwert)			
Segelboote (Kat. 3)	-	2,8 / 6	2,6 / 7
Motorboote (Kat. 4)		1,6 / 3	0,8 / 2
Fahrgastschiffe (Kat. 5)		0,5 / 1	0,6 / 1
Anzahl <b>Einfahrten</b> ODER <b>Ausfahrten</b> am Hafen Zöbiger (nur Kat. 3) <sup>1</sup>		25	18

<sup>1</sup>...am Westanleger und am Südufer wurde kein Bootsverkehr der Kat. 3 festgestellt

Die 2012 beobachtete Bootsanzahl ist mit der Nutzungsintensität der Folgejahre vergleichbar. An beiden Terminen waren im Mittel 2,8 bzw. 2,6 Segelboote mit Hilfsmotor auf dem See, wobei die niedrigere Anzahl der Ein-/Ausfahrten am Hafen Zöbiger am

26.08.2012 darauf hindeutet, dass die Segelboote an diesem Tag über längere Zeiten ohne anzulegen auf dem See verkehrten. Die erhöhte Windstärke bot an diesem Tag gute Segelbedingungen.

**Tab.6-2: Stichtage der Bootszählungen 2013 mit zugehörigen Randbedingungen und der beobachteten Einsatzdauer von Verbrennungsmotoren**

Nutzungsmonitoring Cospudener See: Übersicht Bootszählungen 2013						
Zählung Nr.		1	2	3	4	5
Datum		08.07.2013	20.07.2013	03.08.2013	17.08.2013	11.09.2013
Wochentag		Montag	Samstag	Samstag	Samstag	Mittwoch
Wetterbedingungen (Datenbasis: Universität Leipzig, Leipziger Institut für Meteorologie (LIM))						
Lufttemp. maximal	°C	27°C	28°C	33°C	28°C	13°C
Sonnenscheindauer	h	14,5	7,3	11,8	8,6	0
Niederschlagshöhe	mm	0	0	0	0	3,1
Windstärke (durchschn.)	bft	immer Windstärke 2 (leichte Brise)				
Summe Einsatzdauer Verbrennungsmotor						
Segelboote (Kat. 3)	h	5,6	6,5	12,4	10,9	0,5
Motorboote (Kat. 4)		3,8	5,1	5,3	8,0	0,0
Fahrgastschiffe (Kat. 5)		5,0	8,2	6,0	6,8	3,5
SUMME d. Einsatzdauer		14,3	19,8	23,7	25,7	4,0
Anzahl <b>Einfahrten</b> ODER <b>Ausfahrten</b> am Hafen Zöbiger (nur Kat. 3) <sup>1</sup>	-	23	31	55	45	3
<b>mittl. Dauer</b> pro Einfahrt ODER Ausfahrt (nur Kat. 3) <sup>1</sup>	min	15	13	14	14	11

<sup>1</sup>...am Westanleger und am Südufer wurde kein Bootsverkehr der Kat. 3 festgestellt

Die Bootszählungen auf dem Cospudener See erfolgten viermal während der sommerlichen Hochsaison, davon einmal wochentags und dreimal an Wochenenden. Die entsprechenden Stichtage waren durch günstige Randbedingungen für Bootsnutzer geprägt, d.h. angenehme/hohe Lufttemperaturen (über 25 °C), lange Sonnenscheindauer, kein Niederschlag, leichter Wind, z.T. Ferienzeit. Diese Termine wurden gezielt gewählt, um eine möglichst intensive Bootsnutzung zu erfassen. Die Angaben zur Einsatzdauer der Verbrennungsmotoren der Bootskategorien 3 bis 5 bestätigen die intensive Nutzung. In den Bootskategorien mit Verbrennungsmotoren überwog die Nutzung durch Segelboote mit Hilfsmotor, gefolgt von Motorbooten mit Außenbordmotor und der Fahrgastschiffahrt, die überwiegend gemäß Fahrplan durch die MS Cospuden realisiert wird. Die aufsummierte Betriebsdauer der Verbrennungsmotoren aller gesichteten Segelboote (Kategorie 3) innerhalb eines Tages schwankte zwischen 330 Minuten (5,5 Stunden) bei mäßiger Nutzung und 750 Minuten (12,5 Stunden) bei intensiver Nutzung. Bei geringer Nutzung und entsprechend ungünstigen Bedingungen wurde eine sehr geringe Betriebsdauer (rund 0,5 Stunden) festgestellt. Bei Motorbooten (Kategorie 4) schwankte die Einsatzdauer innerhalb eines Tages zwischen 220 Minuten (3,5 Stunden) bei mäßiger Nutzung und 480 Minuten (8 Stunden) bei intensiver Nutzung.

Die detaillierte Auswertung der Bootszählungen 2013 wurde bereits im Zwischenbericht 2013 erläutert. Die Auswertung der Bootszählungen 2014 wird im Folgenden dargestellt und beschrieben (Tab.6-3).

**Tab.6-3: Stichtage der Bootszählungen 2014 mit zugehörigen Randbedingungen und der beobachteten Einsatzdauer von Verbrennungsmotoren**

<b>Nutzungsmonitoring Cospudener See: Übersicht Bootszählungen 2014</b>					
Zählung Nr.		1	2	3	4
Datum		02.07.2014	06.08.2014	19.08.2014	04.09.2014
Wochentag		Mittwoch	Mittwoch	Dienstag	Donnerstag
<b>Wetterbedingungen (Datenbasis: DWD, Station Leipzig/Halle)</b>					
Lufttemp. maximal	°C	21,7	24,1	21,4	22,6
Sonnenscheindauer	h	10,9	10,7	8	9,3
Niederschlagshöhe	mm	0	0	2,2	0
Windstärke (durchschn.)	bft	2	2	3	3
<b>Summe geschätzte Einsatzdauer Verbrennungsmotor</b>					
Segelboote (Kat. 3)	h	5,0	3,2	4,0	2,0
Motorboote (Kat. 4)		1,9	2,3	0,9	0,9
Fahrgastschiffe (Kat. 5)		4,5	4,5	4,5	5,5
SUMME d. Einsatzdauer		11,3	10,0	9,4	8,4
Anzahl <b>Einfahrten</b> ODER <b>Ausfahrten</b> am Hafen Zöbiger (nur Kat. 3) <sup>1</sup>	-	29	17	29	13
<b>mittl. Dauer</b> pro Einfahrt ODER Ausfahrt (nur Kat. 3) <sup>1</sup>	min	10,3	11,4	8,3	9,2

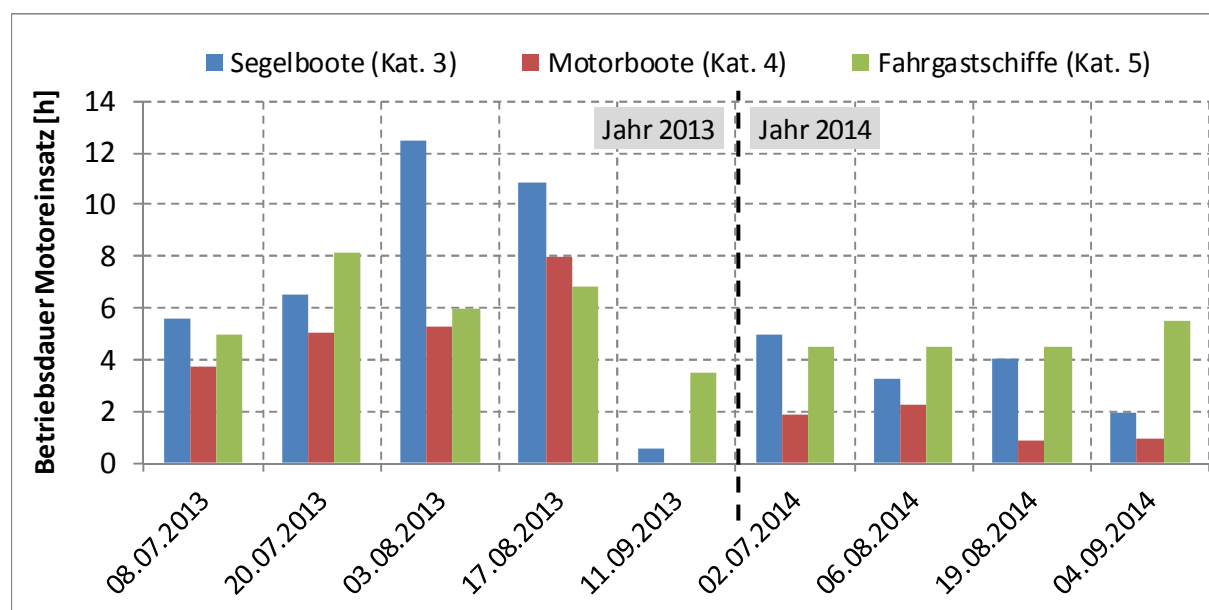
<sup>1</sup>...am Westanleger und am Südufer wurde nahezu kein Bootsverkehr der Kat. 3 festgestellt

Die vier Bootszählungen erfolgten innerhalb der Nutzungssaison in den Monaten Juli bis September. Während die Zähltermine im Jahr 2013 gezielt an Tagen mit voraussichtlich intensivem Bootsverkehr lagen, wurden im Jahr 2014 vorzugsweise Termine mit voraussichtlich durchschnittlichem Bootsverkehr (durchschnittliche Randbedingungen) gewählt. Alle Stichtagszählungen 2014 lagen an Wochentagen. Die Termine 2 und 3 waren innerhalb der Schulferien (Urlaubszeit). Die Sonnenscheindauer und die Windstärke boten relativ gute Bedingungen für Segler. Der Niederschlag am dritten Termin (19.08.) fiel außerhalb der Erfassungszeit.

Für Segelboote mit Flautenschieber (Kategorie 3) wurde die Anzahl von Einfahrten oder Ausfahrten in/aus dem Hafen Zöbiger erfasst. Die Anzahl schwankt zwischen maximal 29 am 02.07.2014 und 19.08.2014 und minimal 13 am 04.09.2014. Betrachtet man die gesamte beobachtete Einsatzdauer der Motoren (nur Kat. 3), kann die mittlere Betriebsdauer des Segelbootmotors pro Einfahrt oder Ausfahrt errechnet werden. Die resultierende Dauer liegt zwischen 8,3 und 11,4 Minuten pro Einfahrt oder Ausfahrt. Im Rahmen der Bootszählung wurde beobachtet, dass Segelboote ihren Hilfsmotor nicht nur zum Ein-/Ausfahren aus dem Hafen nutzen, sondern auch zur Fortbewegung bei Windstille (Flaute) sowie vereinzelt zu sonstigen Fahrten über den See. Die aufsummierte Betriebsdauer der Segelbootmotoren in Tab.6-3 beinhaltet alle genannten Zeitanteile. Demnach ist die errechnete mittlere

Einsatzdauer pro Einfahrt/Ausfahrt am Hafen Zöbiger etwas höher als in der Realität. Der Wert entspricht einer statistischen Kenngröße, die zur Berechnung der jährlichen Nutzungsdauer von Segelbootmotoren als hilfreich eingeschätzt wird. Gegenüber den Ergebnissen von 2013 ist die mittlere Dauer pro Einfahrt/Ausfahrt im Jahr 2014 rund 4 Minuten kürzer. Als prinzipielle Ursache hierfür ist zu sehen, dass aufgrund der Wetterbedingungen während der Stichtage 2014 (mehr Wind, weniger Badewetter) der Motoreinsatz bei Flaute oder zu sonstigen Fahrten (ggf. zu Badestellen o.ä.) geringer als im Vorjahr war.

Die folgende Abbildung (Abb. 6-1) veranschaulicht die beobachteten Betriebszeiten der Verbrennungsmotoren (vgl. Tab.6-2) zu allen Stichtagsmessungen 2013 und 2014.



**Abb. 6-1: Beobachtete Betriebszeiten der Verbrennungsmotoren 2013, 2014**

In Auswertung der Abb. 6-1 wird deutlich, dass die Nutzungsintensität zu den Stichtagsmessungen 2013 erwartungsgemäß deutlich höher war als im Jahr 2014. Die mittlere Betriebsdauer der Verbrennungsmotoren pro Stichtag unterscheidet sich wie folgt (Termin 11.09.2013 nicht berücksichtigt):

- Segelboote: 8,9 (2013) bzw. 3,6 (2014) Stunden
- Motorboote: 5,5 (2013) bzw. 1,5 (2014) Stunden
- Fahrgastschiffe: 6,5 (2013) bzw. 4,8 (2014) Stunden

Die Ursache der reduzierten Nutzungsintensität der Stichtagszählungen 2014 liegt darin, dass in diesem Jahr gezielt Situationen mit durchschnittlichen Nutzungsbedingungen analysiert werden sollten, während im Vorjahr Zustände mit intensivster Nutzung erfasst wurden.

Die Ergebnisse der Bootszählungen 2013 und 2014 wurden weiterführend statistisch ausgewertet, um eine Basis für die Bestimmung des charakteristischen Nutzungsverhaltens der betrachteten Bootskategorien auf dem Cospudener See herzustellen.



**Tab.6-4: Statistische Auswertung der Bootszählungen 2013 und 2014**

Nutzungsmonitoring Cospudener See: Ergebnis Bootszählungen 2013 und 2014											
Erfassungsjahr			Jahr 2013					Jahr 2014			
Datum			08.07.2013	20.07.2013	03.08.2013	17.08.2013	11.09.2013	02.07.2014	06.08.2014	19.08.2014	04.09.2014
Gesamtdauer Zählung pro Stichtag [h]		[h]	11,0	10,0	9,0	8,0	9,0	7,5	7,5	7,5	7,5
Summe Aufenthaltsdauer pro Kategorie (ermittelt auf Basis der Beobachtungswerte)											
Gesamte Aufenthaltsdauer auf See (D <sub>Gesamt</sub> )	Kat. 3	[h]	26,0	64,0	75,0	89,0	1,5	32,5	14,0	35,0	25,5
	Kat. 4		9,0	18,8	10,5	25,0	0,0	4,5	8,0	3,5	5,0
	Kat. 5		6,0	9,8	6,0	7,0	3,5	4,5	4,5	4,5	5,5
Nutzungsintensität Summe pro Tag			41	93	92	121	5	42	27	43	36
durchschnittliche Bootsanzahl aus Quotient Aufenthaltsdauer/Zählungsdauer											
Bootsanzahl Ø (Tagesmittelwert)	Kat. 3	[ - ]	2,4	6,4	8,3	11,1	0,2	4,3	1,9	4,7	3,4
	Kat. 4		0,8	1,9	1,2	3,1	0,0	0,6	1,1	0,5	0,7
	Kat. 5		0,5	1,0	0,7	0,9	0,4	0,6	0,6	0,6	0,7
aufsummierte Beobachtungswerte Motoreinsatz pro Kategorie (vgl. Abb. 6-1)											
Dauer Einsatz Verbrennungsmotor (D <sub>Motor</sub> )	Kat. 3	[h]	5,6	6,5	12,4	10,9	0,5	5,0	3,2	4,0	2,0
	Kat. 4		3,8	5,1	5,3	8,0	0,0	1,9	2,3	0,9	0,9
	Kat. 5		5,0	8,2	6,0	6,8	3,5	4,5	4,5	4,5	5,5
Summe Dauer Motoreinsatz (D <sub>Motor</sub> )			14,3	19,8	23,7	25,7	4,0	11,3	10,0	9,4	8,4
durchschnittliche tägliche Betriebsdauer pro Boot aus Quotient Motoreinsatz/Bootsanzahl Ø											
Betriebsdauer Motor pro Boot innerhalb eines Tages	Kat. 3	[h]	2,4	1,0	1,5	1,0	3,2	1,1	1,7	0,9	0,6
	Kat. 4		4,6	2,7	4,5	2,6	0,0	3,1	2,1	1,9	1,4
	Kat. 5		9,2	8,4	9,0	7,8	9,0	7,5	7,5	7,5	7,5
Motoreinsatzdauer während Aufenthaltsdauer auf See											
Verhältnis D <sub>Motor</sub> /D <sub>Gesamt</sub> [%]	Kat. 3	[%]	21	10	17	12	36	15	23	12	8
	Kat. 4		42	27	50	32	0	41	29	25	18
	Kat. 5		100	100	100	100	100	100	100	100	100

Segelboote mit Hilfsmotor (Kat. 3) / Motorboote (Kat. 4) / Fahrgastschiffe (Kat. 5)

Folgende Hinweise dienen zur Erklärung der Tab.6-4:

- Die Gesamtdauer der Zählungen vor Ort variiert zwischen 7,5 und 11 Stunden, entsprechend der Nutzungsintensität der jeweiligen Stichtagszählung. Die „Kernzeit“ zwischen 10 – 17 Uhr wurde zu allen Terminen eingehalten.
- Die gesamte Aufenthaltsdauer einer Bootskategorie auf dem Cospudener See wurde auf Basis der beobachteten Bootsanzahl und der jeweiligen Zeitschrittlänge (i.d.R. 30 Minuten) berechnet. Die Summe der Gesamtaufenthaltsdauer ist ein gutes Maß zur Beschreibung der Nutzungsintensität eines Stichtages. Es wird ersichtlich, dass die Bootsnutzung am 17.08.2013 mit einer Gesamtdauer von 121 Stunden am stärksten ausgeprägt war.

- Die durchschnittliche Bootsanzahl stellt einen Tagesmittelwert dar, der spezifisch für die Bootskategorien aus dem Quotient von Gesamtaufenthaltsdauer / Gesamtzähldauer resultiert. Werte kleiner 1 deuten auf eine geringe Nutzung hin, wobei nicht der gesamte Zeitraum der Bootszählung durch die jeweilige Bootskategorie abgedeckt ist.
- Die Einsatzdauer der Verbrennungsmotoren ist ein aufsummierter Beobachtungswert (vgl. Tab.6-2 und Tab.6-3 sowie Abb. 6-1). Die Summe der Einsatzdauer von Verbrennungsmotoren ist neben der Gesamtaufenthaltsdauer ein sinnvolles Maß zur Beschreibung der Nutzungsintensität eines Stichtages. Mit einer Betriebsdauer von insgesamt 26 Stunden wird der 17.08.2013 als nutzungsintensivster Stichtag bestätigt.
- Die durchschnittliche tägliche Betriebsdauer der Verbrennungsmotoren pro Boot einer Kategorie resultiert aus dem Quotient der Einsatzdauer und der durchschnittlichen Bootsanzahl. Die Varianz dieses Wertes liegt bei Segelbooten (Kat. 3) zwischen 0,9 und 3,2 Stunden (im Mittel 1,5 Stunden), bei Motorbooten (Kat. 4) zwischen 1,4 und 4,6 Stunden (im Mittel 2,9 Stunden) und bei Fahrgastschiffen zwischen 7,5 und 9,2 Stunden (im Mittel 8,2 Stunden). Die hier angegebene tägliche Betriebsdauer bezieht sich auf jeweils ein Boot, welches ganztags auf dem See verkehrt (der Wert wurde entsprechend der beobachteten Nutzungscharakteristik auf die Gesamtdauer der Zählung hochgerechnet).

Hinweis: Die durchschnittliche Betriebsdauer gilt in Bezug auf die Nutzung eines Bootes innerhalb eines Tages (ca. 8 Stunden zwischen 10 und 18 Uhr). Bei der Bilanzierung der Gesamtbetriebsstunden einer Bootskategorie (z.B. für die Emissionsberechnung wie in Kap. 6.4) ist dieser Wert allerdings nicht anzusetzen, da einzelne Boote i.d.R. nicht ganztags auf dem See verkehren und zudem immer nur ein Teil der zugelassenen Boote in Nutzung ist. Im Vorliegenden wurden andere Ansätze zur Abschätzung der Gesamtbetriebsstunden (Kap. 6.2) bzw. der Motorbootemissionen (Kap. 6.4) angewandt.

- Das Verhältnis aus Betriebsdauer der Motoren und Gesamtaufenthaltsdauer ermöglicht Rückschlüsse, mit welchem zeitlichen Anteil die Verbrennungsmotoren der betrachteten Bootskategorien zum Einsatz kommen. Die unterschiedlichen Nutzungscharakteristika der Bootskategorien sind zu berücksichtigen. Folgende Anteile der zeitlichen Auslastung ( $D_{\text{Motor}}/D_{\text{Gesamt}}$ ) resultieren aus der o.a. Auswertung:

>> Segelboote mit Hilfsmotor (Kat. 3):	Motoreinsatz ca. 10 – 20 % d. Gesamtdauer
>> Motorboote (Kat. 4):	Motoreinsatz ca. 30 – 50 % d. Gesamtdauer
>> Fahrgastschiffe (Kat. 5):	Motoreinsatz ca. 95 – 100 % d. Gesamtdauer

Fahrgastschiffe weisen entsprechend ihrer Nutzung sehr hohe Motorlaufzeiten auf. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass der Motor immer in Betrieb ist, wenn das Schiff auf dem See verkehrt (entspricht einer zeitlichen Auslastung von 100 %). Da kürzere Standzeiten der Fahrgastschiffe im Rahmen der Bootszählung nicht separat herausgerechnet wurden, resultieren rechnerisch z.T. Werte kleiner 100 %.

Die statistischen Auswertungsergebnisse der Bootszählungen 2013 und 2014 bilden die Grundlage für eine qualifizierte Berechnung der jährlichen Emissionsbelastung durch Verbrennungsmotoren. Darüber hinaus dienen die Ergebnisse zur Anpassung der typischen Betriebszeiten der Nutzungsklassen.

## **6.2 Abschätzung der typischen Betriebszeiten von Booten mit Verbrennungsmotor als Grundlage für die Emissionsberechnung**

Die Abschätzung der typischen Betriebszeiten von Verbrennungsmotoren der betrachteten motorgetriebenen Bootstypen bildet neben der Auswertung zum Stand der wasserrechtlich genehmigten Boote eine Grundlage für die qualifizierte Berechnung der Schadstoffemissionen im Cospudener See. Aus den Erkenntnissen des Nutzungsmonitorings sind die Betriebszeiten von Verbrennungsmotoren für die betrachteten Bootskategorien entsprechend abzuschätzen. Zu berücksichtigen sind dabei auch die Angaben aus dem prognostischen Gutachten zur Bootsnutzung auf Tagebauseen in der Region Leipzig (ECOSYSTEM SAXONIA und DESCON (2008)).



### Segelboot mit Hilfsmotor (Bootskategorie 3):

Segelboote sollen ihren Verbrennungsmotor i.d.R. nur zum Manövrieren beim Ein- und Ausfahren im Hafenbereich sowie bei Windflauten zum Einsatz bringen. Die Betriebszeit des Motors zum Ein- oder Ausfahren ist auf Basis der aktuellen Ergebnisse (vgl. Tab.6-2) mit jeweils 15 Minuten (Maximalwert bei intensivster Nutzung) anzunehmen. Betrachtet man ein einzelnes Segelboot, welches maximal an 30 Wochenenden pro Jahr mit jeweils 8 Hafenein- oder ausfahrten auf dem See verkehrt, resultiert eine jährliche Gesamtbetriebsdauer von 60 Stunden pro Segelboot. Dieser Wert entspricht einer sehr starken Bootsnutzung und ist nicht für die Gesamtheit aller Segelboote anzusetzen. Die entsprechende Annahme im Prognosegutachten 2008 lag mit 25 h/a deutlich darunter, wobei dort von einer stärker motorisierten Bootsbesetzung ausgegangen wurde.

Mit den Ergebnissen der Bootszählungen (vgl. Tab.6-4) kann aus der durchschnittlichen Bootsanzahl pro Tag und der gesamten Einsatzdauer der Verbrennungsmotoren pro Tag die durchschnittliche tägliche Betriebszeit für ein Segelboot abgeleitet werden. Der Wert schwankt zwischen 0,6 und 3,2 Stunden pro Tag und beträgt im Mittel 1,5 Stunden (90 min). Ein deutlicher Zusammenhang (Korrelation) zur Nutzungsintensität wurde nicht festgestellt.

Für eine möglichst realitätsnahe Beurteilung der Emissionsbelastung muss berücksichtigt werden, dass immer nur ein Teil der wasserrechtlich genehmigten Segelboote (nicht alle) auf dem See verkehrt und in die Emissionsberechnung eingehen muss. Zu dieser qualifizierten Emissionsberechnung mit Berücksichtigung des festgestellten Nutzungsverhaltens auf dem Cospudener See ist es zweckmäßig, die Betriebszeiten der Verbrennungsmotoren einer gesamten Bootskategorie (nicht einzelne Boote) zu betrachten. Aus den zusammengefassten Ergebnissen der Nutzungsmonitorings (Tab.6-4 und Abb. 6-1) werden in Bezug auf die variierenden Randbedingungen der Beobachtungstermine für Segelboote mit Flautenschieber (Kat. 3) folgende Betriebszeiten abgeleitet:

**Tab.6-5: Summe der typischen täglichen Betriebsdauer von Verbrennungsmotoren der Segelboote (Kat. 3) in Abhängigkeit von den Randbedingungen der Bootsnutzung (Basis: Bootszählungen 2013 und 2014)**

Randbedingungen für Bootsnutzung (innerhalb Nutzungssaison)		Klassifizierte Betriebsdauer der Verbrennungsmotoren aller <u>Segelboote</u> [h/Tag]
	Sommerferienzeit, Wochenende, Badewetter, hohe Sonnenscheindauer, kein Niederschlag	13
	 veränderliche Randbedingungen	10
		5
		4
		2
	kühles Wetter, Regen, kein Wind	0

Unter Annahme einer saisonalen Verteilung der genannten Randbedingungen (Tab.6-5) für jeden Tag eines Jahres, lassen sich die Betriebsstunden der Verbrennungsmotoren zuordnen. Dies stellt die Basis für eine qualifizierte Emissionsberechnung (als Summe pro Jahr) dar.



#### Motorboote mit Außenbordmotor (Bootskategorie 4):

Der Umfang der jährlichen Betriebsstunden von Motorbooten schwankt in Abhängigkeit der Bootsnutzung. So ist beispielsweise zwischen gewöhnlich genutzten Motorbooten (z.B. Wassersport oder Bootsausflug) und Angelbooten unterschieden. Letztere unterscheiden sich durch eine deutlich geringere Nutzung des Verbrennungsmotors, da Angler i.d.R. auf dem See ankern bzw. sich treiben lassen.

Mit den Ergebnissen der Bootszählungen (vgl. Tab.6-4) kann aus der durchschnittlichen Bootsanzahl pro Tag und der gesamten Einsatzdauer der Verbrennungsmotoren pro Tag die durchschnittliche tägliche Betriebszeit für ein Motorboot abgeleitet werden. Der Wert schwankt zwischen 1,4 und 4,6 Stunden pro Tag und beträgt im Mittel 2,9 Stunden (ca. 175 min). Ein deutlicher Zusammenhang (Korrelation) zur Nutzungsintensität wurde nicht festgestellt.

Die wesentlichen Kenngrößen zur Charakterisierung der Nutzung durch Motorboote mit Außenborder (Kategorie 4) sind nach Auswertung der Beobachtungen 2013 und 2014 in der Tab.6-4 (und Abb. 6-1) aufgeführt bzw. daraus abzuleiten. Die täglichen Betriebszeiten der Verbrennungsmotoren der gesamten Kat. 4 sind in Abhängigkeit von den nutzungsbezogenen Randbedingungen der Stichtagszählungen in Tab.6-6 dargestellt. Demnach beträgt die maximale Betriebsdauer aller Motorboote bei optimalen Nutzungsbedingungen 8 Stunden pro Tag.

**Tab.6-6: Summe der typischen täglichen Betriebsdauer von Verbrennungsmotoren der Motorboote (Kat. 4) in Abhängigkeit von den Randbedingungen der Bootsnutzung (Basis: Bootszählungen 2013 und 2014)**

Randbedingungen für Bootsnutzung (innerhalb Nutzungssaison)		Klassifizierte Betriebsdauer der Verbrennungsmotoren aller <u>Motorboote</u> [h/Tag]
	Sommerferienzeit, Wochenende, Badewetter, hohe Sonnenscheindauer, kein Niederschlag	8
	 veränderliche Randbedingungen	6
		4
		2
		1
	kühles Wetter, Regen	0

Unter Annahme einer saisonalen Verteilung der genannten Randbedingungen (Tab.6-6) für jeden Tag eines Jahres, lassen sich die Betriebsstunden der Verbrennungsmotoren zuordnen. Dies stellt die Basis für eine qualifizierte Emissionsberechnung (als Summe pro Jahr) dar.

#### Fahrgastschiffe (Bootskategorie 5):

Die jährliche Nutzungsdauer der Fahrgastschiffe auf dem Cospudener See unterscheidet sich aufgrund der angebotenen tourismusbezogenen Leistungen. Die MS Cospuden verkehrt für Seerundfahrten während der Saison nach Fahrplan und kommt somit auf eine jährliche Betriebszeit von rund 660 Stunden. Hingegen kommt das Charterschiff MS Neuseenland nur auf Anfrage und insbesondere an Wochenenden zum Einsatz. Die Nutzungsdauer beträgt gemäß den Angaben des Betreibers insgesamt rund 410 Stunden pro Jahr (Jahr 2012). Im vorangegangenen Gutachten von ECOSYSTEM SAXONIA und DESCON (2008) wurde die Nutzungsdauer für Fahrgastschiffe mit 1500 Stunden pro Jahr deutlich höher eingeschätzt.

Im Rahmen der Stichtagszählungen 2014 (durchschnittliche Nutzungsintensität, wochentags) wurde nur das Fahrgastschiff MS Cospuden beobachtet. Die Betriebszeit des Verbrennungsmotors lag jeweils zwischen 4,5 und 5,5 Stunden pro Tag.

Für die Berechnung der Emissionsbelastung durch die vorhandenen Fahrgastschiffe ist zu berücksichtigen, dass die Abgase der Dieselmotoren nicht ins Wasser sondern in die Luft abgegeben werden. Die resultierende Emissionsbelastung des Seewassers wird dadurch deutlich reduziert.

### **6.3 Wasserrechtlich genehmigte Boote und Schiffbarkeit**

#### Wasserrechtlich genehmigte Bootsbenutzungen

Die Nutzung des Cospudener Sees durch Boote mit Verbrennungsmotor ist wasserrechtlich genehmigungspflichtig (Einzelgenehmigungen). Da die Zulassung von Motorbooten der geteilten Zuständigkeit unterliegt, erfolgen Genehmigungen von der Behörde des Landkreises Leipzig sowie der Stadt Leipzig.

Die für die Gestattungen zuständige Behörde (Landkreis Leipzig) bilanziert bei der Zulassungspraxis die HC-Emission pro See und legt damit fest, ob weitere Gestattungen zulässig sind oder der jeweilige See ggf. bereits die ökologisch vertretbare Emissionsgrenze erreicht hat. Diese Bewertung orientiert sich in Abhängigkeit vom Bootstyp (Motorboot, Segelboot, Fahrgastschiff) an den Emissionswerten des prognostischen Nutzungsgutachtens [2], wobei für Motorboote der ursprünglich angegebene Emissionswert pro Boot von 5,1 auf 2,5 g HC/a und für Segelboote von 2,9 auf 0,6 g HC/a reduziert wurde (Emissionswerte pro Boot vgl. [2] S.97, Tab. 30 // zulässige Emissionen pro See vgl. [2] S.105, Tab. 38). Die behördliche Bilanzierungsmethodik berücksichtigt nicht die tatsächliche Motorisierung der zugelassenen Boote, sondern rechnet mit den Emissionswerten aus dem Prognosegutachten [2] pro Bootstyp (für Motorboote Typ M1, für Segelboote Typ S2). Auf der Grundlage der hier beschriebenen Untersuchungen sollen Empfehlungen für die weitere Praxis der Bilanzierungsmethodik gegeben werden.

Im Januar 2013 erfolgte eine Sichtung der Akten zum aktuellen Stand der genehmigten Boote mit Verbrennungsmotor auf dem Cospudener See. Auf dieser Grundlage wurde die Anzahl der Boote einer Kategorie sowie die Motorisierung der genehmigten Boote analysiert. Die Bootsbesetzung bzw. die potenziell verkehrenden Boote auf dem Cospudener See sind daher bekannt.

Die Auswertung der Akten (im Januar 2013, Aktualisierung im Januar 2015) ergab, dass insgesamt 168 Boote (mit Verbrennungsmotor) mit wasserrechtlicher Genehmigung auf dem Cospudener See fahren dürfen, wovon 86 Segelboote mit Flautenschieber (51%) sind. Außerdem verkehren 80 (48%) typverschiedene Motorboote (Sportboote, Verleihboote, Angelboote, Schlauchboote) und zwei Fahrgastschiffe. Die folgende Tab.6-7 zeigt die Motorisierung der zugelassenen Boote:

**Tab.6-7: Motorisierung der zugelassenen Boote mit Verbrennungsmotor auf dem Cospudener See (Stand: 01/2015)**

	Klassifizierung Verbrennungsmotoren nach Leistung PS (KW)				
	0 – 5 PS (0 – 3,7 KW)	5 – 10 PS (3,7 – 7,4 KW)	10 – 20 PS (7,4 – 14,8 KW)	Über 20 PS (> 14,8 KW)	SUMME
Anzahl [-]	92	37	22	17	168
Anteil [%]	55	22	13	10	100

Mit 77% verfügt ein Großteil aller zugelassenen Boote über eine vergleichsweise niedrige Motorisierung bis 10 PS und nur 10% aller Boote weisen eine Motorleistung von über 20 PS auf. Die Kenntnis über die Bootsbesetzung und Motorisierung am Cospudener See bildet eine wesentliche Grundlage für die Emissionsberechnung. Weiterführende Angaben hierzu wurden im Zwischenbericht 2012 ausführlich erläutert.

Die zwei Fahrgastschiffe sind mit Dieselmotoren ausgestattet, die Abgase über der Wasseroberfläche abgeben und daher für die Emissionsberechnungen wenig relevant sind.

### Erklärung der Schiffbarkeit (Neues Schifffahrtsrecht)

Am 08.08.2013 sind das Wassergesetz sowie die Sächsische Schifffahrtsverordnung geändert worden. Die Verkehrs-, Zulassungs- und Sicherheitsvorschriften der Sächsischen Schifffahrtsverordnung gelten nun auch auf dem Cospudener See, dem Markkleeberger See, dem Zwenkauer See und dem Störmthaler See.

Diese Seen sind als künftig schiffbare Gewässer definiert, also im Moment noch nicht schiffbar. Dies hat zur Folge, dass bis zur Schiffbarkeitserklärung der einzelnen Seen, z. B. für das motorisierte Befahren der Seen, weiterhin eine wasserrechtliche Gestattung vom zuständigen Landratsamt erforderlich ist. Die „Aktivierung“ der Schiffbarkeit befindet sich derzeit in einem laufenden Prozess (rechtliche Abstimmungen zwischen den Behörden) für den die Landesdirektion Sachsen zuständig ist.

Die Erklärung der Schiffbarkeit bezieht sich gemäß aktueller Angaben auf die folgenden Gewässer im Leipziger Südraum: Cospudener See, Zwenkauer See, Markkleeberger See, Störmthaler See und die beiden Verbindungskanäle zwischen diesen Seen. Nach „Aktivierung“ der Schiffbarkeit erweitern sich die Möglichkeiten der wassertouristischen Nutzung im Gewässerverbund und damit auch am Cospudener See. In Bezug auf die Ergebnisse des vorliegenden Nutzungsmonitorings sind damit deutliche Veränderungen hinsichtlich Nutzungsdauer (Bootsanzahl) und Motorisierung nicht auszuschließen. Inwieweit sich dieses veränderte Nutzungsverhalten auf das vorliegende Bewertungsergebnis auswirkt, ist gegenwärtig nicht abzuschätzen.

## **6.4 Emissionsberechnung**

Im Blickpunkt der Betrachtung steht zunächst die Berechnung der Gewässerbelastung durch Kohlenwasserstoffemissionen (HC). Hierzu werden prinzipiell zwei Herangehensweisen gesehen:

- (1) Berechnung auf Grundlage des recherchierten Genehmigungsstandes zur Bootsbelegung, Berücksichtigung der Motorisierung, Annahme der jährlichen Betriebsdauer der Verbrennungsmotoren pro Boot (z.B. 60 Stunden pro Jahr für jedes Segelboot)

Das Verfahren berücksichtigt alle zugelassenen Boote, geht aber davon aus, dass alle Boote gleich oft zum Einsatz kommen. Da in der Realität aber immer nur ein Teil der Gesamtbelegung auf dem See verkehrt, führt das Verfahren zu einer gewissen Überschätzung der Emissionen. Zudem sind die angenommenen jährlichen Betriebszeiten z.T. nicht weitreichend qualifiziert.

- (2) Berechnung auf Grundlage der statistisch ausgewerteten Ergebnisse aus dem Nutzungsmonitoring der Jahre 2013 und 2014 und Berücksichtigung einer typischen jährlichen Verteilung der nutzungsbezogenen Randbedingungen (z.B. 10 Tage/Jahr mit intensivster Nutzung, 20 Tage pro Jahr mit starker Nutzung usw.)

Mit Berücksichtigung der Ergebnisse des Nutzungsmonitorings wird die Annahme der jährlichen Betriebsdauer (Verfahren 1) durch qualifizierte Kenntnisse zum aktuellen



Nutzungsverhalten der Motorboote ersetzt. Damit sind genauere Ergebnisse der Emissionsberechnung zu erwarten.

Das Verfahren 1 wurde bereits zum Zwischenbericht im Jahr 2012 detailliert erläutert und angewendet. Dabei wurde eine jährliche Belastung des Cospudener Sees durch Boote mit Verbrennungsmotor von 465 kgHC/a ausgewiesen.

Die aktuelle Emissionsberechnung mit dem Verfahren 2 wird im Folgenden erläutert. Zunächst musste die Verteilung der nutzungsbedingten Randbedingungen (meteorologische Situation, Zeitpunkt in der Saison) für ein Jahr ermittelt werden. Hierzu wurden die Klimadaten (DWD Station Leipzig/Halle) bezüglich Lufttemperatur, Sonnenscheindauer, Niederschlagsmenge und Windstärke aus einem Zeitraum über 14 Jahre (2000-2013) statistisch ausgewertet. Die Wetterbedingungen wurden nach folgenden Kriterien abgegrenzt, wobei sich die Bezeichnung „bestes“ bis „schlechtes“ Wetter jeweils auf die Eignung eines Tages für wassertouristische Aktivitäten bezieht.

Alle Tage mit einer mittleren Lufttemperatur kleiner 10°C oder regnerische Tage (größer 1 mm NS) wurden nicht berücksichtigt. Für diese Tage wird angenommen, dass aufgrund des schlechten Wetters kein Bootsverkehr (durch Segel- oder Motorboote) stattfindet.

Anhand der in Tab.6-8 gegebenen Klassifizierung der Klimadaten erfolgte eine statistische Auswertung zur Anzahl der Tage pro Jahr mit entsprechenden Wetterbedingungen. Außerdem wurde für jeden Tag berücksichtigt, ob er in der Sommerferienzeit liegt (Monate Juli und August) und ob es sich um einen Wochentag oder ein Wochenende handelt. Die Tab.6-9 zeigt die durchschnittliche Tagesanzahl (MW) und den Maximalwert (Max) aus der gewählten Zeitreihe der Jahre 2000 – 2013.

**Tab.6-8: Klassifizierung meteorologischer Daten zur Quantifizierung der jährlichen potenziellen Nutzungstage**

Klassifizierung	Lufttemperatur (Tagesmittel)	Windstärke (Tagesmittel)	Sonnenscheindauer (Tagessumme)	Niederschlag (Tagessumme)
<b>Klasse 1</b> bestes Wetter	sehr warm (>20°C) – sehr heiß (>25 °C)	windstill (0 Bft) bis mäßig windig (< 4 Bft)	sonnig (> 9 h) oder sehr sonnig (> 12 h)	trocken (kein NS)
<b>Klasse 2</b> gutes Wetter	warm (17 – 20 °C), sehr warm – sehr heiß (>20°C)*	windstill (0 Bft) bis mäßig windig (< 4 Bft), (0 Bft – 6 Bft)*	mäßig sonnig (> 6 h) bis sehr sonnig (> 12 h), (>3 h bis < 9 h)*	trocken oder wenig NS (bis 1 mm)
<b>Klasse 3</b> mäßiges Wetter	mild (13 – 17 °C), warm (17 – 20 °C)*	windstill (0 Bft) bis sehr windig (< 6 Bft)	wenig sonnig (> 3 h) bis sehr sonnig (> 12 h), (>3 h bis < 6 h)*	trocken oder wenig NS (bis 1 mm)
<b>Klasse 4</b> schlechtes Wetter	kühl (10 – 13°C), mild bis sehr heiß (>13°C)*	windstill (0 Bft) bis stürmisch (> 6 Bft)	nicht sonnig (< 3 h) bis sehr sonnig (> 12 h), nicht sonnig (< 3 h)*	trocken oder wenig NS (bis 1 mm)

\* nur enthalten, wenn alle gekennzeichnete Kriterien innerhalb der Klasse gleichzeitig erfüllt sind

In Tab.6-9 ist die Anzahl der Tage eines Jahres entsprechend der genannten Klassifizierung einzusehen. Es wird dabei unterschieden zwischen einem mittleren Jahr (MW) und einem Jahr mit besonders guten nutzungsbezogenen Randbedingungen für die Bootsnutzung

(Max). Das mittlere Jahr weist insgesamt 114 Tage aus, die für den Bootsverkehr geeignet sind bzw. an denen Bootsverkehr zu erwarten ist. Im Jahr mit maximaler Auslastung liegt die Anzahl bei 193 Tagen, wobei dies vermutlich eine gewisse Überschätzung darstellt. Unter Berücksichtigung der gewöhnlichen Saisonzeit von April bis Oktober (214 Tage) erscheinen die ermittelten Werte plausibel.

Auf der Basis der ermittelten Anzahl der jährlichen Nutzungstage (Tab.6-9) und unter Verwendung der Ergebnisse aus dem Nutzungsmonitoring (Tab.6-4 und Abb. 6-1) können die jährlichen Betriebszeiten der Verbrennungsmotoren für die betrachteten Bootskategorien (Segelboote, Motorboote, Fahrgastschiffe) errechnet werden.

**Tab.6-9: Statistische Auswertung von Klimadaten und entsprechende Klassifizierung**

Anzahl der Tage pro Jahr (Basis: Klimadaten Leipzig/Halle, 2000-2013)									
WE <sup>1</sup>	SF <sup>2</sup>	Klasse 1 (bestes Wetter)		Klasse 2 (gutes Wetter)		Klasse 3 (mäßiges Wetter)		Klasse 4 (schlechtes Wetter)	
		MW	Max	MW	Max	MW	Max	MW	Max
ja	ja	3	6	4	7	3	6	2	5
ja	nein	2	7	4	8	6	10	9	11
nein	ja	8	13	9	16	5	8	5	10
nein	nein	4	9	10	16	16	24	24	37
Summe		17	35	27	47	30	48	40	63

<sup>1</sup> WE...Wochenende    <sup>2</sup> SF...Sommerferien

Auf dieser Grundlage (Tab.6-9) resultieren die folgenden durchschnittlichen Nutzungszeiten für jeweils ein einzelnes Segel- oder Motorboot pro Jahr.

**Tab.6-10: Jahressumme an Betriebsstunden der Verbrennungsmotoren am Cospudener See**

Jährliche Betriebsstunden der Verbrennungsmotoren in Summe alle Boote der jeweiligen Kategorie [h/a]		
Bootskategorie	Mittleres Jahr	Maximalgenutztes Jahr
Segelboote mit Flautenschieber (Kat. 3)	570	1024
Motorboote (Kat. 4)	400	722
Fahrgastschiffe (Kat. 5)	972	1222

**Tab.6-11: Durchschnittliche Betriebsstunden der Verbrennungsmotoren am Cospudener See bezogen auf jeweils ein Boot (Basis: Bootsgestattungen 01/2015)**

Bootskategorie	Zulassungen	Mittleres Jahr		Maximalgenutztes Jahr	
Segelboote mit Flautenschieber (Kat. 3)	86 Boote	570 h	6,6 h pro Jahr und Boot	1024 h	11,9 h pro Jahr und Boot
Motorboote (Kat. 4)	80 Boote	400 h	6,6 h pro Jahr und Boot	722 h	9,0 h pro Jahr und Boot

In Auswertung der Tab.6-11 ist zu berücksichtigen, dass für die Berechnung des Durchschnittswertes alle zugelassenen Boote der Kategorien eingegangen sind. Die Nutzungsdauer einzelner Verbrennungsmotoren kann deutlich höher/niedriger sein. Die ermittelten Nutzungsstunden pro Boot sind bei Motorbooten (Kat. 4) gleich bzw. niedriger als bei Segelbooten (Kat. 3), obwohl die Bootskategorie ein höheres Ergebnis erwarten lässt. Hintergrund hierfür ist das vergleichsweise geringe Motorbootaufkommen auf dem See, was im Rahmen des Nutzungsmonitorings beobachtet wurde, wobei demgegenüber die Anzahl der Zulassungen mit denen der Segelboote vergleichbar ist.

Im Anschluss erfolgt die eigentliche Emissionsberechnung unter Berücksichtigung der zugelassenen Bootsbesetzung (siehe Kap. 6.3) auf dem Cospudener See. Der Berechnungsvorgang ist in der Anlage 5.2 dargestellt. Die Berechnungsergebnisse sind in Tab.6-12 enthalten.

**Tab.6-12: Berechnete HC-Emissionen jeweils in Summe aller Boote pro Bootskategorie**

<b>Jährliche HC-Emissionen als Summe alle Boote der jeweiligen Kategorie [kgHC/a]</b>		
<b>Bootskategorie</b>	<b>Mittleres Jahr</b>	<b>Maximalgenutztes Jahr</b>
Segelboote mit Flautenschieber (Kat. 3)	47	84
Motorboote (Kat. 4)	31	55
Fahrgastschiffe (Kat. 5)	35	43
<b>SUMME</b>	<b>113</b>	<b>182</b>

Die aktuellen Berechnungsergebnisse zur Emissionsbelastung des Cospudener Sees liegen im Vergleich zum Zwischenbericht 2012 (damals 465 kgHC/a) deutlich niedriger. Der veränderte Berechnungsansatz mit Berücksichtigung der Ergebnisse des Nutzungsmonitorings (Bootszählungen 2013 und 2014) sowie der nutzungsbezogenen Randbedingungen führt zu Belastungswerten zwischen ca. 110 kgHC/a (mittleres Jahr) und ca. 180 kgHC/a (maximalgenutztes Jahr). Der größte Emissionsanteil (42%) kommt durch die Segelboote mit Flautenschieber zustande, während Motorboote und Fahrgastschiffe ähnliche Anteile tragen.

Aus den Ergebnissen in Tab. 6-12 können in Bezug auf jeweils ein Boot pro Kategorie die folgenden mittleren jährlichen HC-Emissionen abgeleitet werden.

**Tab.6-13: HC-Emissionen für jeweils ein Boot pro Bootskategorie [kgHC/a]**

<b>Bootskategorie</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Mittleres Jahr</b>	<b>Maximalgenutztes Jahr</b>
Segelboote mit Flautenschieber (Kat. 3)	86	0,55	0,98
Motorboote (Kat. 4)	80	0,39	0,69

In der „Konzeption zur nachhaltigen Nutzung der Tagebauseen in der Region Leipzig“ (ECOSYSTEM SAXONIA und DESCON, 2008) wurden u.a. mögliche Motorbootemissionen als Gesamtbelastung pro Jahr und Seeflächen (Hektar) ausgewiesen. Grundlage für die damalige Berechnung waren unterschiedliche begründete Annahmen zur künftigen

Entwicklung der wassertouristischen Nutzung von Tagebauseen in der Region Leipzig. In Abhängigkeit von der angenommenen Bootsbelegung ergaben sich damals 10,2 kgHC/a (bei 1 Boot pro Hektar) bzw. 5,1 kgHC/a (bei 0,5 Booten pro Hektar). Bezogen auf die Seefläche des Cospudener Sees von 436 ha entspricht dies einer Gesamtbelastung durch Kohlenwasserstoffemissionen von jährlich 4,4 bzw. 2,2 Tonnen. Damalige Prognose-rechnungen basierten gegenüber den aktuellen Emissionsberechnungen auf der Annahme von deutlich leistungstärkeren Bootsmotoren und teilweise höheren Betriebszeiten.

Die Bootsbelegung am Cospudener See beträgt aktuell unter Berücksichtigung aller 168 zugelassenen Boote mit Verbrennungsmotor rund 0,39 Boote pro Hektar Seefläche. Diese Bootsdichte kommt dem damaligen Szenario von 0,5 Booten/ha nahe. Die aktuell für den Cospudener See berechnete maximale HC-Emission von rund 180 kgHC/a bzw. 0,42 kgHC/(ha\*a) beträgt weniger als 10 % der zum damaligen Zeitpunkt prognostizierten Belastung. Somit liegt die derzeitige Emissionsbelastung durch Kohlenwasserstoffe deutlich unter dem Ergebnis des ursprünglichen Berechnungsszenarios, obwohl sich die aktuelle Dichte der Bootsbelegung nur etwas unterhalb damaliger Annahmen befindet. Als Ursache sind die deutlich geringere Motorisierung der Bootsflotte sowie kürzere Betriebszeiten der Verbrennungsmotoren im aktualisierten Berechnungsansatz zu sehen.

## **6.5 Immissionsberechnung und Bewertung hinsichtlich Wasserbeschaffenheit**

In der Immissionsbetrachtung wird die Einwirkung der vorhandenen Emissionen auf den Wasserkörper bewertet. Die Betrachtung erfolgt analog der Vorgehensweise von ECOSYSTEM SAXONIA und DESCON (2008) für das Epilimnion mit einer angenommenen Mächtigkeit von 10 m Wassertiefe. Mit der Betrachtung des Epilimnionvolumens wird auch der Tatsache Rechnung getragen, dass Wassersportaktivitäten überwiegend im Sommer bei stabiler Schichtung des Sees erfolgen und die eingetragenen Schadstoffe damit zuerst im Epilimnion verteilt und wirksam werden. Bezogen auf die gesamte Seefläche entspricht dies einem Wasservolumen von 43,6 Mio. m<sup>3</sup>. Es ist bereits im Vorfeld der Immissionsbetrachtung abzusehen, dass die aktuelle Situation eine deutlich geringere Belastung gegenüber der Prognoserechnung von 2008 bzw. den Ergebnissen zum Zwischenbericht 2012 zeigen wird. Hintergrund ist die stark reduzierte HC-Emission des Ist-Zustandes auf weniger als 10 % des Prognosewertes. Die folgende Tabelle (Tab.6-14) zeigt die aktuell berechneten HC-Emissionen und HC-Immissionen für Segelboote, Motorboote, Fahrgast-schiffe und als Gesamtsumme für den Cospudener See. Die Eintragsrate der HC-Emissionen in den See (25 %) wurde von ECOSYSTEM SAXONIA und DESCON (2008) übernommen.

Die vorliegende Immissionsbetrachtung erfolgte unter der Annahme, dass rund 25 % der Schadstoffe aus den unter Wasser emittierten Abgasen in den See eingetragen werden (vgl. Tab.6-14), was den Angaben einer TÜV-Studie entnommen wurde. In der Literatur wird davon ausgegangen, dass sich die Eintragsrate bei 2-Taktmotoren auf 50 % erhöht. Da gegenwärtig am Cospudener See kaum Boote mit 2-Taktverbrennungsmotor zugelassen sind bzw. künftig keine Neuzulassung erhalten, wird der Einfluss der erhöhten Eintragsrate von 2-Taktmotoren als vernachlässigbar gering eingeschätzt.

**Tab.6-14: Aktuell berechnete HC-Emissionen und HC-Immissionen am Cospudener See**

	<b>HC-Emission (max. Jahr)</b>	<b>Eintragsrate ins Wasser</b>	<b>HC-Immission</b>	<b>spez. HC- Immission pro Seefläche</b>
	[kgHC/a]	[%]	[kgHC/a]	[kgHC/(a*ha)]
Segelboote	84 (46%)	25	11,8 (56%)	0,027
Motorboote	55 (30%)	25	7,5 (36%)	0,017
Fahrgastschiffe	43 (24%)	5 *	1,8 (8%)	0,004
<b>Summe</b>	<b>182</b>	<b>-</b>	<b>21</b>	<b>0,048</b>

\* geringe Eintragsrate da Abgase in die Luft (nicht ins Wasser) abgegeben werden

Die aktuell berechneten HC-Emissionen durch Verbrennungsmotoren der Boote am Cospudener See liegen bei 182 kgHC/a für ein maximal genutztes Jahr (vgl. Tab.6-12). Die Summe der HC-Immissionen beträgt unter Annahme der aufgeführten Eintragsraten 21 kgHC pro Jahr. Bezogen auf die Seefläche von 436 ha entspricht dies einer spezifischen Belastung von 0,048 kgHC pro Jahr und Hektar. Der Anteil der durch Segelboote mit Hilfsmotor (Kat. 3) eingetragenen Kohlenwasserstoffe ist mit 56 % am größten. Rund ein Drittel der Belastung erfolgt durch Motorboote (Kat. 4), während Fahrgastschiffe (Kat. 5) aufgrund der geringen Eintragsrate nur wenig zum HC-Eintrag in den See beitragen. Das Ergebnis der Immissionsbetrachtung zur Nutzungsprognose vom Jahr 2008 zeigte deutlich höhere Belastungen und schwankte je nach Szenario zwischen 1,09 und 1,78 kgHC pro Jahr und Hektar. Damit liegt die gegenwärtige HC-Immissionsbelastung um ein Vielfaches niedriger (< 10 %) als im prognostizierten Zustand bei etwa vergleichbarer Bootsbelegung. Als wesentlicher Hintergrund hierfür sind gegenüber dem Prognosezustand die deutlich reduzierte Motorisierung der Boote sowie die niedrigere Einsatzdauer der Verbrennungsmotoren zu sehen.

Aus den Angaben zur HC-Immission in Tab. 6-14 können pro Boot einer Kategorie folgende mittlere HC-Immissionen abgeleitet werden:

- Segelboote (Anzahl d. Zulassungen: 86) → HC-Immission = 0,13 kgHC/a pro Boot
- Motorboote (Anzahl d. Zulassungen: 80) → HC-Immission = 0,09 kgHC/a pro Boot

Die durchschnittlichen HC-Immissionen pro Boot sind entsprechend des dargestellten Ergebnisses für ein Segelboot höher als für ein Motorboot. Dies ist bedingt durch eine vergleichbar große Anzahl der Bootszulassungen und der unterschiedlich intensiven Nutzungscharakteristik beider Kategorien. Die Beobachtungen auf dem Cospudener See haben gezeigt, dass Motorboote deutlich seltener als Segelboote verkehren und damit im Durchschnitt weniger Kohlenwasserstoffe ausstoßen/eintragen.

Für die Beurteilung der Immissionssituation wird das gesamte Epilimnionvolumen des Cospudener Sees angesetzt. Die Fläche des aus Naturschutzgründen für den Bootsverkehr gesperrten Bereiches wird in die Betrachtung einbezogen, da im Epilimnion ein relativ schneller Stoffaustausch stattfindet. Im Zusammenhang mit dem Schadstoffeintrag durch Verbrennungsmotoren ist es erforderlich, eine Bewertung bestimmter Umweltqualitätsziele für den Cospudener See vorzunehmen. Für die Stoffgruppen Kohlenwasserstoffe (HC bzw. MKW), BTEX und PAK gelten dabei die folgenden Orientierungswerte, die als ökologische

Zielgröße zur Vermeidung chronischer Langzeitwirkungen abgeleitet wurden (ECOSYSTEM SAXONIA, DESCON 2008).

HC bzw. MKW:	10 µg/l
BTEX:	10 µg/l
PAK:	0,003 µg/l

Die Errechnung der Konzentrationen für BTEX und PAK erfolgt unter den Annahmen von ECOSYSTEM SAXONIA und DESCON (2008). Danach beträgt die BTEX-Konzentration rund 30 % von HC und die PAK-Konzentration 0,1 bis 0,03 % der HC-Emission. Die folgende Tabelle (Tab.6-15) zeigt die Immissionswirkung der errechneten jährlichen Schadstoffkonzentrationen (maximalgenutztes Jahr) am Cospudener See im Vergleich mit den Umweltqualitätszielen für chronisch wirkende Belastungen. Als Wasservolumen des Epilimnions wurde von 43,6 Mio. m<sup>3</sup> ausgegangen.

**Tab.6-15: Immissionswirkung der mittleren Schadstoffbelastung am Cospudener See**

Parameter	Einheit	Immission	Umweltqualitätsziel (chronisch wirkende Belastung)
HC (MKW)	[kg/a]	21	
HC (MKW)	[µg/l]	0,48	10 (aktuell 95%ig unterschritten)
BTEX	[µg/l]	0,14	10 (aktuell 98%ig unterschritten)
PAK	[µg/l]	$1,4 - 4,8 \cdot 10^{-4}$	0,003 (aktuell 84 – 95%ig unterschritten)

Auf Grundlage der berechneten Immissionen wird ersichtlich, dass durch die Nutzung der aktuell zugelassenen Boote mit Verbrennungsmotor die Umweltqualitätsziele für alle drei Schadstoffgruppen deutlich unterschritten werden. Die Grenzwerte der HC- und BTEX-Konzentration werden zu über 90 % unterschritten. Das Spektrum möglicher PAK-Konzentrationen schwankt entsprechend der o.a. Verteilung sehr stark. Selbst bei größtmöglicher PAK-Konzentration wird der Grenzwert um 52 % unterschritten. Damit stellt sich die Immissionsbelastung durch Verbrennungsmotoren im Cospudener See zum aktuellen Zustand vergleichsweise unkritisch dar. Die aufgeführten Werte beziehen sich nur auf die Verbrennungsmotoren der Boote als Quelle für Schadstoffbelastungen auf dem Cospudener See. Im Messprogramm festgestellte Belastungen (Kap. 4) sind vor allem auf andere Quellen (vorwiegend ubiquitäre und geogene Hintergrundbelastung) zurückzuführen.

## **7 Zusammenfassung und Empfehlungen**

### **7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse**

#### **7.1.1 Monitoring Tagebauseen**

- In den Jahren 2011 bis 2014 erfolgten an ausgewählten Tagebauseen des Leipziger Gewässerverbundes insgesamt 32 Sedimentuntersuchungen und 16 Schwebstoffuntersuchungen. Der Betrachtungsraum erstreckte sich auf den Cospudener See, Markkleeberger See, Störmthaler See, Hainer/Haubitzer See und Werbeliner See.
- Die wassertouristische Entwicklung der untersuchten Tagebauseen ist gegenwärtig noch gering ausgeprägt und wird auch durch die bestehenden Nutzungsrechte gesteuert. Seit Beginn des Monitorings im Jahr 2011 bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist der Cospudener See durch motorbetriebene Boote am intensivsten genutzt, während am Markkleeberger See und Störmthaler See durch Zulassungsbeschränkung der Wasserbehörde und auch aufgrund der noch nicht fertig ausgebauten Gewässerverbindungen des WTNK noch wenige Motorboote verkehren. Am Werbeliner See ist generell kein Motorbootverkehr zulässig bzw. vorgesehen. Das vorliegende Monitoringkonzept sah vor, mit der Untersuchung unterschiedlich intensiv genutzter Seen gezielt Rückschlüsse auf eventuelle Belastungen der Gewässergüte durch Motorboote zu ziehen.
- Die erhobenen Daten charakterisieren den Zustand 2011-2014 bei Motorboot-Nutzungen, die als noch sehr gering einzuschätzen sind:
  - keine nachweisbaren BTEX- und MKW-Konzentrationen (Aromaten, Aliphaten) im Wasser
  - keine nachweisbaren BTEX- und MKW-Konzentrationen (Aromaten, Aliphaten) in den Schwebstoff- und Sedimentproben
  - sehr geringe PAK-Konzentrationen in den Sediment- und Schwebstoffproben.Das Vorfinden derart niedriger Schadstoffkonzentrationen (BTEX, MKW, PAK) in den untersuchten Standgewässern ist prinzipiell sehr positiv zu sehen.
- In den Wasserproben wurden 2014 lediglich in den drei Proben des Cospudener Sees vom Herbst 2011 geringfügige PAK-Konzentrationen (Naphthalin, Phenanthren) festgestellt. Die zulässigen Jahresmittelwerte laut EU-Richtlinie 2013/39/EU, Anhang II (prioritäre Stoffe) für Anthracen, Fluoranthen und Naphthalin wurden damit in allen Proben eingehalten.

#### Schwebstoffe:

- Die Schwebstoffe in den untersuchten Tagebauseen sind sehr stark durch die permanente Bildung von Eisenhydroxidflocken durch die kontinuierlichen Eisen- und Aluminiumeinträge mit dem Grundwasser geprägt. Die exemplarische Untersuchung einiger Schwebstoffproben zeigte hohe Eisen- und Aluminium-Konzentrationen, insbesondere im Hainer und Störmthaler See, sowie relativ geringe TOC-Konzentrationen.

- Für PAK konnten in den Schwebstoffen sehr geringe Konzentrationen nachgewiesen werden. Der Mittelwert aller 16 Untersuchungen betrug 0,16 mg/kg TS. Die Ergebnisse schwankten zwischen der jeweiligen Bestimmungsgrenze und max. 1,1 mg/kg TS und zeigten damit eine relativ hohe Streuung (Standardabweichung 0,29 mg/kg TS). 90 % aller Werte lagen <0,42 mg/kg TS.
- Auf der Basis der Mittelwerte aller 16 Schwebstoffproben zeigte sich, dass Phenanthren mit 15 %, Fluoranthen mit 14 % und Pyren mit 13 % die wesentlichsten Anteile an der PAK-Summe bildeten. Chrysen, Benz(a)pyren, Benzo(b)fluoranthen und Benzo(ghi)perylen hatten jeweils einen Anteil von 7-9 %. Die leichter flüchtigen PAK-Verbindungen kamen erwartungsgemäß nicht oder nur in wenigen Proben im Spurenbereich vor.
- Die Bewertung der nachgewiesenen sehr geringen Belastungen ist dadurch erschwert, dass es kaum Vergleichswerte von ähnlichen oligotrophen Gewässern gibt. Des Weiteren liegen nur wenige Anhaltspunkte bezüglich Bewertungsmaßstäbe vor. Heranzuziehen war die Klassifikation des Sedimentmanagementkonzeptes der FGG Elbe [7], die jedoch keine handlungsrelevanten Maßstäbe enthält, sondern der Beschreibung des Zustandes dient. Die Ergebnisse liegen demnach im Bereich zwischen unterem und oberem Schwellenwert der aufgeführten Umweltqualitätsziele. Bei einer Messung im Hafen des Cospudener Sees (Spätherbst 2011) wurde für Fluoranthen der obere Schwellenwert von 0,18 mg/kgTS bereits erreicht.
- Sowohl die geringen Konzentrationen als auch die PAK-Zusammensetzung lassen den Schluss zu, dass es sich um stoffliche Belastungen handelt, die allein aus der atmosphärischen Deposition in urbanen Gebieten resultieren und damit eine Vorbelastung darstellen. Ein Einfluss der Motorbootemissionen ist gegenwärtig nicht nachweisbar und stimmt damit mit den berechneten geringen Emissionswerten unter den gegenwärtigen Nutzungsbedingungen überein.

#### Sediment:

- Die Sedimentuntersuchungen zeigten gegenüber den Schwebstoffen deutlich höhere PAK-Konzentrationen (um Faktor 3-4). Bei der Bewertung dieser Tatsache ist zu berücksichtigen, dass Schwebstoffe eher die aktuellen Belastungen zeigen, während anhand der Sedimente eine integrierte Aussage zu Depositionen über den vergangenen Zeitraum zu erhalten ist. Umgekehrt bedeutet dies, dass bei geringen Konzentrationen im Sediment davon auszugehen ist, dass die Schadstoff-Konzentrationen in den Schwebstoffen noch geringer sein müssen.
- Bei den Sedimenten aus den untersuchten Tagebauseen handelt es sich nicht um Seesedimente im herkömmlichen Sinne. Durch die hohen Eisen- und Aluminiumeinträge, die über das Grundwasser in die Seen gelangen, sind sowohl die Schwebstoffe als auch vielmehr die Sedimente durch die partikulären Fällungsprodukte der Eisen- und Aluminiumspezies geprägt. Die Sedimente sind eher als Eisenhydroxidschlämme anzusprechen (Eisenkonzentrationen zwischen 7 und 43 % TS, Aluminiumkonzentrationen 2-6 % TS). Inwieweit diese Charakteristik der Schwebstoffe, die überwiegend aus



Eisenhydroxidflocken gebildet werden, einen Einfluss auf die Adsorption lipophiler Verbindungen wie der PAK hat, ist bisher nicht untersucht.

- Die mittlere PAK-Konzentration aller Proben (ohne Uferproben) lag bei 0,48 mg/kg TS (Standardabweichung: 0,38 mg/kg TS). Die PAK-Summe von 90 % aller Proben lag unter 0,94 mg/kg TS. Die Maximal-Konzentration lag bei 1,47 mg/kg TS. Die einzelnen Seen unterschieden sich im Mittel nur wenig voneinander. Trotz einiger Abweichungen ist die prozentuale Zusammensetzung bezüglich der PAK-Einzelverbindungen als relativ übereinstimmend einzuschätzen: Phenanthren 18 %, Flouranthen 14 %, Benzo(b)fluoranthen 13 %, Pyren 11 %, Chrysen, Benzo(ghi)perylen und Benzo(a)pyren jeweils 8 %.
- Da keine Unterschiede zwischen dem Werbeliner See – ohne Motorbootnutzung – und den anderen Seen mit bisher sehr geringer Motorbootnutzung bestehen, muss geschlossen werden, dass es sich bei den nachgewiesenen PAK-Belastungen in der beschriebenen Zusammensetzung um anthropogen bedingte Hintergrund-Konzentrationen handelt, wie sie für urbane Gebiete typisch sind. Auch durch die Literaturrecherche und den Vergleich mit Daten nicht-urbaner Gebiete konnte dies bestätigt werden. Die nachgewiesenen höhermolekularen PAK gelangen u.a. aus Verbrennungsprozessen und KFZ-Verkehr über die Luft und mit Niederschlägen in die Gewässer und werden dort aufgrund ihrer überwiegend hohen Adsorptionskoeffizienten überwiegend an Partikel gebunden und in das Sediment verfrachtet.

### 7.1.2 Monitoring Fließgewässer

- In den Jahren 2011 bis 2014 erfolgten an ausgewählten Fließgewässern des Leipziger Gewässerverbundes insgesamt 40 Schwebstoffuntersuchungen an 6 bzw. 7 verschiedenen Messstellen. Für das Monitoring wurden Messstellen im Stadtgebiet Leipzigs an der Weißen Elster, am Floßgraben und am Karl-Heine-Kanal ausgewählt.
- Die wassertouristische Nutzung durch Motorboote ist auf der Weißen Elster zwischen Pistorissteg und Elsterflutbett sowie im Karl-Heine-Kanal gegeben, was im Jahr 2011 anhand von Bootszählungen (BGMR [1]) bestätigt wurde. Hingegen ist der motorbetriebene Bootsverkehr auf dem Floßgraben aus Naturschutzgründen nicht zugelassen.
- Die Analyseergebnisse der Schwebstoffuntersuchungen in den ausgewählten Fließgewässern zeigten keine Befunde für die Schadstoffgruppe der BTEX sowie MKW-typischen Aliphaten und Aromaten. PAK konnten fast immer auf niedrigem Konzentrationsniveau nachgewiesen werden. Die mittleren PAK-Konzentrationen waren im Karl-Heine-Kanal (Engertstraße 0,60 mg/kgTS und Weißenfelder Straße 0,31 mg/kg TS) am höchsten. In der Weißen Elster lag der mittlere PAK-Gehalt der Schwebstoffe beider Messstellen bei 0,10-0,17 mg/kg TS. Im Floßgraben wurden nur sehr vereinzelt PAK-Befunde nachgewiesen, wobei die Mittelwerte beider Messstellen mit 0,13 bzw. 0,20 mg/kg TS sogar etwas oberhalb der Konzentration in der Weißen Elster lagen.
- Die Messstelle Engertstraße am Karl-Heine-Kanal zeigte mehrfach erhöhte PAK-Konzentrationen, wobei Motorbootemissionen nicht als Ursache für die Belastung anzusehen sind, da die Befunde auch außerhalb der Nutzungssaison (im Frühjahr)

gemessen wurden, während die Messwerte zur Hochsaison der Motorbootnutzung deutlich geringer waren. Der Karl-Heine-Kanal in der Innenstadt von Leipzig befindet sich vielmehr im Gebiet von erhöhten PAK-Einträgen durch diffuse urbane Quellen, wie Entwässerungen von Dach- und Verkehrsflächen.

- Im Floßgraben wurden teilweise PAK-Befunde festgestellt, obwohl dort keine Nutzung durch Motorboote erfolgt. Neben der urbanen Hintergrundbelastung sind bei diesem Gewässer auch die Einleitung der Kläranlage Markkleeberg sowie eines Regenwassersammlers als punktförmige Schadstoffquelle zu berücksichtigen.
- Die angegebenen Umweltqualitätsziele für Schwebstoffe gemäß den Angaben der FGG-Elbe [7] wurden überwiegend eingehalten. Lediglich der obere Schwellenwert für Fluoranthen wurde im Karl-Heine-Kanal und im Floßgraben mehrfach überschritten.
- Die festgestellte geringe PAK-Belastung der untersuchten Fließgewässer kann auf Grundlage der vorliegenden Monitoringergebnisse nicht auf die Nutzung durch Motorboote mit Verbrennungsmotor zurückgeführt werden. Die Befunde zeigen vielmehr die Auswirkung der Schadstoffeinträge durch punktförmige Einleitungen (Kläranlagen, Entwässerungen) und die atmosphärische Deposition des urban und industriell geprägten Untersuchungsgebietes.

### 7.1.3 Nutzungsmonitoring Cospudener See

- Die Kenntnis über die Betriebszeiten der Verbrennungsmotoren der Motorboote auf dem Cospudener See bildet eine wesentliche Grundlage für die Bilanzierung und Bewertung des resultierenden Schadstoffeintrages in den Wasserkörper. Nachdem im Prognose-Gutachten zur Bootsnutzung auf Tagebauseen in der Region Leipzig (ECOSYSTEM SAXONIA und DESCON, 2008) entsprechende Betriebszeiten abgeschätzt wurden, diente das vorliegende Nutzungsmonitoring zur Erfassung der tatsächlichen Bootsnutzung bzw. der Betriebsstunden des Motoreinsatzes.
- Für die Erfassung der Bootsnutzung auf dem Cospudener See wurde eine Methodik entwickelt (Bootszählungen), die mit relativ einfachen Mitteln umsetzbar ist, die übertragbar auf mögliche Monitoringprogramme anderer Tagebauseen ist sowie die wesentlichen Kenngrößen zur Bootsnutzung in der gewünschten Genauigkeit erfasst und nachvollziehbar dokumentiert.
- Die Ermittlung der Betriebsstunden von Verbrennungsmotoren bezieht sich auf Segelboote mit Flautenschieber (Hilfsmotor), Motorboote mit Außenborder und Fahrgastschiffe. Darüber hinaus wurden muskelgetriebene Boote und Boote mit alternativem Antrieb (Elektromotor) im Rahmen der Bootszählungen berücksichtigt.
- Die Ergebnisse der Bootszählungen haben gezeigt, dass die wassertouristische Nutzungsintensität neben den mittelfristig unveränderlichen Rahmenbedingungen (Liegeplätze im Hafen, Erreichbarkeit, mögliches Streckennetz bzw. Größe der befahrbaren Wasserfläche) vor allem von den Wetterbedingungen und der Saisonzeit

abhängt. Erwartungsgemäß wurden intensivste Nutzungen an Wochenenden während der Sommerferien bei sehr guten Wetterbedingungen festgestellt.

- Die Betriebsdauer der Motoren aller beobachteten Segelboote bewegt sich zu den ausgewählten Stichtagen 2013 und 2014 meist zwischen 2 und 12 Stunden pro Tag. Für Motorboote beträgt diese Dauer 1 bis 8 Stunden pro Tag. Fahrgastschiffe verkehren zwischen 4 und 8 Stunden pro Tag, wobei die MS Cospuden den Großteil ausmacht. Aus den statistisch aufbereiteten Ergebnissen der Bootzählung resultiert für ein Segelboot pro Nutzungstag eine mittlere Betriebsdauer von 1,5 Stunden. Für Motorboote beträgt dieser Wert 2,9 Stunden.
- Die Ermittlung der jährlichen Betriebsstunden für Segelboote, Motorboote und Fahrgastschiffe erfolgte auf der Basis der Beobachtungswerte sowie unter Berücksichtigung der veränderlichen Nutzungsbedingungen (meteorologische Verhältnisse und Saisonzeiten), von denen die Bootsnutzung maßgeblich geprägt wird .
  - Segelboote: In einem Jahr mit mittleren Nutzungsbedingungen beträgt die Summe der Betriebsdauer von Verbrennungsmotoren an Segelbooten 570 h/a, während unter optimalen Nutzungsbedingungen sogar 1024 h/a erreicht werden. Bei gegenwärtig 86 zugelassenen Segelbooten resultiert pro Boot eine jährliche Einsatzdauer von 6,6 bis 11,9 Stunden.
  - Motorboote: In einem Jahr mit mittleren Nutzungsbedingungen beträgt die Summe der Betriebsdauer von Verbrennungsmotoren an Motorbooten 400 h/a, während unter optimalen Nutzungsbedingungen sogar 722 h/a erreicht werden. Bei gegenwärtig 80 zugelassenen Motorbooten resultiert pro Boot eine jährliche Einsatzdauer von 6,6 bis 9,0 Stunden.
  - Fahrgastschiffe: In einem Jahr mit mittleren Nutzungsbedingungen beträgt die Summe der Betriebsdauer von Verbrennungsmotoren an Fahrgastschiffen 972 h/a, während unter optimalen Nutzungsbedingungen sogar 1222 h/a erreicht werden. Der Großteil der Stunden wird durch die MS Cospuden geleistet, die auf dem See nach Fahrplan verkehrt. Den übrigen Anteil machen die Charterfahrten der MS Neuseenland aus.
- Gegenwärtig dürfen insgesamt 168 Boote (mit Verbrennungsmotor) mit wasserrechtlicher Genehmigung auf dem Cospudener See verkehren. Die Flottenzusammensetzung besteht aus 86 (51 %) Segelbooten mit Flautenschieber, 80 (48 %) typverschiedenen Motorbooten (Sportboote, Verleihboote, Angelboote, Schlauchboote) und zwei Fahrgastschiffen. Ein Großteil der zugelassenen Boote (77 %) verfügt über eine geringe Motorisierung bis 10 PS.
- Die Ergebnisse aus dem Nutzungsmonitoring ermöglichen eine aktualisierte Berechnung der motorbootbedingten Schadstoffemissionen in den Cospudener See unter Berücksichtigung der aktuell zugelassenen Flottenzusammensetzung und der festgestellten Nutzungsintensität. Die Genauigkeit dieser Schadstoffbilanzierung hat gegenüber der Abschätzung im Prognosegutachten 2008 deutlich zugenommen. Die berechnete Summe der HC-Emissionen beträgt in einem Jahr mit mittleren Nutzungsbedingungen 113 kg HC/a und unter optimalen Nutzungsbedingungen 182 kg HC/a. Der

größte Emissionsanteil (42 %) wird durch die Segelboote mit Flautenschieber verursacht, während Motorboote und Fahrgastschiffe ähnliche Anteile tragen.

- Die Bootsbelegung am Cospudener See beträgt aktuell unter Berücksichtigung aller 168 zugelassenen Boote mit Verbrennungsmotor rund 0,39 Boote pro Hektar Seefläche. Diese Bootsdichte kommt dem damaligen Szenario von 0,5 Booten/ha nahe. Die aktuell für den Cospudener See berechnete maximale HC-Emission von rund 180 kg HC/a bzw. 0,42 kg HC/(ha\*a) beträgt allerdings weniger als 10 % der zum damaligen Zeitpunkt prognostizierten Belastung. Als Ursache für die deutlich geringere Emission gegenüber dem Prognosezustand ist zu sehen, dass die aktuelle Bootsflotte eine geringere Motorisierung ausweist als in der damaligen Annahme und zudem im aktualisierten Berechnungsansatz von kürzeren Betriebszeiten der Motoren ausgegangen wird.
- Die vorliegende Immissionsbilanzierung erfolgte entsprechend einer TÜV-Studie unter dem Ansatz, dass rund 25 % der Schadstoffe aus den unter Wasser emittierten Abgasen in den See eingetragen werden. In einem Jahr mit optimalen Nutzungsbedingungen resultiert ein HC-Eintrag in den Wasserkörper von 21 kg pro Jahr bzw. 0,048 kg/(a\*ha). In Bezug auf das gesamte Epilimnionvolumen des Cospudener Sees und unter Berücksichtigung der Verteilungskoeffizienten entspricht dies folgenden Schadstoffkonzentrationen:
  - Kohlenwasserstoffe (HC) 0,48 µg/l (UQZ: 10 µg/l)
  - BTEX 0,14 µg/l (UQZ: 10 µg/l)
  - PAK  $1,4 - 4,8 \cdot 10^{-4}$  µg/l (UQZ: 0,003 µg/l)
- Die ermittelten Schadstoffeinträge durch Motorboote machen damit gegenwärtig nur einen geringen Anteil der angesetzten Umweltqualitätsziele aus.

## 7.2 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

### Schlussfolgerungen

- Das Nutzungsmonitoring für den Cospudener See zeigt gegenüber den bisherigen Ansätzen eine reduzierte Nutzung des Verbrennungsmotorantriebes der vorhandenen Boote. Das wird sowohl durch eine geringere Motorisierung der Boote als auch durch eine geringere Nutzungsdauer - als 2009 angenommen - bedingt. Die gegenwärtige Emission beträgt nur 9-15 % der 2009 [3] prognostizierten Mengen. Die mit 21 kg/a HC geringe Immissionsrate nutzt die Umweltqualitätsnormen (d.h. Richtwerte für die maximale Schadstoffbelastung) z.Z. nur zu 2-15 % aus.
- Die aktuelle Nutzungssituation des Cospudener Sees hinsichtlich der Motorbootnutzung zeigt damit eine gegenüber anderen Wassersportrevieren niedrige Nutzungsintensität, die sich langfristig – insbesondere durch den Verbundbetrieb mit dem Zwenkauer See – deutlich ändern kann. Dies betrifft
  - die Intensität der Motorisierung und
  - die Häufigkeit der Bootsnutzung.

Die gegenwärtige „Nutzungsmentalität“ kann sich damit zukünftig deutlich ändern. Insbesondere wird erwartet, dass der Anteil gewerblich betriebener Mietboote - mit einer erhöhten Nutzungsintensität - zunimmt. Das ist gegenwärtig am Cospudener See noch nicht zu beobachten.

Für die Absicherung der Verallgemeinerbarkeit der für den Cospudener See erhobenen Nutzungsdaten ist es erforderlich, dass zumindest an einem zweiten See Vergleichswerte erhoben werden. Hierfür bietet sich der Hain/Haubitzer See an, der gegenwärtig bereits die prognostizierte Bootsbelegung von 0,5 Booten/ha (genehmigt) erreicht hat.

- Leicht abbaubare und leichtflüchtige Schadstoffe (BTEX, MKW) waren in den Seen nicht nachweisbar. Die gegenwärtig nur geringen PAK-Konzentrationen sind durch anthropogen bedingte Stoffeinträge aus der Atmosphäre sowie aus den punktförmigen und diffusen Quellen urbaner Gebiete (z.B. entwässerte Verkehrs- und Dachflächen) bedingt. Ausgehend von der nachgewiesenen geringen Nutzungsintensität stehen sie in keinem ursächlichen Zusammenhang mit Motorbootemissionen. Im Vergleich zu den Ergebnissen der Nutzungsintensität und den daraus abgeleiteten zu erwartenden Immissionen sind diese erhobenen Messwerte plausibel erklärbar, da mit den angesetzten Emissions- bzw. Immissionsgrenzen ein No-Effekt-Level für die Belastung des Sees eingehalten werden sollte. Dieses wird gegenwärtig noch deutlich unterschritten, so dass die Hintergrundbelastung mit PAK dominiert und leichter abbaubare Schadstoffe nicht festzustellen sind.
- Die Ergebnisse charakterisieren damit den gegenwärtigen Ausgangszustand bzw. die Vorbelastung bezüglich zukünftiger Nutzungen.
- Das Nutzungsmonitoring für die Fließgewässer im Stadtgebiet Leipzigs (BGMR, 2010-2011) zeigt bereits gegenwärtig eine Ausnutzung der für die Motorboote in den Teilabschnitten vorgesehenen Kapazität von 36-54 % für die Stadteler/Elsterflutbett und von 5 % im Floßgraben. Durch die dargestellten Untersuchungen konnte auf den Teilabschnitten der Weißen Elster, des Karl-Heine-Kanals und des Floßgrabens keine signifikante Belastungserhöhung bezüglich BTEX, HC und PAK in den Schwebstoffen der fließenden Welle nachgewiesen werden.
- Die Bewertung der Ergebnisse ist aufgrund mangelhafter Datenlage zu Vergleichswerten sowie Umweltqualitätszielen für Schwebstoffe erschwert. Ausgehend von den strengerem UQN für PAK nach OberfVO (prioritäre Stoffe) sowie der von der FG (Sedimentmanagementkonzept für Elbe-EZG, [7]) und IKSE erarbeiteten Sedimentklassifikation (einschl. Schwebstoffe) wird empfohlen, die 2009 abgeleiteten Qualitätsziele (d.h. Richtwerte für die maximale Schadstoffbelastung) für MKW, BTEX und PAK beizubehalten.
- Auch hier sollte ein No-Effekt-Level des Einflusses der Motorbootnutzung erzielt werden. Dies wurde aus Vorsorgegründen auf den MNQ-Fall bei anhaltendem Trockenwetter bezogen, während die Untersuchungen überwiegend nur bei höheren Abflüssen erfolgen konnten. Die vom LfULG erhobenen Daten der PAK- und Schadstoffbelastung der Weißen Elster zeigen, dass bereits gegenwärtig UQN für PAK überschritten werden, so dass zur Erfüllung der Anforderungen nach § 27 WHG Abs. 2 oberirdische Gewässer so zu bewirtschaften sind, dass

- eine Verschlechterung ihres ökologischen Zustandes und chemischen Zustandes vermieden wird und
- ein guter ökologische Zustand und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.

Hinsichtlich der Motorbootnutzung ist es deshalb erforderlich, dieses Ziel No-Effekt-Level zu erhalten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Intensität der wassertouristischen Motorbootnutzung noch nicht voll entwickelt ist. Mit dem Lindenauer Hafen wird hier eine deutliche Erhöhung der Nutzungsintensität erwartet.

- Das Grundkonzept für eine an die Gewässerbedingungen der Seen und Fließgewässer (Hydromorphologie und Ökologie) angepasste Motorbootnutzung hat sich damit bestätigt.

## **Empfehlungen**

- Das Vorsorgeprinzip ist ein Grundsatz der europäischen Umweltpolitik. Die Vorsorge soll zur Erhaltung, zum Schutz und zur Verbesserung der Umweltqualität beitragen. Im Falle der PAK ist dieser Grundsatz besonders relevant, da es sich um Schadstoffe handelt, die krebserregend, erbgutverändernd und/oder fortpflanzungsgefährdend sind. Insbesondere durch ihre Persistenz und die Bioakkumulation sind sie in der Umwelt stabil und reichern sich u.a. in Organismen an. In Gewässern werden PAK an Schwebstoffe gebunden und reichern sich im Sediment sowie in Wasserorganismen an.
- Im Falle der untersuchten Tagebauseen ist außerdem zu berücksichtigen, dass es sich um oligotrophe Gewässer handelt, in denen das Selbstreinigungspotential gegenüber z.B. eutrophen Seen geringer ist. Nach den bisher vorliegenden limnologischen Gutachten sind oligotrophe Bedingungen auch für absehbare Zeiträume für diese Seen prognostiziert. Sollten sich grundlegende Randbedingungen ändern, z.B. die dauerhafte Einbindung von Vorflutern (Weiße Elster, Gösel, Wyhra), muss dieser Umstand auch für die hier diskutierten Aussagen neu bewertet werden.
- Des Weiteren handelt es sich in den gerade entstandenen Seen um noch junge, instabile Ökosysteme, die auf Schadstoffeinflüsse besonders sensitiv reagieren können. Wie die Literaturrecherche gezeigt hat, besteht außerdem ein sehr geringer diesbezüglicher Kenntnisstand für Tagebauseen. Deshalb gebührt dem Vorsorgeprinzip hier besondere Bedeutung.
- Unter Berücksichtigung der zukünftig zu erwartenden Veränderungen der Motorbootnutzung, für die eine Intensivierung für die Seen und Fließgewässer zu erwarten ist, besteht deshalb weiterhin die Notwendigkeit
  - emissionsarme Antriebe zur Sicherung einer weiterhin sehr guten Wasserbeschaffenheit sowie der Gewährleistung des Verschlechterungsverbotes (nach EU-WRRL) und des Verschlechterungsverbots/Verbesserungsgebotes (nach WHG §27 ff) sowie
  - an die Fließgewässerhydromorphologie optimal angepasste Bootskörper zur Vermeidung erhöhter Sedimentresuspension und Ufererosion

zu favorisieren. Der Schwerpunkt für emissionsarme Antriebe liegt dabei bei der gewerblichen Motorbootnutzung, um für den privaten Bereich die Nutzung von Verbrennungsmotoren für den Antrieb der Motor- und Segelboote nach der Sportmotorbootrichtlinie 2003/44/EG zulassen zu können. Die Emissionsanforderung nach der Richtlinie 2003/44/EG stellt eine Mindestbedingung dar, so dass empfohlen wird, auch bei einer Schiffbarkeitserklärung diese Mindestanforderung zu setzen. Die Motorbootnutzung auf den Seen und Fließgewässern mit Booten, die diese Mindestanforderung nicht erfüllen, z.B. veraltete Motoren – insbesondere Zweitakter – sollte weiterhin untersagt bleiben.

Zusammengefasst werden diese Empfehlungen in folgender Abbildung:

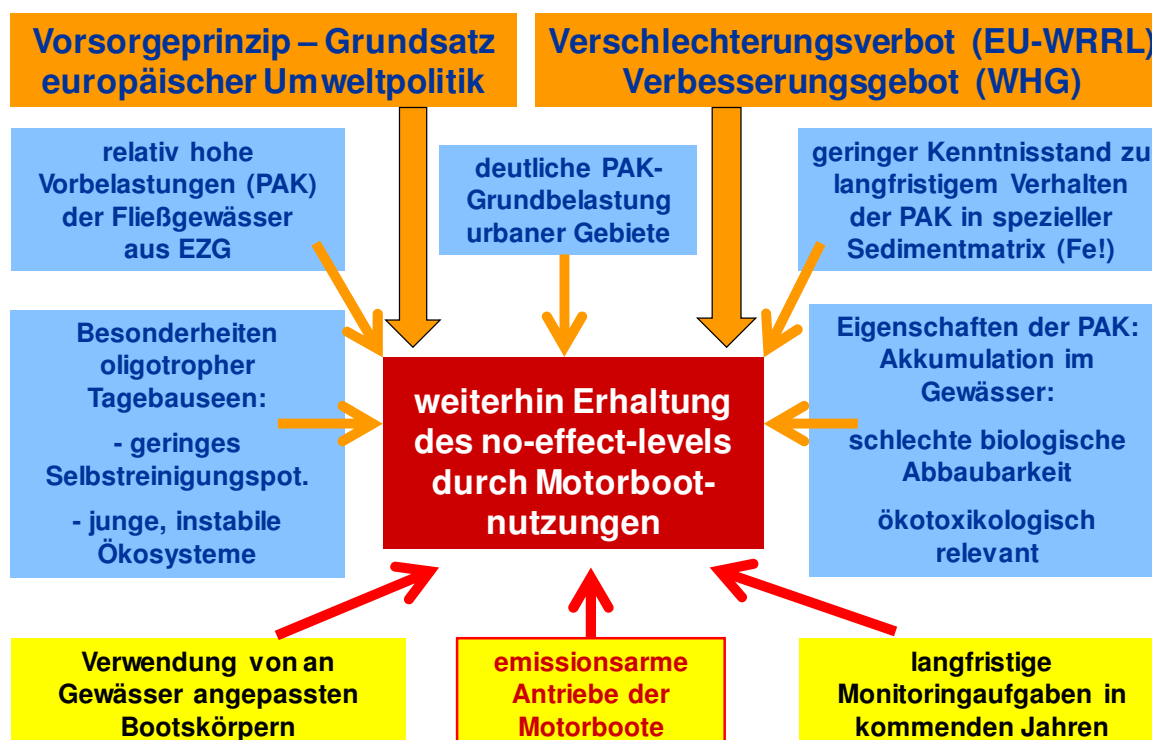


Abb. 7-1: Randbedingungen und Empfehlungen zur Erhaltung des „no-effect-levels“ durch Motorbootnutzungen

- Im Ergebnis des Monitorings liegen Ansätze für die Bilanzierung des Einflusses der Motorbootnutzung auf die Wasserbeschaffenheit vor. Diese sollte speziell unter dem Aspekt der zukünftigen Schiffbarkeitserklärung sowie der zukünftigen Erweiterung der Nutzungen (z.B. durch Lindenauer Hafen, kurze Verbindung zwischen Cospudener und Zwenkauer See) geprüft und laufend aktualisiert werden. Die Festlegungen zur Kapazität der Häfen bzw. der Anzahl der Liegeflächen und -plätze sowie die Anzahl und Art der gewerblichen Nutzungen stellen dafür entscheidende Einflussgrößen dar.
- Das Nutzungsmonitoring für die Seen und Fließgewässer ist zur Verfolgung der zu erwartenden Veränderungen in einem Abstand von jeweils 3-5 Jahren zu aktualisieren. Hierzu sollten auch die konkrete Motorisierung der jeweiligen Bootsflotten und deren Nutzungszeiten zur Abschätzung der Motoremissionen quantifiziert werden. In Abhängigkeit der Ergebnisse soll über den konkreten Zeitpunkt der Wiederholung des Gewässermonitorings entschieden werden.

- Für den Hainer See, der gegenwärtig bereits die prognostizierte Bootsbelegung von 0,5 Booten/ha (genehmigt) erreicht hat, ist 2015/16 ein Nutzungsmonitoring nach der erarbeiteten Methodik durchzuführen. Dadurch kann auch die Verallgemeinerbarkeit der bisherigen Aussagen für den Cospudener See für die anderen Seen überprüft und bestätigt werden. Auf der Basis dieser Vergleichsergebnisse ist die Bilanzierung von Liege- und Hafenplätzen zu überprüfen.
- Zur Beobachtung der Auswirkungen der zukünftigen Nutzungen im Vergleich zum jetzigen Ausgangszustand sollte das Gewässermonitoring bezüglich der PAK-Belastungen in Schwebstoffen und im Sediment ca. aller 5 Jahre durchgeführt werden. Das Ziel besteht weiterhin darin, eine Schadstoffakkumulation in den Seen und einen signifikanten Schadstoffeintrag in die Fließgewässer zu erkennen und sicher zu vermeiden. Unter diesem Aspekt ist eine langfristige Weiterführung dieses Monitorings zu empfehlen.
- Für die weitere Genehmigungspraxis ist ein Tool zur Bilanzierung der Motorbootemissionen mit Vorgabe entsprechender Obergrenzen für die Emission/Immission zu entwickeln und einzuführen. Dadurch können nachvollziehbare und belastbare Behördenentscheidungen unterstützt werden. Damit kann von der gegenwärtigen Praxis der Benutzung von Vorgabewerten für die jeweilige Bootskategorie abgewichen werden und auf die konkreten Bedingungen in den einzelnen Seen eingegangen werden.
- Auf der Basis der Ergebnisse für den Cospudener See sollte eine Modellierung des Schadstoffabbaus bzw. der Schadstoffeliminierung sowie der Schadstoffakkumulation für PAK und BTEX durchgeführt werden. Anhand von Simulationsszenarien für die zukünftige Entwicklung der Nutzungen soll die gegenwärtige Vorgabe der zu erwartenden Auslastung der Immissionsobergrenze für Motorbootemissionen für die Seen überprüft werden. Damit besteht die Möglichkeit, in diesen Selbstreinigungsprozessen bestehende „Reserven“ für den Schadstoffabbau begründet einzuschätzen. Der besonderen Situation der Schwebstoff- und Sedimentgenese in den Tagebauseen ist dabei ein besonderes Augenmerk beizumessen. Der Betrachtungshorizont beträgt 10, 25 und 100 Jahre. Neben der Präzisierung der Daten für die Zusammensetzung der Bootsflotte, der Aktualisierung und Prognose des Nutzungsverhaltens besteht damit die Möglichkeit, die Immissionsziele begründet so zu wählen, dass eine langfristige Schadstoffakkumulation in den Schwebstoffen, Sedimenten und in der Biota ausgeschlossen werden kann.



Eine Zusammenfassung dieser Empfehlung veranschaulicht die folgende Abbildung:

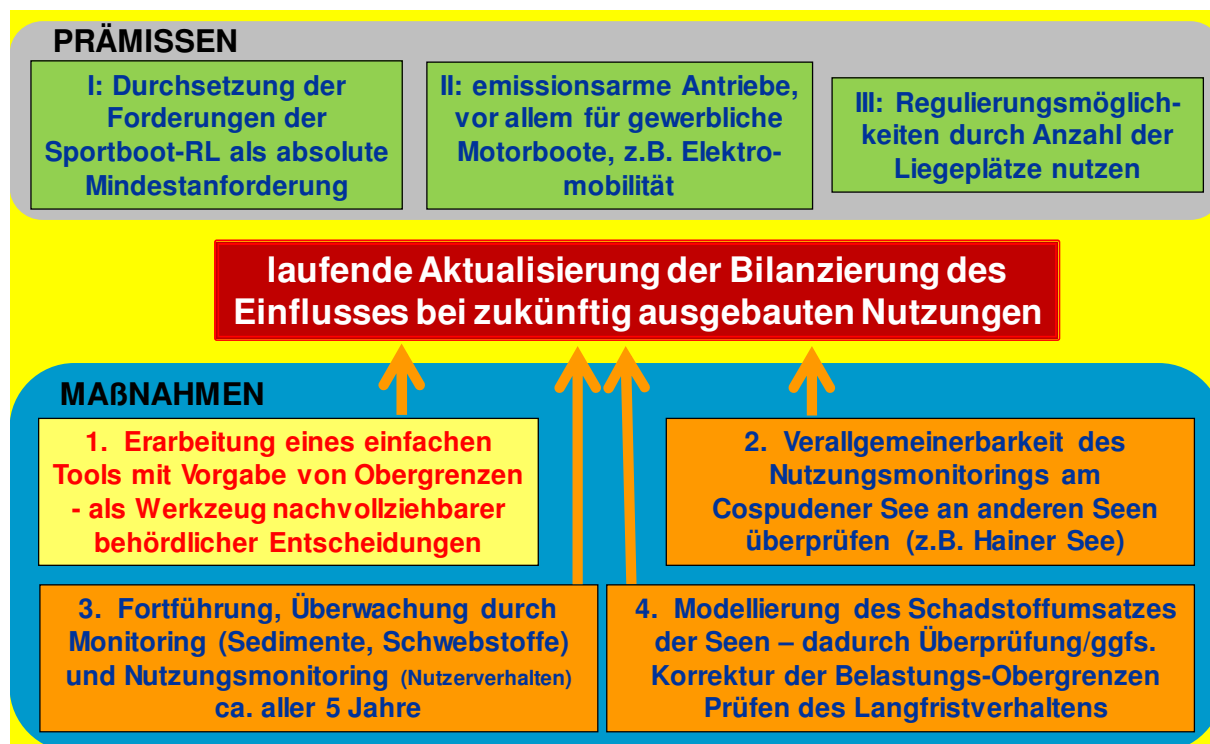


Abbildung 7-2:Prämisse und empfohlene Maßnahmen bei künftig ausgebauter Nutzung

## Literatur/ Grundlagen

- [1] BECKER GISEKE MOHREN RICHARD (BGMR, 2011): Erfassung wassertouristischer Nutzungen im Rahmen des Monitorings
- [2] ECOSYSTEM SAXONIA / DESCON (2008): Konzeption zur nachhaltigen Nutzung der Tagebauseen In der Region Leipzig. Gutachten im Auftrag von Grüner Ring Leipzig, vertreten durch Stadt Leipzig, Amt für Stadtgrün und Gewässer. Bearbeiter: ECOSYSTEM SAXONIA GmbH, DesCon, Dr. Masilge.
- [3] ECOSYSTEM SAXONIA (2009): Optimierung der Emissionsbelastung der Fließ- und Verbindungsgewässer des Leipziger Gewässerverbundes durch die Motorbootnutzung zur nachhaltigen Nutzung der Tagebauseen In der Region Leipzig. Gutachten im Auftrag von Grüner Ring Leipzig, vertreten durch Stadt Leipzig, Amt für Stadtgrün und Gewässer. Bearbeiter: ECOSYSTEM SAXONIA GmbH.
- [4] ECOSYSTEM SAXONIA: Monitoring für ausgewählte Fließ- und Standgewässer des Leipziger Gewässerverbundes unter dem Aspekt der Erfassung der Motorbootemission und deren Auswirkungen (1.Zwischenbericht, Febr. 2012)
- [5] ECOSYSTEM SAXONIA: Monitoring für ausgewählte Fließ- und Standgewässer des Leipziger Gewässerverbundes unter dem Aspekt der Erfassung der Motorbootemission und deren Auswirkungen (2.Zwischenbericht, Febr. 2013)
- [6] ECOSYSTEM SAXONIA: Monitoring für ausgewählte Fließ- und Standgewässer des Leipziger Gewässerverbundes unter dem Aspekt der Erfassung der Motorbootemission und deren Auswirkungen (3.Zwischenbericht, Febr. 2014)
- [7] FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT ELBE (FGG Elbe, 2013): Sedimentmanagementkonzept der FGG Elbe: Vorschläge für eine gute Sedimentmanagementpraxis im Elbegebiet zur Erreichung überregionaler Handlungsziele
- [8] Grüner Ring Leipzig (2012):  
<http://www.gewaesserverbund.de/liesmich/motorbootnutzung.html>, und  
<http://www.gewaesserverbund.de/liesmich/zehnregeln.html>, Stand 02/2012.
- [9] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Landesweite Untersuchung auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen, Kap. 6.07 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- [10] Höll, K. (2002): Wasser: Nutzung im Kreislauf, Hygiene, Analyse und Bewertung. Hrsg. von Andreas Grohmann, 8., völlig neu bearb. Aufl., Walter de Gruyter Verlag Berlin; New York, 2002
- [11] Umweltbundesamt (2012): Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe – Umweltschädlich! Giftig! Vermeidbar? (PDF, <http://www.umweltbundesamt.de>)
- [12] Umweltbundesamt (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS, Fuchs et. al.
- [13] Wassertouristisches Nutzungskonzept (WTNK) Leipziger Neuseenland (2011): Nutzungsoptimierung auf mehrfach genutzten Gewässerabschnitten im Stadtgebiet Leipzigs; Herausgeber: Grüner Ring Leipzig, Zweckverband Kommunales Forum Südraum Leipzig, Stadt Leipzig Amt für Umweltschutz