

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 299 24 275  
UBA-FB 000418



# Ökotoxikologische Sedimentkartierung der großen Flüsse Deutschlands

von

**Dipl.-Biol. Martina Duft**

**Dipl.-Biol. Michaela Tillmann**

Internationales Hochschulinstitut Zittau

**Prof. Dr. Jörg Oehlmann**

Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt am Main

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei

**Vorauszahlung von 10,00 €**

durch Post- bzw. Banküberweisung,  
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der  
Postbank Berlin (BLZ 10010010)  
Fa. Werbung und Vertrieb,  
Ahornstraße 1-2,  
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte  
eine schriftliche Bestellung mit Nennung  
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**  
und der **Anschrift des Bestellers** an die  
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr  
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und  
Vollständigkeit der Angaben sowie für  
die Beachtung privater Rechte Dritter.  
Die in der Studie geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 33 00 22  
14191 Berlin  
Tel.: 030/8903-0  
Telex: 183 756  
Telefax: 030/8903 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet II 3.4  
Dr. Bettina Rechenberg

Berlin, Mai 2003

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 000418	2.	3.
4. Titel des Berichts Ökotoxikologische Sedimentkartierung der großen Flüsse Deutschlands		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Duft, Martina <sup>1</sup> & Tillmann, Michaela <sup>1</sup> Oehlmann, Jörg <sup>2</sup>	8. Abschlussdatum 31.10.2002	
	9. Veröffentlichungsdatum	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)  <sup>1</sup> Internationales Hochschulinstitut Zittau, Markt 23, D-02763 Zittau <sup>2</sup> Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt am Main, Zoologisches Institut, Abteilung Ökologie und Evolution, Siesmayerstrasse 70, D-60054 Frankfurt am Main	10. UFOPLAN-Nr. 299 24 275	
	7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14191 Berlin	
15. Zusätzliche Angaben	11. Seitenzahl 226	
	12. Literaturangaben 79	
	13. Tabellen und Diagramme 26	
	14. Abbildungen 54	
16. Zusammenfassung Im Projekt wurde eine bundesweite ökotoxikologische Sedimentkartierung großer Fließgewässer durchgeführt. Dazu wurden insgesamt etwa 200 Sedimentproben aus 12 ausgewählten großen Flüssen Deutschlands (Donau, Elbe, Ems, Main, Mosel, Neckar, Neisse, Oder, Rhein, Ruhr, Saar und Weser) auf ihre abiotischen Parameter (Schwermetalle, PAK, organischer Kohlenstoffgehalt, Korngröße) hin analysiert sowie mit zwei biologischen Testverfahren mit benthischen Invertebraten (Nematodentest mit dem Fadenwurm <i>Caenorhabditis elegans</i> und Chironomidentest mit der Zuckmücke <i>Chironomus riparius</i> ) untersucht.  Dieses umfangreichen Datenmaterial wurde anschließend statistisch ausgewertet und mit Hilfe eines iterativen Verfahrens ein fünfstufiges, statistisch abgesichertes Bewertungskonzept in Anlehnung an die EU-Wasserrahmenrichtlinie entwickelt, welches auf den Ergebnissen der biologischen Tests beruht. Insgesamt erwies sich die Bewertung anhand des Nematodentests als deutlich sensitiveres Verfahren.  Über eine Hauptkomponentenanalyse sowie Korrelationen konnte gezeigt werden, dass die Parameter der beiden Biotests unterschiedliche Informationen liefern und daher der kombinierte Einsatz beider Testverfahren sinnvoll ist. Korrelationen zeigten eine Abhängigkeit der Biotestergebnisse von abiotischen Parametern (Kohlenstoffgehalt, Korngröße sowie Schwermetallbelastung).		
17. Schlagwörter		
18. Preis		
		20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 000418	2.	3.
4. Report Title Ecotoxicological sediment survey of large German rivers		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Duft, Martina <sup>1</sup> & Tillmann, Michaela <sup>1</sup> Oehlmann, Jörg <sup>2</sup>		8. Report Date 31.10.2002
6. Performing Organisation (Name, Address)  <sup>1</sup> International Graduate School Zittau, Markt 23, D-02763 Zittau <sup>2</sup> Johann-Wolfgang-Goethe-University Frankfurt am Main, Zoological Institute, Department of Ecology and Evolution, Siesmayerstrasse 70, D-60054 Frankfurt am Main		9. Publication Date
		10. UFOPLAN-Ref. No. 299 24 275
7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency) Postfach 33 00 22, 14191 Berlin		11. No. of Pages 226
		12. No. of Reference 79
		13. No. of Tables, Diagrams 26
		14. No. of Figures 54
15. Supplementary Notes		
16. Abstract In this project, a nation-wide, ecotoxicologically-based sediment survey was carried out. For this purpose, a total of about 200 sediment samples from 12 selected large German rivers (Danube, Elbe, Ems, Main, Mosel, Neckar, Neisse, Odra, Rhine, Ruhr, Saar and Weser) were analysed with regard to abiotic parameters (heavy metals, PAH, organic carbon content, particle size) and also by means of two biological test systems with benthic invertebrates (nematode test with the roundworm <i>Caenorhabditis elegans</i> and chironomid test with the non-biting midge <i>Chironomus riparius</i> ).  Subsequently, this comprehensive data set was analysed statistically. By means of an iterative method, a five-stage, statistically-derived assessment concept which is founded on the results of the biological tests, was developed following the EU water framework directive. In general, the classification with the nematode test turned out to be the more sensitive method.  A principal component analysis and correlations showed that the parameters of both biotests provide different information which suggests a combined use of both tests. Correlations also indicate a connection of biotest results and abiotic parameters (organic carbon content, particle size and heavy metal contamination).		
17. Keywords		
18. Price		
		20.

# INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis .....	7
Tabellenverzeichnis .....	9
1 Einleitung .....	11
2 Untersuchungsgebiet .....	14
3 Material und Methoden .....	27
3.1 Probenahme .....	27
3.2 Chemisch-physikalische Untersuchung der Sedimente .....	28
3.2.1 Schwermetallanalytik .....	28
3.2.2 Bestimmung der Elemente N, C, S und H .....	29
3.2.3 Bestimmung der PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe) ..	30
3.2.4 Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehalts (Glühverlust) .....	32
3.2.5 Korngrößenbestimmung .....	32
3.3 Biologische Untersuchung der Sedimente .....	33
3.3.1 Nematodentest mit <i>Caenorhabditis elegans</i> .....	33
3.3.2 Sedimenttoxizitätstest mit <i>Chironomus riparius</i> .....	37
4 Ergebnisse .....	42
4.1 Donau .....	42
4.1.1 Abiotische Parameter .....	42
4.1.2 Biologische Tests .....	44
4.2 Elbe .....	47
4.2.1 Abiotische Parameter .....	47
4.2.2 Biologische Tests .....	49
4.3 Ems .....	52
4.3.1 Abiotische Parameter .....	52
4.3.2 Biologische Tests .....	54
4.4 Main .....	57
4.4.1 Abiotische Parameter .....	57
4.4.2 Biologische Tests .....	58
4.5 Mosel .....	62

4.5.1	Abiotische Parameter.....	62
4.5.2	Biologische Tests .....	63
4.6	Neckar.....	67
4.6.1	Abiotische Parameter.....	67
4.6.2	Biologische Tests .....	68
4.7	Neisse .....	72
4.7.1	Abiotische Parameter.....	72
4.7.2	Biologische Tests .....	73
4.8	Oder .....	77
4.8.1	Abiotische Parameter.....	77
4.8.2	Biologische Tests .....	78
4.9	Rhein.....	82
4.9.1	Abiotische Parameter.....	82
4.9.2	Biologische Tests .....	84
4.10	Ruhr .....	87
4.10.1	Abiotische Parameter.....	87
4.10.2	Biologische Tests .....	88
4.11	Saar.....	92
4.11.1	Abiotische Parameter.....	92
4.11.2	Biologische Tests .....	92
4.12	Weser.....	95
4.12.1	Abiotische Parameter.....	95
4.12.2	Biologische Tests .....	96
5	Bewertungskonzept .....	100
5.1	Definition der ökologischen Zustandsklassen gemäss EG-WRRL .....	100
5.2	Bestimmung der Klassengrenzen anhand des Iterativen Verfahrens .....	101
5.3	Nematodentest.....	102
5.4	Chironomidentest.....	105
5.5	Verrechnungsmöglichkeiten der Ergebnisse für beide Biotests.....	109
5.6	Bewertung der einzelnen Flüsse.....	111

6	Diskussion.....	113
6.1	Ergebnisse der Sedimentkartierung.....	113
6.2	Bewertungskonzept.....	125
6.2.1	Lagerungseffekte .....	126
6.2.2	Korrelationen der Ergebnisse der Biotests mit abiotischen Parametern..	127
	Nematodentest.....	127
	Chironomidentest.....	129
6.2.3	Salinität .....	131
6.2.4	Korrelation der beiden biologischen Tests.....	132
6.2.5	Faktoren-/Hauptkomponentenanalyse .....	133
6.2.6	Fuzzy logic .....	136
6.2.7	Ortsunabhängige Klassifizierung .....	140
6.2.8	Kontrollsedimente .....	141
6.2.9	Sensitivität und Anwendbarkeit der beiden Biotests .....	141
6.2.10	Handlungsempfehlungen .....	143
7	Zusammenfassung .....	145
8	Literatur .....	147
	Danksagung.....	157
	Anhang.....	158

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Untersuchungsgebiet: Übersicht der beprobten Flüsse.....	14
Abbildung 2. Probenahmegeräte: Stechcorer und Ekman-Sedimentgreifer.....	27
Abbildung 3. <i>Caenorhabditis elegans</i> , Habitus (Hermaphrodit).....	34
Abbildung 4. Ablaufschema für den Nematodentest. ....	35
Abbildung 5. <i>Chironomus riparius</i> : Habitus eines männlichen (links) und weiblichen Imagos (rechts). ....	37
Abbildung 6. <i>Chironomus riparius</i> : Generationszyklus. ....	38
Abbildung 7. Ablaufschema für den Chironomidentest.....	39
Abbildung 8. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Donau.....	43
Abbildung 9. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Donau .....	45
Abbildung 10. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Donau .....	46
Abbildung 11. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Elbe .....	48
Abbildung 12. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Elbe .....	50
Abbildung 13. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Elbe .....	51
Abbildung 14. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Ems .....	53
Abbildung 15. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Ems.....	55
Abbildung 16. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Ems.....	56
Abbildung 17. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen des Mains .....	58
Abbildung 18. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen des Mains .....	59
Abbildung 19. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen des Main .....	61
Abbildung 20. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Mosel.....	63
Abbildung 21. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Mosel .....	64
Abbildung 22. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Mosel .....	66



Abbildung 23. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen des Neckars .....	68
Abbildung 24. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen des Neckars .....	69
Abbildung 25. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen des Neckars .....	71
Abbildung 26. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Neisse .....	73
Abbildung 27. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Neisse .....	74
Abbildung 28. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Neisse .....	76
Abbildung 29. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Oder .....	78
Abbildung 30. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Oder .....	79
Abbildung 31. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Oder .....	81
Abbildung 32. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen des Rheins .....	83
Abbildung 33. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen des Rheins .....	85
Abbildung 34. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen des Rheins .....	86
Abbildung 35. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Ruhr .....	88
Abbildung 36. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Ruhr .....	89
Abbildung 37. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Ruhr .....	91
Abbildung 38. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Saar .....	93
Abbildung 39. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Saar .....	94
Abbildung 40. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Saar .....	95
Abbildung 41. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Weser .....	97
Abbildung 42. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Weser .....	98

Abbildung 43. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Weser .....	99
Abbildung 44. Bewertungsschema für den Nematodentest.....	104
Abbildung 45. Bewertungsbeispiel anhand des Nematodentests.....	105
Abbildung 46. Bewertungsschema für den Chironomidentest.....	107
Abbildung 47. Bewertungsbeispiel anhand des Chironomidentests.....	108
Abbildung 48. Verrechnungsmöglichkeiten der Ergebnisse der Biotests mit <i>C. elegans</i> und <i>C. riparius</i> .....	110
Abbildung 49. Bewertung einzelner Sedimente – Verrechnungsbeispiele. ....	111
Abbildung 50. Ergebnisse einer RDA zum Vergleich der Ladungen von Biotestergebnissen und abiotischen Parametern .....	135
Abbildung 51. Ergebnisse einer PCA zum Vergleich von Biotestergebnissen und Metallgehalten .....	136
Abbildung 52. Vergleich der „herkömmlichen“ Klassifizierung der Odersedimente (a) mit denen einer Fuzzy Logic-basierten Bewertung (b) für den Nematodentest. ....	138
Abbildung 53. Vergleich der „herkömmlichen“ Klassifizierung der Odersedimente (a) mit denen einer Fuzzy Logic-basierten Bewertung (b) für den Chironomidentest.....	139
Abbildung 54. Anteil [%] der ökologischen Zustandsklassen am Ergebnis des Nematodentests (a) und des Chironomidentests (b).....	142

### **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1. Probenahmestellen an der Donau. ....	15
Tabelle 2. Probenahmestellen an der Elbe.....	16
Tabelle 3. Probenahmestellen an der Ems.....	18
Tabelle 4. Probenahmestellen am Main .....	19
Tabelle 5. Probenahmestellen an der Mosel .....	20
Tabelle 6. Probenahmestellen am Neckar.....	20
Tabelle 7. Probenahmestellen an der Neisse.....	21
Tabelle 8. Probenahmestellen an der Oder.....	22

Tabelle 9. Probenahmestellen am Rhein.....	22
Tabelle 10. Probenahmestellen an der Ruhr.....	24
Tabelle 11. Probenahmestellen an der Saar.....	25
Tabelle 12. Probenahmestellen an der Weser.....	25
Tabelle 13. Geräteeinstellung bei der Multielementanalyse (ICP-MS).....	28
Tabelle 14. Geräteeinstellung bei der Elementanalyse (ICP-OES).....	29
Tabelle 15. ASE-Betriebsparameter während der Extraktion.....	30
Tabelle 16. Gradientenpumpenprogramm der HPLC-Anlage.....	30
Tabelle 17. Betriebsparameter der verwendeten HPLC-Anlage.....	31
Tabelle 18. Bewertungsschema zur Klassifikation der PAK-Belastung des Bremer Senators für Bau und Umwelt.....	31
Tabelle 19. Einteilungen in ökologische Zustandsklassen anhand der Hemmwerte für die Parameter des Nematodentests.....	102
Tabelle 20. Einteilungen in ökologische Zustandsklassen anhand der Hemmwerte für die Parameter des Chironomidentests.....	106
Tabelle 21. Durchschnittliche ökotoxikologische Bewertung der untersuchten Flüsse anhand des Nematoden- und Chironomidentests.....	112
Tabelle 22. Korrelationsmatrix der Hemmwerte der Parameter im Nematodentest (N) und der wichtigsten abiotischen Parameter.....	127
Tabelle 23. Korrelationsmatrix der Hemmwerte der Parameter im Chironomidentest (C) und der wichtigsten abiotischen Parameter.....	129
Tabelle 24. Korrelationsmatrix der Hemmwerte der Parameter des Nematodentests (N) und des Chironomidentests (C).....	132
Tabelle 25. Ergebnisse der Faktorenanalyse.....	133
Tabelle 26. Vor- und Nachteile der beiden Biotests.....	142



## 1 EINLEITUNG

Das Sediment von Flüssen stellt für viele Schadstoffe eine Senke für über die Wasserphase eingetragene Schadstoffe dar (Prorsi & Müller 1987, Fiedler & Rösler 1993, Calmano 2001), so dass Sedimentuntersuchungen für eine umfassende Bewertung der Gewässerbelastung unverzichtbar sind. Treffenderweise werden Sedimente daher auch als „Gedächtnis des Wassers“ bezeichnet. Eine Remobilisierung sedimentgebundener Schadstoffe kann jedoch z.B. durch Hochwasserereignisse oder beim Ausbaggern von Wasserstrassen bzw. bei Veränderungen der physiko-chemischen Bedingungen (pH-Wert, Redoxpotential, Salinität, Huminstoffgehalt) jederzeit erfolgen (Calmano 2001). Zudem kann eine Biokonzentration der Schadstoffe in Benthosorganismen erfolgen, so dass Schadstoffe in die Nahrungskette gelangen und sich dort anreichern (Ingersoll et al. 1995). Seit längerer Zeit besteht Einigkeit über die Notwendigkeit, die Sedimentqualität, ähnlich der Wasserqualität, einem Bewertungsverfahren zu unterziehen (Long & Chapman 1985, Förstner et al. 1987, Krebs 1992).

Da eine rein chemisch-analytische Sedimentbewertung jedoch mittlerweile als unzureichend betrachtet wird (Ahlf 1995), wird verstärkt nach ökotoxikologischen Testmethoden gesucht, die eine summarische Beurteilung über Wirkdaten erlauben (Zimmer & Ahlf 1994). Chemisch-analytische Untersuchungen geben zwar Aufschluss über das Auftreten von Umweltschadstoffen in Sedimenten, liefern jedoch keine Information über die Bioverfügbarkeit sowie die Wirkung bzw. Wechselwirkungen der vorgefundenen Chemikalien in unterschiedlichen Konzentrationsbereichen und damit über deren tatsächliche Toxizität für sedimentbewohnende Organismen (O'Connor & Paul 2000). Darüber hinaus erscheint es fast unmöglich und mit enormen Kostenaufwand verbunden, alle potentiellen Schadstoffe analytisch zu erfassen. Hingegen bieten ökotoxikologische Wirkungsuntersuchungen, die Effekte von Sedimenten auf Biota in den Vordergrund stellen, eine sinnvolle Ergänzung bzw. sind als sinnvollere Alternative sogar vorzuziehen, da sie Aussagen zur Lebensqualität und Überlebenswahrscheinlichkeit von benthischen Organismen liefern können.

Möglich ist der Einsatz von Biotests, die den Einfluss von Eluaten, Extrakten oder aber des Gesamtsediments untersuchen. Die Exposition der Testorganismen gegenüber dem Gesamtsediment ist dabei am empfehlenswertesten, da sie die reale Situation am ehesten widerspiegelt. Die Biotestorganismen nehmen hierbei über mehrere Expositionspfade (Sediment, Porenwasser, Nahrung) die im Sediment vorhandenen Schadstoffen auf.

Bei der ökotoxikologischen Bewertung von Sedimenten werden momentan im wesentlichen Arthropoden und hierbei vor allem Insekten (*Chironomus tentans*, *Chironomus riparius*, *Hexagenia limbata*, *Polypedilum nubifer*) und Anneliden

(*Limnodrilus hoffmeisteri*, *Lumbriculus variegatus*, *Tubifex tubifex*) sowie Crustaceen (*Gammarus fasciatus*, *Hyalella azteca*) eingesetzt (Wentsel et al. 1977, Henry et al. 1986, Hatakeyama 1987, Wiederholm et al. 1987, Borgmann et al. 1989, Dermott & Munawar 1992, Hoke et al. 1994, Martinez-Madrid et al. 1999, Ristola et al. 1999). Zudem finden neuerdings auch zunehmend Biotests mit Nematoden (*Caenorhabditis elegans*) und Gastropoden (*Potamopyrgus antipodarum*, *Nassarius reticulatus*) Anwendung in der Sedimentbewertung (Höss et al. 1999, Schulte-Oehlmann et al. 2001, Tillmann et al. 2001, Duft et al. 2002, 2003).

Den Schwerpunkt dieses Projekts bildet die Erfassung des Belastungszustandes von Sedimenten mit Hilfe biologischer Methoden. Besondere Berücksichtigung finden dabei die Biotests mit *Caenorhabditis elegans* (Nematoda) und *Chironomus riparius* (Chironomidae). Bei diesen beiden weitgehend standardisierten Verfahren ist die Methodenentwicklung relativ weit fortgeschritten. So liegt dem Chironomidentest ein OECD-Richtlinienentwurf zugrunde (OECD 2000) und für den Nematodentest ein DIN-Richtlinienentwurf, nach denen die Biotests durchgeführt wurden. Beide Organismen werden gegenüber dem Gesamtsediment exponiert.

2000 wurde von der EU eine neue Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) verabschiedet (2000/60/EG), deren Ziele unter anderem Maßnahmen zum Schutz und zur Verbesserung des Zustands von aquatischen Ökosystemen sind (Europäische Union 2000). Als bedeutsames biologisches Element aquatischer Ökosysteme sind dabei auch Sedimentorganismen (Makrozoobenthos) als wichtiges Schutzziel zu betrachten. Ein biologisches Effektmonitoring zur Überwachung von Fließgewässersedimenten erfolgt jedoch bislang noch nicht routinemäßig. Demzufolge fehlt auch ein standardisiertes Sedimentbewertungskonzept, das eine Klassifizierung der zuvor bei ausgewählten Organismen beobachteten Effekte erlaubt. Es liegen bereits eine Reihe von Vorschlägen für entsprechende Bewertungskonzepte vor (Ahlf et al. 1999, Henschel et al. 2001, Hollert 2001, Ahlf et al. 2002), die an einzelnen Sedimenten bzw. ausgewählten Flussabschnitten erprobt wurden.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollte daher erstmals bundesweit ein ökotoxikologisch begründetes Bewertungssystem für Fließgewässersedimente erstellt und erprobt werden, das in Anlehnung an die ökologische Klassifizierung der EG-Wasserrahmenrichtlinie statistisch abgesichert fünf Stufen umfassen sollte. Dazu wurden etwa 200 Sedimente ausgewählter größerer Fließgewässer in Deutschland (a) geochemisch und (b) im Hinblick auf ihre Toxizität mit Hilfe des Nematoden- und Chironomidentests charakterisiert. Auf Grundlage dieses umfangreichen Datenmaterials, der Ergebnisse der chemischen Analysen und der ermittelten biologischen Effekte, sollte (c) ein statistisch abgesichertes, fünfstufiges Bewertungssystem erarbeitet und angewendet werden, das sich zur Routineanwendung bei der Sedimentbewertung eignet. Darüber hinaus sollte (d) eine Sediment-Belastungskarte der im Projekt bearbeiteten Flüsse erstellt werden, die auf den Ergebnissen der biologischen Tests beruht.

Die praktische Durchführung des Projekts erfolgte in vier Stufen:

- Probenahme bzw. -organisation der Sedimente (in Zusammenarbeit mit den jeweiligen zuständigen Landesämtern bzw. überregionalen Organisationen)
- Durchführung der chemischen Analysen und der biologischen Tests
- Statistische Auswertung und Erstellung eines Bewertungskonzepts
- Darstellung der Ergebnisse in einer Belastungskarte.

## 2 UNTERSUCHUNGSGEBIET

Das Untersuchungsgebiet umfasst 12 große Flüsse, die über das gesamte Bundesgebiet verteilt sind: Donau, Elbe, Ems, Main, Mosel, Neckar, Neisse, Oder, Rhein, Ruhr, Saar und Weser (Abbildung 1). Soweit möglich, wurden etwa alle 20 km Sedimentproben entnommen, um eine repräsentative und flächendeckende Beprobung zu gewährleisten.



Abbildung 1. Untersuchungsgebiet: Übersicht der beprobten Flüsse.

Die **Donau**, mit insgesamt 2778 km zweitlängster Fluss Europas, durchfließt auf ihrer 578 km langen Fließstrecke in Deutschland die Bundesländer Baden-Württemberg und Bayern, bevor sie bei Passau nach Österreich und von dort weiter in Richtung Schwarzes Meer strömt. Von Ulm bis zur österreichischen Grenze befinden sich 22 große Stauanlagen im Fluss. Die Donau gilt von allen großen Strömen Deutschlands



als am geringsten belastet und wird weitgehend der Gewässergüteklasse II (mäßig belastet) zugeordnet (LAWA 2002). Zwischen Pfohren und Passau wurde die Donau insgesamt an 27 Stellen beprobt (Tabelle 1).

Tabelle 1. Probenahmestellen an der Donau mit Strom-km (R = rechtsseitig, L = linksseitig, z.T. keine Angaben vorliegend), Datum und pH-Wert.

Nr.	Probenahmestelle	Strom-km	Datum	pH-Wert	Anmerkungen
1	Pfohren	2776,0L	11/00	7,48	
2	Scheer	2685,0R	11/00	7,36	
3	Ulm-Wiblingen	2682,0L	11/00	7,78	
4	Thalfigen	2579,0L	10/00	7,01	Einleiter
5	Günzburg	2562,4L	10/00	7,74	Einleiter
6	Dillingen	2538,0R	10/00	7,23	Donauried
7	Erlingshofen	2517,0R	10/00	7,09	Staustufe
8	Schäfstall (Donauwörth)	2503,2L	10/00	7,35	Steilufer
9	Stepperg	2485,2L	10/00	7,08	Auengebiet
10	Joshofen	2477,0L	10/00	7,35	
11	Vohburg (KW Großmehring)	2451,0L	10/00	7,33	Staustufe
12	Neustadt	2432,2L	10/00	7,50	
13	Sittling	2429,2R	10/00	7,76	
14	bei Kehlheim	2414,7L	10/00	7,35	
15	Kehlheim Yachthafen	2410,0L	10/00	7,33	Hafenbecken
16	Oberndorf Staustufe	2397,4L	10/00	7,29	Oberwasser
17	Matting	2393,1R	10/00	7,48	Fähre
18	Donaustauf	2369,6L	10/00	7,23	Ölfilm
19	Gmünd	2347,0R	10/00	7,12	
20	Kagers	2322,0R	10/00	7,01	Kanuverein
21	Irlbach	2301,0R	10/00	7,06	Auengebiet
22	Deggendorf	2284,5L	10/00	7,92	Schiffanleger
23	Niederalteich	2276,1L	10/00	7,66	Fähre
24	Vilshofen	2247,6R	10/00	7,34	bei Klärwerk

25	Kachlett KW	2230,3	06/00	7,37	
26	Oberzell	2210,0L	10/00	7,35	bei Klärwerk
27	Jochenstein KW	2203,5	06/00	7,27	

Die gesamte Länge der **Elbe** in Deutschland beträgt 727 km. Sie entspringt als Labe in Tschechien, von wo aus sie bei Schmilka in der Sächsischen Schweiz die deutsche Grenze überquert. Auf ihrem Weg in die Nordsee durchquert die Elbe die Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Hamburg. Während die Elbe vor der Wiedervereinigung Deutschlands überwiegend in die Gewässergüteklassen III bis IV (stark bis übermäßig verschmutzt) einzustufen war, gilt sie nun im Unterlauf im wesentlichen als kritisch belastet (Gewässergüteklasse II-III, LAWA 2002). Von der Elbe wurden an insgesamt 51 Stellen Sedimentproben genommen (Tabelle 2).

Tabelle 2. Probenahmestellen an der Elbe mit Strom-km (R = rechtsseitig, L = linksseitig, z.T. keine Angaben vorliegend), Datum und pH-Wert. k. A. = keine Angaben.

Nr.	Probenahmestelle	Strom-km	Datum	pH-Wert	Anmerkungen
1	Schmilka	4,0L	07/00	7,72	Fähre
2	Prossen	13,0	06/00	8,02	Hafen
3	Königstein	16,0L	07/00	7,78	Fähre
4	Pirna	35,0L	07/00	7,72	
5	Dresden-Pillnitz	43,0L	07/00	7,73	uh. Fähre
6	Dresden-Marienbrücke	56,0R	07/00	7,28	
7	Dresden-Gohlis	65,0L	07/00	7,91	Fähre
8	Scharfenberg	76,0L	07/00	7,54	uh. Fähre
9	Meißen	83,0	06/00	8,19	Hafen
10	Zehren	90,0R	07/00	7,74	Fähre
11	Riesa	107,0R	07/00	7,79	Fähre
12	Strehla	115,0L	07/00	7,07	Fähre
13	Mühlberg	128,0R	07/00	7,56	oh. Fähre
14	Belgern	140,0L	07/00	7,20	Fähre
15	Torgau	155,0L	07/00	7,89	Fähre

16	Domnitzsch Fähre	172,0L	07/00	7,72	Fähre
17	Domnitzsch	173,0	06/00	7,74	Buhne
18	Pretzsch	174,9L	06/00	7,66	
19	Roßlau	257,0L	06/00	7,89	
20	Mulde Dessau	7,6L	06/00	6,26	oh. Wehr
21	Aken	274,9R	06/00	8,02	
22	Magdeburg-Westerhüsen	318,0L	06/00	7,26	
23	Femersleben	322,0	06/00	7,66	Sportboothafen
24	Lostau	337,0	06/00	7,02	Buhne
25	Magdeburg-Heinrichsberg	345,1L	06/00	7,08	Kalilager
26	Sandfurth	363,0	06/00	7,00	Buhne
27	Tangermünde	388,0L	06/00	7,54	
28	Tangermünde Werkhafen	390,0	06/00	7,27	
29	Arneburg Hafen	409,0	06/00	7,20	
30	Sandau	416,2R	06/00	7,70	
31	Havel Schleuse	423,0	06/00	7,96	Buhne
32	Wittenberge	455,0	06/00	7,83	Hafen
33	Cumlosen	470,0	06/00	7,46	Hafen
34	Schnackenburg	474,5	09/00	7,40	
35	Damnatz	510,0	06/00	7,75	Sportboothafen
36	Tießau	526,0	06/00	8,17	Hafen
37	Tespe	579,0	06/00	7,85	Hafen
38	Geesthacht Hafen	583,0	06/00	7,86	
39	Geesthacht Tidewehr	585,9	09/00	7,40	
40	Bunthaus	610,0	06/00	7,83	Buhne
41	Reiherstieg Nord	k. A.	06/00	7,93	Hafen
42	Vorhafen	k. A.	06/00	7,75	Hafen
43	Köhlfleet	k. A.	06/00	7,03	Hafen
44	Estemündung	633,0	06/00	7,17	

45	Wedel	643,0	06/00	7,20	Yachthafen
46	Lühemündung	646,0	06/00	7,18	Fähre
47	Abbenfleth	660,0	06/00	6,88	Hafeneinfahrt
48	Glückstadt	675,0	06/00	7,45	Hafen
49	Brunsbüttel	697,0	06/00	7,57	Schleuse
50	Müggendorfer Watt	715,0	06/00	8,19	
51	Duhner Watt	730,0	06/00	8,25	

Die **Ems** entspringt im Bundesland Nordrhein-Westfalen und fließt nach 371 km in Niedersachsen in die Nordsee. Der gesamte Emsverlauf wird den Gewässergüteklassen II und II-III (mäßig bis kritisch belastet) zugeordnet, im Brackwasserbereich ist die Ems als sehr stark verschmutzt (Güteklasse III-IV) eingestuft (LAWA 2002). Vor allem starke Ausbaumaßnahmen und diffuse Nährstoff- und Pestizideinträge aus der Landwirtschaft stellen ein Problem dar. Die Ems wurde an 10 Stellen beprobt (Tabelle 3).

Tabelle 3. Probenahmestellen an der Ems mit Strom-km, Datum und pH-Wert.

Nr.	Probenahmestelle	Strom-km	Datum	pH-Wert	Anmerkungen
1	Hövelhof	353,2	04/00	7,01	
2	Westerloher Mühle	345,2	04/00	7,20	
3	Sassenberg	295,4	04/00	7,28	
4	Telgte	273,0	04/00	7,00	
5	Dortmund-Kanal	258,3	04/00	7,23	
6	Greven	246,0	04/00	7,49	
7	an der Landesgrenze	205,1	04/00	7,21	
8	Hanekenfähr	140,0	06/00	7,82	
9	Hilter	186,0	06/00	5,94	
10	Herbrum	212,0	06/00	7,66	oh. Tidewehr

Der **Main** legt den Hauptanteil seiner 524 km langen Fließstrecke in Bayern zurück, bevor er bei Aschaffenburg in das Bundesland Hessen fließt und dort bei Mainz in den

Rhein mündet. Er entspringt bei Kulmbach als Weißer Main und in der Fränkischen Schweiz als Roter Main; erst bei Bamberg vereinigen sich diese beiden Flussläufe. Im Bereich des Untermains bestehen 37 Schleusen. Vom Main wurden insgesamt 14 Proben genommen, 2 weitere Proben wurden von der Regnitz bei Bamberg, kurz vor der Mündung in den Main, genommen (Tabelle 4). Aus logistischen Gründen stammen die meisten Mainsedimente aus dem hessischen Teil.

Tabelle 4. Probenahmestellen am Main mit Strom-km (R = rechtsseitig, L = linksseitig, z.T. keine Angaben vorliegend), Datum und pH-Wert.

Nr.	Probenahmestelle	Strom-km	Datum	pH-Wert	Anmerkungen
1	Regnitz Neuses	24,7	07/00	8,10	
2	Regnitz Hausen	32,4	07/00	7,42	
3	Hallstadt	387,4	07/00	7,61	
4	Schweinfurt	333,0	07/00	7,29	Mainschleuse
5	Kleinostheim	74,5L	11/00	7,09	Schleuse
6	Großwelzheim	71,5R	11/00	7,54	
7	Großkrotzenburg	64,0L	11/00	7,09	Staustufe
8	Steinheimer Bogen	58,0	11/00	7,19	Altarm
9	Hanau	56,0	11/00	7,39	Bauhafen
10	Mühlheim	54,0	11/00	7,23	Oberwasser
11	Offenbach	38,5	11/00	7,01	Staustufe
12	Frankfurt Osthafen	37,5	11/00	7,09	
13	Frankfurt Westhafen	33,0	11/00	7,28	
14	Griesheim	29,0	11/00	7,09	Schleuse
15	Eddersheim	16,0	11/00	7,02	Schleuse
16	Kostheim	3,8	11/00	7,15	

Die **Mosel** entspringt in Frankreich und fließt anschließend ein kurzes Stück durch das Saarland und weiter durch das Bundesland Rheinland-Pfalz, wo sie schließlich, als größter linker Nebenfluss des Rheins, bei Koblenz in den Rhein mündet. Die gesamte Fließstrecke in Deutschland beträgt 242 km. Von der Mosel wurden 11 Sedimentproben entnommen (Tabelle 5).

Tabelle 5. Probenahmestellen an der Mosel mit Strom-km, Datum und pH-Wert.

Nr.	Probenahmestelle	Strom-km	Datum	pH-Wert	Anmerkungen
1	Palzem	229,8	06/00	7,05	
2	Grevenmacher	212,7	06/00	7,03	
3	Trier	195,8	06/00	6,96	
4	Detzem	166,8	06/00	7,11	
5	Wintrich	141,5	06/00	7,05	
6	Zeltingen	123,8	06/00	7,01	
7	Enkirch	103,0	06/00	7,01	
8	Fankel	59,5	06/00	7,19	
9	Müden	37,0	06/00	7,10	
10	Lehmen	21,0	06/00	7,05	
11	Koblenz	2,0	06/00	7,16	

Der **Neckar** befindet sich im Bundesland Baden-Württemberg, entspringt dort bei Schwenningen in der Schwäbischen Alb und mündet bei Mannheim in den Rhein. Weitgehend kann der Neckar der Gewässergüteklasse II und II-III (mäßig bis kritisch belastet) zugeordnet werden (LAWA 2002). Die gesamte Fließstrecke beträgt 367 km. Vom Neckar wurden 8 Sedimentproben entnommen (Tabelle 6).

Tabelle 6. Probenahmestellen am Neckar mit Strom-km (R = rechtsseitig, L = linksseitig, z.T. keine Angaben vorliegend), Datum und pH-Wert.

Nr.	Probenahmestelle	Strom-km	Datum	pH-Wert	Anmerkungen
1	Neckarsteinach	39,3R	04/01		Schleuse
2	Neckarzimmern	86,0L	04/01	7,40	Schleuse
3	Lauffen	125,5L	04/01	7,80	Schleuse
4	Staustufe Lauffen	126,5	08/01	7,68	Staustufe
5	Obernossen	127,5	08/01		Staustufe
6	Poppenweiler	165,4L	04/01	7,76	Schleuse
7	Deizesau	199,7L	04/01	7,74	Schleuse
8	Tübingen	243,0	04/01	7,95	oh. Wehr

Die Quelle der **Neisse** liegt im tschechischen Isergebirge. Sie überquert bei Zittau die tschechisch-deutsche Grenze und bildet von dort aus über 199 km die Grenze zwischen Polen und Deutschland, bis sie bei Ratzdorf in die Oder mündet. Die Neisse wird weitgehend der Gewässergüteklasse II (mäßig belastet) zugeordnet (LAWA 2002). Obwohl die Neisse nicht zu den großen Flüssen Deutschlands gehört, wurde sie aufgrund ihrer geographisch günstigen Lage (Nähe zum IHI Zittau) mit in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Die Neisse wurde an insgesamt 10 Stellen beprobt (Tabelle 7).

Tabelle 7. Probenahmestellen an der Neisse mit Strom-km (R = rechtsseitig, L = linksseitig), Datum und pH-Wert.

Nr.	Probenahmestelle	Strom-km	Datum	pH-Wert	Anmerkungen
1	Hartau	197,4L	03/00	7,13	
2	Zittau vor Kläranlage	194,0L	03/00	6,83	
3	Zittau nach Kläranlage	193,0L	03/00	7,31	
4	Ostritz Marienthal	178,0L	03/00	7,69	Baggerung
5	Görlitz	151,3L	09/00	7,54	Klärwerk
6	Rothenburg	120,0L	09/00	7,61	
7	Pechern	92,0L	09/00	7,67	Staustufe
8	Bad Muskau	80,0L	09/00	7,41	
9	Forst (Grießen)	40,8L	09/00	7,51	Nähe Tagebau
10	Ratzdorf	0,0L	09/00	7,61	

Die heute 855 km lange **Oder** fließt durch die Tschechische Republik, Polen und Deutschland. Sie ist auf 733 km schiffbar und wurde 1888 bis 1939 von Cosel bis Breslau kanalisiert. Die Oder ist durch Kanäle mit dem Oberschlesischen Industriegebiet, der Weichsel sowie mit Berlin verbunden. Heute spielen sich 80% der Binnenschifffahrt Polens auf der Oder ab. Die bedeutendsten Häfen an der Oder sind Breslau (Wroclaw) und Stettin (Szczecin). Die Oder ist kritisch belastet (Gewässergüte II-III, LAWA 2002). Die hier vorgestellten 13 Probenahmestellen stammen aus dem Unterlauf der Oder, der über 161,7 km im Bundesland Brandenburg die deutsch-polnische Grenze bildet und im Stettiner Haff in die Ostsee mündet (Tabelle 8). Die meisten Beprobungen fanden sowohl auf deutscher als auch auf polnischer Seite statt.

Tabelle 8. Probenahmestellen an der Oder mit Strom-km (R = rechtsseitig, L = linksseitig), Datum und pH-Wert.

Nr.	Probenahmestelle	Strom-km	Datum	pH-Wert	Anmerkungen
1	Ratzdorf	543,0L	06/00	7,98	
2	Eisenhüttenstadt	553,0L	06/00	7,34	
3	Eisenhüttenstadt (PL)	552,0R	05/00	7,00	
4	Aurith	565,0L	06/00	7,86	
5	Aurith (PL)	566,0R	05/00	6,70	
6	Frankfurt/Oder (PL)	584,0R	05/00	8,01	
7	Frankfurt/Oder	586,0L	06/00	7,48	
8	Lebus	593,0L	08/00	7,66	
9	Lebus (PL)	600,0R	05/00	7,70	
10	Kietz	617,0L	08/00	7,80	
11	Kietz (PL)	617,6R	05/00	6,40	
12	Groß-Neuendorf	636,0L	08/00	7,49	
13	Hohenwutzen (PL)	663,0R	05/00	7,33	

Der **Rhein** gilt als der größte westeuropäische Strom. In Deutschland durchquert er auf einer Strecke von 695 km die Bundesländer Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen. Während der Rhein in den 70er Jahren noch streckenweise die Gewässergüteklassen III-IV (sehr stark verschmutzt) und IV (übermäßig verschmutzt) aufwies, ist er heute weitgehend der Güteklasse II (mäßig belastet) zuzuordnen. In den Bereichen des Hochrheins kann sogar die Güteklasse I-II (gering belastet) vergeben werden (LAWA 2002). Der Rhein wurde an insgesamt 37 Stellen beprobt (Tabelle 9).

Tabelle 9. Probenahmestellen am Rhein mit Strom-km (R = rechtsseitig, L = linksseitig, z.T. keine Angaben vorliegend), Datum und pH-Wert.

Nr.	Probenahmestelle	Strom-km	Datum	pH-Wert	Anmerkungen
1	Albbruck	113,0	11/00	7,63	
2	Augst	155,0	03/01	7,70	
3	Birsfelden	162,0	03/01	8,34	



4	Märkt	173,7	03/01	7,78	
5	Burkheim	234,2	03/01	7,76	
6	Weisweil	248,0	03/01	7,58	Stauhaltung
7	Nonnenweiler	268,5	03/01	7,44	
8	Iffezheim	332,5	03/01	7,71	
9	Maximiliansau	362,5	03/00	7,18	Hafen
10	Speyer	400,5	03/00	7,00	Alter Hafen
11	Lampertheim	438,0	11/00	6,83	
12	Worms	443,0	03/00	7,05	Floßhafen
13	Kühkopf	468,0	11/00	7,37	
14	Erfelden	473,0	11/00	7,01	
15	Nierstein	480,0L	11/00	7,04	
16	Gustavsburg	495,8	03/00		Ortslage
17	Gustavsburg	496,0	11/00	7,00	
18	Maaraue	497,0	11/00	7,14	
19	Schierstein	505,0	11/00	7,15	
20	Oberwesel	549,6	03/00	6,89	Schutzhafen
21	Loreley	555,0	11/00	7,18	Schutzhafen
22	Brohl	622,0	11/00	7,15	Handelshafen
23	Oberwinter	639,1L	05/00	7,03	
24	Köln-Deutz	687,3R	05/00	7,13	
25	Köln	687,6L	05/00	7,06	Rheinauhafen
26	Monheim-Hitdorf	706,9R	05/00	7,46	
27	Neuss	740,1L	05/00	7,00	Erftkanal
28	Düsseldorf	743,1R	05/00	7,09	Industriehafen
29	Krefeld	764,1L	05/00	7,15	
30	Duisburg Rheinpreußenhafen	781,1L	05/00	7,64	
31	Duisburg Eisenbahnhafen	781,1R	05/00	6,97	Kühlwasserauslauf Thyssen KW

32	Wesel-Datteln-Kanal	813,1R	05/00	6,78	
33	Xanten	826,9L	05/00	7,30	Baggerloch
34	Lohrwardt	830,0R	05/00	7,08	
35	Müllershof	848,2L	05/00	7,19	Baggerloch
36	Einfahrt Hütthumer Meer	853,8R	05/00	8,19	
37	Keeken-Bimmen	863,8L	05/00	7,13	

Das Ruhrgebiet ist einer der wichtigsten Ballungsräume Europas, mehr als 5 Millionen Menschen leben und arbeiten hier. Ihren Namen erhielt die Region von der **Ruhr**, die an ihrem Südrand entlang fließt. Die Ruhr entspringt bei Winterberg, einem Wintersportgebiet im Hochsauerland, und mündet nach 217 km bei Duisburg-Ruhrort in den Rhein, wo der größte Binnenhafen der Welt liegt. Entlang der Ruhr befinden sich 97 Kläranlagen, 83 Pumpwerke, 17 Wasserkraftwerke, 14 Talsperren sowie die 5 Ruhrstauseen Hengstey-, Harkort-, Kemnader-, Baldeney- und Kettwiger See. Unterbrochen wird der Flussverlauf ferner von Wehranlagen, wie dem Spillenburger Wehr in Essen-Steele und dem Wehr Vogelsang in Essen-Stelle-Horst. Die heute vorrangige Funktion der Ruhr ist die Trinkwasserversorgung. Das Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen stellte uns insgesamt 10 Proben aus dem Bereich zwischen Olsberg und der Mündung der Ruhr in Duisburg zur Verfügung (Tabelle 10).

Tabelle 10. Probenahmestellen an der Ruhr mit Strom-km, Datum und pH-Wert.

Nr.	Probenahmestelle	Strom-km	Datum	pH-Wert	Anmerkungen
1	Olsberg	198,4	05/00	7,08	
2	Meschede	176,9	05/00	7,40	
3	Freienohl	165,2	05/00	7,09	
4	Wickede	122,5	05/00	7,00	
5	Schwerte	101,5	05/00	6,83	Pumpwerk
6	Herdecke	85,5	05/00	6,92	oh. Wehr
7	Witten-Bommern	74,5	05/00	7,06	
8	Bochum-Dahlhausen	50,6	05/00	7,07	
9	Essen nach Baldeneysee	26,5	05/00	7,06	
10	Duisburg	3,3	05/00	7,31	

Von der **Saar**, einem der beiden bedeutendsten Nebenflüssen der Mosel, konnten 2 Sedimentproben bereitgestellt werden (Tabelle 11). Beide stammen aus Lisdorf, einer der 6 Staustufen der Saar. Wie die Mosel entspringt die Saar in den Vogesen bei Sarrebourg und mündet nach 200,8 km oberhalb von Trier in die Mosel. Die Saar gilt nach biologischen Gesichtspunkten vor allem durch die Einleitung der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor als überwiegend kritisch belastet (LAWA 2002). Durch den Ausbau der Kläranlagen wird in den letzten Jahren eine kontinuierliche Verbesserung der Wasserqualität angestrebt.

Tabelle 11. Probenahmestellen an der Saar mit Strom-km, Datum und pH-Wert.

Nr.	Probenahmestelle	Strom-km	Datum	pH-Wert	Anmerkungen
1	oh. Lisdorf	69,8	05/01	7,80	
2	Lisdorf	67,0	05/01	7,53	Staustufe

Über 440 km fließt die **Weser** vom Zusammenfluss von Werra und Fulda bei Münden bis zur Mündung in die Nordsee. Hauptsächlich bewegt sie sich durch Niedersachsen, jedoch haben auch die Bundesländer Hessen und Nordrhein-Westfalen kleine Anteile. Uns lagen insgesamt 10 Sedimentproben zur Bearbeitung vor (Tabelle 12). Seit Beginn der Einleitungen aus dem Kalibergbau zählt die Weser zu den anorganisch am stärksten belasteten Fließgewässern Europas (ARGE Weser 1997). Durch die Begrenzung der kommunalen und industriellen Einleitungen wurde in den letzten Jahren der Zustand zwar verbessert, aktuelle Probleme liegen jedoch neben der noch immer zu hohen Salzbelastung in der Belastung mit Nährstoffen und Schwermetallen (ARGE Weser 1997). Die biologische Gewässergüte der gesamten Weser liegt bei II-III (kritisch belastet). Für die Bereiche unterhalb von Höxter sowie an der Einmündung der Werra ergibt sich die Güteklasse III (stark belastet) (LAWA 2002).

Tabelle 12. Probenahmestellen an der Weser mit Strom-km (R = rechtsseitig, L = linksseitig, z.T. keine Angaben vorliegend), Datum und pH-Wert k. A. = keine Angaben.

Nr.	Probenahmestelle	Strom-km	Datum	pH-Wert	Anmerkungen
1	Boffzen	68,8	09/00	7,63	
2	Hajen	119,9	09/00	7,00	
3	Hess. Oldendorf	146,6	09/00	7,00	
4	Eder- Porta Westfalica	177,5R	04/00	7,11	
5	Petershagen	215,1R	04/00	7,22	
6	Drakenburg	277,6	09/00	7,66	

7	Mündung 1	k. A.	04/00	7,48	
8	Mündung 2	k. A.	04/00	8,21	
9	Mündung 3	k. A.	04/00	7,45	
10	Mündung 4	k. A.	04/00	7,48	
11	Mündung 5	k. A.	04/00	7,21	

Insgesamt lagen somit 206 Sedimentproben aus 12 Flüssen zur Bearbeitung vor.

### 3 MATERIAL UND METHODEN

#### 3.1 PROBENAHME

Die zu untersuchenden Sedimente wurden dem Internationalen Hochschulinstitut Zittau entweder durch die Landesumweltämter der jeweiligen Bundesländer oder durch überregionale Organisationen (z.B. der ARGE Elbe) zur Verfügung gestellt oder, wo dies nicht möglich war, im Rahmen einer eigenen Probenahmekampagne genommen. Die meisten Sedimente wurden im Laufe des Jahres 2000 akquiriert.

Die Probenahme erfolgte mittels eines Stechcorers (5 cm Durchmesser) vom Flussufer oder mit Hilfe eines van-Veen- oder Ekberg-Sedimentgreifers vom Schiff aus (Abbildung 2). Es wurde lediglich Sediment aus den obersten Schichten (0-2 bzw. 0-5 cm Tiefe) verwendet.



Abbildung 2. Probenahmegeräte: Stechcorer (links) und Ekman-Sedimentgreifer (rechts, Foto: Wasserwirtschaftsamt Landshut)

Um eine möglichst homogene Verteilung der Inhaltsstoffe zu gewährleisten, wurden die Proben vor dem Einsatz in den Biotests gut durchmischt. Bis zu ihrer Verwendung wurden die Sedimente in 1 L-PE-Flaschen bei -20°C aufbewahrt, vor allem um Veränderungen der Sedimentinhaltsstoffe zu minimieren und die natürlicherweise im Sediment vorkommende Lebensgemeinschaft (Infauna) abzutöten.

## 3.2 CHEMISCH-PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNG DER SEDIMENTE

### 3.2.1 Schwermetallanalytik

Die Sedimente wurden im Hinblick auf ihre Gehalte an Metallen (Ag, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Tl und Zn) nach DIN 38406 E 29 (DIN 1996) über Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma an der ICP-MS (Perkin Elmer Elan 6000) bzw. über Atomemissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma an der ICP-OES (Perkin Elmer Optima 3000) untersucht.

Dazu wurden 250 mg des Analysegutes gefriergetrocknet (Alpha 1-4, Christ, Osterode/Harz) und mit 6 mL HNO<sub>3</sub> (65% subboiled) und 2 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sowie 1 mL HF (suprapur) versetzt. Der Aufschluss erfolgte in Teflongefäßen in einer High Performance Microwave Digestion Unit MLS 1200 mega (Microwave Lab Systems GmbH, Leutkirch), verbunden mit einer EM-45/A Ablufteinheit.

Als interner Standard für die ICP-MS-Analyse diente eine Rhodiumlösung (je 50 µL einer 10 mg/L Stammlösung). Zur Qualitätssicherung und -kontrolle wurden zusätzlich zwei Standardreferenzmaterialien (Flusssediment 1407-1 und GBW 07406-1) analysiert. Die eigenen Resultate ergaben dabei für die Standardreferenzmaterialien Gehalte innerhalb der zertifizierten Schwankungsbreite.

Die Optimierung der Messgeräte wurde mit einem Mangan-Standard (Kraft, Duisburg) und die anschließende Kalibrierung mit dem ICP-Multielementstandard VI (Merck, Darmstadt) durchgeführt. Zum Spülen der Messgeräte wurde eine 3%ige HNO<sub>3</sub> (subboiled) verwendet. Die Geräteeinstellungen sind Tabelle 13 und Tabelle 14 zu entnehmen. Die ICP-OES wurde zur Bestimmung der Elemente Al, Fe und Mn eingesetzt. Die im Ergebnisteil des Berichtes angegebenen Metallgehalte sind Mittelwerte einer Vierfachbestimmung von jeweils zwei Aufschlüssen eines Sedimentes.

Tabelle 13. Geräteeinstellung bei der Multielementanalyse (ICP-MS).

CEM-Spannung	3,72 V
Plasma	1000 W
Argonvordruck	4,4 bar
Argonfluss	15 L/min
Zerstäubergasfluss	0,93 L/min
Plasmagasfluss	0,8 L/min

Tabelle 14. Geräteeinstellung bei der Elementanalyse (ICP-OES).

Plasma	1200 W
Argonvordruck	4-5 bar
Argonfluss	15 L/min
Zerstäubergasfluss	0,7-0,9 L/min
Plasmagasfluss	0,8 L/min

Den Sedimenten wurden aufgrund der ermittelten Metallgehalte Belastungsklassen von 1 bis 4 nach dem Schema von Wachs (1991) zugeordnet. Dabei wurden deren numerische Werte für die vom Autor bewerteten Elemente Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn für jedes Sediment gemittelt. Zusätzlich wurden die Sedimente entsprechend dem chemischen Klassifikationssystem der LAWA (1998) in Belastungsklassen eingeordnet und beide Werte vergleichend gegenübergestellt. Nach Konvention der LAWA wird das siebenstufige LAWA-System an das fünfstufige EG-System angepasst: durch die Zusammenfassung der Klassen I und I-II zu Klasse 1 und die Zusammenfassung der Klassen III-IV und IV zu Klasse 5. Klasse II wird zu Klasse 2, Klasse II-III wird zu Klasse 3 und Klasse III wird zu Klasse 4.

### 3.2.2 Bestimmung der Elemente N, C, S und H

Die quantitative Bestimmung der Elemente N, C, S und H erfolgte mit Hilfe des Gerätes „elementar vario EL“ mit Wärmeleitfähigkeitsdetektor. Grundlage des Verfahrens ist eine oxidative Verbrennung der in Zinnfolie luftdicht verschlossenen Probe in einer mit Sauerstoff hoch angereicherten Helium-Atmosphäre bei einer Temperatur von 1150°C. Bei der oxidativen Verbrennung entstehen aus den vier Elementen neben molekularem Stickstoff die Oxidationsprodukte CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> und SO<sub>3</sub>. Stickoxide und Schwefeloxide werden an einem Kupferrohr bei 850°C quantitativ zu molekularem Stickstoff und SO<sub>2</sub> reduziert. Die entstandene Gasmischung wird in U-förmigen Trennsäulen nach gaschromatographischen Prinzipien aufgetrennt, in denen nacheinander zunächst SO<sub>2</sub>, anschließend H<sub>2</sub>O und letztlich CO<sub>2</sub> quantitativ aus dem Gasstrom entfernt werden. Der von den Adsorptionssäulen unbeeinflusste Stickstoff tritt mit dem Trägergas Helium als erste Komponente in das Messgerät, gefolgt von den anschließend wieder sukzessive desorbierten CO<sub>2</sub>-, H<sub>2</sub>O- und SO<sub>2</sub>-Anteilen.

### 3.2.3 Bestimmung der PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe)

Die Sedimente wurden im Hinblick auf ihre Gehalte an PAK (Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(a)pyren, Dibenz(ah)anthracen, Benzo(ghi)perylen und Indenol(1,2,3-cd)pyren) nach DIN 38414 S 21 (DIN 1996) an einer HPLC-Anlage (Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatographie) untersucht.

Nachdem die Proben gefriergetrocknet und gemahlen wurden, erfolgte eine beschleunigte Lösemittelextraktion (ASE). Als Extraktionsmittel wurde Cyclohexan verwendet. Die Extraktion erfolgte unter den in Tabelle 15 angegebenen Bedingungen.

Tabelle 15. ASE-Betriebsparameter während der Extraktion.

Extraktionsmittel	Cyclohexan
Extraktionsdruck	10 MPa
Extraktionstemperatur	100 °C
Aufheizphase	5 min
Statische Extraktion	3 x 5 min
Lösemittel-Spülung	60% des Zellvolumens
Stickstoffspülung	1 Mpa für 150 sec

Es folgte eine Reinigung der auf 1,0 mL eingegangenen Proben über 2,8 mL-Kartuschen mit 0,5 g Silikatgelfüllung (SPE-Säule). Der gereinigte Extrakt wurde in eine Acetonitrilphase überführt und für die HPLC-Analyse bereitgestellt. Im Unterschied zur DIN erfolgte die Trennung mit Hilfe der Gradientenelution (Tabelle 16).

Tabelle 16. Gradientenpumpenprogramm der HPLC-Anlage.

Zeit in min	Flussrate in mL/min	Eluent A in %	Eluent B in %
0	0,9	0	100
20	0,9	100	0
35	0,9	0	100
40	0,9	0	100



Die Betriebsparameter der HPLC-Anlage sind in Tabelle 17 wiedergegeben.

Tabelle 17. Betriebsparameter der verwendeten HPLC-Anlage.

Eluent A	Acetonitril
Eluent B	Acetonitril in deion. Wasser (50:50)
Flussrate	0,9 mL/min
Injektionsvolumen	20 µL
Säulenofen	20°C

Für die Detektion von organischen Kohlenwasserstoffen können sowohl Fluoreszenzdetektoren als auch Photodioden-Array-Detektoren verwendet werden. Zur Erzielung optimaler Ergebnisse kamen in den vorliegenden Untersuchungen beide Detektortypen zum Einsatz. Zur Qualitätssicherung und -kontrolle wurde zusätzlich ein Standardreferenzmaterial (Hafensediment CRM 104, Resource Technology Corporation, USA) analysiert. Die eigenen Resultate ergaben dabei für die Standardreferenzmaterialien Gehalte innerhalb der zertifizierten Schwankungsbreite.

Die im Ergebnisteil des Berichtes angegebenen PAK-Gehalte sind Mittelwerte einer Dreifachbestimmung von jeweils drei Aufschlüssen eines Sedimentes.

Für die Beurteilung der Gewässerbelastung durch PAK existieren gesetzlich festgelegte Qualitätsziele, die in den Verordnungen der Bundesländer zur Umsetzung der EG-RL 76/464 festgelegt wurden. Umgerechnet auf Schwebstoffphase und Sedimente ergeben sich Werte von 400 µg/kg TS für Benzo(a)pyren bzw. 1000 µg/kg für Benzo(b)fluoranthen, Benzo(ghi)perylen, Benzo(k)fluoranthen, Fluoranthen und Indeno(1,2,3-cd)pyren. Hier finden die strengeren Richtwerte, die im Auftrag des Bremer Senators für Bau und Umwelt vom Institut für Umweltchemie Bremen zur Abschätzung der Belastungssituation von Werra, Fulda, Aller und Weser konzipiert wurden, Anwendung (Institut für Umweltchemie Bremen 1994). Dieses Bewertungsschema geht von einem dreistufigen Modell aus und definiert die als besonders umweltgefährdend geltenden Verbindungen Benzo(a)pyren und Fluoranthen als Leitsubstanzen (Tabelle 18):

Tabelle 18. Bewertungsschema zur Klassifikation der PAK-Belastung des Bremer Senators für Bau und Umwelt vom Institut für Umweltchemie Bremen.

	<b>Klasse 1</b>	<b>Klasse 2</b>	<b>Klasse 3</b>
	[µg/kg TS]	[µg/kg TS]	[µg/kg TS]
Benzo(a)pyren	<180	<1800	>1800
Fluoranthen	<250	<2500	>2500

Bei Einhaltung der Klasse 1 sind „ökotoxikologische Wirkungen nicht zu erwarten“; wird die Klasse 2 erreicht, „sind ökotoxikologische Wirkungen, insbesondere bei empfindlichen Organismen, bei längerer Einwirkung möglich“. Im Bereich der Klasse 3 sind Konzentrationen erreicht, die „bei langfristiger Einwirkung auf aquatische Organismen Schädwirkungen wahrscheinlich erscheinen lassen, z.B. Veränderungen im Artenspektrum bewirken“.

### **3.2.4 Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehalts (Glühverlust)**

Die Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehalts erfolgte über den Glühverlust der Sedimentprobe (DIN 38414-3, 1985). Dafür wurde das feuchte Sediment in einen ausgeglühten Porzellantiegel gegeben und über Nacht bei 100°C in einem Trockenschrank getrocknet. Anschließend wurde der Tiegel mit der getrockneten Probe für 1 h bei 550°C in einem Muffelofen inkubiert. Nach dem Glühen wurde der Tiegel mit Probe wiederum gewogen und aus der Differenz vor und nach dem Glühvorgang der Glühverlust in % errechnet. Der organische Kohlenstoffgehalt entspricht dann der Hälfte des ermittelten Glühverlustes (Hakanson & Jansson 1983).

### **3.2.5 Korngrößenbestimmung**

#### ***Trockensiebung***

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung der Sedimentproben erfolgte durch Trockensiebung mit Hilfe der Siebvorrichtung AS 200 basic der Firma Retsch nach DIN 66165 (DIN 1987). Dafür wurde das Sediment zunächst bei 40°C im Wärmeschrank getrocknet und dabei von Zeit zu Zeit gerührt, um die Bildung von Artefakten, z.B. durch Verklumpungen, zu vermeiden. Anschließend wurden die einzelnen Korngrößenanteile mit Hilfe von genormten Siebsätzen, die nach Maschenweite geordnet

übereinanderstehen (20 µm, 63 µm, 125 µm, 250 µm, 500 µm, 1000 µm, 2000 µm und 4000 µm), voneinander getrennt. Das Sediment wurde auf das oberste, größte Sieb gegeben und der gesamte Siebsatz, mit einem Deckel verschlossen, auf eine Schüttelmaschine gesetzt. Nach 15 min wurden die einzelnen Fraktionen entnommen und gewogen.

Die ermittelten Massenprozentage können in einer Summenkurve halblogarithmisch dargestellt werden, wobei der Median der mittlere Korngröße entspricht. Die Sedimente wurden daraufhin anhand ihrer mittleren Korngröße in folgende Kornklassen nach Schwoerbel (1994) eingeteilt: Schluff (<60 µm), Feinsand (60-200 µm), Mittelsand (200-600 µm), Grobsand (600-2000 µm) und Feinkies (2000-6300 µm).

### **Partikelgröße**

Zusätzlich erfolgte eine Korngrößenbestimmung mit Hilfe eines Laserdiffraktometers LA-920 (Fa. Horiba, Irvine, CA, USA). Bei diesem optischen Verfahren werden in Suspension befindliche Sedimentpartikel mit einem monochromatischen Helium-Neon-Laser (632,8 nm) bestrahlt und die Beugungsmuster von ringförmig angeordneten Detektoren aufgefangen. Die erzeugten Beugungsmuster sind dabei abhängig vom Durchmesser des bestrahlten Partikels. Mit dieser Methode werden hauptsächlich Partikel mit einer Größe über 0,1 µm gemessen; für die Erfassung von Partikel unter 0,1 µm ist zusätzlich die Kombination des Lasers mit einer eingebauten Wolframlampe nötig.

Aus den Abmessungen der Beugungsmuster wurde mit mathematischen Verfahren die Korngrößenverteilung ermittelt, die im Gegensatz zur Siebung nicht auf Massen-, sondern auf Volumenprozenten beruht. Wiederum wurde die dem Median der Verteilung entsprechende mittlere Korngröße bestimmt, um die Sedimente zu vergleichen. Diese Methode hat den Vorteil einer hohen Genauigkeit und hohen Auflösung und führt relativ schnell zu exakten Ergebnissen.

## **3.3 BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNG DER SEDIMENTE**

Für die biologischen Untersuchungen der Sedimente wurden zwei weitgehend standardisierte Biotests mit benthischen Invertebraten durchgeführt. Dabei kam zum einen der Nematodentest mit *Caenorhabditis elegans* zum Einsatz, zum anderen wurde der Sedimenttoxizitätstest mit der Zuckmücke *Chironomus riparius* durchgeführt. Bei beiden Biotests handelt es sich um sogenannte life-cycle-Tests, die den gesamten Lebenszyklus berücksichtigen. Beide Organismen sind sedimentbewohnend und von hoher ökosystemarer Relevanz.

### **3.3.1 Nematodentest mit *Caenorhabditis elegans***

#### ***Testorganismus***

*Caenorhabditis elegans* gehört in der zoologischen Systematik zum Stamm der Nematelminthes (Schlauchwürmer), weiter zur Klasse der Nematoda (Fadenwürmer) und zur Familie der Rhabditidae, die durch einen deutlichen Mittel- und Endbulbus mit Klappenapparat gekennzeichnet ist. Dieser Organismus steht somit als Vertreter für die Nematoden, die die arten- und individuenreichste Organismengruppe der Metazoen im Benthos darstellen und eine wichtige Rolle in benthischen Nahrungsnetzen spielen.

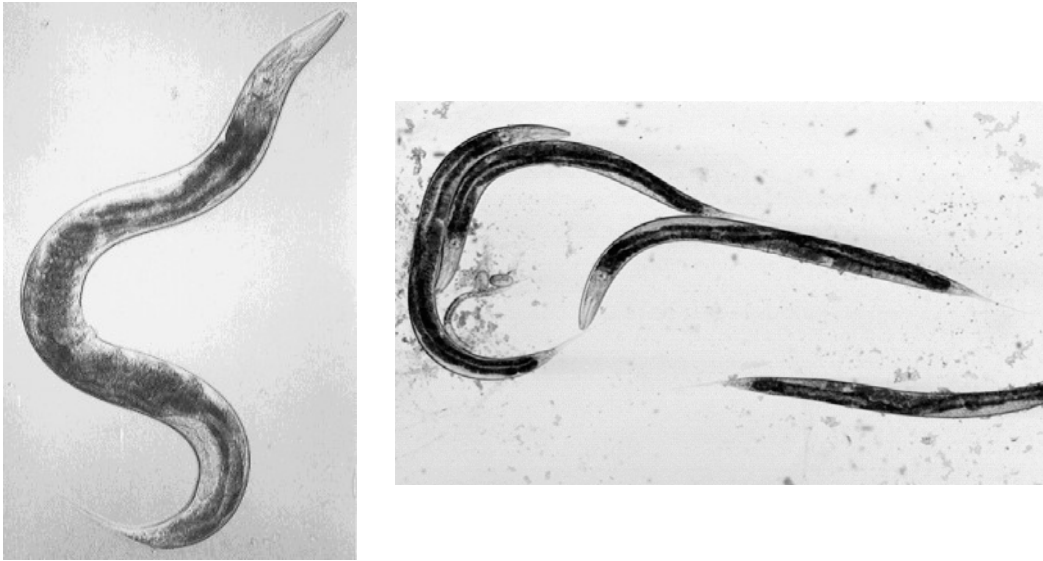


Abbildung 3. *Caenorhabditis elegans*, Habitus (Hermaphrodit).

*C. elegans* ist adult etwa 1 bis 1,5 mm lang und weist eine charakteristische, gedrungene Körperform auf (Abbildung 3). Dieser Nematode ist ein freilebender Bewohner terrestrischer Habitate, der allerdings auch, wenngleich seltener, in Süßwassersedimenten vorkommt. *C. elegans* ernährt sich hauptsächlich von Bakterien und Detritus und bietet den entscheidenden Vorteil, dass er leicht auf Agarplatten zu kultivieren und zu halten ist.

*C. elegans* tritt zumeist als Hermaphrodit auf, selten kommen auch Männchen vor (0,3%). Die Entwicklung von *C. elegans* verläuft vom Ei über vier Juvenilstadien hin zum adulten Tier, wobei die gesamte Generationszeit 72 h (bei 20°C) beträgt. Bei ungünstigen Umweltbedingungen (z.B. induzierter Futtermangel) kann während des Übergangs vom J 2 zum J 3-Stadium ein Dauerstadium ausgebildet werden. Diese Dauerstadien können als sogenannte „Hungerplatten“ monatelang im Labor (bei 10°C) aufbewahrt werden und als Vorratskulturen dienen. Bei Futterzugabe setzen die Dauerstadien ihren normalen Lebenszyklus fort.

*C. elegans* ist durch seinen anatomisch und genetisch einfachen Bau einer der bedeutendsten Modellorganismen in der Entwicklungsbiologie und Molekulargenetik und war auch der erste komplexe Organismus, dessen Genom vollständig sequenziert wurde. Die weitreichenden Kenntnisse über seine Biologie verdeutlichen seine Eignung für den Einsatz als Biotestorganismus.

### **Testdurchführung**

Der Biotest wurde gemäss einem DIN-Richtlinienentwurf (Höss 2002) bzw. nach Traunspurger et al. (1997) durchgeführt, dessen Ablauf in Abbildung 4 schematisch wiedergegeben ist.

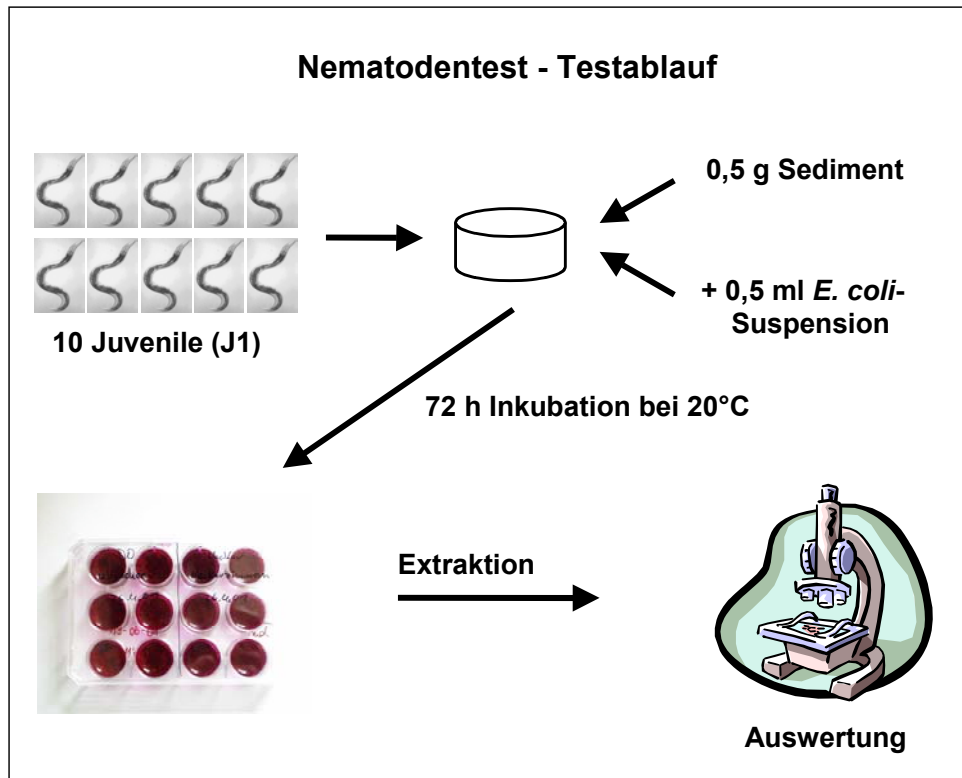


Abbildung 4. Ablaufschema für den Nematodentest.

Die Durchführung der Biotests erfolgte in Multiwellplatten (Fa. Nunc) mit je 12 Vertiefungen. In jede Vertiefung wurde 0,5 g Sediment (Nassgewicht) eingewogen, 0,5 mL einer vorbereiteten, in M9-Medium resuspendierten Kultur von *E. coli* (OP 50, mit einer definierten Zelldichte) als Nahrungsgrundlage hinzupipettiert und gut homogenisiert. Von einer vorbereiteten Agarplatte wurden anschließend synchronisierte Nematoden mit M9-Medium durch eine Filterkaskade (10 und 5 µm) gespült und dadurch nach Größe sortiert. Unter einem Stereomikroskop wurden schließlich in jedes Testgefäß jeweils 10 Nematoden des ersten Juvenilstadiums (J 1, Länge ± 270 µm) mit Hilfe einer sehr dünn ausgezogenen Kapillarpipette eingesetzt.

Pro Sediment wurden jeweils sechs Replikate angesetzt. Als Kontrollen dienten zum einen reines M9-Medium (als flüssige Validitätskontrolle), zum anderen ein artifizielles Sediment, welches aus 70% Quarzsand, 20% Aluminiumoxid, 5% Torf, 4,5% Eisen-III-Oxid und 0,5% Dolomit besteht (nach Ahlf et al. 1999, Grätzer & Ahlf 2001). Auch von den Kontrollansätzen wurden jeweils sechs Replikate angesetzt.

Anschließend wurden die Testgefäße für 72 h bei 20°C auf einem Horizontalschüttler inkubiert. Die Nematoden durchlaufen dabei einen kompletten Generationszyklus, wobei sie sich auch wiederum reproduzieren. Danach wurden die Tiere kurz bei 60°C in einem Wärmeschrank abgetötet, wobei sie sich ausstrecken, und mit einer wässrigen Bengalrosa-Lösung angefärbt. Falls die Auswertung nicht unmittelbar

erfolgen konnte, wurden die Testgefäße entweder im Kühlschrank (bis zu 2 Wochen) oder tiefgefroren bei  $-20^{\circ}\text{C}$  gelagert.

### **Testauswertung**

Der Test wird als gültig betrachtet, wenn in der Flüssigkontrolle über 80% der Nematoden gravid waren, d.h. mindestens ein Ei im Körper trugen (Validitätskontrolle).

Das Sediment wurde anschließend mit Hilfe einer Pasteurpipette mit 6 mL verdünntem Ludox (Colloidal Silica, Fa. Aldrich, Dichte mit Aqua dest. auf 1,14 eingestellt) aus jedem Testansatz in ein Zentrifugenröhrchen gespült, diese Mischung kräftig geschüttelt und zentrifugiert. Alle Bestandteile mit einer ähnlichen spezifischen Dichte wie Ludox (Nematoden, organische Partikel) verbleiben somit im Überstand, das restliche Sediment bildet den Bodensatz. Aus dem Überstand, der in eine kleine Petrischale gegeben wurde, konnten nun unter einem Binokular (bei 40facher Vergrößerung) die eingesetzten 10 (nun adulten) Tiere herausgesucht und mit Hilfe einer Wimperpipette in einen Wassertropfen auf einem Objektträger überführt werden. Anschließend wurden folgende Testparameter bestimmt:

**Längenwachstum:** Mit Hilfe eines Okularmikrometers wurde unter einem Mikroskop (bei 100facher Vergrößerung) die Länge der Nematoden bestimmt.

**Eibildung (Gravidität oder Fruchtbarkeit):** Ebenfalls unter dem Mikroskop (bei 100facher Vergrößerung) konnte leicht bestimmt werden, ob ein Nematode Eier im Körper trägt. Ist die Anzahl der Eier im Körper  $\geq 1$ , wird der Wurm als gravid bezeichnet. Der prozentuale Anteil an graviden Nematoden pro Replikat wurde errechnet.

**Eizahl:** Zusätzlich wurde gegebenenfalls die Anzahl der Eier im Körper der Nematoden bestimmt.

**Reproduktion:** Außerdem wurde unter einem Binokular (bei 60facher Vergrößerung) die Anzahl der Nachkommen (Juvenile der 2. Generation) bestimmt. Die Gesamtzahl der Nachkommen wird durch die Anzahl der gefundenen adulten Tiere geteilt, um die Anzahl der Nachkommen pro eingesetztem Nematoden zu erhalten.

Zur Klassifizierung der Ergebnisse wurden die absoluten Daten in prozentuale Hemmwerte im Vergleich zum Kontrollsediment umgerechnet. Signifikante Unterschiede zur Kontrolle wurden durch geeignete statistische Analysen ermittelt (ANOVA bzw. Kruskal-Wallis-Test mit multipltem Vergleich nach Dunnett,  $p < 0,05$ ).

### 3.3.2 Sedimenttoxizitätstest mit *Chironomus riparius*

Die Zuckmücke *Chironomus riparius* gehört als Vertreter der Insekten zu den Arthropoden und damit zum artenreichsten Stamm des Tierreichs. Sie wird zur Ordnung der Diptera (Zweiflügler) und hier schließlich zu den Nematocera, den Mücken, gerechnet. Anders als bei den Culicidae, den Stechmücken, sind bei *Chironomus* keine Mundwerkzeuge ausgebildet, die ein Blutsaugen ermöglichen. Die adulten Tiere (Abbildung 5) nehmen keine Nahrung mehr auf, sondern zehren von den während der Larvalphase angelegten Depots.



Abbildung 5. *Chironomus riparius*: Habitus eines männlichen (links) und weiblichen Imagos (rechts).

Der gesamte Generationszyklus (Abbildung 6) dauert etwa 28 Tage. Aus den im Wasser abgelegten Eigelegen schlüpfen nach 2-3 Tagen Larven. Die Larvalentwicklung der Zuckmücken im Sediment von Still- und Fließgewässern umfasst vier Larvenstadien, die im Sediment leben und sich von Detritus und Algen ernähren. Auf diese vier benthischen Larvenstadien folgt ein Puppenstadium, aus dem die flugfähigen Imagines schlüpfen. Insgesamt verbringen die Chironomiden demnach einen großen Teil ihrer Lebenszeit (15-20 Tage) in direktem Kontakt mit dem Sediment und erscheinen so besonders geeignet für Sedimenttoxizitäts-Untersuchungen.

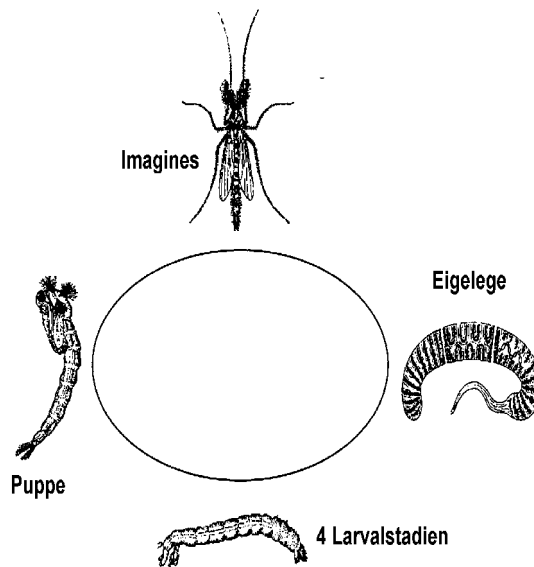


Abbildung 6. *Chironomus riparius*: Generationszyklus.

Zuckmücken sind leicht zu kultivieren, und auch die Geschlechtsbestimmung bei *Chironomus riparius* ist einfach. Die Männchen sind deutlich an ihren bäumchenartigen Antennen, im Unterschied zu den ungefederten Weibchen, und ihrem schlankeren Körperbau zu erkennen (Abbildung 5).

### **Testdurchführung**

Der Sedimenttest mit *Chironomus riparius* wurde nach dem OECD-Richtlinienentwurf 218 durchgeführt (OECD 2000). Abweichend von dem in der OECD beschriebenen Medium M9 wurde für Zucht und Versuchsansätze ein Medium entwickelt, das sich aus 50 mL NaHCO<sub>3</sub>, 3 g Mineralsalz (Fa. Sera) und 6 g CaCO<sub>3</sub> pro 10 L Aqua dest. zusammensetzt. Um eine ausreichende Vitaminversorgung zu gewährleisten, wurde über das Futter das Präparat Fish Tamin® (Fa. Sera) zugesetzt. Die Fütterung selbst erfolgte mit zerkleinertem und in Wasser suspendiertem Fischfutter Tetra Min® (Fa. Tetra).

Als Kontrollsediment diente in den ersten Versuchsreihen sowohl das in der OECD-Richtlinie angegebene Kontrollsediment, als auch das Kontrollsediment, das im UBA-Bericht 41/99 (Ahlf et al. 1999) für den Test mit *C. riparius* vorgeschlagen wurde. Da bei letztgenanntem Sediment erhöhte Schwermetallwerte und ein geringerer Schlupferfolg der Tiere beobachtet wurde, beziehen sich die angegebenen Hemmwerte auf die Kontrollmischung gemäß OECD (Abweichungen sind gekennzeichnet).



Der Testablauf ist in Abbildung 7 schematisch wiedergegeben: In einem 600 mL Becherglas werden pro Replikate etwa 100 g Sediment mit 400 mL Medium überschichtet und mit Gaze bedeckt. Nach erfolgter Gleichgewichtseinstellung werden frisch abgelegte Eigelege aus der Zucht entnommen und vereinzelt. Nach 2-3 Tagen erfolgt der Schlupf der Larven.

Jeder Ansatz besteht aus fünf Replikaten. Jede Versuchreihe beinhaltet zusätzlich eine Kontrolle aus artifiziellem Sediment mit ebenfalls mindestens vier Replikaten. Zu Versuchsbeginn werden in jedes der fünf Replikate 10 Chironomiden des ersten Larvenstadiums eingesetzt. Vier Ansätze durchlaufen den gesamten Versuchszeitraum von 28 Tagen. Aus dem fünften Ansatz werden nach 10 Tagen die lebenden Larven entnommen. Die überlebenden Tiere gehen in die Schwermetallanalytik ein, um die Akkumulation dieser Stoffe während der Larvalentwicklung zu bestimmen.

Die Ansätze werden belüftet und nach dem Einsetzen der Larven für 28 Tage bei  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  inkubiert. Während dieser Zeit werden in täglichen Intervallen die geschlüpften Imagines gezählt und aus den Ansätzen entfernt.

Gefüttert wird, wie in der OECD-Richtlinie gefordert, dreimal wöchentlich mit dem handelsüblichem Fischfutter Tetra Min<sup>®</sup> (Fa. Tetra, Melle, Deutschland).

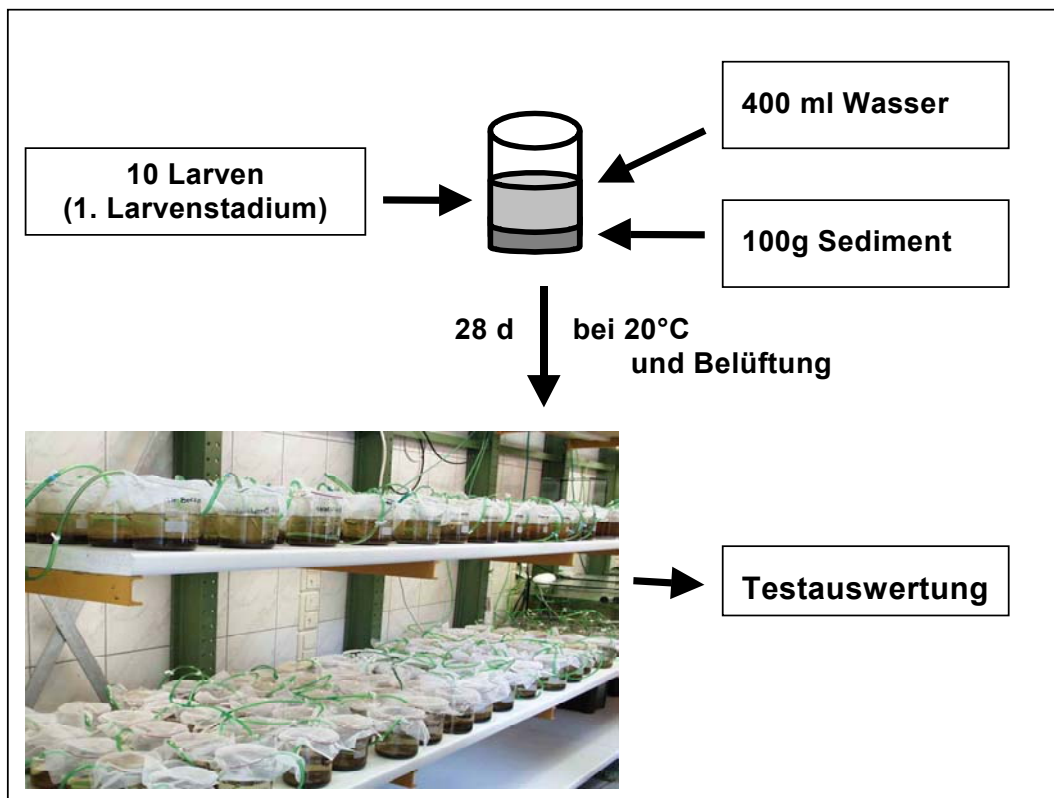


Abbildung 7. Ablaufschema für den Chironomidentest.

### **Testauswertung**

Die Auswertung erfolgte anhand der protokollierten Schlupfdaten. Bestimmt wurden die folgenden Testparameter:

**Emergenz:** Die Emergenz oder Schlupfrate wurde berechnet, indem die Summe der bis zum Versuchende pro Gefäß geschlüpften Tiere durch die Anzahl der eingesetzten Tiere (hier 10) dividiert wurde. Aus den vier Replikaten wurden Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Der Hemmwert der Emergenz entspricht der **Mortalität**.

**Entwicklungsrate:** Dieser Parameter dokumentiert den Anteil der Entwicklung, der in einer bestimmten Zeitspanne (z.B. 1 Tag) stattfand; die mittlere Entwicklungsrate bezieht sich auf den gesamten Versuchszeitraum von 28 Tagen. Sie charakterisiert damit, wann die eingesetzten Organismen im Vergleich zur Kontrolle schlüpfen. Ein positiver Hemmwert der Entwicklungsrate bezeichnet einen im Vergleich zur Kontrolle verspäteten Schlupf, während ein negativer Hemmwert eine Vorverlegung der Emergenz angibt.

**EmT<sub>50</sub>:** Als weiterer, nicht in der OECD geforderter Parameter, wurde der EmT<sub>50</sub>-Wert, also der Zeitpunkt, an dem 50% der Tiere geschlüpft sind, berechnet. Die Verfahren zur Bestimmung der mittleren Entwicklungsrate und des EmT<sub>50</sub>-Werts unterscheiden sich geringfügig, die ermittelte Information ist jedoch sehr ähnlich. Ziel sollte es sein, den geeigneteren und belastbareren Parameter auszuwählen.

**Geschlechterverhältnis:** Die Bestimmung des Geschlechterverhältnisses wird ebenfalls nicht in der OECD gefordert, wurde hier aber als Zusatzinformation für die Bewertung einiger Sedimente als Anteil der Weibchen an der Gesamtheit der geschlüpften Tiere berechnet.

Aus den ermittelten Werten für die Entwicklungsrate, den EmT<sub>50</sub>-Wert und die Emergenz wurden Hemmwerte gegenüber der Kontrolle ermittelt. Signifikante Unterschiede zur Kontrolle wurden durch geeignete statistische Analysen ermittelt (ANOVA mit anschließendem multiplen Vergleich nach Dunnett,  $p < 0,05$ , bzw. Probit-Analysen).

Der Schlupf von männlichen und weiblichen Zuckmücken unterliegt einer sehr feinen Abstimmung. Zunächst schlüpfen männliche Tiere und bilden Schwärme, in die die etwas später schlüpfenden Weibchen hineinfliegen. Dies gewährleistet, dass die Weibchen direkt befruchtet werden können. Die während der Larvalphase angelegten Reserven können so direkt in die Reproduktion fließen. Verzögert sich der Schlupf der Männchen und müssen die Weibchen "warten", so werden wertvolle Reserven für Überlebensprozesse verbraucht. Die Quantität und Qualität der Reproduktion können beeinträchtigt werden. Schlüpfen die Weibchen zu spät, sind möglicherweise weniger

Männchen für die Befruchtung vorhanden; der Genpool ist eingeschränkt. Ein vorverlegter Schlupf kann zur Folge haben, dass die Phase der Nahrungsaufnahme verkürzt wird und Reserven so nur in ungenügendem Maße angelegt werden können. Hier angegeben sind die gesamten Hemmwerte für Männchen und Weibchen.

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 DONAU

#### 4.1.1 Abiotische Parameter

Im Verlauf der Donau wurden für die Elemente Cd, Cr, Cu, Pb, Ni und Zn, die in die Berechnung der Schwermetallbelastungsklassen (nach Wachs 1991 und LAWA 1998) eingehen, keine nennenswerten Schwermetallbelastungen gemessen. Während das LAWA-Klassifizierungssystem die Donausedimente zwischen 1,0 und 1,5 einteilte, wurden sie durch das Wachssche System in Klassen zwischen 1,2 und 2,3 eingeordnet (Abbildung 8a). Die noch höchsten Werte wurden in Pfohren (1) und Kachlett (25) erreicht.

Auch die Belastung durch PAK war für die Donausedimente relativ gering. Die Summe der 16 EPA-PAK betrug zumeist unter 2 µg/g, lediglich bei Scheer (2) wurden 4,3 µg/g und bei Donaustauf (18) 5,1 µg/g ermittelt (Abbildung 8b). Entsprechend dem dreistufigen Bremer Modell wurde etwa ein Viertel aller Sedimente über den Fluoranthengehalt der Klasse II zugeordnet, drei Viertel entsprachen danach der Klasse I. Nur drei Sedimente (Pfohren, Scheer und Donaustauf) wurden über den Gehalt an Benzo(a)pyren der Klasse II zugeordnet, die restlichen Sedimente wurden auch durch dieses System der Klasse I zugeteilt.

Der organische C-Gehalt lag für die meisten Sedimente zwischen 1 und 3%, teils auch etwas darunter (Abbildung 8c). In Oberzell (26) war der TOC-Gehalt erhöht und liegt bei 6,8%. Der totale C-Gehalt wies einen vergleichbaren Trend auf, wobei die absoluten Werte ungefähr das Doppelte des organischen C-Gehalts betragen und zwischen 3 und 10% schwankten. Den geringsten Wert zeigte Deggendorf (22) mit 0,6%.

Aufgrund der Ergebnisse der Siebung handelte es sich bei den Donausedimenten zumeist um Fein- und Mittelsande, ausschließlich in Gmünd (19) und Niederalteich (23) war das Sediment als Grobsand zu charakterisieren (Abbildung 8d). Die Analyse durch den particle sizer zeigte mit einigen Ausnahmen (Sedimente 19 und 23) grundsätzlich ähnliche Trends, wobei jedoch zu beachten ist, dass die Absolutwerte für die mittlere Korngröße nicht mit denen der Siebung verglichen werden können (Massen- bzw. Volumenprozentangaben). Als auffallend grobkörnig wurden hierbei die Sedimente Scheer (2) und Oberzell (26) eingestuft.

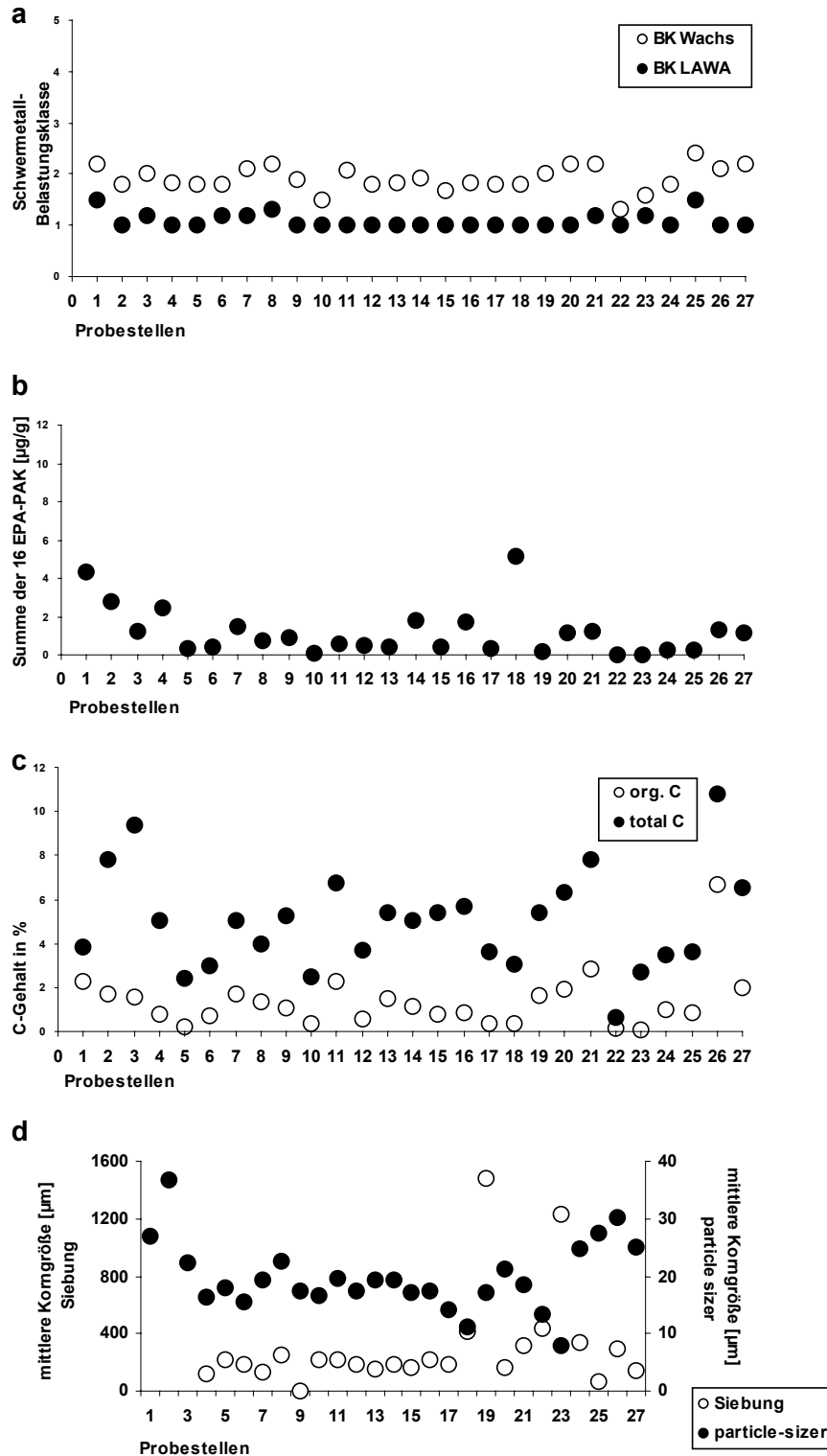


Abbildung 8. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Donau: **a** Schwermetallbelastungsklassen nach Wachs (1991) und LAWA (1998), **b** Summe der 16 EPA-PAK in  $\mu\text{g/g}$ , **c** totaler und organischer Kohlenstoffgehalt in % und **d** Korngrößenverteilung durch Siebung und particle sizer.

#### 4.1.2 Biologische Tests

Im **Nematodentest** riefen die Donausedimente für den Parameter Längenwachstum durchschnittlich mittlere Hemmungen zwischen 20 und 50% hervor (Abbildung 9a). Auffällig hohe Hemmwerte waren bei Kehlheim (14) und Kachlett (25) zu finden, das Sediment aus Niederalteich (23) zeigte hingegen die geringste Hemmung. Für die Parameter Eibildung und Eizahl zeigte sich ein differenzierteres Bild, wobei für den Parameter Eizahl höhere Hemmwerte auftraten als für den Parameter Eibildung (Abbildung 9b). Hier wurden die höchsten Hemmwerte bei Günzburg (5), Schäfstall (8), Irlbach (21) und wiederum Kachlett (25) erreicht, wohingegen Donaustauf (18), Deggendorf (22) und Niederalteich (23) kaum Reaktionen hervorriefen. Der Parameter Reproduktion lieferte gänzlich andere Ergebnisse und erwies sich als besonders empfindlich. Hier zeigte sich bei fast allen Sedimenten eine hohe Hemmung (über 60%), eine Ausnahme bildete allein Scheer (2). Die Sedimente Pföhren (1) und Donaustauf (18) riefen hingegen eine leichte bzw. starke Förderung der Reproduktion hervor (Abbildung 9c).

Im **Chironomidentest** riefen die Donausedimente sehr unterschiedliche biologische Effekte hervor. Vor allem die Proben Scheer (2), Ulm-Wiblingen (3), Gmünd (19) und Kagers (20) sowie Kachlett (25) fielen durch hohe Hemmungen der Emergenz auf (Abbildung 10a). Die Probestellen im Bereich zwischen Sittling und Oberndorf (13-16) wiesen demgegenüber für diesen Parameter keine Hemmung auf. Insgesamt lagen zwei Drittel der Sedimente oberhalb einer Mortalität von 20%.

Für den Endpunkt Entwicklungsrate (Abbildung 10b) ließen sich wiederum die Sedimente Gmünd (19) und Kagers (20) und Kachlett (25) als deutlich gehemmt identifizieren. Bei Gmünd wurde durch den  $EmT_{50}$ -Wert lediglich eine geringe Verschiebung des mittleren Schlupfs gegenüber der Kontrolle ermittelt. Neben Kagers und Kachlett riefen die Sedimente Günzburg und Dillingen (5+6) sowie Donaustauf (18) und Jochenstein (27) die höchsten Effekte hervor (Abbildung 10c).

Eine signifikante Verschiebung des Geschlechterverhältnisses (Abbildung 10d) wurde bei Günzburg (5) zugunsten des Anteils an Weibchen beobachtet. In der Probe Deggendorf (22) traten signifikant mehr Männchen auf.

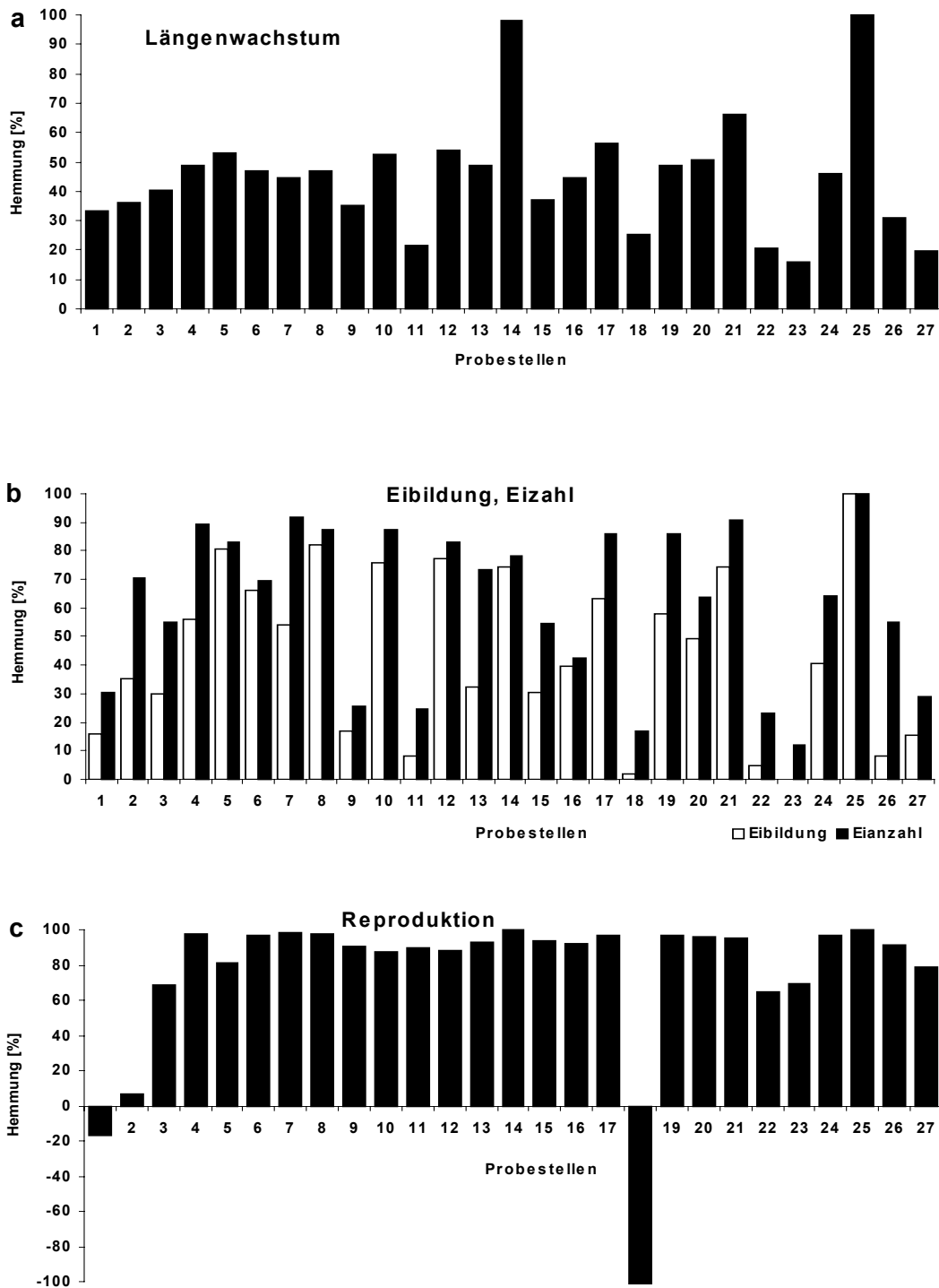


Abbildung 9. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Donau: **a** Längenwachstum, **b** Eibildung und Eizahl, **c** Reproduktion.

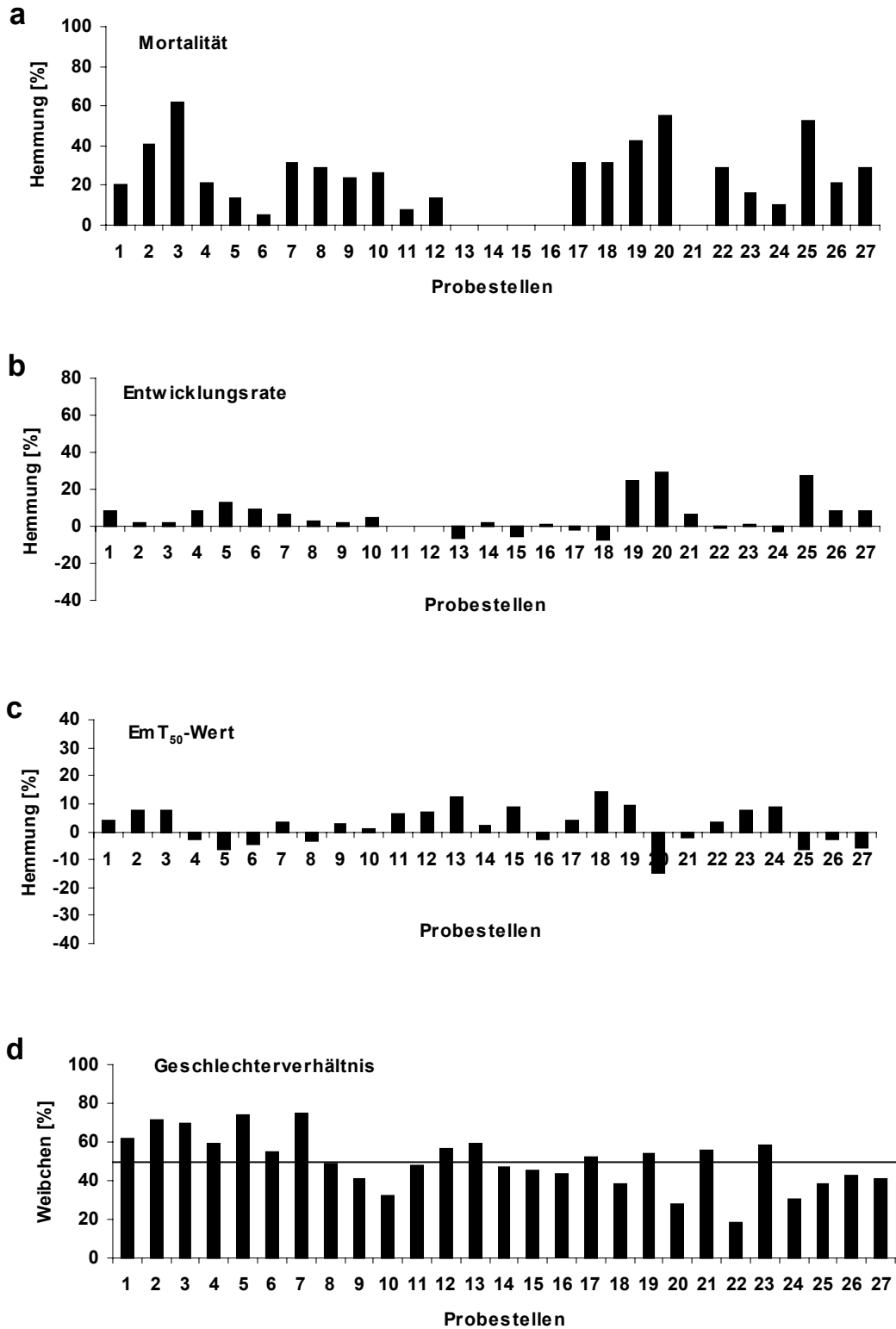


Abbildung 10. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Donau: **a** Emergenz, **b** Entwicklungsrate, **c** EmT<sub>50</sub> und **d** Geschlechterverhältnis.



## 4.2 ELBE

### 4.2.1 Abiotische Parameter

Die Schwermetallbelastungen für die Elbe wurden mit dem System der LAWA überwiegend mit Klassen zwischen 1,0 und 2,5 und mit dem Wachsschen System mit Klassen zwischen 1,5 und 2,7 bewertet (Abbildung 11a). Bei beiden Verfahren erkannte man zwei Belastungsspitzen mit Klasseneinstufungen von etwa 4 nach dem System der LAWA (3 nach dem System von Wachs) um Magdeburg (22, 24) sowie im Bereich des Hamburger Hafens (39-45). Die hohen Belastungsklassen bei Magdeburg-Westerhüsen gingen vor allem auf sehr hohe Cd-Werte zurück (15,7 µg/g).

Die meisten Probenahmestellen wiesen PAK-Belastungen zwischen 0 und 4 µg/g (Summe der 16 EPA-PAK) auf (Abbildung 11b). Belastungsschwerpunkte ließen sich dabei in Lostau (24) mit 10,5 µg/g und Sandfurth (26) mit 9,9 µg/g sowie weiterhin bei Tangermünde (28) und Arneburg (29) erkennen. Entsprechend dem Bremer Modell wurde etwa jeweils die Hälfte aller Sedimente über den Fluoranthengehalt in Klasse I bzw. II eingeordnet; dies gilt auch für die Einteilung gemäß dem Gehalt an Benzo(a)pyren.

Mehr als die Hälfte aller Sedimente wiesen einen sehr geringen organischen C-Gehalt von etwa 1% auf (Abbildung 11c). Besonders hohe TOC-Gehalte wurden bei Lostau (24), Sandfurth (26) und an der Havel Schleuse (31) mit bis zu 7% gemessen. Auch im Bereich des Hamburger Hafens (40-46) waren höhere organische C-Gehalte zu finden. Der totale C-Gehalt zeigte ein ähnliches Bild, wobei die meisten Werte zwischen 1 und 6% lagen und Höchstwerte zwischen 8 und 12% im Magdeburger Raum (22, 24 und 26) erreicht wurden.

Nach der Siebung lagen nahezu alle Elbsedimente im Fein- bis Mittelsandbereich, lediglich Prossen (2) wurde als Grobsand und Meißen (9) als Feinkies eingeordnet (Abbildung 11d). Die Ergebnisse des particle sizers zeigten Unterschiede im Vergleich zur Siebung für die Sedimente Prossen (2) und Meißen (9). Insgesamt war eine Erhöhung der mittleren Korngröße von Schmilka (1) bis zur Mündung in die Nordsee festzustellen.

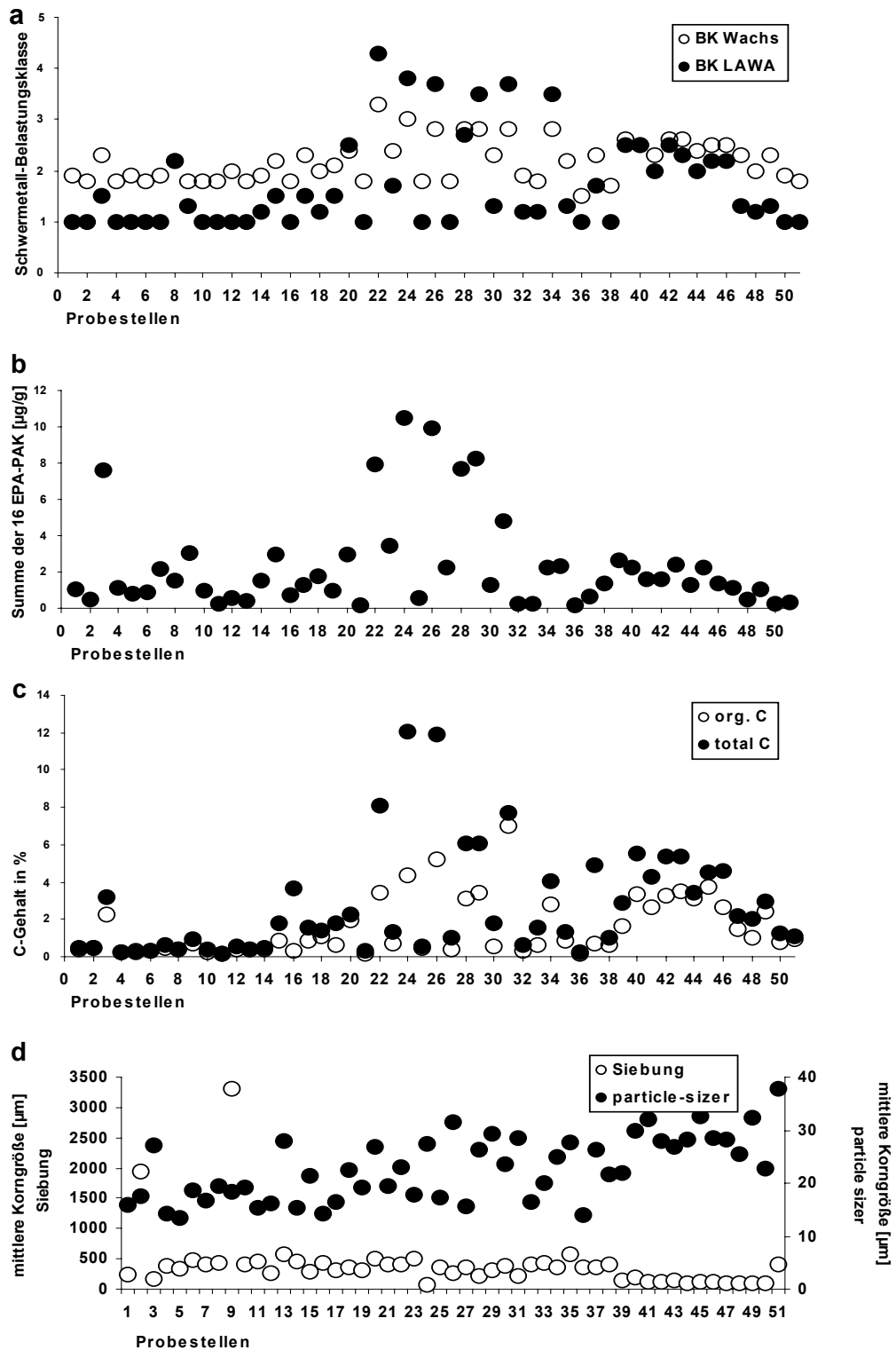


Abbildung 11. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Elbe: **a** Schwermetallbelastungsklassen nach Wachs (1991) und LAWA (1998), **b** Summe der 16 EPA-PAK in  $\mu\text{g/g}$ , **c** totaler und organischer Kohlenstoffgehalt in % und **d** Korngrößenverteilung durch Siebung und particle sizer.

#### 4.2.2 Biologische Tests

Im **Nematodentest** zeigten sich für den Parameter Längenwachstum deutliche Hemmungen im Magdeburger Raum (18, 22 und 29), bei Schnackenburg (34) sowie weiterhin im Bereich des Hamburger Hafens (39-47) und im Wattbereich (50) (Abbildung 12a). Die Parameter Eibildung und Eizahl bestätigten diese Ergebnisse, wobei die Eizahl meist höhere Hemmwerte aufwies als die Eibildung (Abbildung 12b). Die Ergebnisse für den Parameter Reproduktion, der sich wiederum als besonders sensitiv erwies, zeigten zusätzlich hohe Hemmungen bei Königstein (3) sowie bei weiteren Probenahmestellen im mittleren Abschnitt der Elbe. Der gesamte Bereich vom Hamburger Hafen bis zum Watt war durch 100%ige Hemmungen gekennzeichnet (Abbildung 12c). Außerdem riefen eine Reihe von Sedimenten zum Teil erhebliche Förderungen der Reproduktion hervor.

Im **Chironomidentest** zeichneten sich vor allem die Sedimente Pirna (4), Aken (21), die Havelschleuse (31) und Wittenberge (32), Tießau (36), Geesthacht (38) sowie Wedel Yachthafen (45) durch eine starke Mortalität aus. Keine Mortalität wurde in den Proben Königstein (3), Dresden-Marienbrücke (6), Zehren (10), Tangermünde (27), Lühemündung (46), Glückstadt (48) und Müggendorfer Watt (50) gefunden. In nahezu zwei Drittel der Elbsedimente lag die Mortalität über 20% (Abbildung 13a).

Die Entwicklungsrate (Abbildung 13b) identifizierte starke Reaktionen ebenfalls bei den Sedimenten Pirna (4), Aken (21), Havelschleuse (31) und Wittenberge (32) sowie Wedel Yachthafen (45). Dazu kamen Riesa (11), Strehla (12), Fermersleben (23), Arneburg (29) sowie der Bereich von Tießau bis Geesthacht (36-38). Einen hohen negativen Hemmwert rief das Sediment Duhner Watt (51) hervor, hier könnten die Effekte durch die erhöhte Salinität dieser Probe hervorgerufen werden. Während der mittlere Schlupfzeitpunkt (Abbildung 13c) durch die Sedimente im Bereich zwischen Schmilka und Domnitzsch (1-16) sowie von der Lühemündung bis zur Mündung in die Nordsee (46-51) größtenteils vorverlegt wurde, schlüpften die Tiere von Domnitzsch bis zum Bereich des Hamburger Hafens (17-45) später. Deutliche Verschiebungen des mittleren Schlupfzeitpunktes wurden durch die Sedimente Meißen (9), Riesa (11), Magdeburg (25), Sandau (30), Wedel (45) und vom Duhner Watt (51) hervorgerufen. Signifikant mehr Männchen schlüpften in den Sedimenten Wittenberge (32) und Damnitz (35), während in den Proben Pretzsch (18) und Glückstadt (48) ein signifikant höherer Anteil an weiblichen Tieren auftrat (Abbildung 13d).

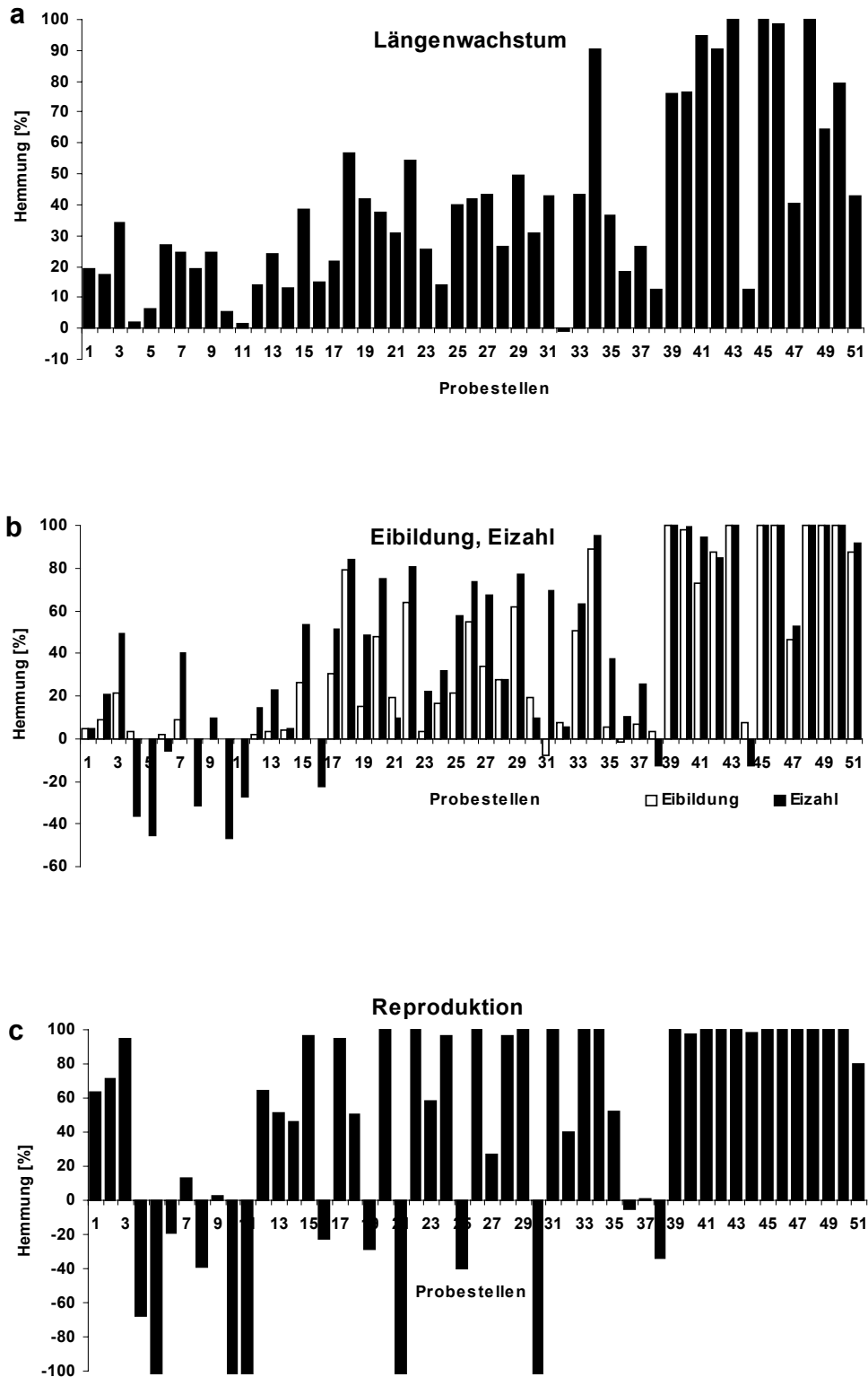


Abbildung 12. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Elbe: **a** Längenwachstum, **b** Eibildung und Eizahl, **c** Reproduktion.

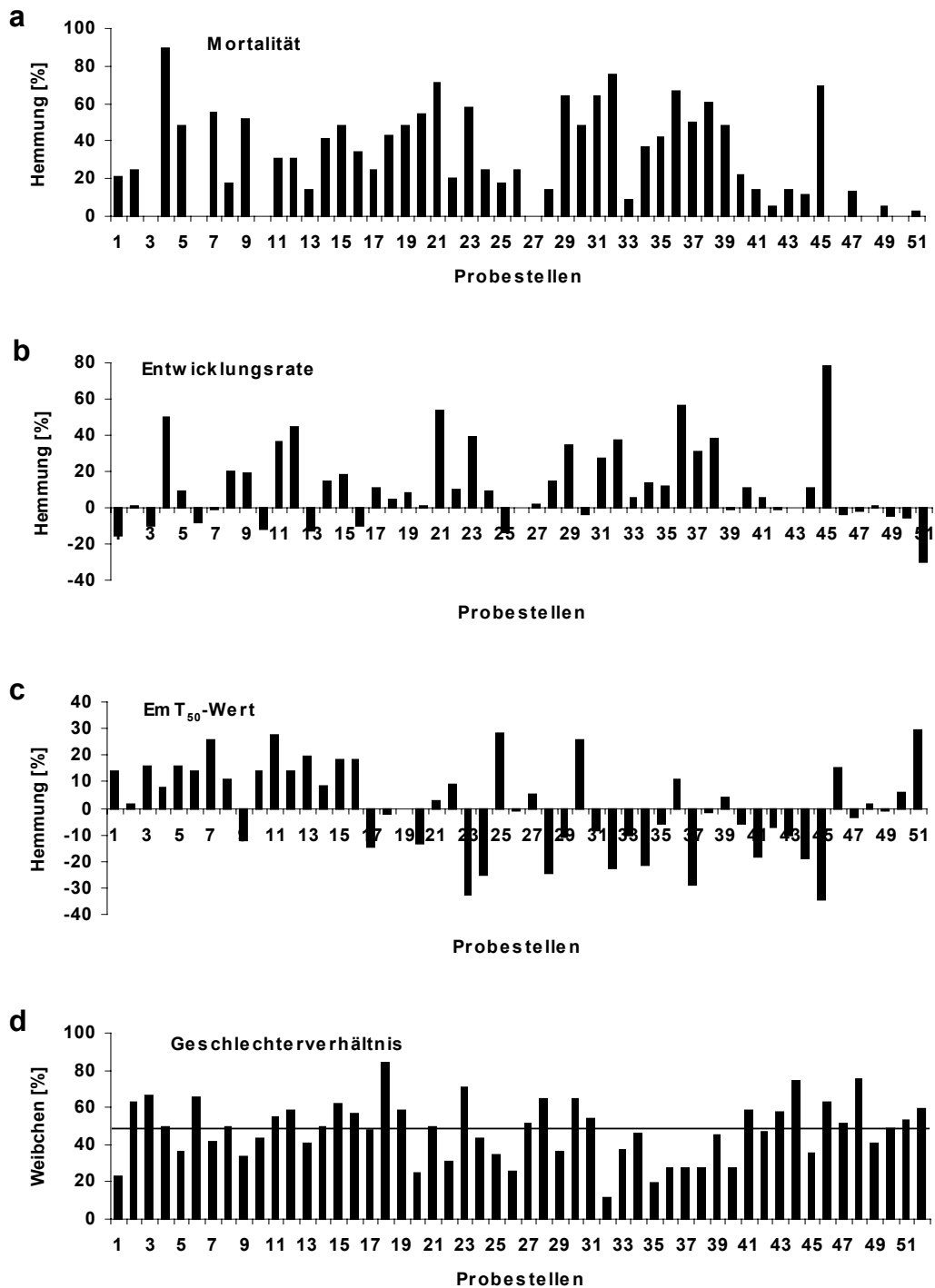


Abbildung 13. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Elbe: **a** Emergenz, **b** Entwicklungsrate, **c** EmT<sub>50</sub> und **d** Geschlechterverhältnis.

### 4.3 EMS

#### 4.3.1 Abiotische Parameter

Die Belastung durch Schwermetalle im Bereich der Ems wurde durch das LAWA-System mit Klassen zwischen 1,0 und 2,3 beschrieben, durch das Wachssche System mit Klassen zwischen 1,7 und 2,6 (Abbildung 14a). Die höchsten Belastungen wurden für die Sedimente aus Sassenberg (3) und Telgte (4) gemessen.

Die PAK-Messwerte lagen für fast alle Emssedimente unter 4 µg/g (16 EPA-PAK), wobei die Probenahmestellen Sassenberg (3) und Telgte (4) mit 4,6 µg/g leicht über diesem Wert lagen (Abbildung 14b). Etwa jeweils die Hälfte der Sedimente wurde über den Gehalt an Benzo(a)pyren den Klassen I und II des Bremer Modells zugeordnet, der Fluoranthengehalt zeigte ähnliche Einteilungen.

Der organische C-Gehalt in den Emssedimenten lag zumeist zwischen 1 und 7% (Abbildung 14c). In Sassenberg (3) und Telgte (4) lag dieser Wert bei über 7% und in Hövelhof (1) sowie an der Westerloher Mühle (2) wurden sehr hohe Werte von 12 bzw. 13% gemessen. Ähnliche Ergebnisse lieferte der totale C-Gehalt, wobei Höchstwerte ebenfalls bei Hövelhof (1) und an der Westerloher Mühle (2) mit 19 bzw. 16% erreicht wurden. Ein sehr niedriger Wert wurde für das Sediment Herbrum (10) mit unter 1% bestimmt.

Die meisten Sedimente der Ems waren durch die Ergebnisse der Siebung als Feinsand zu bezeichnen, lediglich bei dem Sediment aus Hövelhof (1) handelte es sich um Grobsand, und einige Sedimente (Sassenberg, Telgte, am Dortmund-Kanal und Greven) waren der Kornklasse Schluff zuzuordnen (Abbildung 14d). Durch den particle sizer wurde ein ähnlicher Trend der Korngrößenverteilung angezeigt, wobei das Sediment Hövelhof (1) die höchste mittlere Korngröße erreichte.

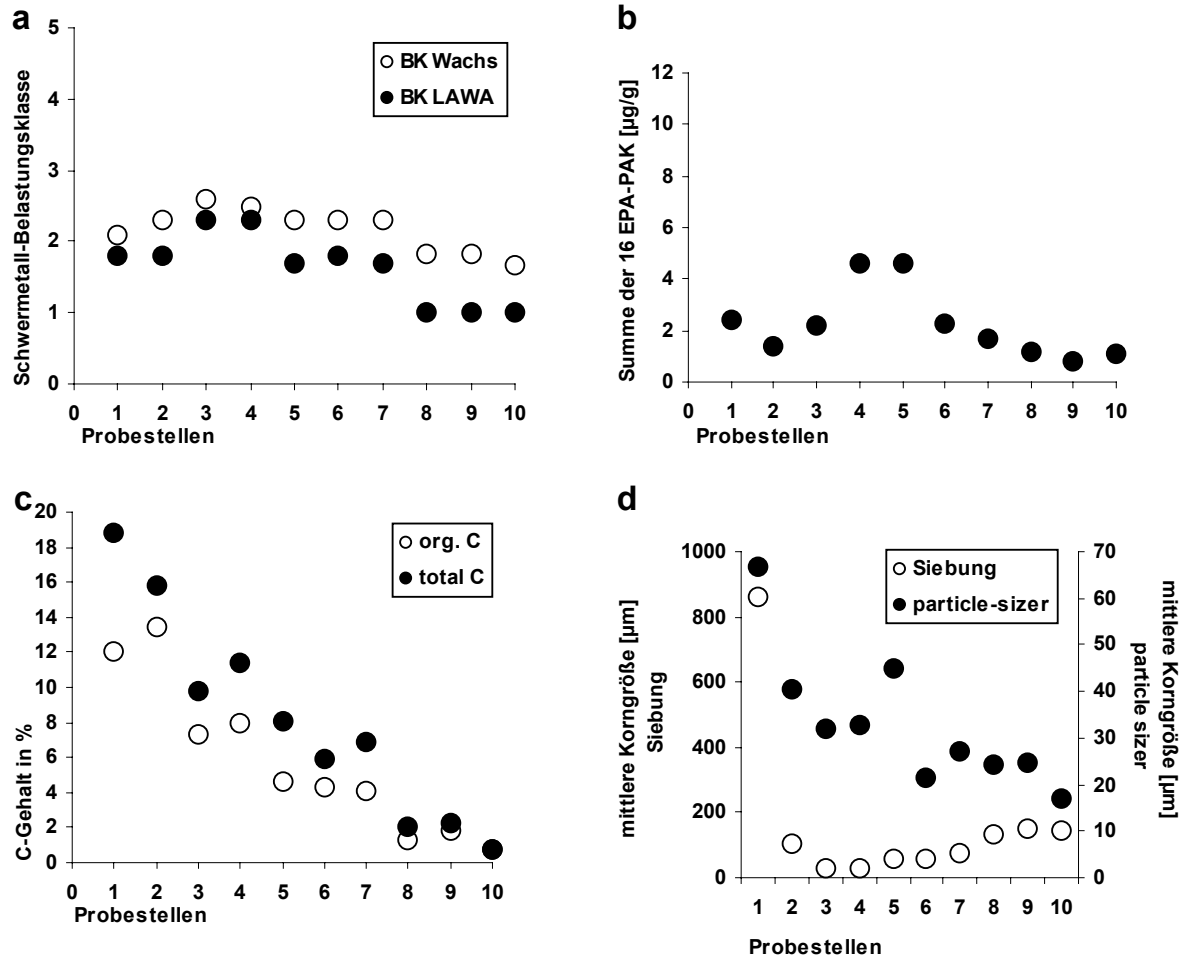


Abbildung 14. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Ems: **a** Schwermetallbelastungsklassen nach Wachs (1991) und LAWA (1998), **b** Summe der 16 EPA-PAK in µg/g, **c** totaler und organischer Kohlenstoffgehalt in % und **d** Korngrößenverteilung durch Siebung und particle sizer.

### 4.3.2 Biologische Tests

Für die Ems zeigte sich der höchste Hemmwert im **Nematodentest** für den Parameter Längenwachstum bei Hilter (9), insgesamt waren jedoch nur geringe Hemmungen zu erkennen (Abbildung 15a). Für die Parameter Eibildung und Eizahl ließen sich zudem stärkere Hemmungen bei Sassenberg (3), Telgte (4), Greven (6) und an der Landesgrenze (7), außerdem bei Hanekenfähr (8) und Hilter (9) erkennen. Hövelhof (1) und der Dortmund-Kanal (5) erwiesen sich als unauffällig (Abbildung 15b). Wiederum wurden für den Parameter Reproduktion sehr hohe Hemmwerte angezeigt: für die meisten Sedimente (mit Ausnahme des Dortmund-Kanals) wurden Hemmwerte von über 60% festgestellt (Abbildung 15c).

Acht der zehn Emsedimente wiesen im **Chironomidentest** eine Mortalität von über 20% auf (Abbildung 16a). Besonders hohe Werte erreichten dabei die Proben Hövelhof (1) und Westerloher Mühle (2) sowie Greven (6) und an der Landesgrenze (7). Die höchste Beeinflussung der Entwicklungsrate (Abbildung 16b) wurde durch die Probenahmestelle Dortmund-Kanal (5) hervorgerufen. Danach folgten die Sedimente Westerloher Mühle (2) und an der Landesgrenze (7). Auffallend war hier, dass in fast allen Proben der Schlupfzeitpunkt gegenüber der Kontrolle vorverlegt war. Lediglich die Tiere, die gegenüber dem Sediment aus Herbrum (10) exponiert wurden, zeigten einen geringfügig späteren Schlupf als die Kontrolltiere. Für den  $EmT_{50}$ -Wert zeigte sich ein ähnliches Bild (Abbildung 16c). Die Sedimente Westerloher Mühle (2) und Dortmund-Kanal (5) wiesen auch für diesen Parameter die höchsten Hemmwerte auf. Zusätzlich wurde für die Probe Sassenberg (3) ein verspäteter Schlupf ausgewiesen, der durch die Entwicklungsrate nicht identifiziert wurde. Für die Ems wurden keine signifikanten Verschiebungen im Geschlechterverhältnis beobachtet (Abbildung 16d).



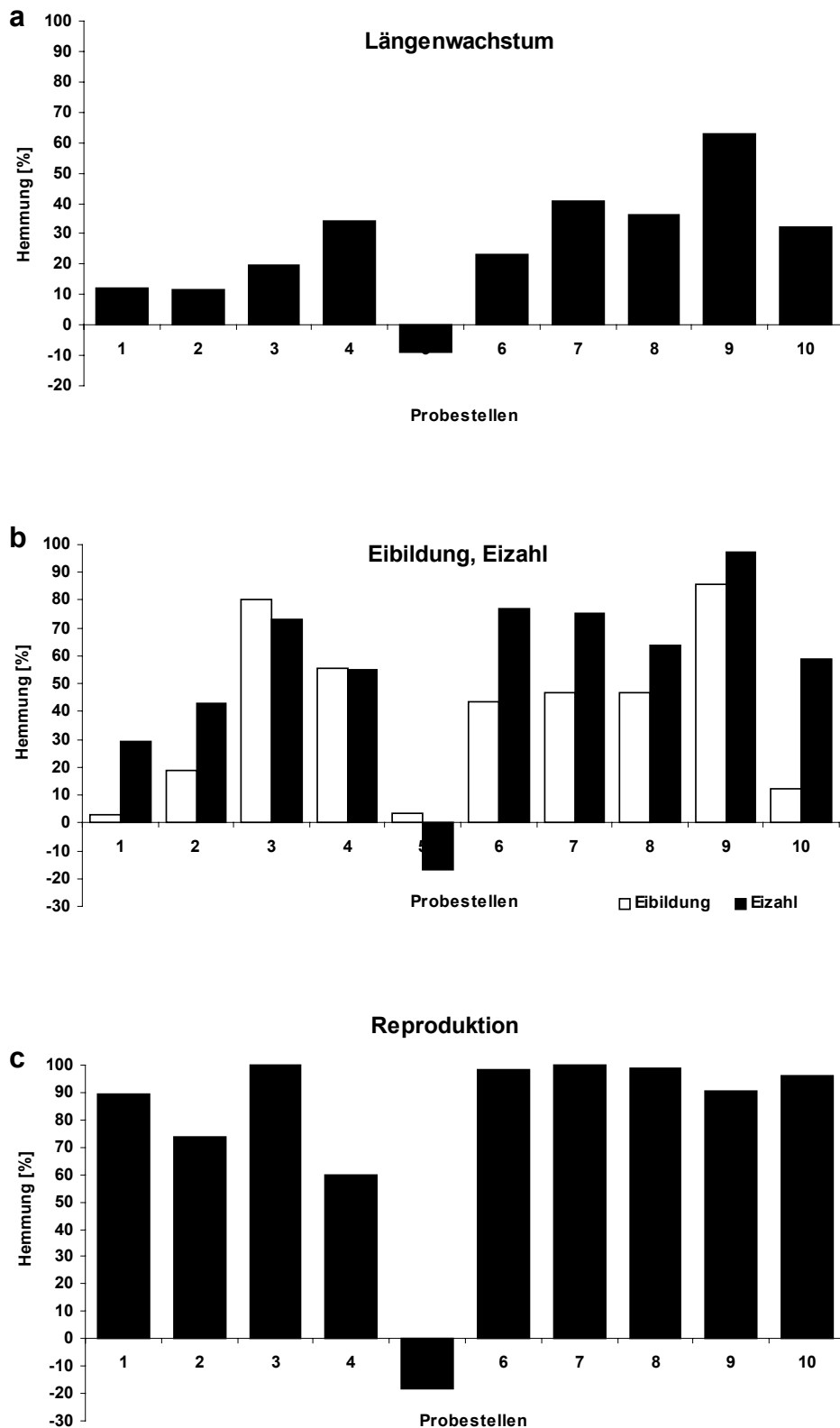


Abbildung 15. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Ems: **a** Längenwachstum, **b** Eibildung und Eizahl, **c** Reproduktion.

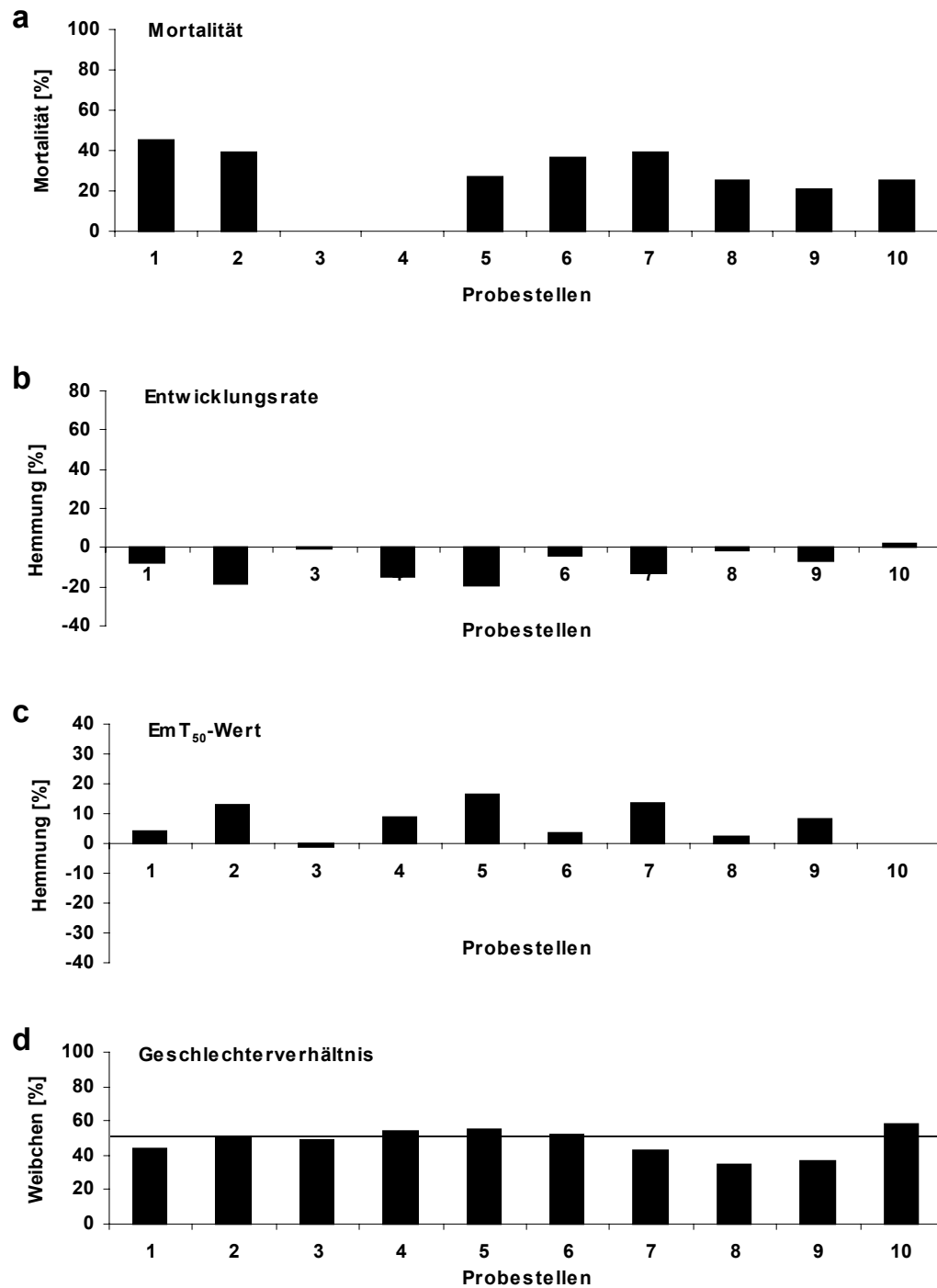


Abbildung 16. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Ems: **a** Emergenz, **b** Entwicklungsrate, **c** EmT<sub>50</sub> und **d** Geschlechterverhältnis.

## 4.4 MAIN

### 4.4.1 Abiotische Parameter

Die Schwermetallbelastung der Mainsedimente war insgesamt als hoch einzustufen und wurde durch das LAWA-System in die Klassen 1,0 bis 4,2 eingeteilt, durch das Wachssche System in die Klassen 1,8 bis 3,3 (Abbildung 17a). Belastungsschwerpunkte bildeten hierbei die Probenahmestellen Offenbach (11), Frankfurt Osthafen (12) und Griesheim (14). Auch die Sedimente der Regnitz (1, 2) wiesen hohe Belastungen auf.

Im Hinblick auf die PAK-Belastung zeigten sich die eben genannten Probenahmestellen ebenfalls als besonders auffällig (Abbildung 17b). Als Summe der 16 EPA-PAK wurden dabei 37,7 µg/g für Offenbach (11) gemessen, 20,5 µg/g für Frankfurt Osthafen (12) und 23 µg/g für Griesheim (14). Das Regnitzsediment aus Neuses (1) wies ebenfalls einen sehr hohen PAK-Gehalt auf (29,2 µg/g). Die restlichen Sedimente des Mains lagen, mit Ausnahme des Frankfurter Westhafens (13: 6,3 µg/g), unter 4 µg/g. Griesheim (14) und Neuses/Regnitz (1) mussten über das Bremer Modell der Klasse III zugeordnet werden, wohingegen die restlichen Sedimente überwiegend in Klasse II fielen.

Der organische C-Gehalt betrug für den Großteil der Sedimente des Mains zwischen 1 und 4%, ein etwas höherer C-Anteil wurde mit 5,3% bei Neuses an der Regnitz (1) gemessen (Abbildung 17c). Der totale C-Gehalt der Sedimente lag zumeist zwischen 2 und 7%, wobei der höchste Wert mit 8,2% bei Hausen an der Regnitz (2) erreicht wurde.

Die Korngrößenbestimmung durch Siebung teilte die Mainsedimente hauptsächlich der Klasse Feinsand zu (Abbildung 17d). Die Sedimente aus Schweinfurt (4), vom Steinheimer Bogen (9) und aus Offenbach (11) wurden als Mittelsand, diejenigen aus Hausen an der Regnitz (2) und Hallstadt (3) als Grobsand charakterisiert. Die Ergebnisse des particle sizers zeigten größtenteils ein mit der Siebung übereinstimmendes Bild, wobei die Sedimente Neuses aus der Regnitz (1) und Kleinostheim (5) Abweichungen von diesem Trend darstellten.

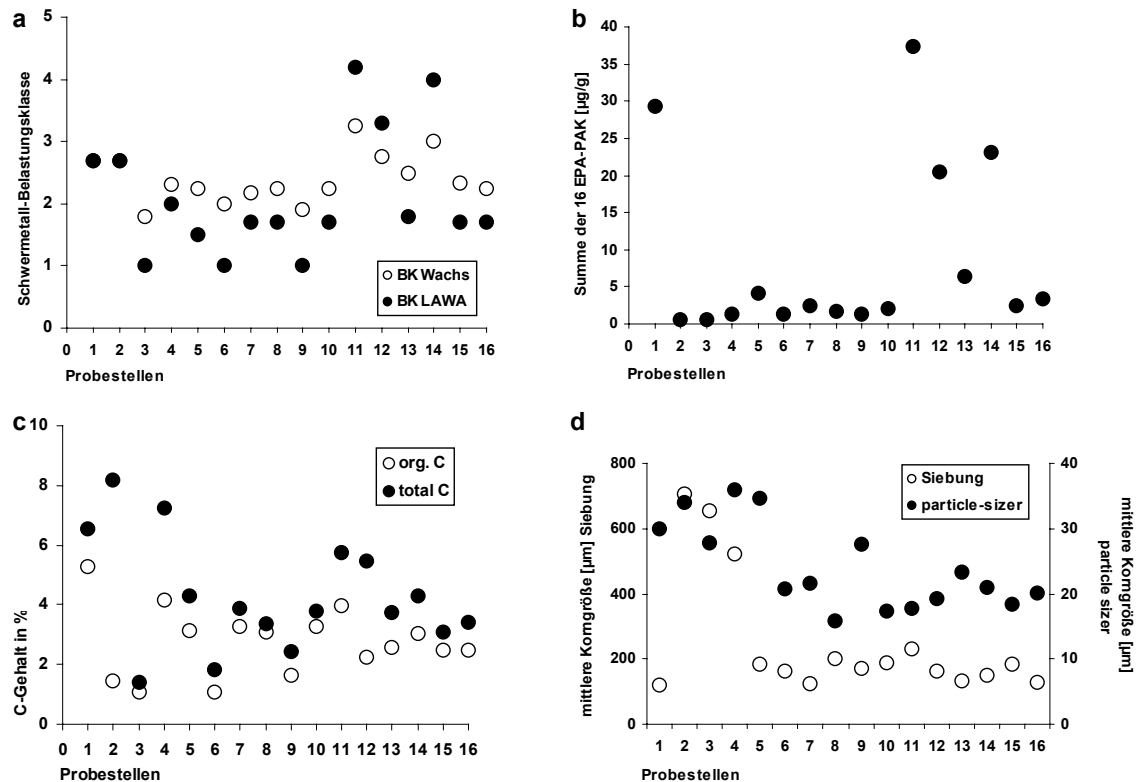


Abbildung 17. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen des Mains: **a** Schwermetallbelastungsklassen nach Wachs (1991) und LAWA (1998), **b** Summe der 16 EPA-PAK in µg/g, **c** totaler und organischer Kohlenstoffgehalt in % und **d** Korngrößenverteilung durch Siebung und particle sizer.

#### 4.4.2 Biologische Tests

Die Hemmwerte im **Nematodentest** lagen für den Parameter Längenwachstum vorwiegend zwischen 30 und 60%, wobei die höchsten Werte in Hausen an der Regnitz (2) sowie um Frankfurt (10-13) und bei Kostheim (16) erreicht wurden (Abbildung 18a). Für die Hemmung der Eibildung bzw. der Eizahl zeigte sich ein ähnliches Bild, jedoch wurden zusätzlich hohe Hemmwerte für Kleinostheim (5) und Eddersheim (15) festgestellt (Abbildung 18b). Die Hemmung der Eizahl reagierte mit Werten zwischen 50 und 100% wiederum empfindlicher als die Hemmung der Eibildung (10 bis 70%). Der Parameter Reproduktion wurde durch alle Sedimente des Mains über 80% gehemmt und ließ damit kaum eine Differenzierung zu (Abbildung 18c).

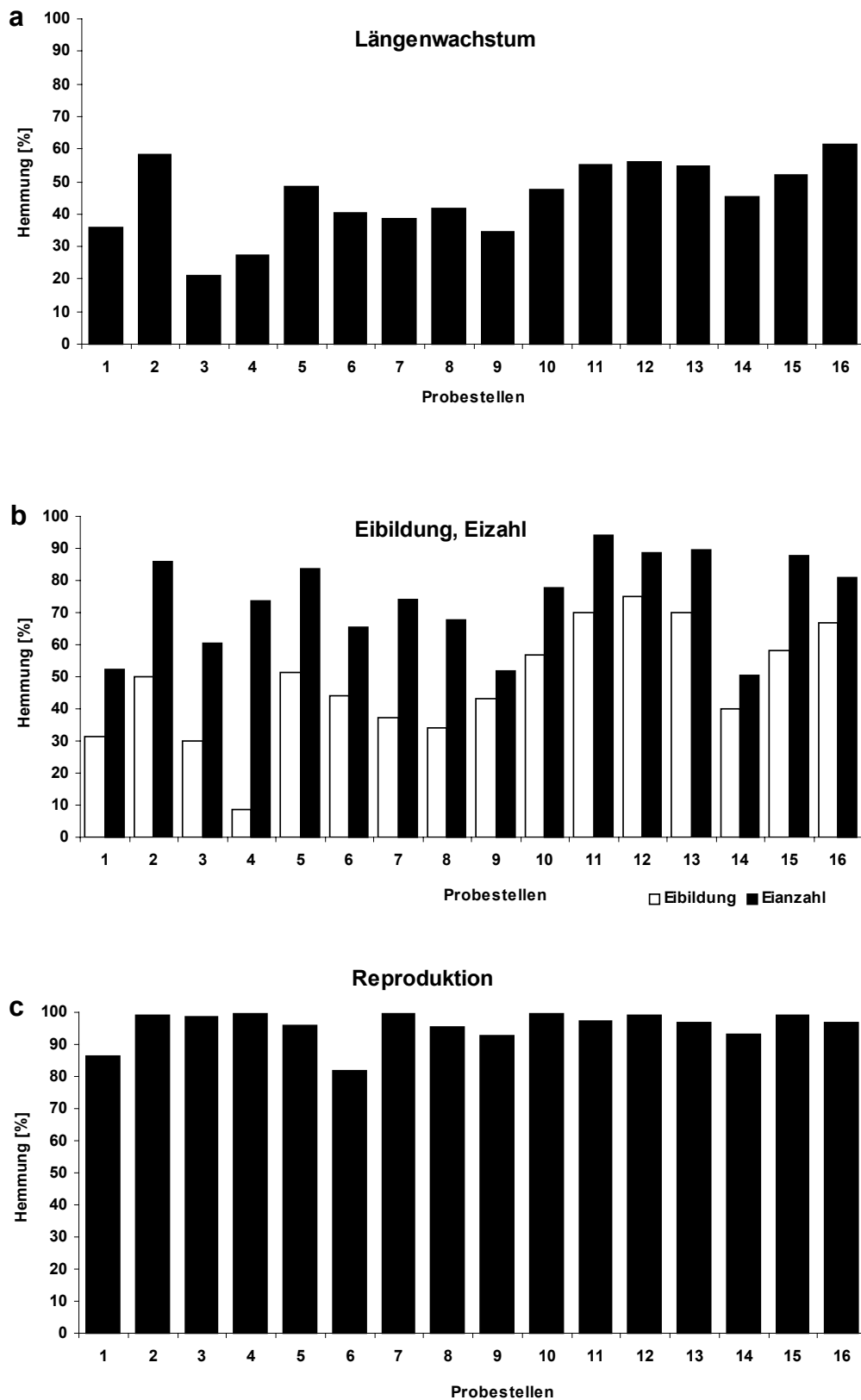


Abbildung 18. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen des Mains: **a** Längenwachstum, **b** Eibildung und Eizahl, **c** Reproduktion.

Die Sedimente des Mains riefen im **Chironomidentest** nur in vier Proben überhaupt eine Hemmung der Emergenz hervor (Abbildung 19a). Davon lag die Mortalität lediglich in den Sedimenten Offenbach (11) und Frankfurt Westhafen (13) oberhalb von 20%. Die beiden Sedimente aus der Regnitz hingegen waren durch erhöhte Mortalitäten von 39% bei Neuses (1) bzw. 55% in der Probe aus Hausen (2) gekennzeichnet.

Während bei den Sedimenten Offenbach (11) und Frankfurt Westhafen (13) zur erhöhten Mortalität ebenfalls eine deutliche Hemmung der Entwicklungsrate von 17% (11) bzw. 27% (13) hinzukam, lagen die Werte für diesen Parameter bei den Sedimenten der Regnitz lediglich zwischen 5% (1) und 1% (2) (Abbildung 19b). Negative Hemmwerte für den Parameter Entwicklungsrate und damit eine Vorverlegung des Schlupfs konnte in den fünf Sedimenten aus dem Bereich zwischen Großwelzheim und Mühlheim festgestellt werden. Höchstwerte wurden hier durch die Proben Großkrotzenburg (7) mit -10% sowie Steinheimer Bogen (8) und Mühlheim (10) mit je -8,5% erreicht. Hohe Hemmwerte für den mittleren Schlupfzeitpunkt wurden vor allem durch die Sedimente Frankfurt Westhafen (13) und Eddersheim (15) hervorgerufen (Abbildung 19c).

Auch für den Main konnte keine signifikante Verschiebung des Geschlechterverhältnisses ermittelt werden (Abbildung 19d). Die Probe Griesheim (14) hatte jedoch mit 72% einen deutlich erhöhten Anteil an Weibchen.

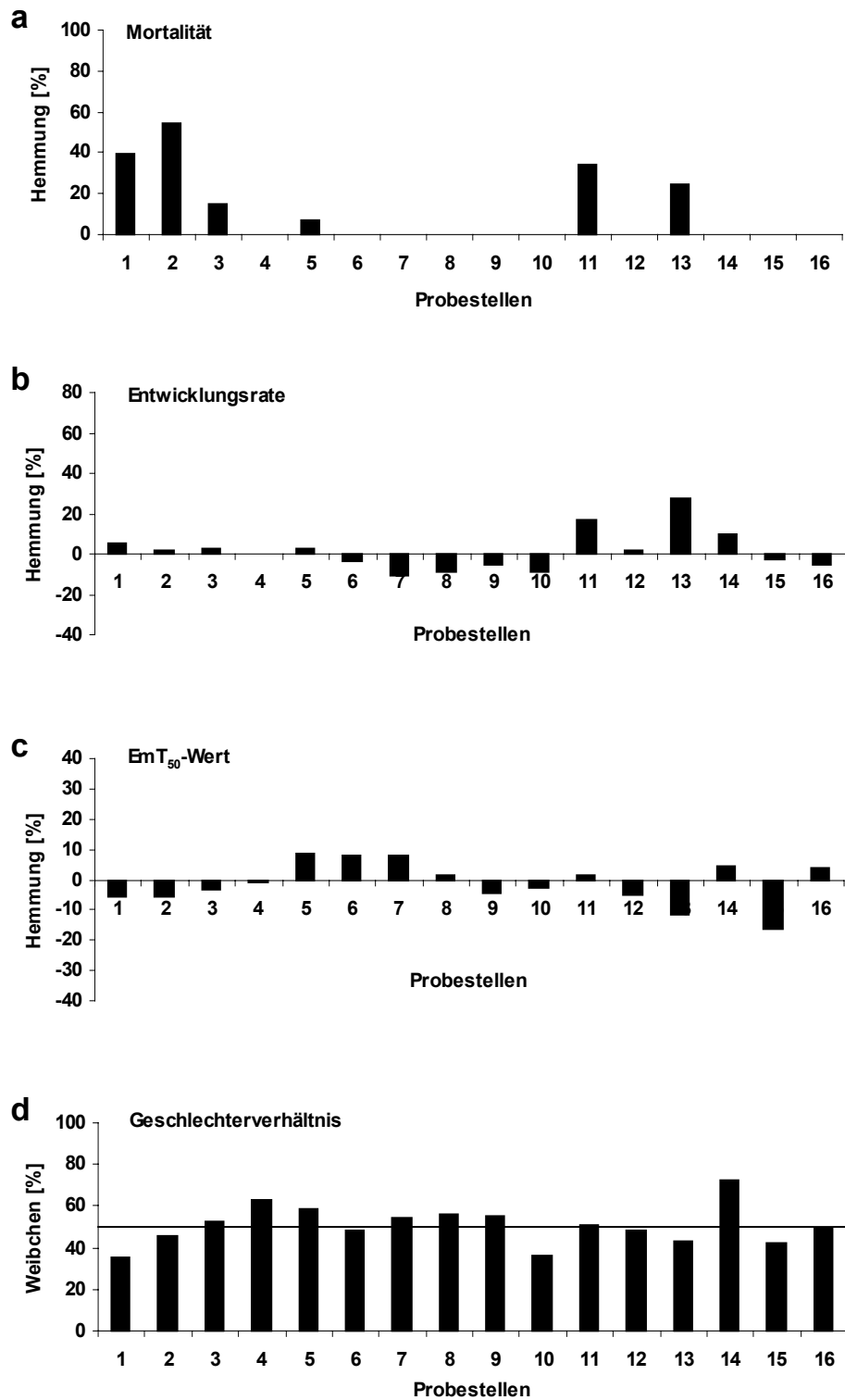


Abbildung 19. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen des Main: **a** Emergenz, **b** Entwicklungsrate, **c** EmT<sub>50</sub> und **d** Geschlechterverhältnis.

## 4.5 MOSEL

### 4.5.1 Abiotische Parameter

Für die Moselsedimente wurden bis auf wenige Ausnahmen mittlere bis hohe Schwermetallbelastungen gemessen, die die LAWA-Klassifikation mit 1,5 bis 3,8 und die Wachssche Klassifikation mit 2,4 bis 3,1 bewertete (Abbildung 20a). Die höchsten Belastungen wurden für die Sedimente Detzem (4) und Fankel (8) gemessen. Bei Fankel war dieser hohe Wert auf eine starke Belastung durch Blei (544 µg/g) und Zink (1240 µg/g) zurückzuführen.

Auch die Belastung durch PAK war für einige Moselsedimente erheblich und lag für die Sedimente 1 bis 6 über 10 µg/g, wobei für das Sediment aus Detzem (4) über 20 µg/g gemessen wurden (Abbildung 20b). Die restlichen Sedimente wiesen Werte zwischen 3 und 10 µg/g auf.

Der organische C-Gehalt der Moselsedimente lag im mittleren Bereich und betrug zwischen 2 und 4%. Auch der totale C-Gehalt zeigte kaum Unterschiede zwischen den Probenahmestellen und lag bei Werten zwischen 4,5 und 6,3% (Abbildung 20c).

Etwa die Hälfte der Sedimente (3-4, 8-10) konnte aufgrund der Ergebnisse der Siebung der Kornklasse Mittelsand zugeordnet werden, die andere Hälfte (1-2, 5-7, 11) ließ sich als Grobsand charakterisieren (Abbildung 20d). Durch den particle sizer zeigte sich mit Ausnahme der Sedimente Müden (9) und Koblenz (11) ein vergleichbares Abbild der Korngrößenverteilung, wobei das Sediment Müden (9) den niedrigsten Wert aufwies.



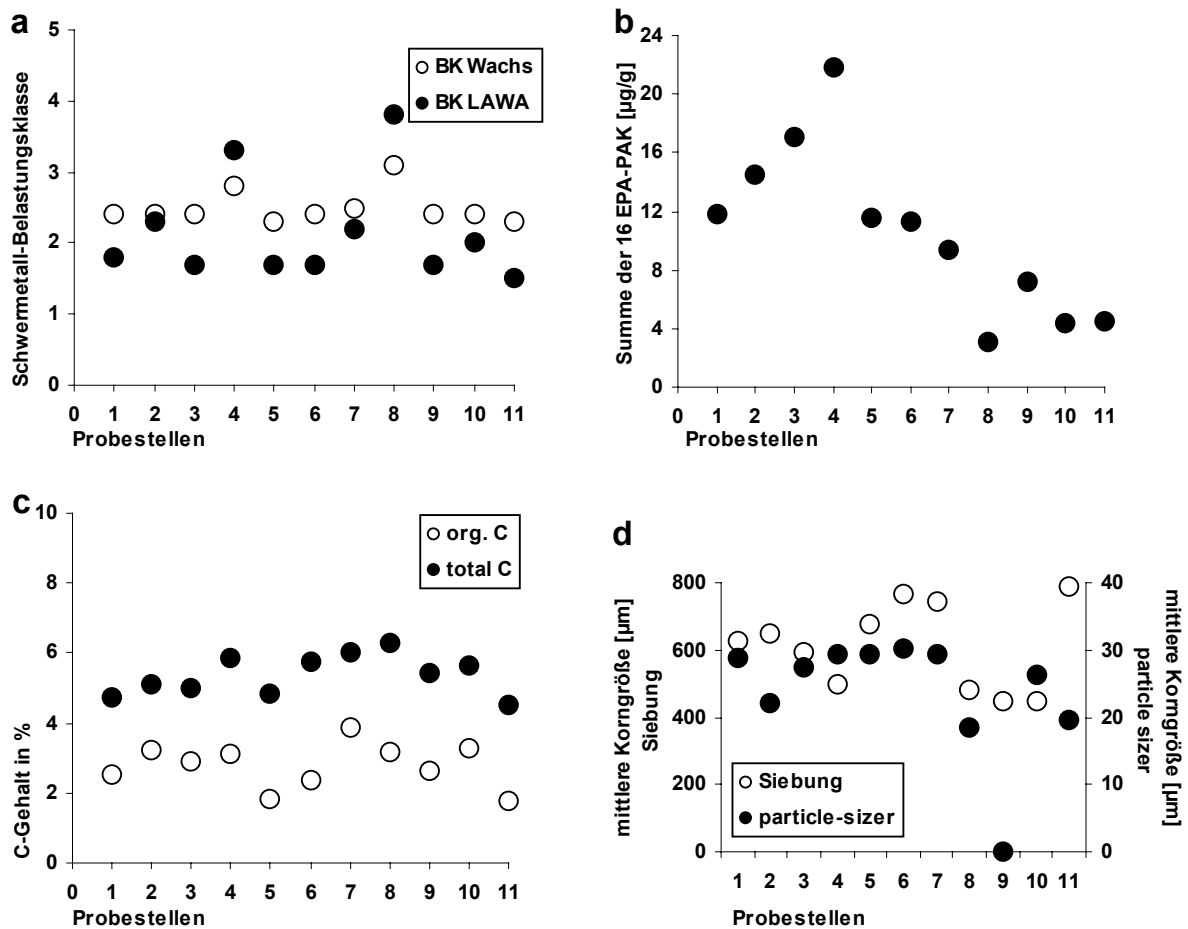


Abbildung 20. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Mosel: **a** Schwermetallbelastungsklassen nach Wachs (1991) und LAWA (1998), **b** Summe der 16 EPA-PAK in  $\mu\text{g/g}$ , **c** totaler und organischer Kohlenstoffgehalt in % und **d** Korngößenverteilung durch Siebung und particle sizer.

#### 4.5.2 Biologische Tests

Im **Nematodentest** zeigten sich für das Längenwachstum durchweg Hemmwerte zwischen etwa 30 und 50%, wobei der höchste Wert bei Palzem (1) erreicht wurde (Abbildung 21a). Für die Hemmung der Eibildung zeigte sich der Höchstwert ebenfalls bei Palzem (1). Durch den Parameter Eizahl wurden deutlich mehr Sedimente als auffällig gekennzeichnet (Abbildung 21b). Hier riefen auch die Sedimente aus Grevenmacher (2), Trier (3), Detzem (4), Fankel (8) und Lehmen (10) hohe Hemmungen hervor. Die Reproduktion war wiederum an allen Probenahmestellen über 80% im Vergleich zur Kontrolle gehemmt, wobei der Höchstwert in Palzem (1) erreicht wurde (Abbildung 21c).

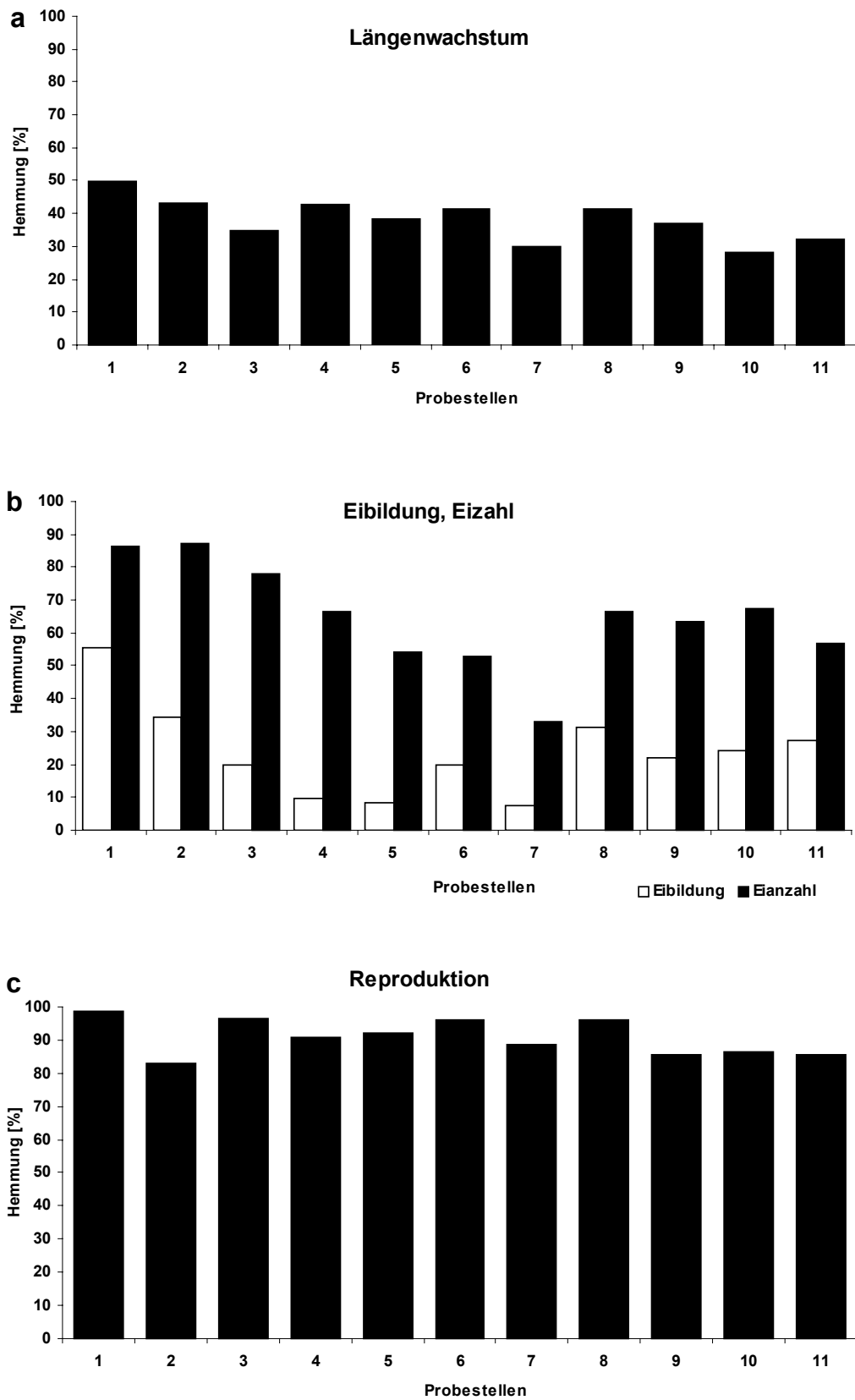


Abbildung 21. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Mosel: **a** Längenwachstum, **b** Eibildung und Eizahl, **c** Reproduktion.

Die Sedimente der Mosel zeigten im **Chironomidentest** zum Teil erhebliche akuttoxische Wirkungen. In der Probe Wintrich (5) war eine Mortalität von 51% festzustellen und in weiteren 3 der 11 Proben (Detzem (4), Enkirch (7) und Fankel (8)) lag die Mortalität sogar zwischen 80 und 90% (Abbildung 22a).

Die Absolutwerte für die Hemmungen der Entwicklungsrate lagen zwischen 1 und 21%, wobei die Sedimente Detzem (4), Enkirch (7) und Fankel (8) eine Verspätung des Schlupfs zur Folge hatten, während die Proben Palzem (1) und Grevenmacher (2) den Schlupf der Zuckmücken deutlich vorverlegten (Abbildung 22b), was auch durch die  $EmT_{50}$ -bestätigt wurde (Abbildung 22c). Bei den Sedimenten Detzem (4), Enkirch (7) und Fankel (8) zeigte die Entwicklungsrate einen verlangsamten Schlupfverlauf an, während der  $EmT_{50}$ -Wert eine Vorverlegung des mittleren Schlupfzeitpunkts in diesen Proben angab. In diesen Proben lag, wie bereits beschrieben, eine sehr hohe Mortalität vor, die höchstwahrscheinlich für die Diskrepanz zwischen den Ergebnissen für Entwicklungsrate und  $EmT_{50}$  verantwortlich war.

Die Proben Detzem (4) und Wintrich (5), die schon durch eine hohe Mortalität gekennzeichnet waren, zeigten ebenfalls signifikante Verschiebungen des Geschlechterverhältnisses der geschlüpften Tiere zugunsten der Männchen (Abbildung 22d). Möglicherweise riefen diese Sedimente eine erhöhte Weibchensterblichkeit hervor.

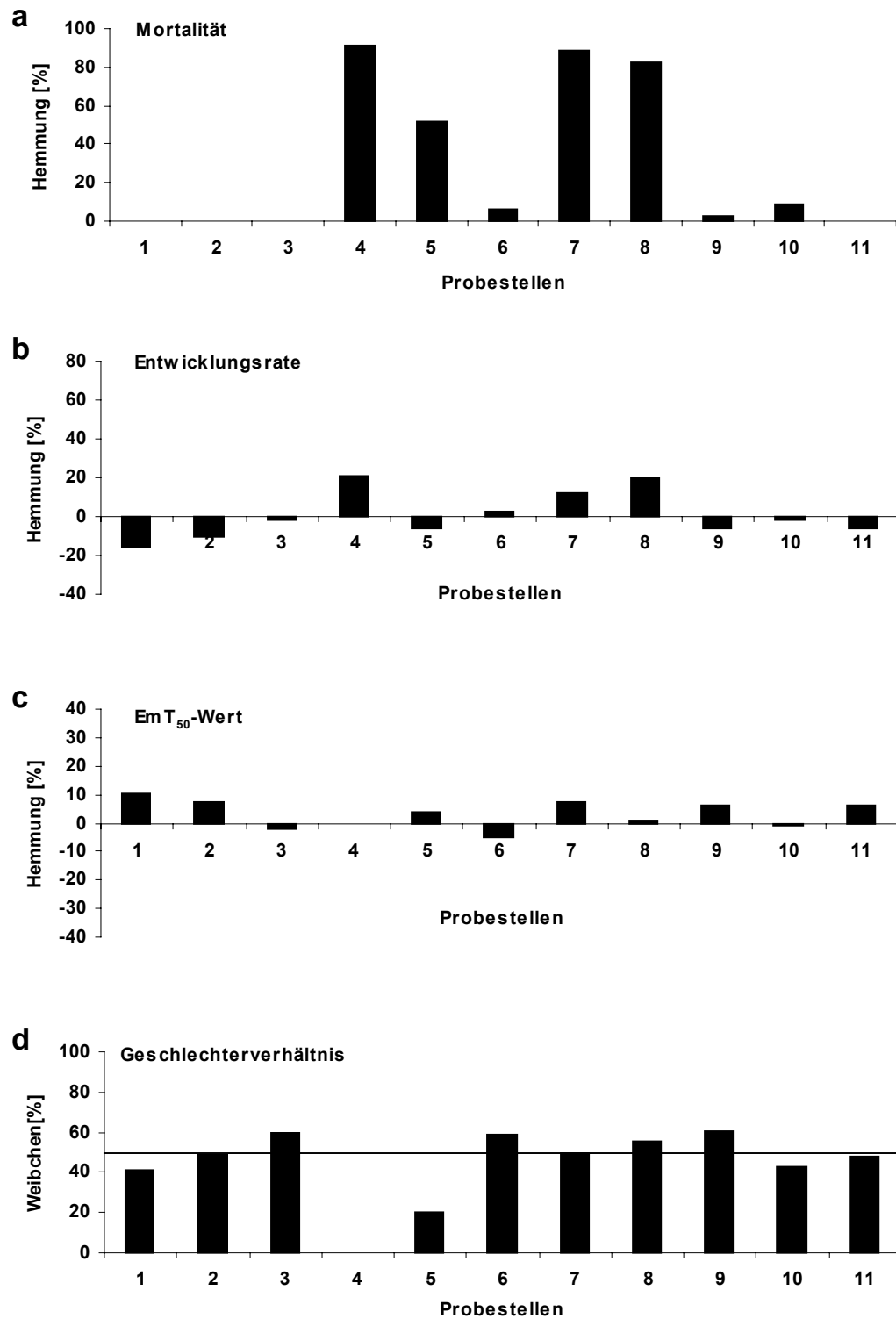


Abbildung 22. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Mosel: **a** Emergenz, **b** Entwicklungsrate, **c** EmT<sub>50</sub> und **d** Geschlechterverhältnis.

## **4.6 NECKAR**

### **4.6.1 Abiotische Parameter**

Die Neckarsedimente zeigten insgesamt eine mittlere Belastung durch Schwermetalle, die sich in den Belastungsklassen 1,0 bis 2,3 nach LAWA und 2,1 bis 2,5 nach Wachs widerspiegelte (Abbildung 23a). Die Probenahmestellen Neckarzimmern (2), Lauffen (3) und Deizesau (7) waren dabei am auffälligsten.

Die Werte für die 16 EPA-PAK bewegten sich für die Neckarsedimente zwischen 4 und 10 µg/g, wobei für Neckarzimmern (2), Oberrössen (5) und Poppenweiler (6) die höchsten Belastungen gemessen wurden (Abbildung 23b). Die Sedimente wurden entsprechend dem Bremer Modell in Klasse II eingeordnet.

Der organische C-Gehalt der Neckarsedimente lag zwischen 0 und 5%. Die Probenahmestelle Lauffen (3) wies hierbei den höchsten Gehalt mit 5,1% auf. Der totale C-Gehalt zeigte Werte zwischen 4 und 7%, wobei der Höchstwert ebenfalls bei Lauffen (3) erreicht wurde (Abbildung 23c).

Bis auf das Sediment aus Tübingen (8), das als Mittelsand zu charakterisieren war, konnten alle Sedimente des Neckars aufgrund der Korngrößenbestimmung durch Siebung als Feinsand eingeordnet werden (Abbildung 23d). Der particle sizer lieferte hier ein ähnliches Muster der mittleren Korngrößen.

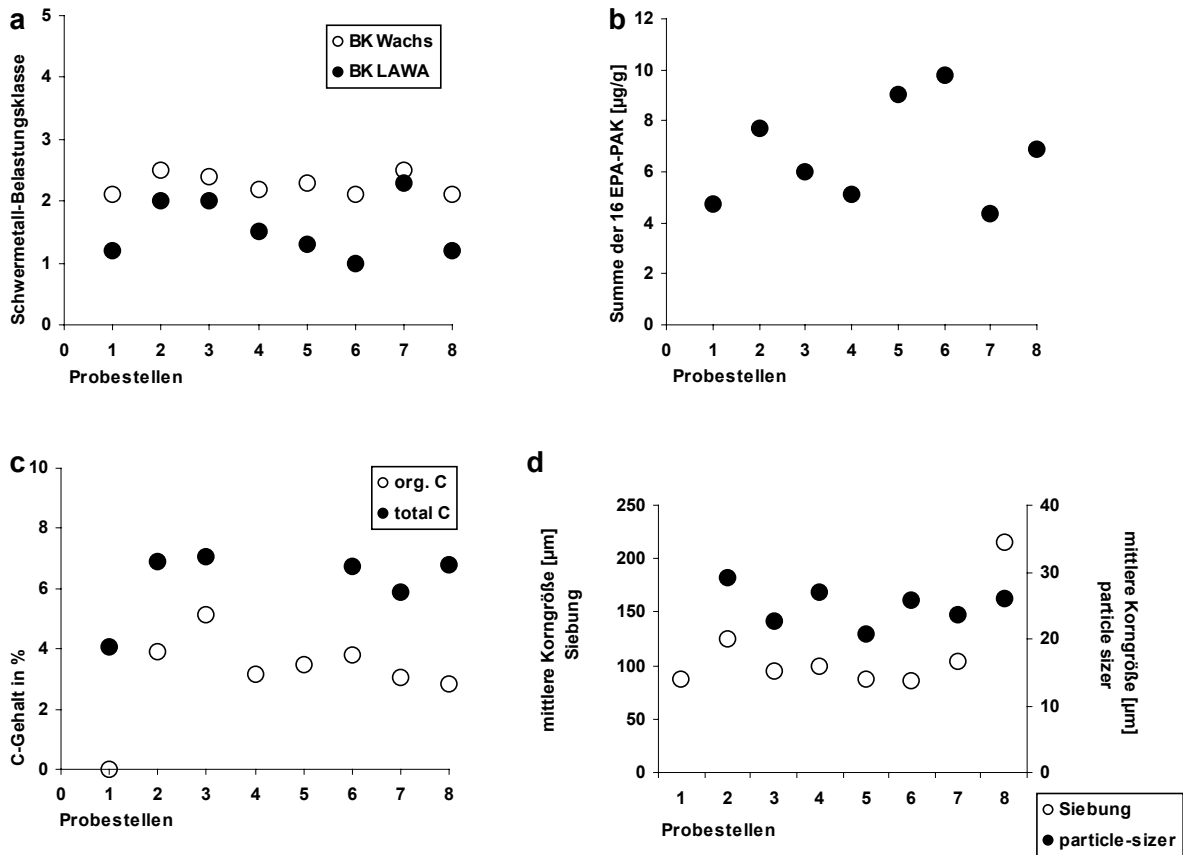


Abbildung 23. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen des Neckars: **a** Schwermetallbelastungsklassen nach Wachs (1991) und LAWA (1998), **b** Summe der 16 EPA-PAK in  $\mu\text{g/g}$ , **c** totaler und organischer Kohlenstoffgehalt in % und **d** Korngrößenverteilung durch Siebung und particle sizer.

#### 4.6.2 Biologische Tests

Im **Nematodentest** zeigten sich für das Längenwachstum für die meisten Neckarsedimente geringe Hemmwerte bis etwa 35% (Abbildung 24a). Hohe Hemmwerte wurden lediglich durch die Sedimente Neckarzimmern (2) und Obernossen (5) hervorgerufen. Dieser Trend wurde auch durch die Eibildung und Eizahl bestätigt (Abbildung 24b). Hier wurden für Neckarzimmern (2) eine 85%ige Hemmung der Eibildung und über 90% Hemmung der Eizahl bestimmt. Der Parameter Reproduktion ließ aufgrund durchgehend sehr hoher Hemmwerte auch für diesen Fluss keine Differenzierung der Probenahmestellen zu (Abbildung 24c).

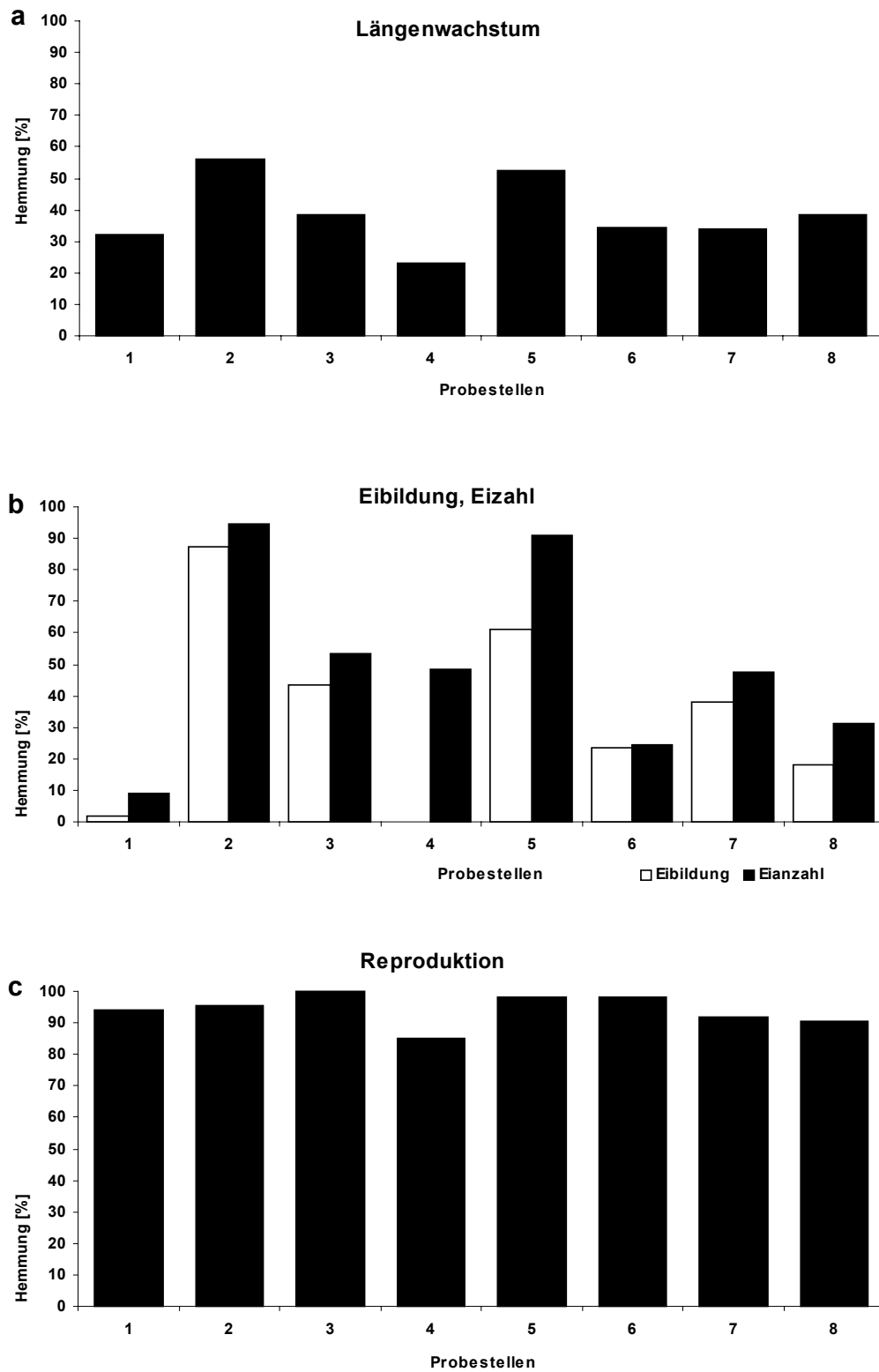


Abbildung 24. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen des Neckars: **a** Längenwachstum, **b** Eibildung und Eizahl, **c** Reproduktion.

Etwa 60% der Neckarsedimente wiesen im **Chironomidentest** eine Mortalität über 20% auf. Dennoch lagen die erreichten Werte mit höchstens 35,9% bei Lauffen (3) deutlich unterhalb der für die Mosel ermittelten Wirkstärke (Abbildung 25a).

Der Parameter Entwicklungsrate (Abbildung 25b) wurde durch die Neckarproben nur sehr gering beeinflusst. Lediglich die Proben Neckarsteinach (1) mit 14%, Neckarzimmern (2) mit 9% und Deizesau (7) mit ebenfalls 9% sorgten für einen verspäteten, Tübingen (8) mit -5% für einen verfrühten Schlupf gegenüber der Kontrolle.

Für den Neckar mit seiner relativ geringen Mortalität war die Übereinstimmung der Ergebnisse von Entwicklungsrate und  $EmT_{50}$ -Wert gegeben. Allerdings zeigte der  $EmT_{50}$ -Wert für alle Proben höhere Hemmwerte an (Abbildung 25c).

In der Probe Lauffen (3) war der Anteil an Weibchen, im Sediment Deizesau (7) der Anteil an Männchen signifikant erhöht (Abbildung 25d).



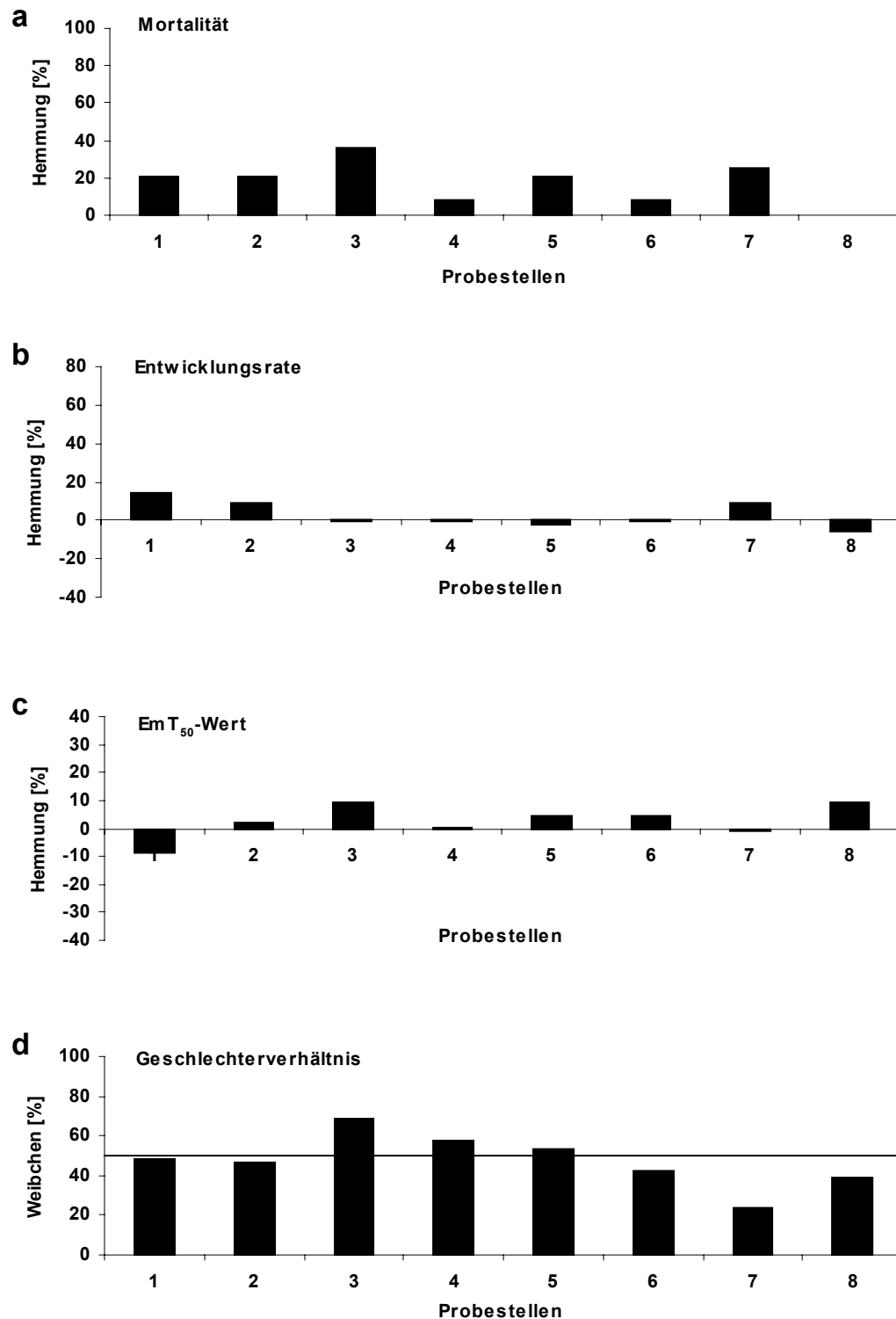


Abbildung 25. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen des Neckars: **a** Emergenz, **b** Entwicklungsrate, **c** EmT<sub>50</sub> und **d** Geschlechterverhältnis.

## 4.7 NEISSE

### 4.7.1 Abiotische Parameter

Die Schwermetallbelastung der Neisse wurde durch das System der LAWA in die Klassen 1,0 bis 2,0 und nach Wachs in die Klassen 1,5 und 2,5 eingeteilt (Abbildung 26a). Die höchsten Klassen wurden dabei für die Sedimente Zittau vor Kläranlage (2) und Görlitz (5) vergeben, dicht gefolgt von Zittau nach Kläranlage (3).

Im Bereich zwischen Hartau und Görlitz (1-5) lag die Belastung durch PAK bei Werten zwischen 4 und 7 µg/g und bis zur Mündung in die Oder bei Ratzdorf (10) bei Werten von 0 bis 4 µg/g (Abbildung 26b). Deutlich am höchsten mit PAK belastet waren die beiden Ausleiter der Kläranlagen in Zittau (3) und Görlitz (5); hier wurde nach dem Bremer Modell die Klasse 2 für Fluoranthren und Benzo(a)pyren vergeben. Weiterhin musste den Sedimenten Hartau (1), Ostritz (4) und Bad Muskau (8) die Klasse 2 für Fluoranthren zugeordnet werden.

Das Sediment Görlitz (5) fiel ebenfalls durch die höchsten Werte für den organischen Kohlenstoffgehalt (3,3%) und den totalen Kohlenstoffgehalt (3,9%) auf. In allen Neissesedimenten entsprach der organische Kohlenstoffgehalt mehr oder weniger dem totalen Kohlenstoffgehalt (Abbildung 26c). Eine Ausnahme bildete das Sediment Zittau vor Kläranlage (2), in dem kein organischer Kohlenstoff nachgewiesen werden konnte.

Die Siebanalyse teilte die Neissesedimentproben in den Mittelsandbereich ein, lediglich in Pechern (7) überwog die Grobsandfraktion (Abbildung 26d). Durch den particle sizer wurde die Probenahmestelle Pechern (7) als nicht auffällig eingestuft, die anderen Sedimente wiesen jedoch ähnliche Trends auf wie für die Siebanalyse.

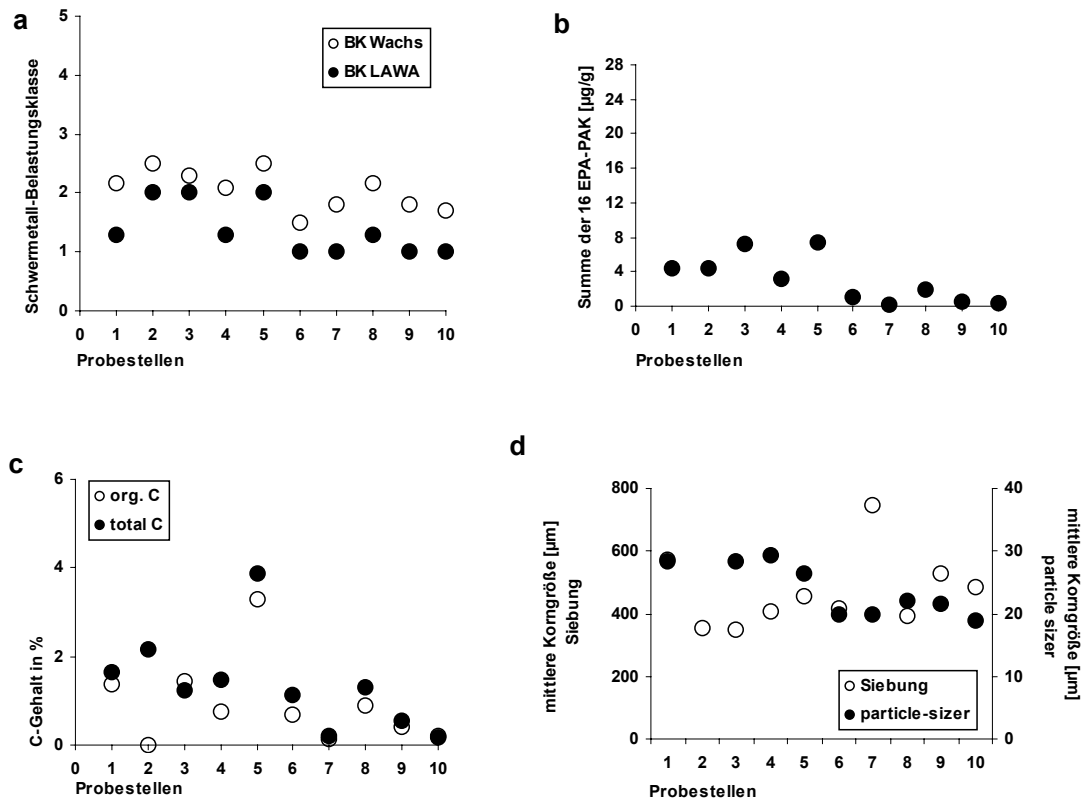


Abbildung 26. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Neisse: **a** Schwermetallbelastungsklassen nach Wachs (1991) und LAWA (1998), **b** Summe der 16 EPA-PAK in µg/g, **c** totaler und organischer Kohlenstoffgehalt in % und **d** Korngrößenverteilung durch Siebung und particle sizer.

#### 4.7.2 Biologische Tests

Im **Nematodentest** zeigten sich für das Längenwachstum insgesamt relativ geringe Hemmwerte, die teils unter 10% lagen (Abbildung 27a). Etwas höhere Hemmungen zwischen 35 und 47% riefen die Sedimente Zittau nach der Kläranlage (3), Rothenburg (6), Bad Muskau (8) und Ratzdorf (10) hervor. Ähnliche Ergebnisse zeigten die Hemmung der Eibildung und der Eizahl, wobei die Hemmwerte für die Eizahl deutlich höher lagen als für die Eibildung (Abbildung 27b). Der Parameter Hemmung der Reproduktion wies zusätzlich das Sediment aus Görlitz (5) als auffällig aus (95% Hemmung) (Abbildung 27c). Die Probenahmestellen Hartau (1) und Pechern (7) erwiesen sich bei allen untersuchten Parameter als unauffällig.

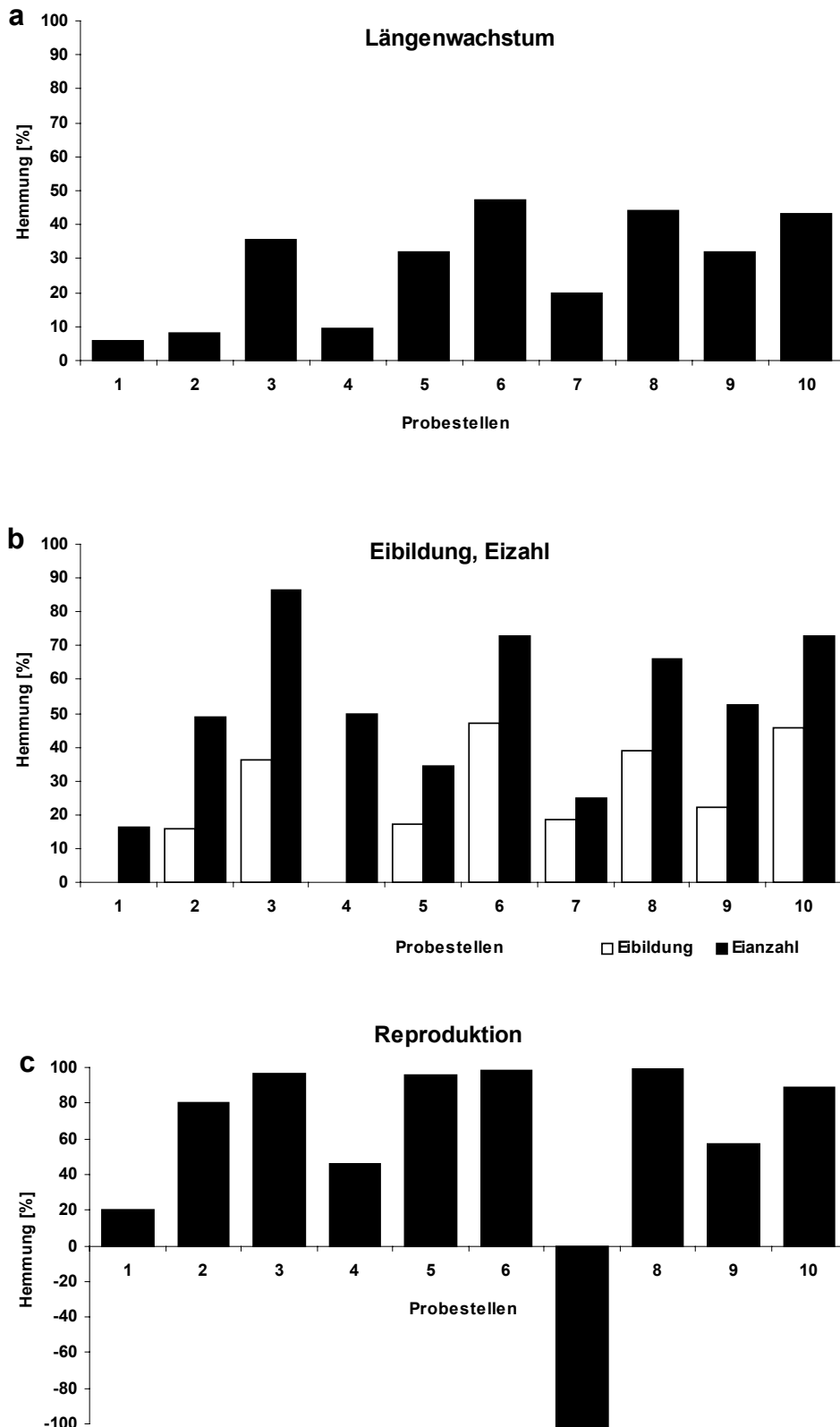


Abbildung 27. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Neisse: **a** Längenwachstum, **b** Eibildung und Eizahl, **c** Reproduktion.

Die Proben Hartau (1) sowie Sedimente aus dem Bereich zwischen Görlitz (5) und Forst (9) riefen im **Chironomidentest** Mortalitäten von über 20% hervor. Dabei wurden die höchsten Werte bei Bad Muskau mit 69% ermittelt (Abbildung 28a).

In den meisten Neisseproben wurden durch den Parameter Entwicklungsrate vorverlegte Schlupfzeitpunkte ermittelt (Abbildung 28b). Der höchste Wert wurde mit – 24% im Sediment Forst (9) beobachtet. Die Probe aus Bad Muskau rief mit 23% Hemmung die höchste Verspätung des Schlupfs hervor. Dieser Probe wurde, obwohl die Werte ansonsten gut übereinstimmen, durch den  $EmT_{50}$ -Wert kein erhöhter Hemmwert zugewiesen (Abbildung 28c), was an der hohen Toxizität dieses Sediments lag.

Das Sediment aus Hartau (1) war durch einen signifikant höheren Weibchenanteil gekennzeichnet (Abbildung 28d).

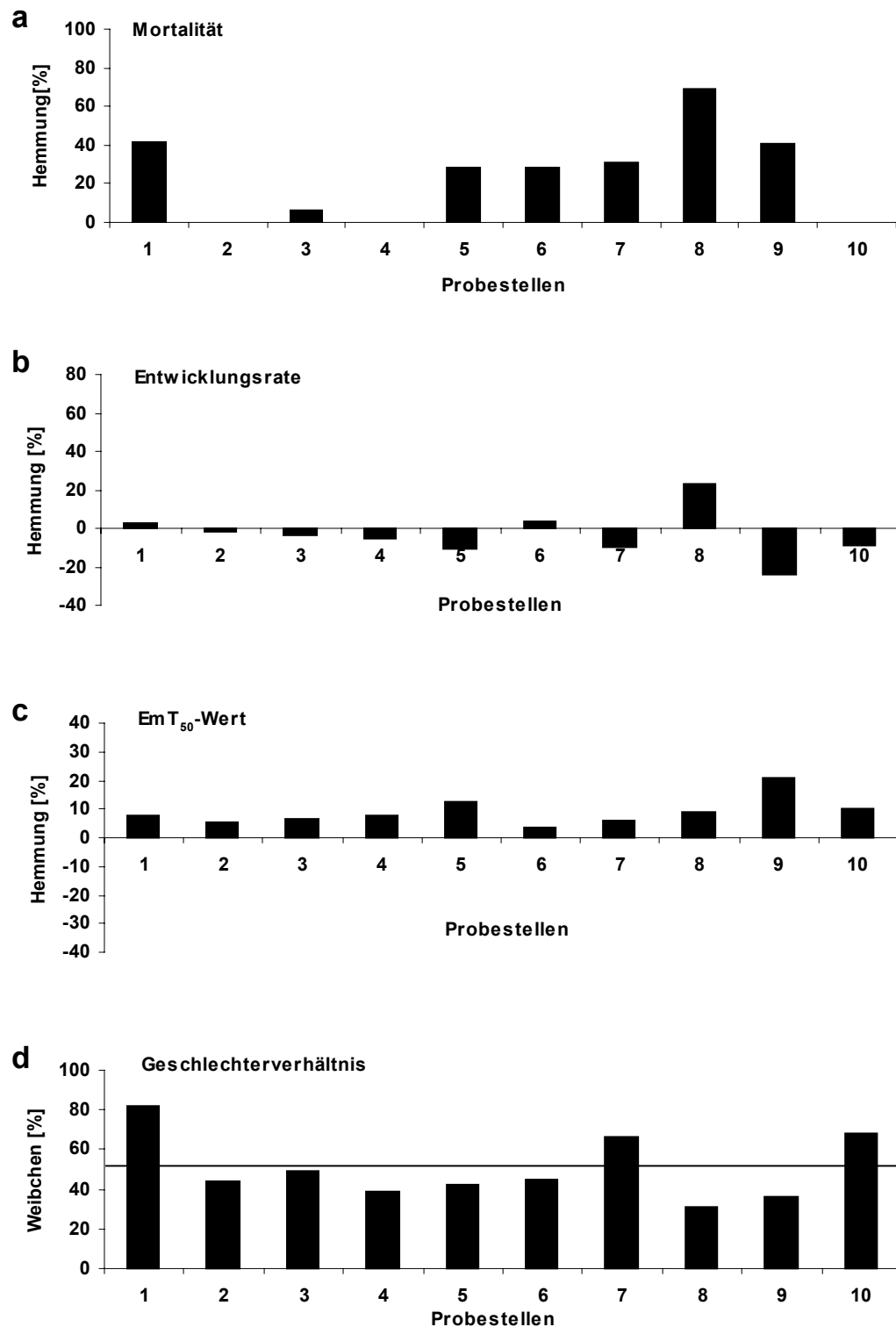


Abbildung 28. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Neisse: **a** Emergenz, **b** Entwicklungsrate, **c** EmT<sub>50</sub> und **d** Geschlechterverhältnis.

## 4.8 ODER

### 4.8.1 Abiotische Parameter

Nach dem System der LAWA lagen die Belastungsklassen für die Schwermetallgehalte der Oder überwiegend bei Werten von 1,0, während Wachs den Großteil der Odersedimente Belastungsklassen zwischen 1,5 und 2,0 zuordnete (Abbildung 29a). Belastungsspitzen wurden durch beide Systeme an den Probenahmestellen Eisenhüttenstadt/D (2), Aurith/PL (5) sowie Kietz/PL (11) identifiziert. Aurith erreichte mit 3,0 nach Wachs bzw. 4,0 nach LAWA die höchsten Belastungen.

Die gleichen Probenahmestellen fielen auch durch die höchsten Werte der Summen-PAK auf (Abbildung 29b). Auch hier erschien Aurith/PL (5) mit Werten von 10 µg/g deutlich als am stärksten belastet. Eisenhüttenstadt/D (2) und Kietz/PL (11) folgten mit Werten um 6 µg/g. Die restlichen Probenahmestellen wiesen Werte im Bereich zwischen 0,2 und 2,4 µg/g auf. Dennoch mussten alle Proben außer Ratzdorf (1), Lebus/PL (9) und Hohenwutzen/PL (13) für Fluoranthen sowie Eisenhüttenstadt/D,PL (2,3), Aurith/PL (5) und Kietz/PL (11) für Benzo(a)pyren der Klasse 2 des Bremer Systems zugeordnet werden.

Betrachtet man den totalen Gehalt an Kohlenstoff sowie den organischen Kohlenstoffanteil für die Odersedimente, fielen wiederum die Stellen Eisenhüttenstadt/D (2), Aurith/PL (5) sowie Kietz/PL (11) mit erhöhten Werten auf (Abbildung 29c).

Die mittleren Korngrößen der Oderproben lagen zwischen 200 und 750 µm und damit im Mittelsandbereich (Abbildung 29d). Lediglich die Sedimente Aurith/PL (5) und Frankfurt/PL (6) waren mit mittleren Korngrößen über 1000 µm der Grobsandfraktion zuzuordnen. Durch den particle sizer wurde die höchste mittlere Korngröße dem Sediment Kietz/D (10) zugeordnet.

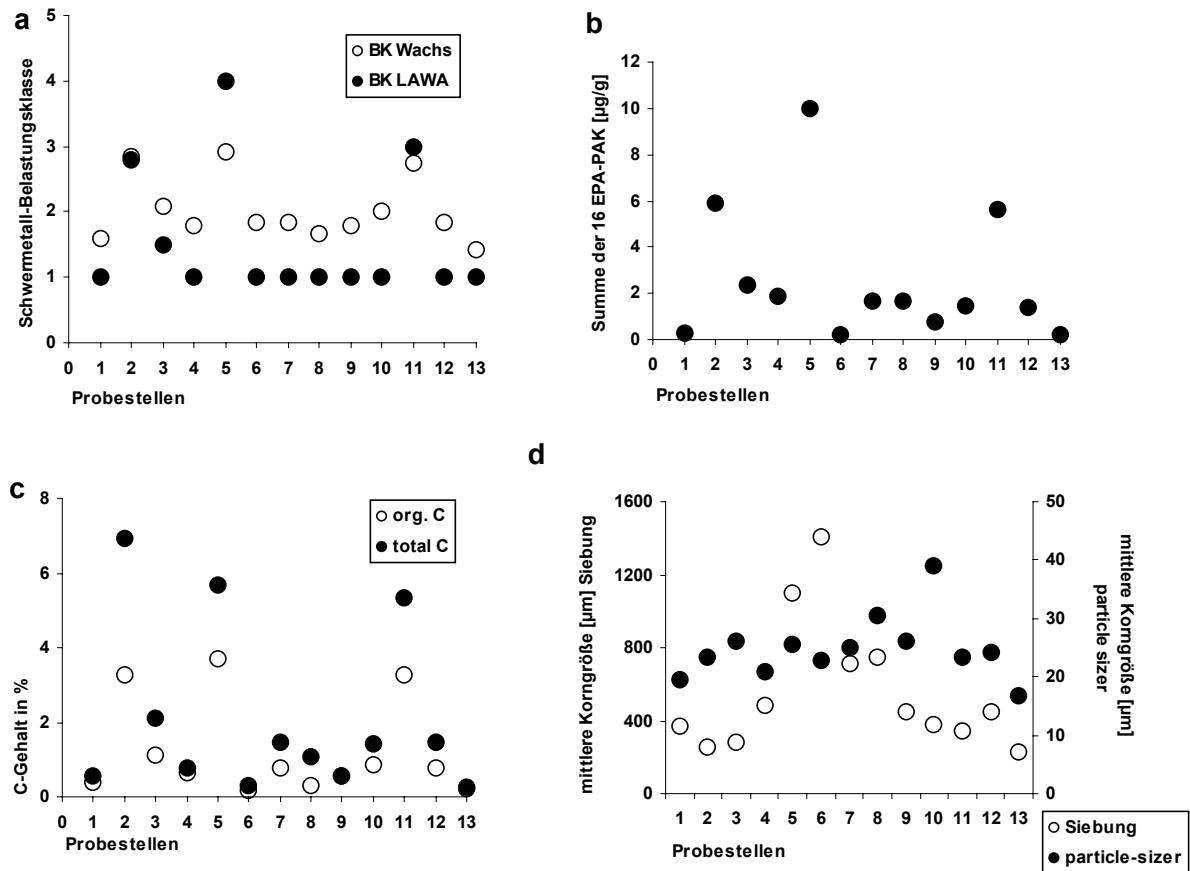


Abbildung 29. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Oder: **a** Schwermetallbelastungsklassen nach Wachs (1991) und LAWA (1998), **b** Summe der 16 EPA-PAK in  $\mu\text{g/g}$ , **c** totaler und organischer Kohlenstoffgehalt in % und **d** Korngrößenverteilung durch Siebung und particle sizer.

#### 4.8.2 Biologische Tests

Die Odersedimente zeigten im **Nematodentest** für den Parameter Längenwachstum geringe bis mäßige Hemmungen, überwiegend zwischen 15 und 40% (Abbildung 30a). Die höchsten Hemmwerte wurden dabei für die Sedimente Aurith/PL (5), Lebus/PL (9), Kietz/D (10), Kietz/PL (11) und Groß-Neuendorf (12) festgestellt. Die Ergebnisse für die Eibildung und Eizahl gaben ein leicht abgewandeltes Bild wieder und zeigten zudem das Sediment Eisenhüttenstadt/D (2) als besonders auffällig an (Abbildung 30b). Die Sedimente Ratzdorf (1) und Aurith/D (4) sowie Frankfurt/PL (6) und Frankfurt/D (7) wiesen die geringsten Hemmungen auf. Der Parameter Reproduktion lieferte insgesamt ähnliche Ergebnisse und ließ damit eine vergleichbare Differenzierung der Sedimente zu (Abbildung 30c).



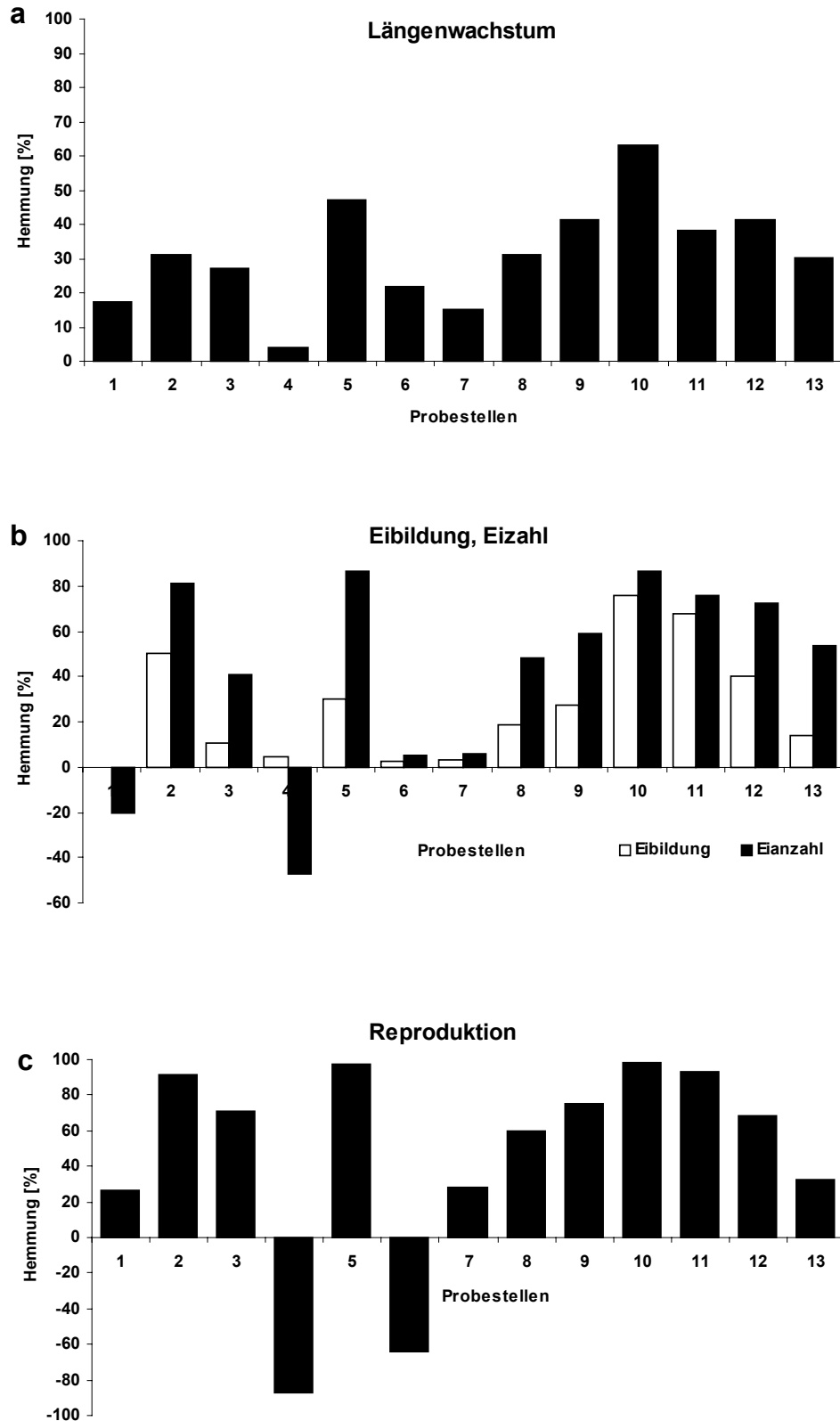


Abbildung 30. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Oder: **a** Längenwachstum, **b** Eibildung und Eizahl, **c** Reproduktion.

Lediglich zwei der 13 Odersedimente riefen im **Chironomidentest** eine Mortalität über 20% hervor (Abbildung 31a). Dies waren die Proben Lebus/PL (9) sowie Kietz/PL (11). Das Sediment aus Lebus/PL (9) war ebenfalls durch eine Hemmung der Entwicklungsrate von 32% gekennzeichnet (Abbildung 31b). Generell ließ sich für den Chironomidentest festhalten, dass die Sedimente der polnischen Seite höhere Hemmwerte hervorriefen als die Proben, die auf der deutschen Seite genommen wurden. Der  $EmT_{50}$ -Wert lieferte vergleichbare Ergebnisse wie die Entwicklungsrate. Allerdings lagen die Hemmwerte für die Sedimente Aurith/PL (5), Frankfurt/PL (6) und Kietz/PL (11) für den  $EmT_{50}$ -Wert höher als für die Entwicklungsrate, während dem Sediment Lebus/PL (9) geringere Hemmwerte zugeordnet wurden (Abbildung 31c).

Zu einer Verschiebung des Geschlechterverhältnisses zugunsten der Weibchen kam es in der Probe Lebus/PL (9) (Abbildung 31d).

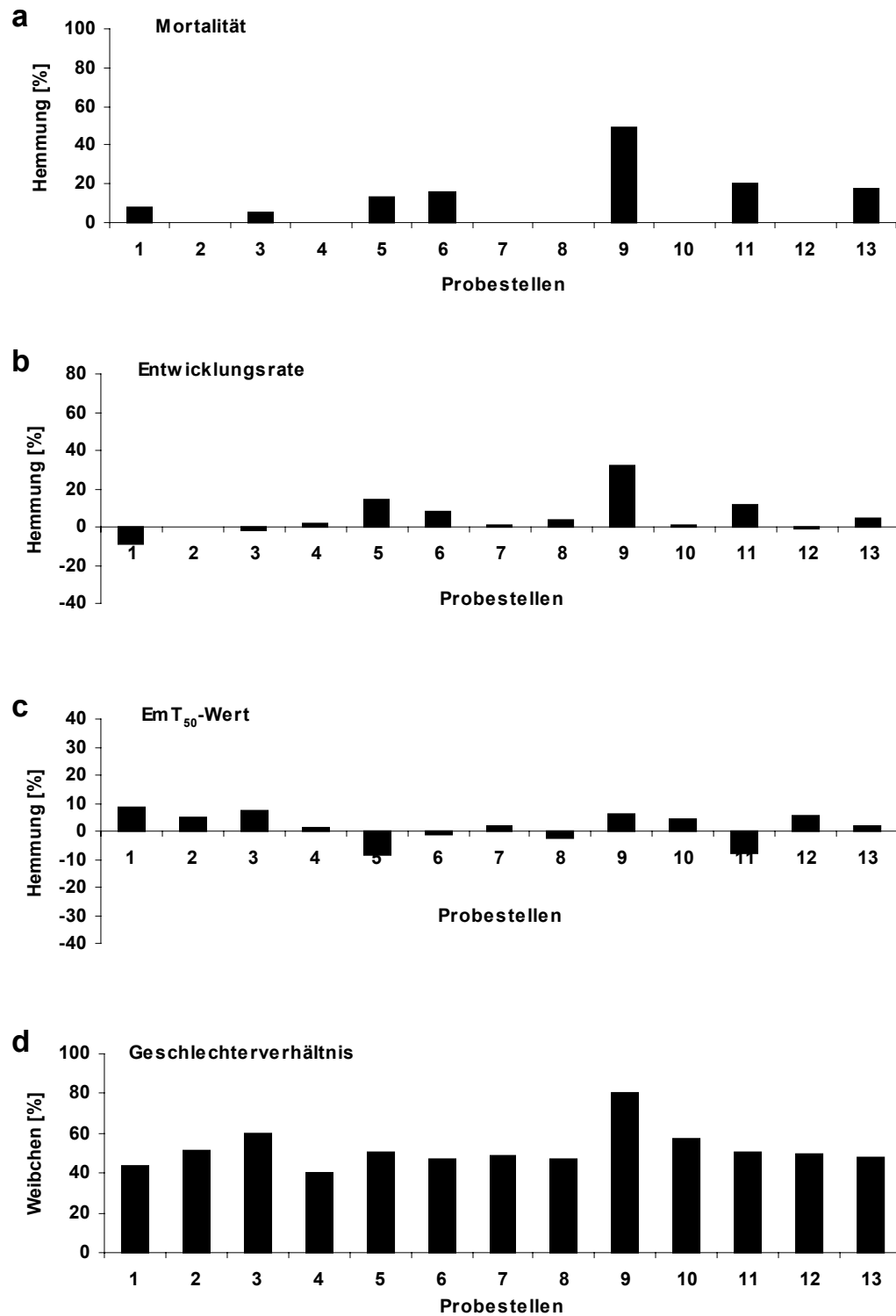


Abbildung 31. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Oder: **a** Emergenz, **b** Entwicklungsrate, **c** EmT<sub>50</sub> und **d** Geschlechterverhältnis.

## 4.9 RHEIN

### 4.9.1 Abiotische Parameter

Die Schwermetallbelastung des Rheins wurde durch die Klassifizierung nach LAWA in die Belastungsklassen 1,0 bis 2,0 eingeteilt, während das System nach Wachs etwas höhere Werte zwischen 1,8 und 2,5 vergab (Abbildung 32a). Belastungsspitze für den Rhein war das Sediment Schierstein (19), das der Klasse 4,2 (LAWA) bzw. 3,3 (Wachs) zugeordnet wurde. Ebenfalls erhöht waren die Belastungen im Kölner Raum (23-26) sowie im Bereich des Ruhrgebiets (27-32).

Die PAK-Belastungen des Rheins lagen für die 16 gemessenen EPA-PAK überwiegend zwischen 0,9 und 4 µg/g (Abbildung 32b). Einige Sedimente, wie Kühkopf (13), Maarau (18), der Kölner Raum (23-26), einige Sedimente aus dem Ruhrgebiet (25-31) sowie Lohrwardt (34) und die Einfahrt zum Hühumer Meer (36), wiesen Werte zwischen 4 und 10 µg/g auf. Höchstwerte fanden sich mit 41,03 µg/g bei Schierstein (19) und 11,6 µg/g bei Müllershof (35), einer engen Einfahrt zu einem Baggerloch. Nach dem Bremer Modell zur Klassifizierung der PAK-Belastung musste die überwiegende Mehrzahl der Sedimente der Klasse 2 zugeordnet werden. Ausnahmen bildeten Birsfelden (3) und Weisweil (6), beide Sedimente wurden der Klasse 1 für beide Substanzen zugeordnet, sowie Schierstein (19), dem in beiden Fällen die Klasse 3 zugeordnet werden musste.

Die Gehalte an Gesamtkohlenstoff lagen im Rhein zwischen 3 und 8%, die Gehalte an organisch gebundenem Kohlenstoff zwischen 0,5 und 4,5% (Abbildung 32c). Lediglich die Probe aus Lampertheim (11) fiel durch einen etwas höheren Wert von 8,1% beim totalen C-Gehalt auf, an dem der organisch gebundene Kohlenstoff lediglich einen Anteil von einem Drittel ausmachte.

Mit Korngrößen zwischen 50 und 500 µm lagen alle Sedimente des Rheins im Fein- bis Mittelsandbereich (Abbildung 32d). Die Ergebnisse des particle sizers zeigten größtenteils ein mit der Siebung übereinstimmendes Bild, wobei die größten Kornklassen in den Sedimenten Gustavsburg (16), Oberwesel (20), Loreley (21) sowie Monheim und Neuss (26 und 27) ermittelt wurden.

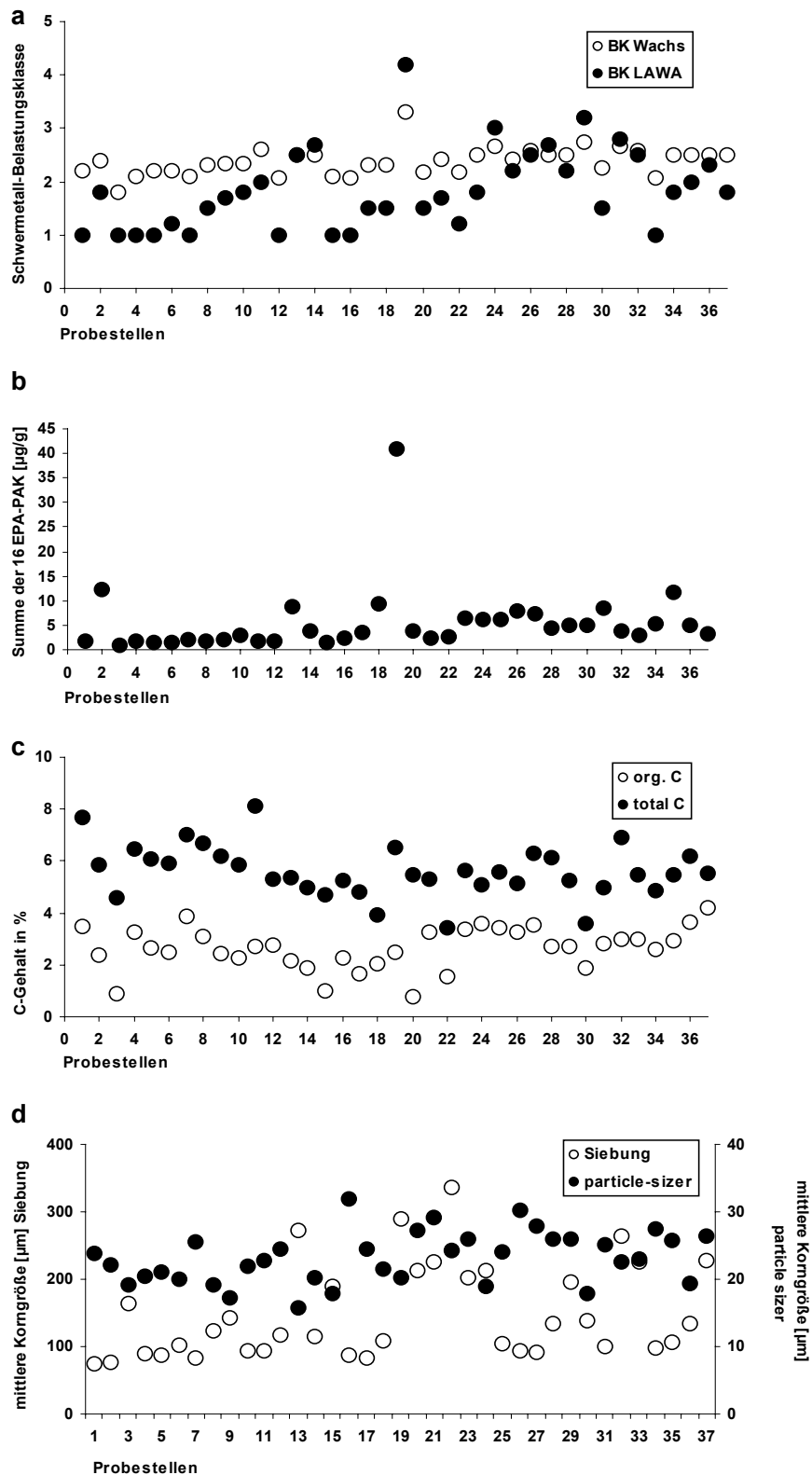


Abbildung 32. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen des Rheins: **a** Schwermetallbelastungsklassen nach Wachs (1991) und LAWA (1998), **b** Summe der 16 EPA-PAK in  $\mu\text{g/g}$ , **c** totaler und organischer Kohlenstoffgehalt in % und **d** Korngrößenverteilung durch Siebung und particle sizer.

#### 4.9.2 Biologische Tests

Im **Nematodentest** zeigten die Rheinsedimente für das Längenwachstum durchgehend mittlere bis sehr hohe Hemmwerte. Etwa ein Viertel der Sedimente wiesen Hemmungen zwischen 30 und 50% auf, und für mehr als die Hälfte der Sedimente wurden Hemmungen über 70% bestimmt (Abbildung 33a). Höchstwerte wurden dabei zwischen Speyer (10) und Gustavsburg (16), zwischen Oberwesel (20) und Oberwinter (23) sowie weiterhin ab Köln (24) bis zur niederländischen Grenze festgestellt. Der Oberlauf des Rheins (1, 2) zeigte die geringsten Hemmungen. Für die Eibildung und Eizahl wurden ähnliche Ergebnisse erhalten, jedoch bildete sich zusätzlich ein auffälliger Bereich mit hohen Hemmwerten zwischen Markt (4) und Nonnenweier (7) aus (Abbildung 33b). Der Parameter Reproduktion war im gesamten Bereich des Rheins durch Hemmungen von über 80%, zumeist jedoch durch totale Hemmungen von 100%, gekennzeichnet (Abbildung 33c). Eine Ausnahme bildete hier lediglich das Sediment Birsfelden (3) mit einer Hemmung von knapp 70%.

Der **Chironomidentest** identifizierte nur für etwas mehr als 20% der Rheinproben Hemmwerte der Emergenz über 20%. Die höchste Mortalität konnte in Schierstein (19) mit 67,5% festgestellt werden. Darauf folgte Duisburg Eisenbahnhof (31) mit 32%, möglicherweise bedingt durch den Einfluß des Kühlwasserauslauf des Thyssen Kraftwerks (Abbildung 34a).

Erhöhte Hemmwerte bei der Entwicklungsrate (Abbildung 34b) fanden sich im Bereich zwischen Albrück (1) bis Schierstein (19). Ausnahmen bildeten hier die vier Sedimente Maximiliansau (9), Speyer (10), Worms (12) und Gustavsburg Ortslage (16), die mit absoluten Hemmungen zwischen 0,96 bis 1,91 nur sehr geringe Unterschiede gegenüber der Kontrolle zeigten. Die erwarteten Belastungsschwerpunkte des Kölner Raums sowie des Ruhrgebiets konnten durch den Chironomidentest nicht identifiziert werden. Der  $EmT_{50}$ -Wert führte zu einer ähnlichen Differenzierung der Ergebnisse (Abbildung 34c). Lediglich in einer Rheinprobe Kühkopf (13) schlüpfen signifikant mehr Männchen (Abbildung 34d).

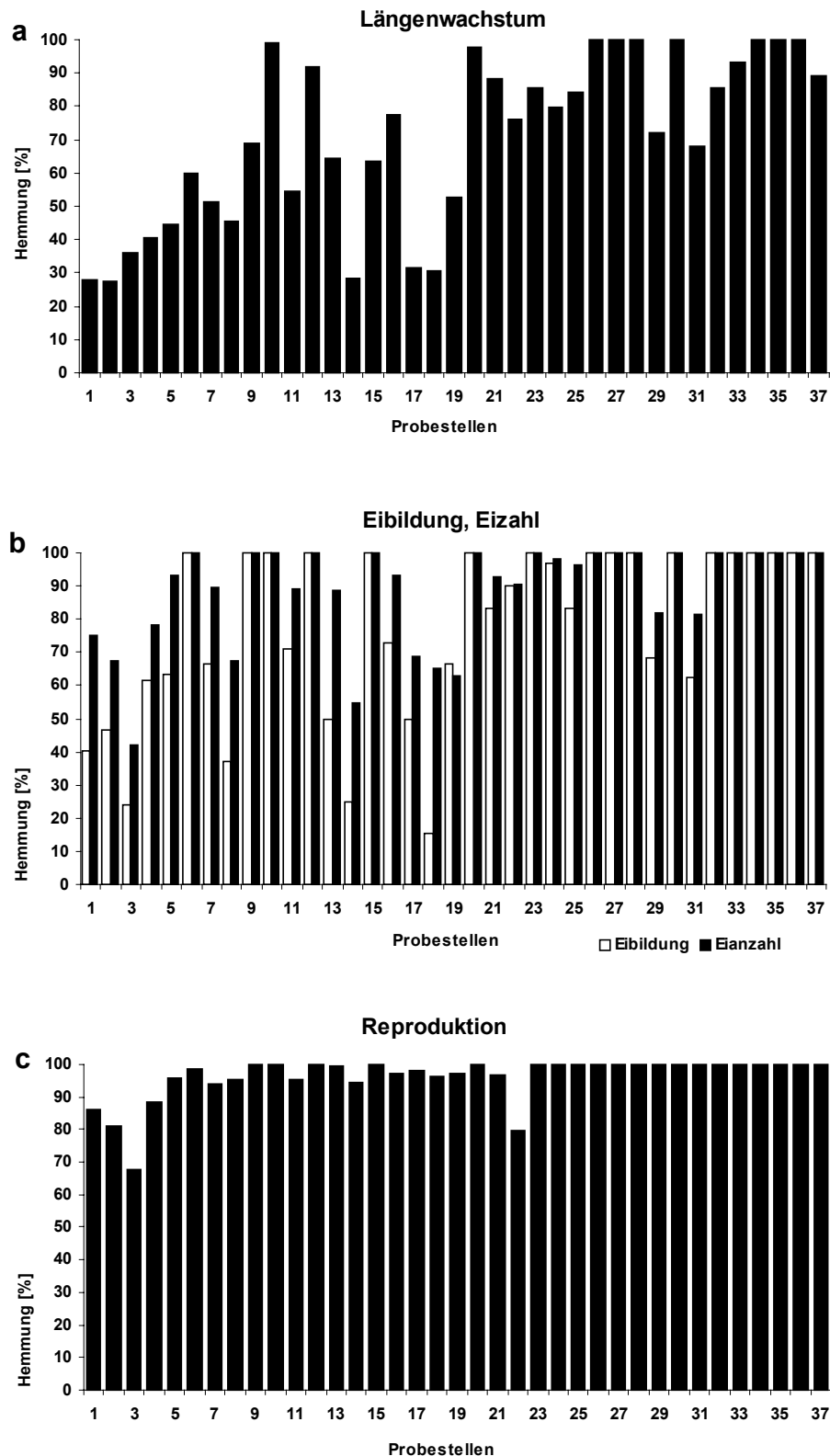


Abbildung 33. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen des Rheins: **a** Längenwachstum, **b** Eibildung und Eizahl, **c** Reproduktion.

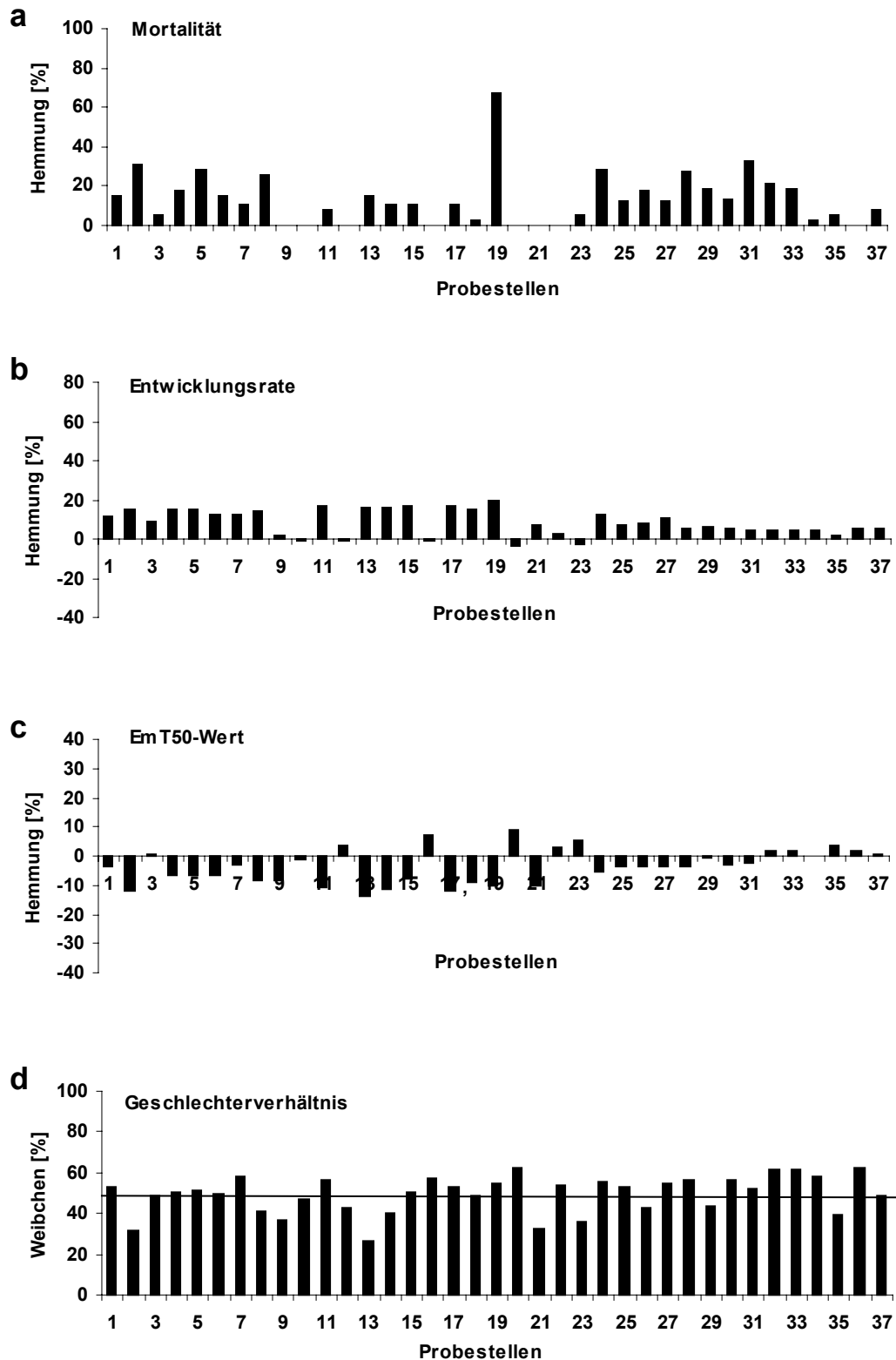


Abbildung 34. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen des Rheins: **a** Emergenz, **b** Entwicklungsrate, **c**  $EmT_{50}$  und **d** Geschlechterverhältnis.



## 4.10 RUHR

### 4.10.1 Abiotische Parameter

Die Belastung der Ruhr mit Schwermetallen war vergleichsweise hoch. Beide Klassifizierungssysteme vergaben meist Belastungsklassen zwischen 2,0 und 4,0 (Abbildung 35a). Das Sediment aus Olsberg (1) wurde dabei mit Werten von 2,5 (Wachs) bzw. 1,7 (LAWA) als am geringsten belastet bewertet. Die Probe aus Bochum-Dahlhausen (8) wies mit 27,3 µg/g die höchste überhaupt gemessene Cadmiumbelastung aller untersuchten Flusssedimente auf. Dementsprechend wurde dieser Probe die Klasse 3,9 (Wachs) und die Klasse 5 (LAWA) zugewiesen.

Die gemessenen Werte für die 16 EPA-PAK stiegen in Richtung der Mündung in den Rhein an. Lagen die Summenkonzentrationen im Bereich zwischen Olsberg (1) und Schwerte (5) noch bei 2 bis 5 µg/g, wurden von Witten-Bommern (7) bis Duisburg (10) Konzentrationen von 6 bis 25 µg/g gemessen (Abbildung 35b). Nach dem Modell des Bremer Senators waren die PAK-Konzentrationen der in der vorliegenden Studie untersuchten Proben so hoch, dass alle Sedimente der Klasse 2 zugeordnet werden mussten. Ausnahmen bildeten Bochum (8, Klasse 3 für Fluoranthren) und Herdecke (6, Klasse 3 für beide Substanzen).

Während der Gesamtanteil an Kohlenstoff in den Proben der Ruhr zwischen 0,4% bei Herdecke (6) und 10,3% in Bochum (8) und Essen (9) lag, erreichte der organisch gebundene Kohlenstoff Werte zwischen 1,9 und 6,6% (Abbildung 35c). Auffallend gering war der Anteil an organischem Kohlenstoff am Gesamtkohlenstoff in Duisburg (10), der bei nur etwa 20% lag. In den Proben Freienohl (3) sowie Herdecke (6) wurden jeweils höhere Werte für den organisch gebundenen als für den Gesamtkohlenstoff bestimmt; hier mussten Messungenauigkeiten für die Diskrepanz verantwortlich gemacht werden.

Die Ruhrsedimente lagen, im Gegensatz zu den fein- bis mittelsandigen Proben aus dem Rhein, im Grobsandbereich (Abbildung 35d). Die Ergebnisse des particle sizers deckten sich mit denen der Siebung.

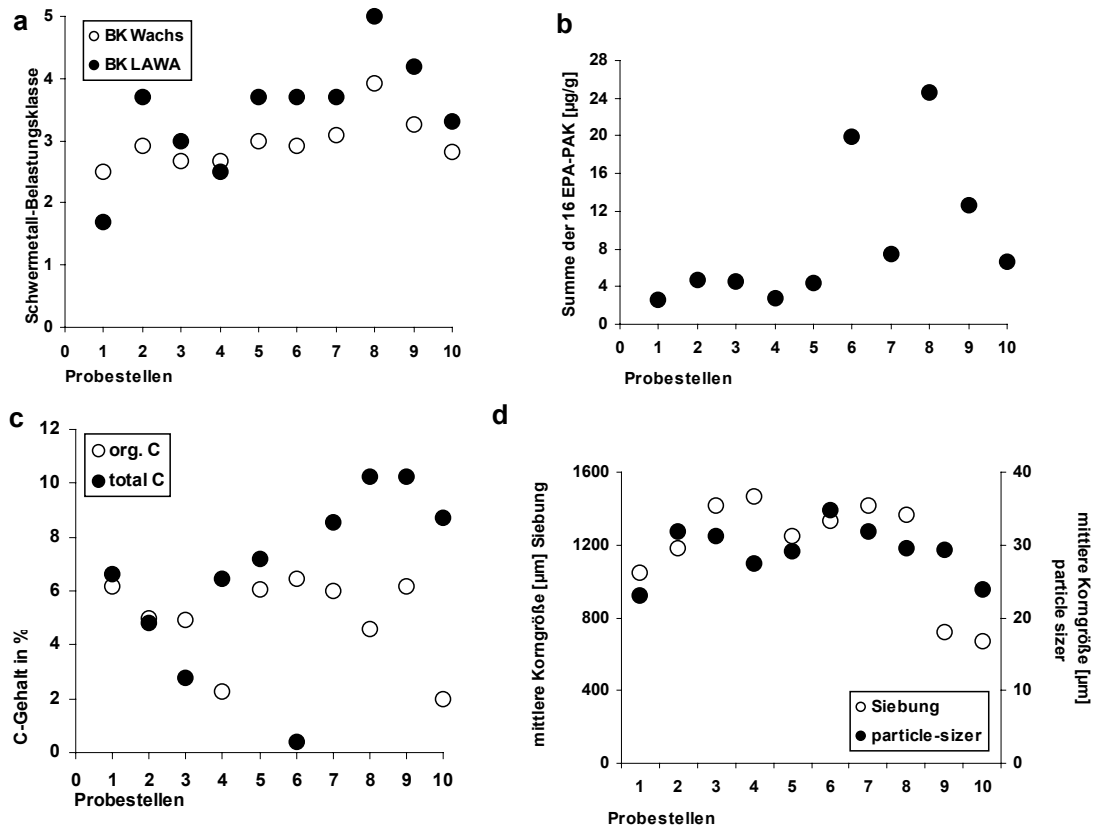


Abbildung 35. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Ruhr: **a** Schwermetallbelastungsklassen nach Wachs (1991) und LAWA (1998), **b** Summe der 16 EPA-PAK in µg/g, **c** totaler und organischer Kohlenstoffgehalt in % und **d** Korngrößenverteilung durch Siebung und particle sizer.

#### 4.10.2 Biologische Tests

Im **Nematodentest** zeigten die Ruhrsedimente für den Parameter Längenwachstum durchweg mittlere Hemmungen zwischen 30 und 60% (Abbildung 36a). Auffälligste Sedimente waren hierbei Meschede (2) und Schwerte (5). Die Hemmung der Eibildung zeigt vergleichbare Ergebnisse, wobei die unauffälligeren Sedimente nur geringe Hemmwerte aufwiesen (Abbildung 36b). Die Hemmung der Eizahl kennzeichnete zudem die Sedimente Freienohl (3) und Herdecke (6) bis Essen (9) als auffällig. Die Probenahmestellen Olsberg (1) und Wickede (4) wiesen die geringsten Hemmwerte auf. Wiederum war der Parameter Reproduktion durch eine fast komplette Hemmung (90-100%) an allen Probenahmestellen gekennzeichnet (Abbildung 36c).

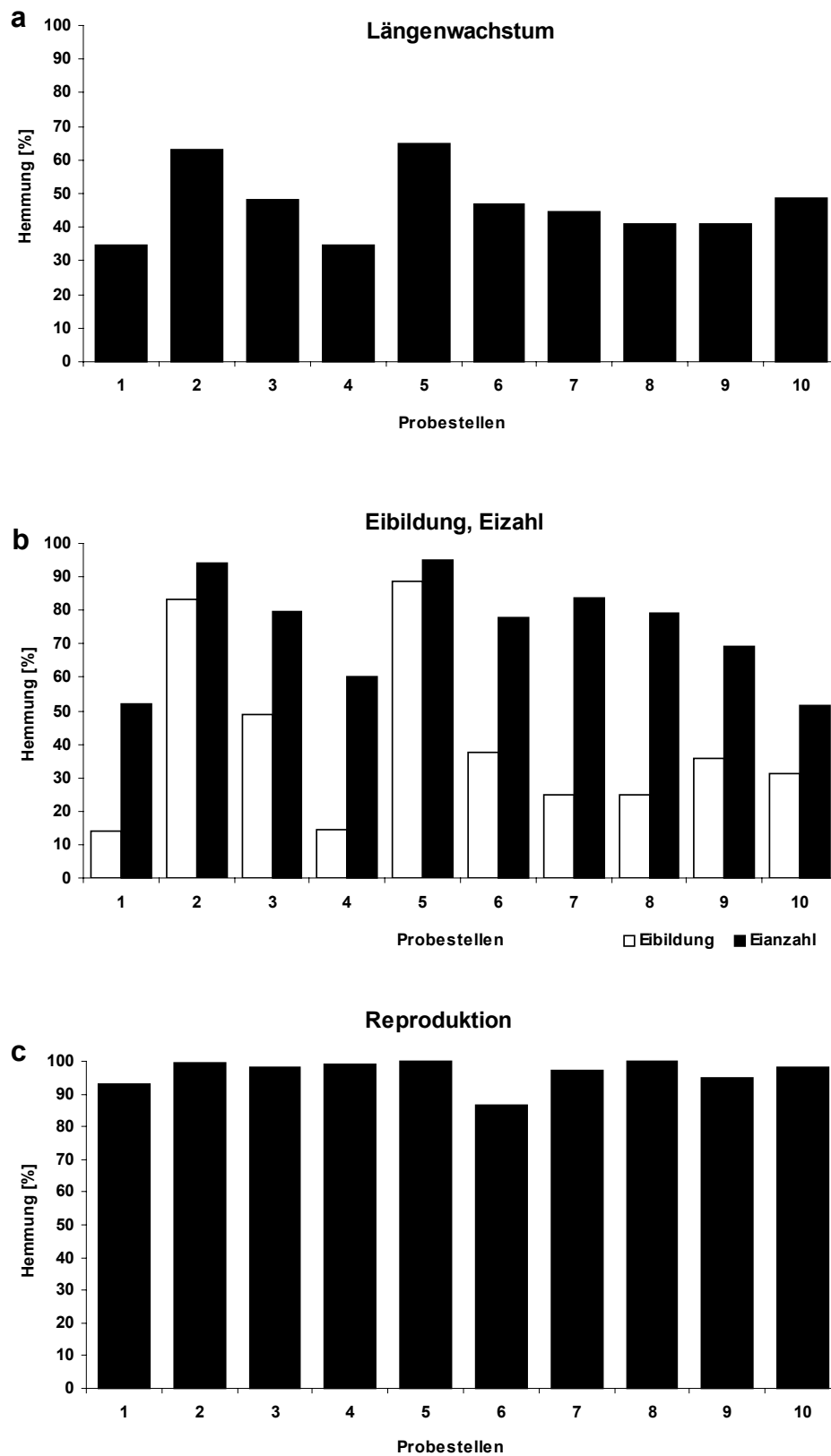


Abbildung 36. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Ruhr: **a** Längenwachstum, **b** Eibildung und Eizahl, **c** Reproduktion.

Lediglich die drei Proben Freienohl (3), Essen (9) und Duisburg (10) aus der Ruhr riefen im **Chironomidentest** weniger als 20% Mortalität hervor (Abbildung 37a). Alle anderen Sedimente lagen teilweise deutlich oberhalb dieses Wertes. Am eindeutigsten war die Hemmung der Emergenz mit 73,5% in der Probe aus Meschede (2). Hier konnte ebenfalls die stärkste Hemmung der Entwicklungsrate (Abbildung 37b) festgestellt werden; im Mittel schlüpfen die Tiere nahezu 60% später als die Kontrolltiere. Auch über den  $EmT_{50}$ -Wert wurden an den Probenahmestellen Meschede (2) sowie zusätzlich Bochum (8) die höchsten Hemmwerte ermittelt (Abbildung 37c). Deutliche Verschiebungen des Geschlechterverhältnisses wurden für die Proben Schwerte (5) und Bochum (8) festgestellt, die für Schwerte zudem signifikant waren (Abbildung 37d).

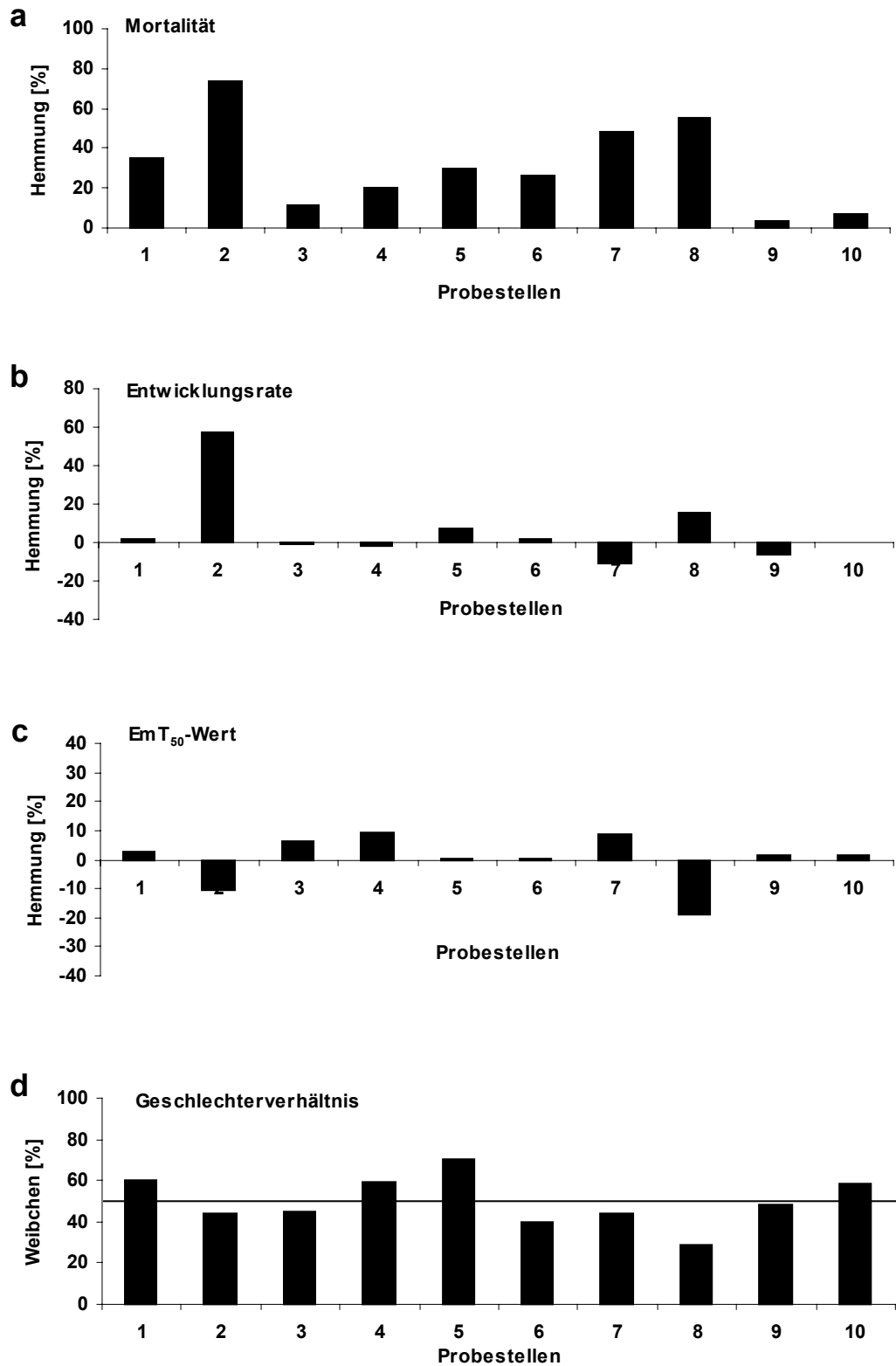


Abbildung 37. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Ruhr: **a** Emergenz, **b** Entwicklungsrate, **c** EmT<sub>50</sub> und **d** Geschlechterverhältnis.

## 4.11 SAAR

### 4.11.1 Abiotische Parameter

Die Schwermetallgehalte in den beiden Saarproben waren sehr ähnlich: Während das Sediment oberhalb Lisdorf (1) in die Belastungsklassen 1,3 (LAWA) und 2,1 (Wachs) eingeteilt wurde, lagen die Werte mit 1,5 (LAWA) und 2,3 für die Probe Lisdorf Schleuse (2) geringfügig höher (Abbildung 38a).

Ein deutlicher Unterschied ergab sich bei der Summe der EPA-PAK. Hier wurden für das Sediment oberhalb Lisdorf (1) etwa doppelt so hohe Werte gemessen wie für die Probe Lisdorf Schleuse (2) (Abbildung 38b). Nach dem Bremer Modell erfolgte die Einteilung in die Klasse 2.

Der organische Kohlenstoffgehalt war in beiden Proben nahezu identisch und lag bei 1,7% (1) bzw. 1,3% (2) (Abbildung 38c).

Während das Sediment oberhalb Lisdorf (1) durch die Siebanalyse dem Feinsandbereich zugeordnet wurde, fanden sich in der Probe Lisdorf Schleuse (2) vorwiegend Grobsandanteile (Abbildung 38d). Der particle sizer detektierte weniger deutliche Unterschiede zwischen den beiden Saarsedimenten, beschrieb generell jedoch den gleichen Trend.

### 4.11.2 Biologische Tests

Die beiden Sedimente der Saar erwiesen sich für die meisten Parameter des **Nematodentests** als kaum bis mäßig auffällig (Abbildung 39). Das Sediment oberhalb Lisdorf (1) zeigte für die Eizahl und Reproduktion erhöhte Hemmwerte, für das Sediment Schleuse Lisdorf (2) wurden durchweg sehr geringe Hemmwerte gemessen.

Anders als im Nematodentest wies das Sediment Schleuse Lisdorf (2) im **Chironomidentest** eine höhere Mortalität auf als die Probe oberhalb Lisdorf (1) (Abbildung 40a). Beide Sedimente führten zu einer leichten Vorverlegung des Schlupfs, wobei die Hemmung der Entwicklungsrate in der Probe oberhalb Lisdorf (1) geringfügig höher lag (Abbildung 40b). Diese Befunde wurden durch die Ergebnisse des mittleren Schlupfzeitpunktes bestätigt (Abbildung 40c). Es lag in keiner der beiden Proben eine Verschiebung des Geschlechterverhältnisses vor (Abbildung 40d).

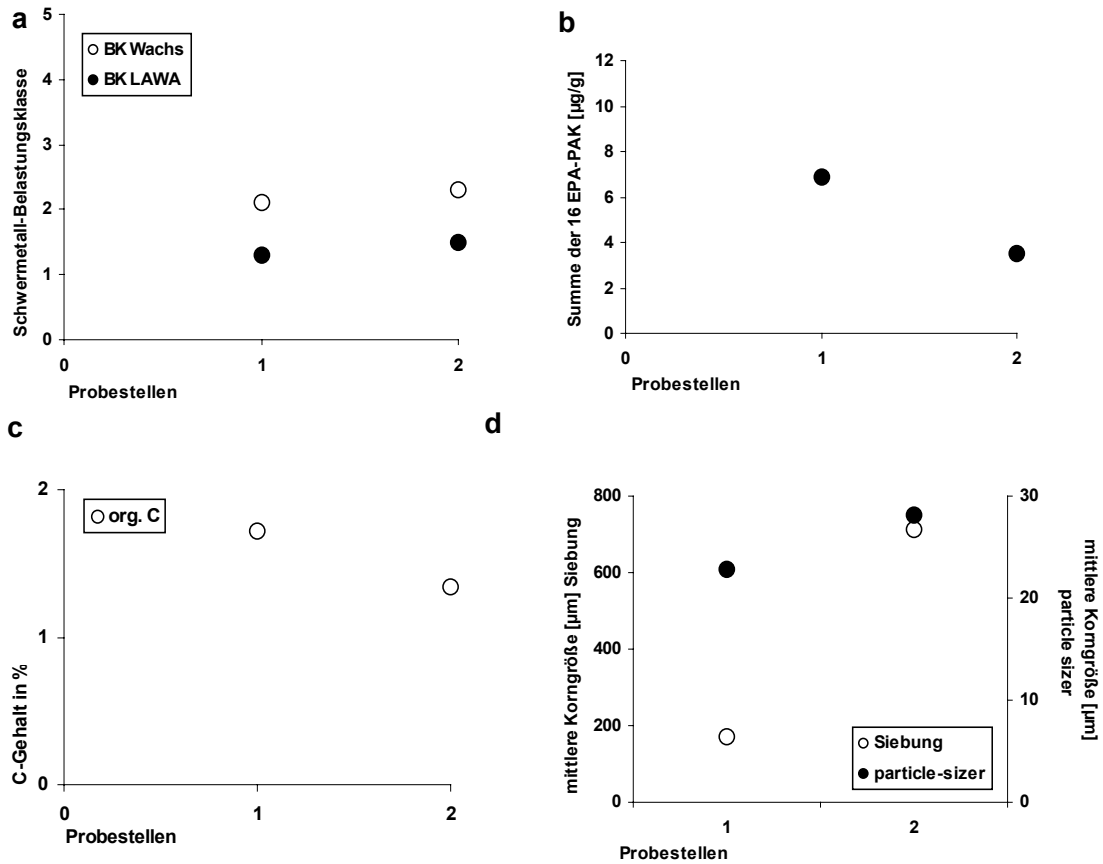


Abbildung 38. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Saar: **a** Schwermetallbelastungsklassen nach Wachs (1991) und LAWA (1998), **b** Summe der 16 EPA-PAK in  $\mu\text{g/g}$ , **c** totaler und organischer Kohlenstoffgehalt in % und **d** Korngrößenverteilung durch Siebung und particle sizer.

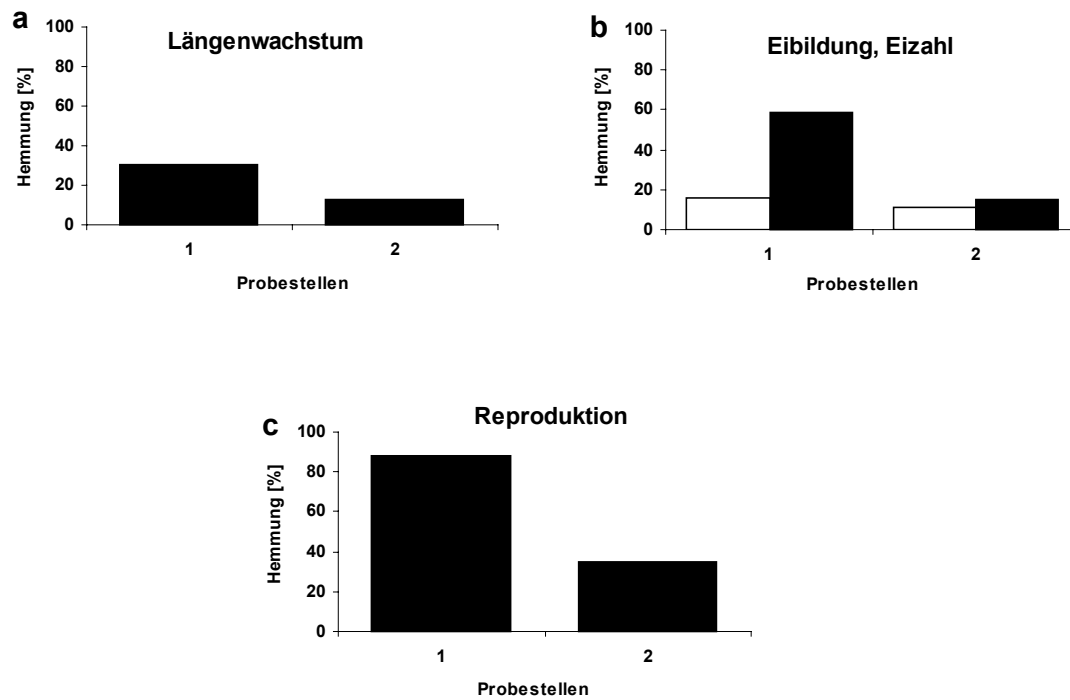


Abbildung 39. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Saar: **a** Längenwachstum, **b** Eibildung und Eizahl, **c** Reproduktion.



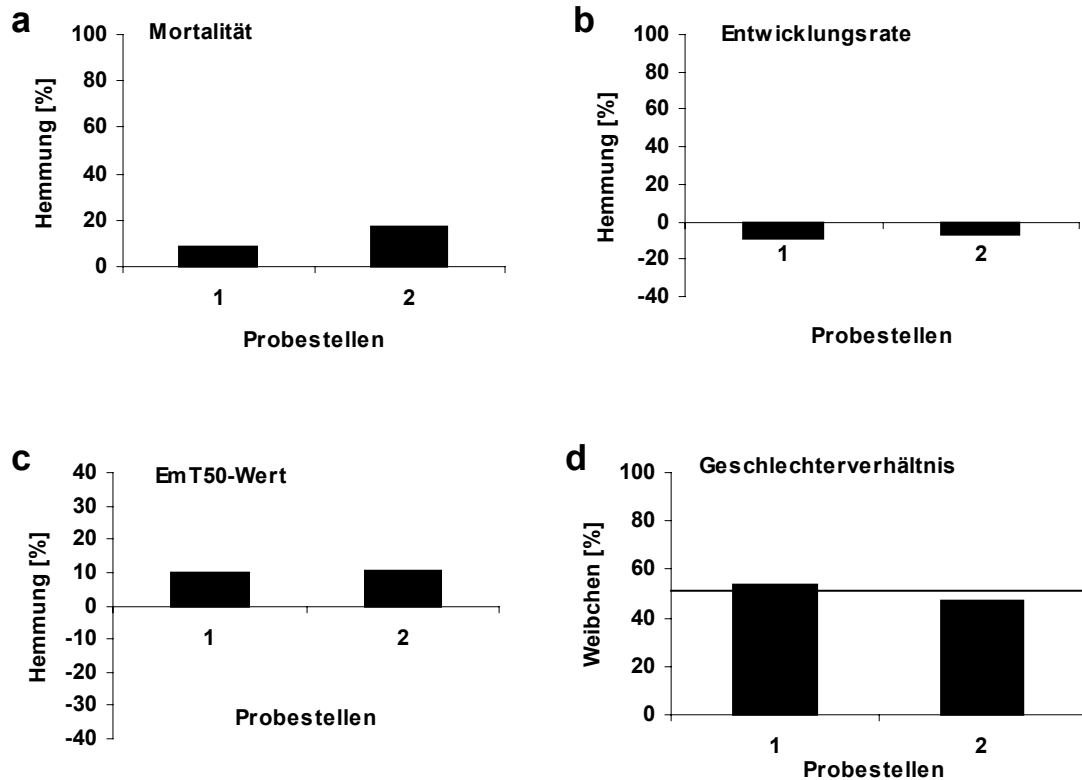


Abbildung 40. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Saar: **a** Emergenz, **b** Entwicklungsrate, **c** EmT<sub>50</sub> und **d** Geschlechterverhältnis.

## 4.12 WESER

### 4.12.1 Abiotische Parameter

Die Sedimente der Weser konnten aufgrund der gemessenen Schwermetallgehalte in die Belastungsklassen 1,4 bis 2,1 nach Wachs bzw. 1,0 bis 1,8 nach LAWA eingeteilt werden (Abbildung 41a). Einzig die Probe Hajen (2) lag mit Werten von 3,0 (Wachs) und 2,7 (LAWA) über dem Durchschnitt. Ein leichter Rückgang der Belastungen mit Schwermetallen war im Bereich der Wesermündung (Sedimente 7-11) festzustellen.

Die Belastung der Weserproben mit den Summenkonzentrationen der PAK war relativ gering und hatte ihren Spitzenwert mit 3 µg/g bei Drakenburg (6). Im Bereich der Mündung der Weser (Sedimente 7-11) tendierte die PAK-Belastung gegen Null (Abbildung 41b). Allerdings erfolgte die Einteilung der Weserproben jeweils in die Klasse 2 des Bremer Systems aufgrund der Gehalte an Fluoranthen und Benzo(a)pyren. Lediglich Petershagen (5) lag für Benzo(a)pyren in der Klasse 1.

Die Kohlenstoffgehalte in den Proben der Weser lagen zunächst bei etwa 4% für den Gesamtkohlenstoff und nahmen dann kontinuierlich ab, bis sie im Mündungsbereich zwischen 0,5 und 1% lagen (Abbildung 41c). In der Probe Mündung 3 (9) sah man dann wieder einen Anstieg auf fast 3%. Höchstwerte fanden sich mit 7,1% im Sediment Eder-Porta Westfalica (4). Die Werte für den organisch gebundenen Kohlenstoff stiegen zunächst an, bis sie bei Eder-Porta Westfalica (4) mit 4% einen Spitzenwert erreichten, und fielen dann, ähnlich den Werten für den Gesamtkohlenstoff, in Richtung Mündungsbereich ab.

Die Korngrößenverteilungen der Wesersedimente erschienen recht homogen und lagen bei 9 der 11 Proben im Feinsandbereich (Abbildung 41d). Das Sediment bei Eder-Porta Westfalica (4) hatte seinen größten Anteil sogar im Schluffbereich. Lediglich die Probe Petershagen (5) musste mit einer mittleren Korngröße von 1393 µm dem Grobsandbereich zugeordnet werden. Die Ergebnisse des particle sizers zeigten einen anderen Trend als die der Siebung. Die mittlere Korngröße nahm hier ab Mündung 1 (7) im weiteren Verlauf der Mündung zunächst deutlich ab, um dann in den Sedimenten Mündung 4 und 5 (10 und 11) wieder anzusteigen.

#### 4.12.2 Biologische Tests

Für den **Nematodentest** lagen die Hemmungen des Längenwachstums im Bereich der Weser zumeist über 40%, jedoch mit Ausnahme des Sediments Porta Westfalica (4). Höchstwerte wurden für diesen Parameter bei Hajen (2), Hessisch Oldendorf (3) und Drakenburg (6) erreicht (Abbildung 42a). Die Hemmung der Eibildung lieferte ähnliche Ergebnisse, wobei allerdings zusätzlich Petershagen (5) sowie einige Sedimente aus der Wesermündung (7, 11) als auffällig identifiziert wurden. Für den Parameter Eizahl waren außerdem die restlichen Sedimente aus der Wesermündung (8-10) durch starke Hemmungen gekennzeichnet (Abbildung 42b). An fast allen Probenahmestellen war eine sehr hohe Hemmung der Reproduktion von über 90% festzustellen; lediglich das Sediment aus Porta Westfalica (4) bildete hier mit einer Hemmung von knapp 50% eine Ausnahme (Abbildung 42c).

Mortalitäten von über 20% traten bei den Wesersedimenten im **Chironomidentest** lediglich bei Boffzen (1) und Drakenburg (6) auf (Abbildung 43a). Letzteres wies mit 17% ebenfalls eine deutliche Hemmung der Entwicklungsrate auf (Abbildung 43b). Obwohl das Sediment Mündung 4 (10) keine Mortalität verursachte, wurde der Schlupf mit -14% Hemmung für den Parameter Entwicklungsrate deutlich verlegt. Der  $EmT_{50}$ -Wert detektierte für nahezu alle Proben einen verspäteten Schlupf (Abbildung 43c). Den höchsten Hemmwert erreichte die Probe Hessisch Oldendorf (3). In 8 der 11 Proben schlüpfen mehr Weibchen als Männchen; diese Verschiebung war für die Sedimente Eder (4) und Drakenburg (6) signifikant (Abbildung 43d).

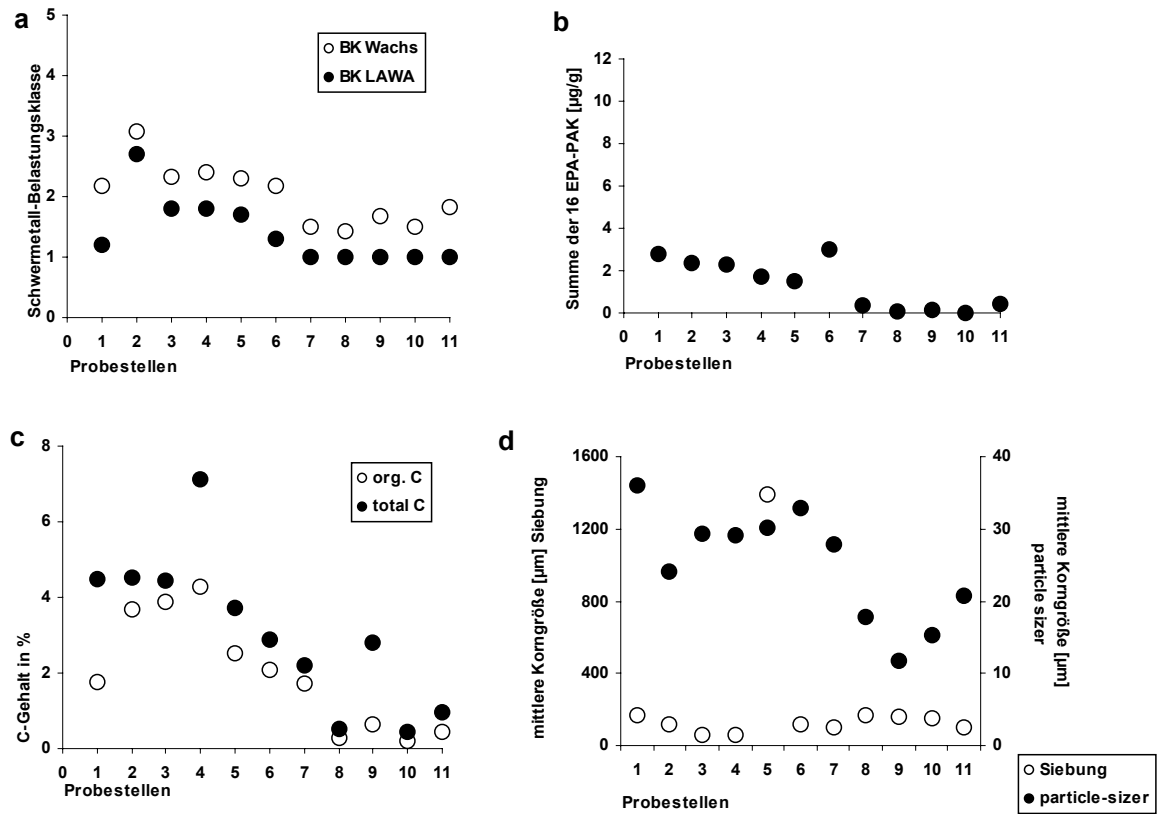


Abbildung 41. Abiotische Parameter für die Probenahmestellen der Weser: **a** Schwermetallbelastungsklassen nach Wachs (1991) und LAWA (1998), **b** Summe der 16 EPA-PAK in  $\mu\text{g/g}$ , **c** totaler und organischer Kohlenstoffgehalt in % und **d** Korngrößenverteilung durch Siebung und particle sizer.

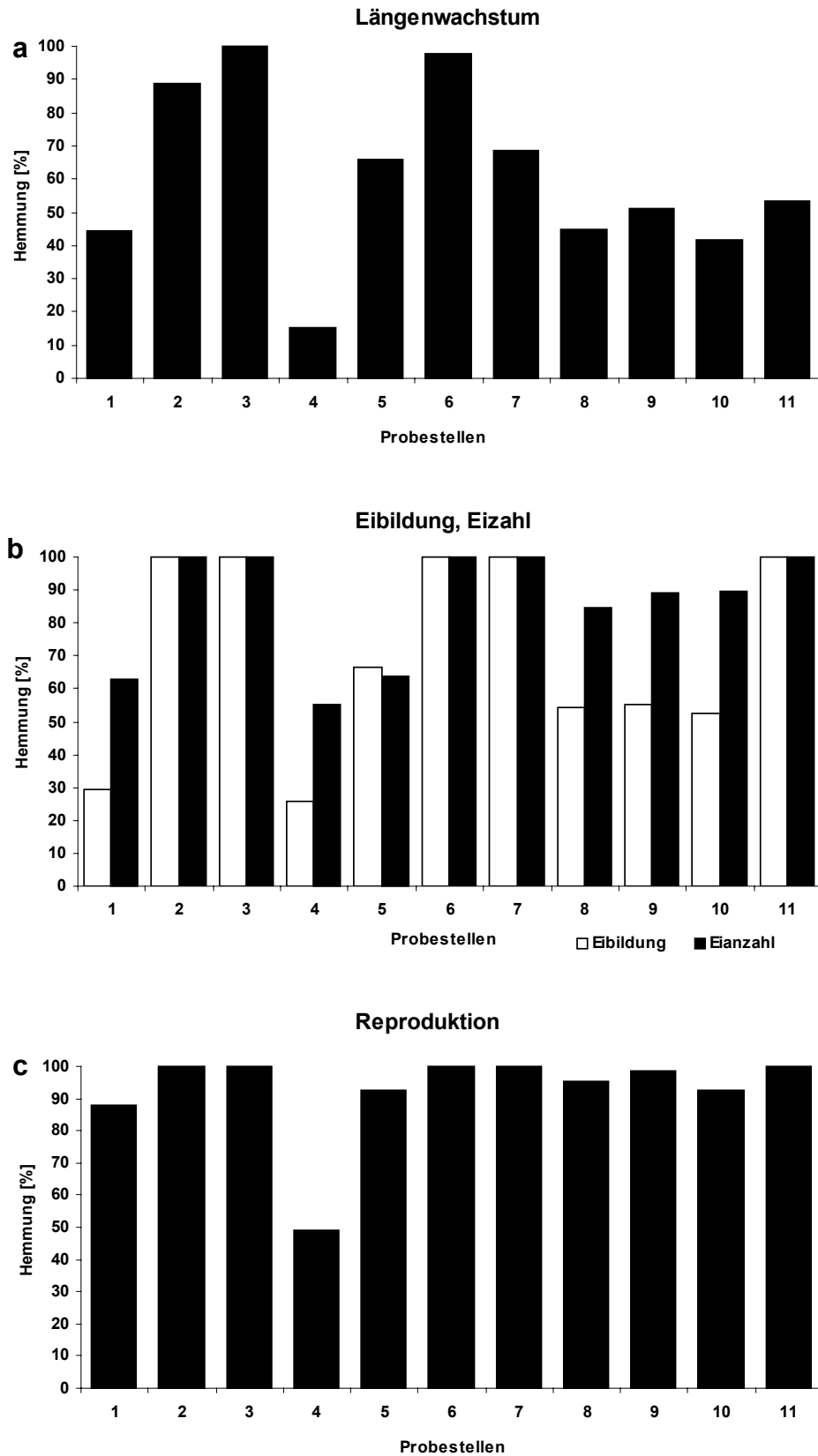


Abbildung 42. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Nematodentests für die Probenahmestellen der Weser: **a** Längenwachstum, **b** Eibildung und Eizahl, **c** Reproduktion.

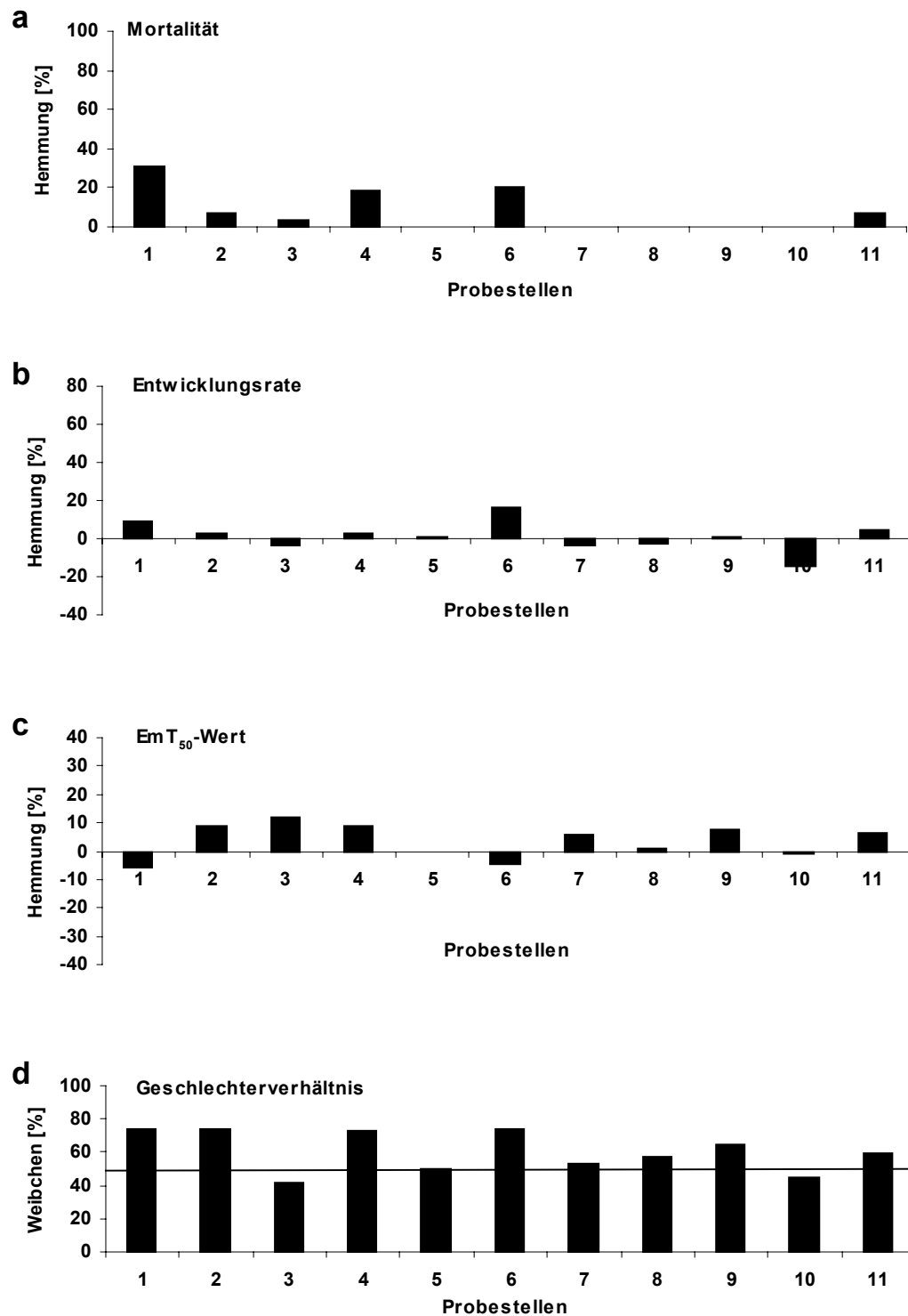


Abbildung 43. Prozentuale Hemmwerte der Parameter des Chironomidentests für die Probenahmestellen der Weser: **a** Emergenz, **b** Entwicklungsrate, **c** EmT<sub>50</sub> und **d** Geschlechterverhältnis.

## 5 BEWERTUNGSKONZEPT

### 5.1 DEFINITION DER ÖKOLOGISCHEN ZUSTANDSKLASSEN GEMÄSS EG-WRRL

In der neuen EG-Wasserrahmenrichtlinie (Europäische Union 2000) werden fünf ökologische Zustandsklassen von I bis V definiert, die den Grad der anthropogenen Belastung des jeweiligen Ökosystems angeben. Zur graphischen Darstellung wird ein Farbcode empfohlen, der von blau über gelb nach rot eine Erhöhung des anthropogenen Einflusses und damit eine höhere ökologische Zustandsklasse wiedergibt.

Der Lebensraum Sediment ist in der WRRL zwar nicht explizit als Schutzgut berücksichtigt, jedoch wird der ökologische Zustand von Oberflächengewässern als die Qualität von Struktur und Funktionsfähigkeit aquatischer, in Verbindung mit Oberflächengewässern stehender Ökosysteme definiert, was somit die Sedimente von Flüssen mit einschließt. Änderungen der Werte für Qualitätskomponenten, wie sie in der WRRL beschrieben sind, können Effekten in biologischen Wirktests gleichgesetzt werden.

Demnach steht die ökologische Zustandsklasse:

- I für ein Sediment im **sehr guten Zustand**, d.h. die Effekte im biologischen Wirktest sind so gering, wie es bei Abwesenheit störender Einflüsse oder anthropogener Veränderungen zu erwarten ist.
- II für ein Sediment im **guten Zustand**, d.h. die Effekte im biologischen Wirktest zeigen geringe, anthropogen bedingte Veränderungen an, weichen aber nur geringfügig von den Werten ab, die normalerweise bei Abwesenheit störender Einflüsse vorliegen.
- III für ein Sediment im **mäßigen Zustand**, d.h. die Effekte im biologischen Wirktest zeigen mäßige, anthropogen bedingte Veränderungen und signifikante Störungen an.
- IV für ein Sediment im **unbefriedigenden Zustand**, d.h. die Effekte im biologischen Wirktest sind hoch und lassen stärkere Veränderungen der Biozöosen erwarten.
- V für ein Sediment im **schlechten Zustand**, d.h. die Effekte im biologischen Wirktest sind sehr hoch und lassen erhebliche Veränderungen der Biozöosen erwarten.

Die ökologische Zustandsklasse I spiegelt somit in etwa die sogenannte Hintergrundbelastung bzw. die natürliche Variabilität des Referenzsediments wider. Klasse II stellt das Schutzziel für alle Gewässer bzw. Sedimente dar. Ab Klasse III, die durch signifikante Veränderungen im Vergleich zum Normalzustand gekennzeichnet ist, besteht Handlungsbedarf. Dies gilt auch für die ökologischen Zustandsklassen IV und V, für die zudem auf Dauer mit einer Populationsschädigung zu rechnen ist.

## 5.2 BESTIMMUNG DER KLASSENGRENZEN ANHAND DES ITERATIVEN VERFAHRENS

Für ein auf den Daten der Biotests beruhendes Klassifizierungssystem müssen die gemessenen Endpunkte der beiden biologischen Tests in Klassen eingeteilt werden. Eine Möglichkeit, Klassifizierungsstufen zu ermitteln, beruht auf einem statistischen, iterativen Verfahren aus dem terrestrischen Bereich nach Erhardt et al. (1996).

Hierbei wird ein sogenannter Normalwert (normal value) berechnet, der eine homogene Gruppe niedriger Werte zusammenfasst, die die Hintergrundbelastung widerspiegelt. Zur Bestimmung des Normalwerts wird zunächst der Mittelwert einer Messreihe berechnet und die 1,96fache Standardabweichung addiert. Alle Daten der Messreihe, die größer sind als dieser Wert, werden gelöscht. Die verbleibenden Daten gehen als neue Ausgangswerte in die Schrittfolge ein. Diese Prozedur wird solange fortgesetzt, bis keiner der Werte mehr die 1,96fache Standardabweichung überschreitet. Als Ergebnis erhält man eine von Extremwerten bereinigte Messwertgruppe, deren Mittelwert den Normalwert (NW) angibt. Nach Erhardt et al. (1996) werden mit Hilfe dieses Normalwertes und der Standardabweichung ( $s$ ) fünf Klassen gebildet. Die Klassengrenzen werden dabei folgendermaßen gebildet:

Klasse I	$x < NW - s$
Klasse II	$NW - s < x < NW + s$
Klasse III	$NW + s < x < NW + 3s$
Klasse IV	$NW + 3s < x < NW + 6s$
Klasse V	$NW + 6s < x$

Die zweite Klasse gibt dabei den Normalbereich an.

### 5.3 NEMATODENTEST

Die Einteilung der Sedimente in ökologische Zustandsklassen, dargestellt in Tabelle 19, beruht vor allem auf den Berechnungen und Ergebnissen des im Kapitel 5.2 beschriebenen iterativen Verfahrens und berücksichtigt zudem die Signifikanzgrenzen der einzelnen Parameter im Vergleich zum Kontrollsediment. Gemäß der ökologischen Klassifizierung der EG-WRRL sollen Sedimente, die eine signifikante Veränderung zum Referenzzustand aufweisen, der ökologischen Zustandsklasse 3 (mäßiger ökologischer Zustand) zugeordnet werden. Diese Schranke wurde - je nach untersuchtem Fluss bzw. eingesetztem Kontrollansatz - für das Längenwachstum für Hemmwerte zwischen 12% und 25%, für die Eibildung für Hemmwerte zwischen 18% und 48%, für die Eizahl zwischen 32% und 54% und für den Parameter Reproduktion für Hemmwerte zwischen 35% und 65% ermittelt. Die Tatsache, dass bereits relativ geringe Hemmwerte des Längenwachstums signifikant verschieden vom Kontrollsediment waren, beruht jedoch auf statistischen Ursachen (sehr niedrige Standardabweichungen). Bei solch geringen Hemmungen ist jedoch nicht von einer Populationsschädigung im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie auszugehen und somit die Einteilung in Klasse III nicht gegeben. Daher wird für die Hemmung des Längenwachstums ausschließlich auf die Einteilung der ökologischen Zustandsklassen über das iterative Verfahren zurückgegriffen.

Tabelle 19. Einteilungen in ökologische Zustandsklassen anhand der Hemmwerte für die Parameter des Nematodentests.

Ökologische Zustandsklasse	Längenwachstum (Hemmung)	Eibildung (Hemmung)	Eizahl (Hemmung)	Reproduktion (Hemmung)
V	> 70%	> 70%	> 70%	> 80%
IV	> 50-70%	> 50-70%	> 50-70%	> 60-80%
III	> 30-50%	> 20-50%	> 30-50%	> 40-60%
II	> 15-30%	> 10-20%	> 20-30%	> 20-40%
I	0-15%	0-10%	0-20%	0-20%

Für die Parameter Längenwachstum, Eibildung und Eizahl zeigte sich zumeist ein relativ einheitliches Bild der Belastungssituation; die Reproduktion hingegen erwies sich als äußerst sensitiv und vermag somit die Belastungen der einzelnen Probenahmestellen nicht im gleichen Maße aufzutrennen wie die anderen Parameter.



Insgesamt erwies sich das Längenwachstum als sehr robust und ist für eine routinemäßige Anwendung zu empfehlen, da es ein differenziertes Abbild der Belastungen liefert. Eine 100%ige Hemmung des Längenwachstums kann gleichbedeutend mit einem Absterben der Versuchstiere im Sediment sein; mit dem angewendeten Testdesign konnte die Mortalität jedoch nicht direkt ermittelt werden, da die Nematoden bei Testende abgetötet werden.

Die Parameter Eibildung und Eizahl reagierten bereits empfindlicher als der Parameter Längenwachstum, wobei sich die Bestimmung der Eizahl zumeist als noch sensitiverer Endpunkt erwies. Beide Parameter liefern ein ähnliches Belastungsabbild, so dass für einen routinemäßigen Einsatz des Tests die weniger zeit- und arbeitsaufwendige Bestimmung der Eibildung empfohlen werden kann.

Der Parameter Reproduktion erwies sich als der empfindlichste Endpunkt des Nematodentests. Bereits geringe Belastungen riefen teilweise erhebliche Effekte hervor. Dieser Parameter ist daher zwar grundsätzlich dazu geeignet, Belastungen zu detektieren; für eine differenzierende Bewertung und einen Vergleich vieler verschiedenartig belasteter Sedimente erscheint er jedoch weniger gut geeignet. Es ist zu beachten, dass die Parameter selbst sich teilweise gegenseitig bedingen, so z.B. Eibildung und Eizahl bzw. Eibildung und Reproduktion.

Die vorgeschlagene Vorgehensweise bei der Bewertung von Sedimenten anhand des Nematodentests soll mit Hilfe des Schemas in Abbildung 44 dargestellt werden.

Da die vier im Nematodentest untersuchten Parameter natürlicherweise voneinander abhängig und untereinander gut korreliert sind (vgl. Tabelle 22), wird empfohlen, die Untersuchung von vier Parametern zunächst auf zwei zu reduzieren. Dabei sollten die Hemmung des Längenwachstums und der Eibildung als Hauptparameter betrachtet werden. Die Wachstumshemmung hatte sich als sehr robuster Parameter erwiesen und die Hemmung der Eibildung bzw. der Eizahl ergaben zusätzliche Informationen, zeigten jedoch fast übereinstimmende Ergebnisse. Da die Eibildung leichter zu ermitteln ist und eine geringere Variabilität aufwies, wurde diesem Parameter der Vorzug gegeben. Für den Fall, dass die mittels dieser beiden Parameter ermittelten ökologischen Zustandsklassen übereinstimmen, ist die Bewertung damit abgeschlossen.

Falls sich die durch die beiden Hauptparameter ermittelten ökologischen Zustandsklassen jedoch unterscheiden, sollte die Hemmung der Eizahl als Hilfsparameter hinzugezogen werden und der Mittelwert dieser drei Parameter gebildet werden.

Bei sehr geringen Hemmwerten der Hauptparameter wird vorgeschlagen, ergänzend die Hemmung der Reproduktion (als besonders sensitiven Parameter) hinzuzuziehen, die aus vorgenannten Gründen ansonsten jedoch lediglich als Zusatzinformation betrachtet werden sollte.

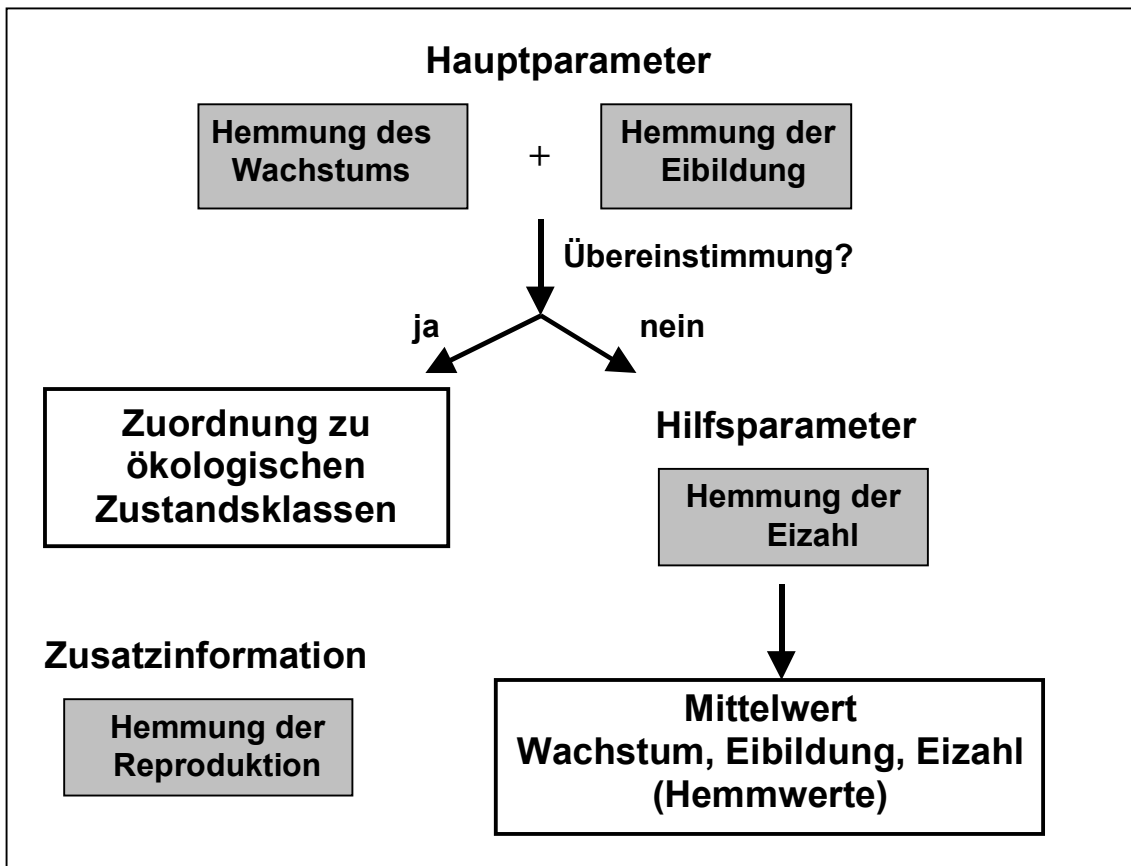


Abbildung 44. Bewertungsschema für den Nematodentest.

In folgendem Schema soll beispielhaft eine Sedimentbewertung anhand der Ergebnisse des Nematodentests vorgenommen werden (Abbildung 45). Ein fiktives Sediment, welches im Nematodentest eine Wachstumshemmung von 31% und eine Hemmung der Eibildung von 54% hervorrief. Über diese beiden Hauptparameter würde das Sediment zum einen in die ökologische Zustandsklasse III, zum anderen in die ökologische Zustandsklasse IV eingeordnet werden. Da die durch die beiden Hauptparameter erhaltenen Ergebnisse nicht übereinstimmen, ist in diesem Fall das Hinzuziehen eines dritten Parameters (Nebenparameter), nämlich die Hemmung der Eizahl, erforderlich. Für den beispielhaften Fall einer 33%-igen Hemmung ergäbe sich hier die ökologische Zustandsklasse III. Die Bildung des Mittelwerts dieser drei Parameter führt so im vorliegenden Beispiel zur endgültigen Vergabe der ökologischen Zustandsklasse III. Die Hemmung der Reproduktion sollte lediglich als Zusatzinformation dienen, würde in diesem Beispiel jedoch bei einer angenommenen Hemmung von 58% ebenfalls zur ökologischen Zustandsklasse III führen.

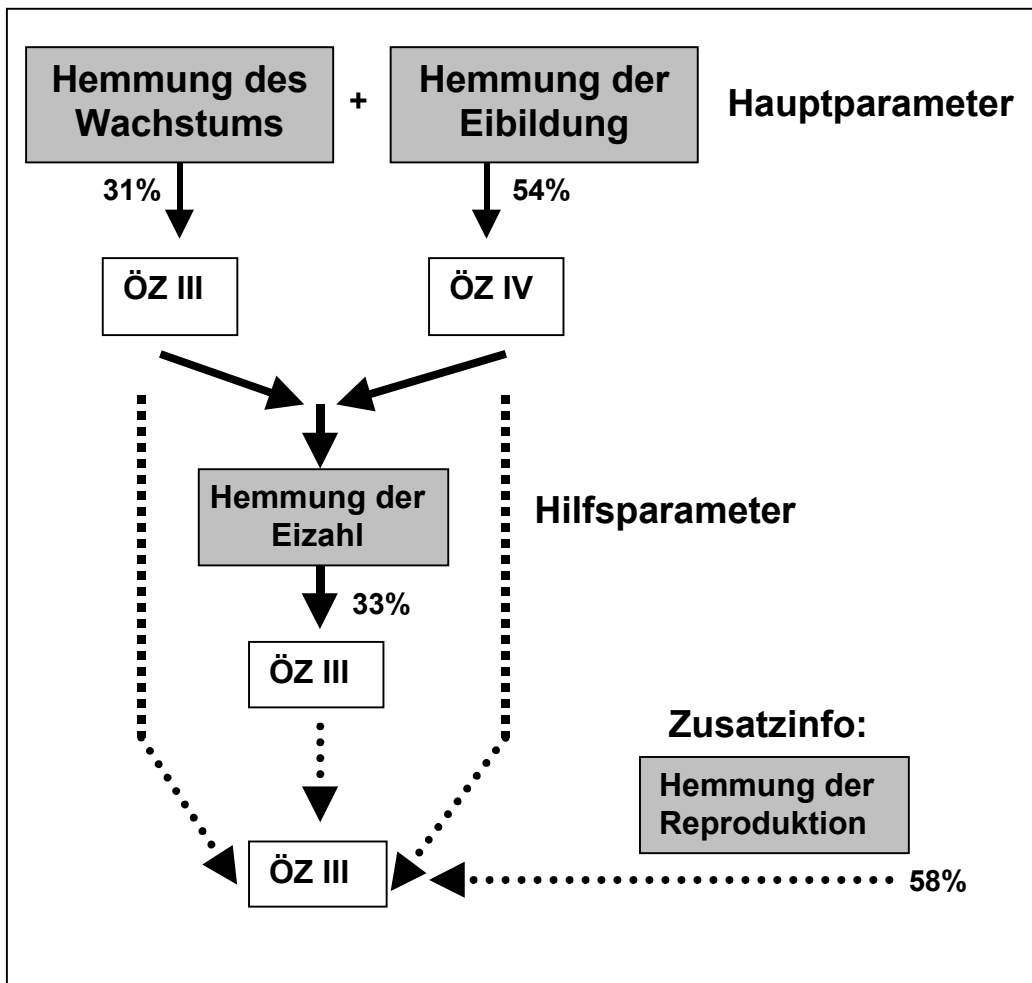


Abbildung 45. Bewertungsbeispiel anhand des Nematodentests. ÖZ: ökologische Zustandsklasse.

#### 5.4 CHIRONOMIDENTEST

Wie bereits für den Nematodentest beschrieben, sollte auch für den Chironomidentest die Einteilung der Sedimente in ökologische Zustandsklassen gemäß EG-WRRL in ein fünfstufiges Bewertungsschema erfolgen (Tabelle 20).

Beim Chironomidentest folgte die Einteilung der fünf ökologischen Zustandsklassen für die Parameter Mortalität, mittlere Entwicklungsrate und  $EmT_{50}$  ebenfalls dem iterativen Verfahren nach Erhardt et al. (1996). Die mit Hilfe dieses Verfahrens ermittelte Klasse III stimmte für alle Parameter mit dem Auftreten der ersten signifikanten Veränderungen bei den Ergebnissen überein.

Tabelle 20. Einteilungen in ökologische Zustandsklassen anhand der Hemmwerte für die Parameter des Chironomidentests.

Ökologische Zustandsklasse	Emergenz (Hemmung)	Entwicklungsrate (Hemmung)	EmT <sub>50</sub> (Hemmung)
V	> 70%	> 20%	> 25%
IV	> 40-70%	> 15-20%	> 10-25%
III	> 20-40%	> 10-15%	> 5-10%
II	> 5-20%	> 5-10%	> 2,5-5%
I	0-5%	0-5%	0-2,5%

Im Wortlaut der EG-Wasserrahmenrichtlinie wird bei der Einteilung der Klassengrenzen auf die Intaktheit bzw. Störung der Biozönose durch anthropogene Einflüsse Bezug genommen. In der Literatur gibt es allerdings nur wenige Studien, die toxische Effekte in Biotests auf Schädwirkungen der Proben auf die natürliche Population der Testorganismen beziehen. Sibley et al. (1997) stellte heraus, dass für *Chironomus tentans* eine Wachstumshemmung im biologischen Test mit einer proportionalen Abnahme der Reproduktion verbunden war. Giesy et al. (1988) fand bei einer 30%-igen Wachstumshemmung von *C. tentans* im Biotest eine deutliche Störung in der benthischen Lebensgemeinschaft mit z.T. völligem Fehlen von Chironomiden. Demnach würde die ökologische Zustandsklasse IV für einen chronischen Endpunkt etwa in diesen Bereich anzusetzen sein. Die über das iterative Verfahren ermittelten Werte für *C. riparius* liegen mit 15-20% bzw. 10-25% Hemmung etwas niedriger. Die Einteilung der Klasse III ist durch die Wasserrahmenrichtlinie eindeutig mit dem Auftreten erster signifikanter Veränderungen definiert. Erste signifikante Effekte wurden im Chironomidentest für die Hemmung der Emergenz zwischen 25-39%, für die Entwicklungsrate zwischen 11-15% und für den EmT<sub>50</sub> ab ca. 4% gefunden. Die Klassengrenzen, die durch das iterative Verfahren berechnet wurden, stimmen, wie Tabelle 20 zeigt, sehr gut mit diesen Werten überein.

Die Hemmung der Emergenz wird in diesem Bericht gleichgesetzt mit der Mortalität. Dieser Parameter ist gut statistisch abzusichern und liefert ein differenziertes Abbild der Belastungen. Allerdings bildet die Mortalität eine akute Toxizität der Sedimente ab und erscheint damit für die Einteilung der ökologischen Zustandsklassen I und II nicht geeignet, da diese Klassen weitgehend frei sein sollten von störenden anthropogenen Einflüssen.

Die Entwicklungsrate beschreibt chronische Effekte. Ihre statistische Auswertung stößt jedoch dann an Grenzen, wenn eine hohe akute Toxizität der Sedimente zum

Absterben der Tiere in den Versuchsansätzen führt (Korrelationskoeffizient nach Pearson: Mortalität - Entwicklungsrate: 0,57\*\*). Der  $EmT_{50}$ -Wert erscheint nicht in dem Maße durch die Mortalität beeinflusst, wie dies für die Entwicklungsrate der Fall ist (Korrelationskoeffizient nach Pearson: Mortalität -  $EmT_{50}$ -Wert: 0,22\*\*), da ihm eine kumulative Berechnung der Daten zugrunde liegt.

Das Geschlechterverhältnis kann zwar eine wichtige Zusatzinformation für einige Sedimente liefern, sollte jedoch zur Klassifizierung nicht herangezogen werden, da eine Selektion der Geschlechter während des Einsetzens der Larven durch den Bearbeiter nicht ganz ausgeschlossen werden und zu einer Beeinflussung des Ergebnisses führen kann.

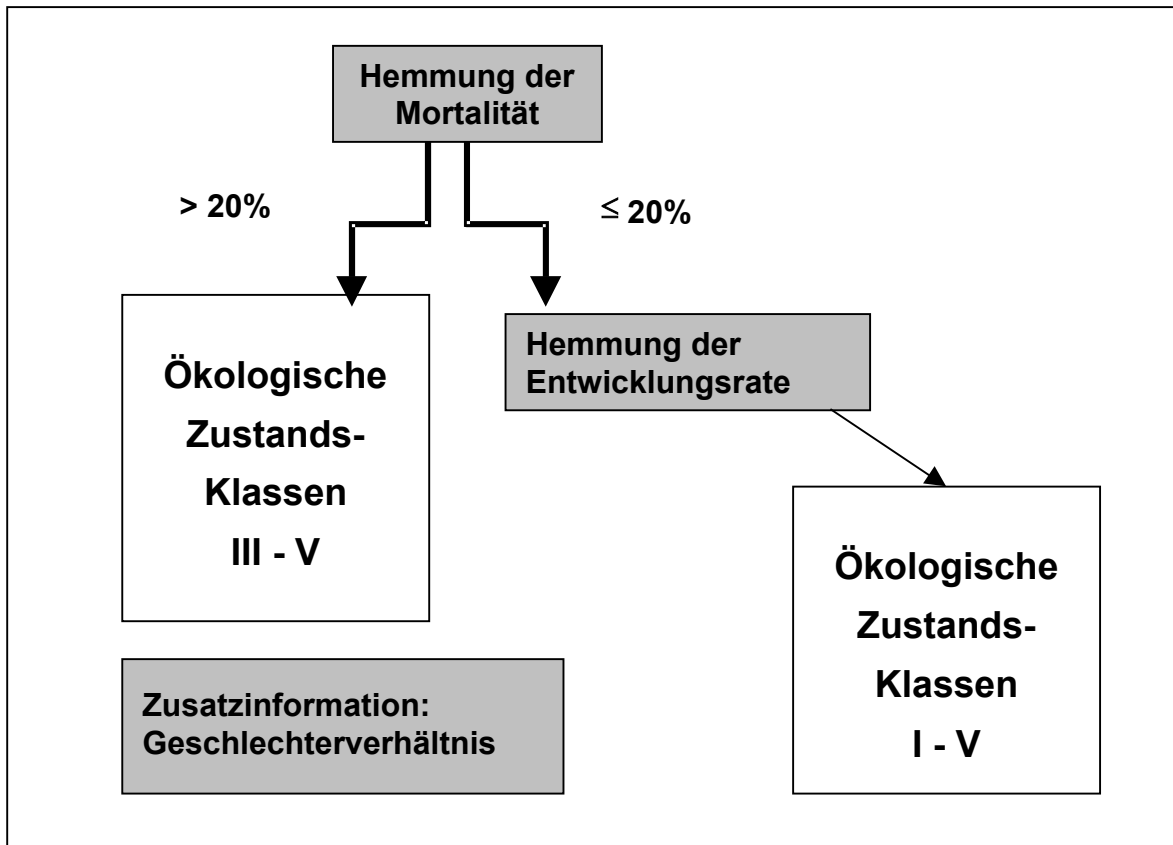


Abbildung 46. Bewertungsschema für den Chironomidentest.

Hier wurde daher ein abgestuftes System entwickelt (Abbildung 46), bei dem zunächst die Mortalität bestimmt wird. Liegt diese über 20%, muss von einer Beeinträchtigung der chronischen Parameter Entwicklungsrate und  $EmT_{50}$  ausgegangen werden. Nach Tabelle 20 wird ein Sediment mit einer Mortalität von 20% der Zustandsklasse III oder höher zugeordnet. Die Einteilung des Sediments in die Klassen III bis V erfolgt in einem solchen Fall allein über die Mortalität als akutem Endpunkt.

Bis zu einer Mortalität von 20% werden die chronischen Parameter Entwicklungsrate oder  $EmT_{50}$  für die Einteilung der Sedimente in die ökologischen Zustandsklassen I bis V herangezogen.

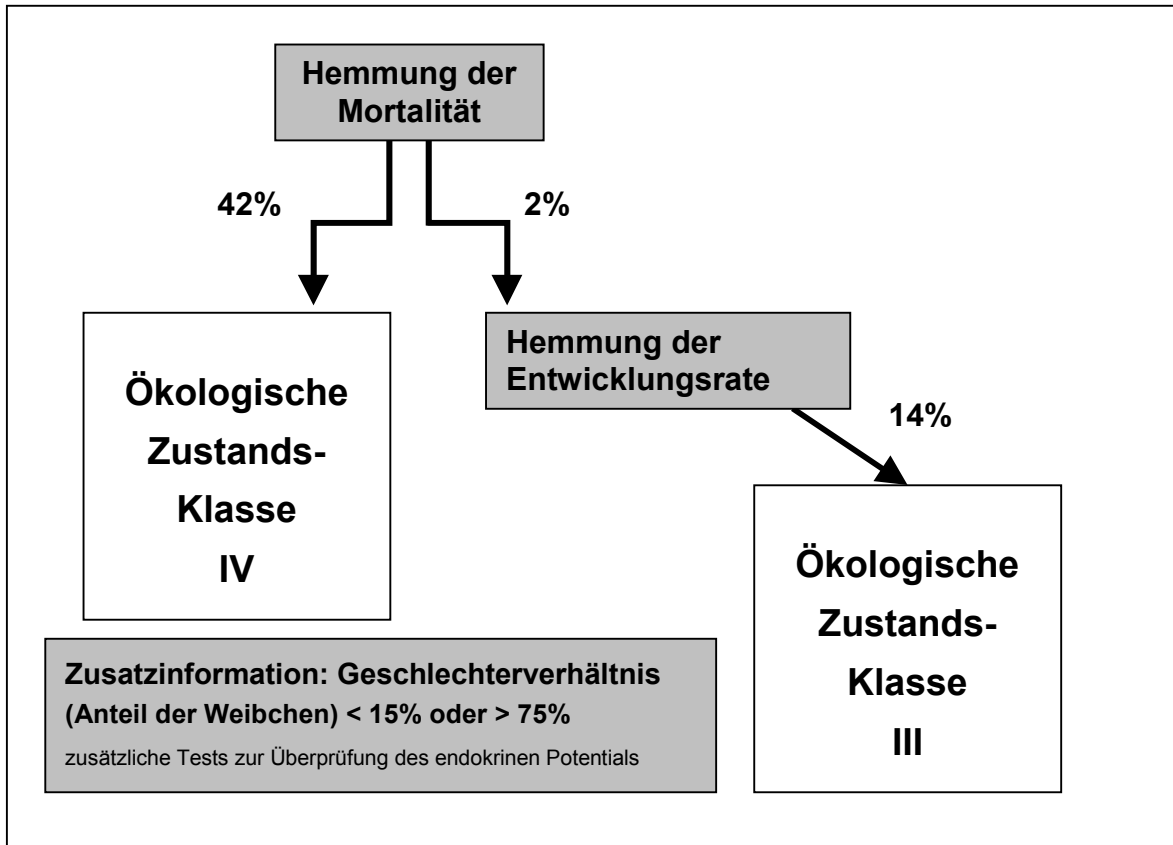


Abbildung 47. Bewertungsbeispiel anhand des Chironomidentests.

Anhand des in Abbildung 47 gezeigten Schemas soll nun die Bewertung von Sedimenten mit dem Chironomidentest erläutert werden. Zunächst zu einem fiktiven Sediment, bei dem eine Mortalität von 42% festgestellt wurde. In diesem Fall ist von einer Beeinflussung der chronischen Parameter auszugehen, und die Einteilung dieser Probe erfolgt über den akuten Parameter Mortalität. Nach Tabelle 20 wird bei einer Mortalität von 42% die ökologische Zustandsklasse IV vergeben. Ein solches Sediment wäre demnach in einem unbefriedigenden ökologischen Zustand.

In einem zweiten Fallbeispiel soll eine Mortalität angenommen werden, die die chronischen Parameter nicht beeinflusst, in diesem Fall beträgt sie 2%. Die Zuordnung der Probe kann über den Parameter Entwicklungsrate erfolgen. Liegt die Hemmung der Entwicklungsrate beispielsweise bei 14%, würde dem Sediment dementsprechend die ökologische Zustandsklasse III zugewiesen. Sedimente, bei denen das Geschlechterverhältnis so signifikant gestört ist, dass der Anteil der Weibchen unter

15% fällt bzw. über 75% steigt, sollten eventuell zusätzlich geeignete Tests zur Überprüfung des endokrinen Potentials eingesetzt werden.

Der  $EmT_{50}$ -Wert erwies sich ebenso wie der Parameter Entwicklungsrate als sehr belastbarer und gut statistisch absicherbarer Endpunkt. Allerdings erfolgt die Berechnung des  $EmT_{50}$ -Wertes nicht nach Replikaten getrennt, sondern über den Gesamtansatz, wodurch die Informationen der Einzelansätze verloren gehen. Der  $EmT_{50}$ -Wert ist in der Literatur ein häufig verwendeter Endpunkt. Jedoch folgt die Berechnung dieses Parameters keinem einheitlichen Schema, so dass hier der in der OECD geforderte Endpunkt Entwicklungsrate zur routinemäßigen Bewertung von Sedimenten vorgeschlagen wird. Zudem erwies sich die Auftrennung der Belastungsklassen, die durch die Entwicklungsrate erzielt wurde, als deutlicher. Allerdings sei hier noch einmal deutlich auf die schlechte statistische Absicherbarkeit dieses Parameters hingewiesen.

#### **5.5 VERRECHNUNGSMÖGLICHKEITEN DER ERGEBNISSE FÜR BEIDE BIOTESTS**

Für die überwiegende Zahl der untersuchten Sedimente (170, dies entspricht 82,5%) führte die Auswertung der Ergebnisse beider biologischen Testverfahren zu einer Einteilung in unterschiedliche ökologische Zustandsklassen, was die Frage der Gesamtbewertung in diesen Fällen aufwirft.

Für die Verrechnung der Testergebnisse aus den beiden Biotests (mit *Caenorhabditis elegans* und *Chironomus riparius*) bieten sich zwei Möglichkeiten an (Abbildung 48):

- die höhere der beiden ermittelten ökologischen Zustandsklassen wird für die Sedimentcharakterisierung herangezogen, d.h. nur das Ergebnis des sensitiveren Organismus berücksichtigt. Dieses Vorgehen ist übereinstimmend mit dem Prinzip des vorbeugenden Umweltschutzes; oder
- es wird der Mittelwert der beiden Ergebnisse gebildet, um so die offensichtlich differierenden Sensitivitäten der beiden Organismen auszugleichen.

Bei der Berücksichtigung des sensitiveren Organismus ist zu beachten, dass sich grundsätzlich höhere Belastungsklassen ergeben werden.

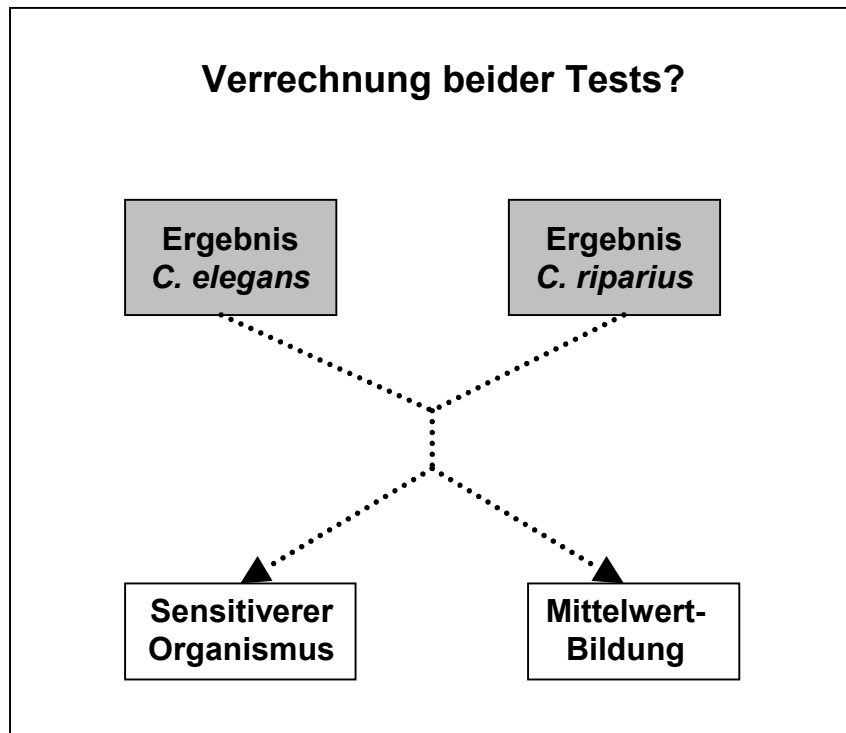


Abbildung 48. Verrechnungsmöglichkeiten der Ergebnisse der Biotests mit *C. elegans* und *C. riparius* (Schema).

Abbildung 49 zeigt beispielhaft die Bewertung einzelner Sedimente anhand der beiden Verrechnungsmöglichkeiten. Wenn beide Organismen gleich reagieren, also das getestete Sediment derselben ökologischen Zustandsklasse zugerechnet wird, besteht kein Unterschied der beiden Methoden. Bei einem geringfügigen Unterschied in der Klasseneinteilung (z.B. Klassen III und IV) ist dies ebenfalls nicht der Fall, da bei einer Mittelwertbildung mathematisch aufgerundet wird. Bei einer Einteilung beispielsweise in die Klassen I und V, die den extremsten Fall darstellt, besteht ein gravierender Unterschied in der Gesamtbewertung: die Berücksichtigung des sensitiveren Organismus ergibt eine Zuordnung zur Klasse V, die Bildung des Mittelwertes ergibt hier die Klasse III. Selbst dann ist allerdings durch die Direktive der WRRL ein Handlungsbedarf für dieses Sediment angezeigt, so dass die resultierende Entscheidung wiederum gleich bleibt.

Die endgültige Bewertung der Sedimente sollte möglichst auf Basis des sensitiveren Organismus erfolgen. Dieses Vorgehen stimmt inhaltlich mit den Prinzipien der Risikobewertung für Industriechemikalien nach dem Technical Guidance Document (TGD) der EU (Europäische Union 1996) überein: auch hier wird der sensitivste Organismus für die PNEC-Ableitung herangezogen.



	<b>Donau Vohburg</b>	<b>Donau Kachlett</b>	<b>Elbe Arneburg</b>	<b>Elbe Köhlfleet</b>
<b><i>C. elegans</i></b>	<b>II</b>	<b>V</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>
<b><i>C. riparius</i></b>	<b>II</b>	<b>IV</b>	<b>IV</b>	<b>I</b>
<b>Gesamtbewertung:</b>				
<b>Sensitivität</b>	<b>II</b>	<b>V</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>
<b>Bildung des MW</b>	<b>II</b>	<b>V</b>	<b>IV</b>	<b>III !</b>

Abbildung 49. Bewertung einzelner Sedimente – Verrechnungsbeispiele.

## 5.6 BEWERTUNG DER EINZELNEN FLÜSSE

Einen Überblick über die durchschnittliche ökotoxikologische Bewertung aller untersuchter Flüsse (Mittelwert aller berechneten ökologischen Zustandsklassen) gibt Tabelle 21. Demnach wird die Donau durch den Chironomidentest der Klassen II-III zugeordnet, während der Nematodentest überraschenderweise die Klassen III-IV ergibt. Elbe und Ems werden durch beide Tests der Klasse III zugeordnet, wohingegen für den Main wieder deutliche Unterschiede bestehen (Klassen III-IV durch den Nematodentest und Klasse II durch den Chironomidentest). Mosel, Neckar, Neisse und Oder sind wiederum weitgehend ähnlich bewertet (Klassen II-III bzw. III), wobei Neisse und Oder insgesamt den besten Zustand aufweisen. Ein auffällender Unterschied besteht auch für den Rhein: hier zeigt der Nematodentest die ökologischen Zustandsklassen IV-V, also das oberste Limit, an, während der Chironomidentest die Klassen II-III angibt. Ruhr und Saar sind wiederum durch beide Biotests ähnlich eingeteilt, wobei die Ruhr die Klassen III-IV und die Saar Klasse II erhält. Die Bewertung der Saar ist unter Vorbehalt zu betrachten, da nur zwei Proben zur Bearbeitung vorlagen. Auch für die Weser bestehen wieder deutliche Unterschiede in der Bewertung: die Ergebnisse des Nematodentests weisen auf die Klasse IV hin, während der Chironomidentest die ökologischen Zustandsklassen I-II vergibt.

Tabelle 21. Durchschnittliche ökotoxikologische Bewertung der untersuchten Flüsse anhand des Nematoden- und Chironomidentests

<b>Nematodentest</b>		<b>Chironomidentest</b>
III-IV	Donau	II-III
III	Elbe	III
III	Ems	III
III-IV	Main	II
III	Mosel	III
III	Neckar	II-III
II-III	Neisse	II-III
II-III	Oder	II
IV-V	Rhein	II-III
III-IV	Ruhr	III
(II)	Saar	(II)
IV	Weser	I-II

Die Ursachen für die Unterschiede im Verhalten der beiden Tests sind vielfältig. Ein Grund ist möglicherweise, dass Chironomiden zu einer höheren Metabolisierungsleistung von organischen Schadstoffen in der Lage sind (Simkiss et al. 2001). Zudem spielen ein unterschiedliches Fressverhalten und eine unterschiedliche Sensitivität gegenüber bestimmten Schadstoffen ebenfalls eine Rolle (Szyposzynska 2002). Einen Einfluss auf den Ausgang des Test kann zudem die Wahl des Kontrollsediments haben, wenn die gewählte Mischung bereits eine fördernde bzw. hemmende Wirkung auf die eingesetzten Testorganismen ausübt.

## 6 DISKUSSION

### 6.1 ERGEBNISSE DER SEDIMENTKARTIERUNG

In den folgenden Abschnitten werden die analytisch ermittelten Daten und die Ergebnisse der Sedimentklassifikation anhand der Biotests Werten aus der Literatur gegenübergestellt. Ein Vergleich der erhaltenen Sedimentklassifikationen mit denen der biologischen Gewässergüte, bestimmt über den Saprobienindex, kann nicht direkt erfolgen, da die saprobielle Bewertung ausschließlich die Belastung von Oberflächengewässern mit organischen, sauerstoffzehrenden Stoffen widerspiegelt. Andere Vergleiche können jedoch bisher aufgrund fehlender Daten nicht erfolgen.

#### **Donau**

Die Donau gilt von allen großen Strömen in Deutschland als am geringsten belastet. Der LAWA-Bericht von 1997 zur Beschaffenheit der großen Fließgewässer Deutschlands zeigt auf, dass keine Belastung durch Chloride vorliegt (LAWA 1997a). Auch der Sauerstoffgehalt ist durch die niedrigen Temperaturen und das starke Gefälle der alpinen Zuflüsse stabil. Deutlich belastet hingegen ist die Donau durch Nitrat (Messstelle Jochenstein 1995: 2,5 mg/L, bei Ulm 2000: 4 mg/L, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2001), während Ammonium- und Phosphorbelastungen heute nur noch als mäßig einzustufen sind. Mäßig belastet ist die Donau mit Kupfer, Quecksilber und Zink, unterhalb Kehlheim (Industriestandort) wurde auch eine deutliche Quecksilberbelastung ermittelt. Darüber hinaus ist die Schwermetallbelastung der Donau sehr gering. Lediglich bei Dillingen wurden 1994 erhöhte Cadmium-Werte und bei Neustadt erhöhte Quecksilber-Werte gemessen (LAWA 1997b). Die Schwebstoffe der Donau im Bereich Baden-Württemberg sind durch PAK als etwas höher belastet einzustufen: der Orientierungswert für Benzo(a)pyren (180 µg/kg) wird hier in rund 25% der Proben überschritten, der Orientierungswert für Fluoranthen (250 µg/kg) in 60%.

Die in diesem Projekt durchgeführten Messungen bestätigen diese Angaben größtenteils: insgesamt wurden für die Donau niedrige Schwermetall- und PAK-Belastungen festgestellt. Die punktuellen Belastungsspitzen konnten jedoch analytisch nicht bestätigt werden. Übereinstimmend wurden für einige Probestellen Überschreitungen der Orientierungswerte für Fluoranthen (Pfohren, Scheer, Thalfingen, Erlingshofen, bei Kehlheim und Donaustauf) und Benzo(a)pyren (Pfohren, Scheer, Donaustauf) festgestellt. Im Nematodentest erwies sich die Probestelle bei Kehlheim (Industriestandort) als auffällig.

Die saprobielle Gewässergüte der Donau wird in den Gewässergüteberichten mittlerweile mit der Klasse II (mäßig belastet) beschrieben, nur an einigen Stellen weist sie die Gewässergüteklasse II-III (kritisch belastet) auf (LAWA 2002). Durch die Biotestergebnisse im vorliegenden Projekt werden die Donausedimente im Mittel den ökologischen Zustandsklassen II-III (Chironomidentest) bzw. III-IV (Nematodentest) zugeordnet. Die Ergebnisse des Chironomidentests entsprechen damit weitgehend den bestehenden Einschätzungen, wohingegen die Ergebnisse des Nematodentests andere Aussagen treffen und auch mit den vorliegenden Messwerten abiotischer Parameter nicht ausreichend erklärt werden können.

## **Elbe**

Während die Elbe noch 1990 teilweise in die Güteklasse V (ökologisch zerstört) eingeteilt werden musste, die im Übrigen eigens für die Bezeichnung dieser Bereiche eingeführt wurde, gilt sie heute im Wesentlichen als mäßig belastet (Gewässergüteklasse II) bzw. unterhalb der Havelmündung als kritisch belastet (Gewässergüteklasse II-III, LAWA 2002). Zur kritischen Belastung trägt der hohe Nährstoffgehalt (N und P) bei, der bereits an der Landesgrenze bei Schmilka festzustellen ist. Ableitungen aus Kläranlagen, insbesondere im Bereich der Großstädte, verursachen eine weitere Erhöhung der Nährstoffkonzentrationen.

Die Einteilung in ökologische Zustandsklasse durch die Ergebnisse dieses Projekts ergab für die Elbe übereinstimmend die Klasse III (mäßiger ökologischer Zustand) und deckt sich damit weitgehend mit den Angaben der saprobiellen Gewässergüte.

Die Chloridbelastung ist in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen und erreicht nunmehr Werte um 100 mg/L (LAWA 1997a). Der Sauerstoffgehalt liegt nun wieder auf einem relativ hohen Niveau von 10,1 mg/L. Die Belastung durch Nitrat ist jedoch immer noch erhöht. Die Kontamination des Elbewassers durch Schwermetalle und organische Verunreinigungen hingegen nimmt ständig ab und bewegt sich mittlerweile in Bereichen um die Nachweisgrenze. Hingegen gibt es immer noch gravierende Probleme bei der Schadstoffbelastung der Schwebstoffe, hierbei insbesondere durch Cadmium, DDT und  $\beta$ -HCH, weiterhin auch durch Quecksilber und  $\gamma$ -HCH. Das Sediment der Elbe enthält aus früheren Jahren zudem noch erhebliche Mengen abgelagerter Schadstoffe, die insbesondere bei erhöhter Wasserführung wieder remobilisiert werden (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie 1997). Die Gewebekonzentrationen von Quecksilber und HCH sowie DDT in Fischen und Muscheln erweisen sich nach wie vor als sehr hoch.

Auch die im Projekt durchgeführten Messungen bestätigen die Angaben über die Sedimentbelastung. Gerade im Mittellauf der Elbe zwischen Magdeburg und Hamburg wurden zum Teil erhebliche Schwermetallwerte ermittelt (z.B. 15,7 mg Cd/kg und 337,4 mg Cu/kg bei Magdeburg-Westerhüsen), weiterhin auch im Bereich des Hamburger Hafens, hier allerdings lagen die Werte etwas niedriger. Auch die PAK-Gehalte

erreichen im Mittellauf der Elbe hohe Werte, vor allem bei Lostau und Sandfurth (Summe der EPA-PAK 10,9 bzw. 9,1 mg/kg). Beide Probestellen wurden anhand der Gehalte von Fluoranthren und Benzo(a)pyren über das Modell des Bremer Senators der Klasse 2 zugeordnet.

Die Belastung der Elbsedimente durch Organozinnverbindungen wurde im Rahmen eines Projekts der ARGE Elbe untersucht (Krinitz & Stachel 1999). Hierbei zeigten sich im Verlauf der Elbe im Jahre 1997 z.B. für Tributylzinn geringe bis mittlere Belastungen unter 100 µg/kg, die nach dem ARGE-Bewertungssystem in die Klassen II und II-III eingeteilt wurden. Ausnahmen bilden allerdings die Mulde bei Dessau (Einteilung für Tributylzinn in Klasse III-IV, für alle anderen gemessenen Organozinnverbindungen in die höchste Klasse IV) sowie ein Großteil des untersuchten Bereichs der Hamburger Häfen. Hierbei fielen vor allem die Häfen Vorhafen, Reiherstieg, Hansa- und Baakenhafen durch extrem hohe Tributylzinnelemente (3920 µg als Sn/kg am Reiherstieg) auf und wurden dementsprechend auch in die Klasse IV eingeteilt. Alle auffälligen Standorte lagen in der Nähe von Werften.

Die Ergebnisse des Nematodentests zeigen im Bereich des Hamburger Hafens äußerst starke Hemmwerte an. Da an diesen Probestellen die im Projekt gemessenen Parameter die hohen Hemmungen nicht ausreichend erklären, können möglicherweise eine Reihe anderer, nicht gemessener Verbindungen (wie z.B. Organozinnverbindungen) für die Reaktionen verantwortlich sein. *C. elegans* erwies sich auch in Laborversuchen mit Tributylzinn als äußerst sensitiv (Pedina 2001).

Im Rahmen des UBA-Projekts „Erarbeitung von Kriterien zur Ableitung von Qualitätszielen für Sedimente und Schwebstoffe“ (Ahlf et al. 1999) wurden ebenfalls eine Reihe ausgewählter Elbsedimente (20) mit einer Biotestkombination untersucht. Ein direkter Vergleich der Ergebnisse des Nematodentests zeigt für die meisten Probestellen geringere Hemmwerte durch die in diesem Projekt durchgeführten Untersuchungen als im Projekt von 1998. Ausnahmen bilden hierbei die Probestellen Wedel, Lühemündung und Brunsbüttel; dort wurden im aktuellen Projekt höhere Hemmwerte bestimmt. Generell waren vor allem die Hemmwerte der Eibildung unterschiedlich, wohingegen die Hemmungen des Längenwachstums weitgehend identische Werte aufwiesen. Möglicherweise sind diese Unterschiede durch das jeweils verwendete Kontrollsediment bedingt, das in die Berechnung der Hemmwerte eingeht: im Gegensatz zum aktuellen Projekt, in dem eine Kontrollsedimentmischung nach DIN-Entwurf Anwendung fand, wurde 1998 calcitischer Sand als Kontrollsediment eingesetzt.

## **Ems**

Im Bereich der Ems rückt die Landwirtschaft immer weiter in nun relativ hochwassersichere ehemalige Auenbereiche vor und verursacht damit zusätzlich diffuse Nährstoff- und Pestizideinträge. Die Ems ist weiterhin mit Nitrat belastet (LAWA 1997a), punktuell mit bis zu 16,5 mg/L Gesamtstickstoff, mit der Folge lokaler Eutrophierung. Der Sauerstoffgehalt der Ems hingegen hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert. Der Zufluss der großen Aa bei Hanekenfähr resultiert in starken Belastungen mit Salzen (Bergbau), bis zu 147 mg/L, und Schwermetallen wie Blei, Zink und Cadmium. Die höchsten Schwermetallgehalte im Sediment wurden bei Hanekenfähr gemessen (LAWA 1997b), wobei die Werte für Blei, Zink und Cadmium mäßig bis stark erhöht waren.

Durch die im Projekt durchgeführten Messungen konnte das Sediment Hanekenfähr nicht als besonders auffällig identifiziert werden, und auch die Schwermetall- und PAK-Werte der übrigen Probestellen lagen im mittleren Bereich. Die Biotestergebnisse weisen Hanekenfähr ebenfalls nicht als auffällig aus, jedoch zeigt sich im Nematodentest nach Hanekenfähr eine deutliche Reaktion der Organismen.

Die biologische Gewässergüte wird für die Ems mit den Klassen II (mäßig belastet) und II-III (kritisch belastet) beschrieben, im Brackwasserbereich ist die Ems als sehr stark verschmutzt (Güteklasse III-IV) eingestuft (LAWA 2002). Die durch die Biotestergebnisse dieses Projekts ermittelten ökologischen Zustandsklassen für die Sedimente zeigen für die Ems Klasse III an (mäßiger ökologischer Zustand), was die Aussagen der Gewässergüte weitgehend untermauert.

## **Main**

In einem Untersuchungsprogramm des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (Gühr et al. 2002) wurden auch eine Reihe von Schadstoffen in Sedimenten gemessen. Für PAK zeigten sich dabei teilweise sehr hohe Belastungen. Die Fluoranthen-Werte für Griesheim waren bereits relativ hoch und entsprächen bei einer Einteilung über das Bremer Modell der Klasse II; die Messungen für Fluoranthen und Benzo(a)pyren für die Messstelle Eddersheim jedoch stellten die äußersten Spitzenwerte: 1998 wurden 15.551 µg Fluoranthen/kg und 4.674 µg Benzo(a)pyren gemessen, was jeweils zu einer Zuordnung zu Klasse III des Bremer Modells führt. Die Summe der sechs TVO-PAKs betrug hier das 72fache der Zielvorgabe der ARGE Elbe, die bei 500 µg/kg TS liegt.

Die Zielvorgaben für AOX wurden in Eddersheim 1998 um ein Vielfaches (maximal das 18fache) überschritten (Fooker et al. 1999). An dieser Stelle wurden bereits früher hohe Werte gemessen, die auf Einleitungen der dort ansässigen Industrie zurückgeführt werden. Auch die Vorgabe für das PCB-Kongener 153, das unter den PCBs den größten Anteil im Schwebstoff darstellt, wurde etwa um das Doppelte

überschritten. Zudem zeigte sich eine hohe Belastung des Sediments Eddersheim mit Chloraromaten, insbesondere mit ein- bis dreifach chlorierten Aromaten (Chlortoluole, Dichlorbenzole, Trichlorbenzole). Die Zielvorgabe für Hexachlorbenzol hingegen wurde unterschritten.

Im vorliegenden Projekt wurden für den Main mittlere bis sehr hohe Schwermetallbelastungen festgestellt, vor allem im Bereich des hessischen Mains. Auch die Belastungen durch PAK stellten sich punktuell als extrem hoch heraus. Offenbach, Frankfurt Osthafen und Griesheim waren dabei die Probestellen mit den auffälligsten Werten.

Die Ergebnisse des Nematodentests spiegeln dies deutlich wider, wohingegen im Chironomidentest weniger starke Reaktionen festzustellen waren. Der Nematodentest teilt die Mainsedimente demnach im Durchschnitt in die ökologischen Zustandsklassen III-IV ein, während der Chironomidentest im Mittel die ökologische Zustandsklasse II vergibt. Die Ursachen hierfür können aus den vorliegenden Messwerten für die abiotischen Parameter jedoch nicht hinreichend erklärt werden.

Der hessische Main war im Jahre 2000 im gesamten Unterlauf den Kriterien der Güteklasse II zuzuordnen (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie 2000). Dies deckt sich größtenteils mit den Ergebnissen des Chironomidentests, steht allerdings nicht im Einklang mit den Nematodentest-Ergebnissen. Diese wiederum spiegeln eher die durch die chemischen Messungen belegten Belastungen wider.

## **Mosel**

Die Referenzmessstellen an der Mosel des rheinland-pfälzischen Landesamts für Wasserwirtschaft sind Palzem (kurz nach dem Eintritt der Mosel nach Rheinland-Pfalz) und Koblenz (in der Nähe der Mosel-Mündung in den Rhein). An beiden Probestellen zeigt sich die Mosel deutlich durch Nitrat belastet, wohingegen die Zielvorgabe der Ammoniumbelastung weitgehend eingehalten wird (Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz 2000). Die Phosphor-Belastungen nehmen zur Mündung in den Rhein hin zu, wobei durchweg die Zielvorgaben noch nicht erreicht sind. Da die Mosel zu den staugeregelten Flüssen mit sehr geringer Fließgeschwindigkeit und relativ hohen Nährstoffkonzentrationen zählt, sind Sauerstoffminima von 2-3 mg/L anzutreffen und ergeben damit eine Sauerstoff-Güteklassifizierung in Klasse III-IV (hohe Belastung). Zudem ist der Chloridgehalt der Mosel an den beiden Messstellen weiterhin unbefriedigend und indiziert die Güteklasse III. In Palzem ist die Chloridbelastung höher als im Mündungsgebiet, bedingt vor allem durch die Sodaproduktion in Frankreich. Weiterhin stellen die Gehalte an Pflanzenschutzmitteln noch ein Problem in der Wasserbeschaffenheit der Mosel dar.

Die im Rahmen dieses Projekts gemessenen Schwermetallbelastungen der Mosel sind als mäßig bis zum Teil hoch einzustufen, wobei Fankel und Detzem die höchsten

Werte erreichten. Die PAK-Belastungen sind vor allem zwischen Palzem und Detzem besonders hoch.

Derzeit wird für die Mosel weitgehend die saprobielle Gewässergüteklasse II (mäßig belastet) vergeben (LAWA 2002). Die Biotestergebnisse des hier durchgeführten Projekts klassifizieren die Moselsedimente im Mittel in die ökologische Zustandsklasse III (mäßiger ökologischer Zustand). Dies deckt sich größtenteils mit der Einteilung über die Gewässergüteklasse.

### **Neckar**

Am Neckar, der einen hohen Anteil gereinigten Abwassers führt, wird eine mäßige bis deutliche Ammoniumbelastung vorgefunden (Klasse II bis II-III). Auch die Sauerstoffversorgung ist noch nicht zufriedenstellend (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2001) und muss teilweise durch Belüftungsmaßnahmen gestützt werden. Die Phosphatbelastung wird aufgrund hoher Abwasserbelastungen durchweg als erhöht beschrieben (0,3 mg/L), ebenso wie die Gehalte an Nitrat, die bei Mannheim um 5 mg/L erreicht. Die Salzfracht ist als gering bis mäßig einzustufen.

Im Hinblick auf die Schwermetallbelastung der Schwebstoffe werden die Zielvorgaben der LAWA größtenteils eingehalten, jedoch zeigen sich unterhalb der Einleitungen der Ballungsräume Stuttgart und Heilbronn erhöhte Kupfergehalte. Die Pflanzenschutzmittel Isoproturon (0,09 µg/L) und Diuron (0,17 µg/L) überschreiten bei Mannheim weiterhin die LAWA-Zielvorgaben. Die Schwebstoffe des Neckars sind auch durch PAK höher belastet: der Orientierungswert für Benzo(a)pyren (180 µg/kg) wird hier in rund 60% der Proben überschritten, der Orientierungswert für Fluoranthen (250 µg/kg) in 85%.

Die im Projekt durchgeführten Messungen ergaben für die Neckarsedimente mittlere Schwermetallbelastungen und punktuell erhöhte PAK-Werte. Deizesau war dabei für die Schwermetallwerte der auffälligste Punkt, wohingegen die höchsten PAK-Werte für Oberrössen und Poppenweiler gemessen wurden. Der Orientierungswert für Fluoranthen wurde dabei für alle Probenahmestellen überschritten, der Richtwert für Benzo(a)pyren ebenfalls, mit Ausnahme von Deizesau und Tübingen.

Die Ergebnisse der Biotests zeigten für den Nematodentest durchschnittlich die ökologische Zustandsklasse III, für den Chironomidentest im Mittel die ökologische Zustandsklasse II-III an. Dies entspricht weitgehend der saprobiellen Gewässergüteklassifizierung, die den Neckar in die Klassen II und II-III einteilt (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2001, LAWA 2002).



## Neisse

An der Probenahmestelle Hradek/Hartau an der Grenze zur Tschechischen Republik wurden durch den Gewässergütebericht für das Jahr 1995 (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie 1997) und die Gewässergütekarte 1997 (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie 1998) erhöhte Belastungen mit den Nährstoffen Ammonium und Gesamtphosphor festgestellt. Während sich die Belastung mit Ammonium durch Verdünnungsprozesse bis zur Probenahmestelle Bad Muskau auf Durchschnittswerte verringerte, mussten die Werte für den Gesamtphosphor insgesamt als zu hoch eingestuft werden. Durch Grubeneinleitungen kam es im Raum Hirschfelde/Görlitz zu erhöhten Eisen- und Aluminiumgehalten im Wasser, die sich für Eisen, bedingt durch Sedimentationsprozesse, rasch verringerten. In unseren eigenen Untersuchungen konnten in dieser Region keine erhöhten Eisen- oder Aluminiumwerte mehr ermittelt werden. Weitere Schwermetalle (Pb, Cu, Cd, Zn) beeinträchtigten die Lausitzer Neisse 1997 nur sporadisch. Erhöhte Werte von Cr, Cu und Zn konnten in der vorliegenden Arbeit für den Zittauer Raum und Görlitz festgestellt werden. In Görlitz lag zudem die höchste Belastung mit Cd vor. Die Bleikonzentrationen für die Probenahmestellen Hartau und Bad Muskau stellten sich als deutlich höher als in anderen Bereichen der Neisse heraus.

1995 wurde ebenfalls eine organische Belastung der Neisse mit Triazinen und Triazinderivaten festgestellt. Im einzelnen wurden Konzentrationen von Desethylatrazin (30-60 ng/L), Simazin und Atrazin (>100 ng/L) sowie Terbutryn (160-270 ng/L) nachgewiesen. Generell wurde 1997 herausgestellt, dass die Neisse im Bereich zwischen der Grenze in Hradek/Hartau bis Görlitz stärker verschmutzt ist als im weiteren Verlauf zwischen Görlitz und der Grenze zu Brandenburg. Dieser Trend konnte durch die eigenen Untersuchungen bestätigt werden.

Die biologische Gewässergüte der Lausitzer Neisse wird zwischen Zittau und Görlitz mit II-III (kritisch belastet) und unterhalb von Görlitz mit II (mäßig belastet) bewertet (LAWA 2002).

Durch das in der vorliegenden Studie vorgestellte Bewertungskonzept wurde die Neisse überwiegend der ökologischen Zustandsklasse II-III (guter bis mäßiger Zustand) zugeordnet. Zittau (Klasse II) wurde als am geringsten belastet und Bad Muskau sowie Forst (Klasse IV) als gestört eingestuft.

## Oder

Im Forschungsbericht des Landesumweltamts Brandenburg über Untersuchungen der Oder zur Belastung der Schwebstoff- bzw. Sedimentphase und angrenzender Bereiche von 1998 wird die Belastung der Oder in Bezug auf die Elemente Quecksilber, Cadmium und Zink als hoch bis sehr hoch eingestuft. Erhöhte Belastungen wurden ebenfalls für die Elemente Kupfer, Blei und Arsen festgestellt und auf Abwassereinleiter und die Einzugsgebiete belasteter Zuflüsse zurückgeführt. Demnach stammen Kupfer und Arsen hauptsächlich aus den Kläranlagen im Raum Eisenhüttenstadt, Cadmium und Chrom hingegen hauptsächlich aus Quellen im Einzugsgebiet der Warta. Die höchsten (Schwer-)Metallbelastungen der in der vorliegenden Studie untersuchten Probenahmestellen wurden bei Kietz und Aurith auf der polnischen Seite sowie bei Eisenhüttenstadt auf der deutschen Seite nachgewiesen. Generell wurde die Oder durch das vorliegende Projekt mit einer durchschnittlichen Schwermetallbelastungsklasse von 2,0 (nach Wachs) bzw. 1,5 (nach LAWA) als weniger belastet bewertet als durch die Untersuchungen von 1998.

Von Groß-Neuendorf bis Schwedt zeigten die Untersuchungen des Landesamts Brandenburg hohe bis sehr hohe Belastungen mit PCB. Die Belastungen der Oder mit PAK (gemessen wurden auch hier die EPA-PAK) wird in diesem Bericht als teilweise erheblich eingestuft. Dabei wies Fluoranthen (5,3 mg/kg) die höchsten Gehalte auf, gefolgt von Pyren (3 mg/kg) und Benzo(a)pyren (2 mg/kg). Die Belastungsspitzen lagen bei Aurith (L), Frankfurt (R) und Lebus (R) im Zeitraum Juni/Juli. Diese Werte wurden für den Vergleich gewählt, da auch die Probennahme an der Oder des hier vorgestellten Projekts hauptsächlich in der Zeit von Mai bis Juni erfolgte. Allerdings wurden in den Proben aus dem Jahr 2001 deutlich geringere PAK- Gehalte gemessen. Die Probenahmestelle Aurith (PL) wurde mit den höchsten Konzentrationen von Fluoranthen (1,5 mg/kg), Pyren (1,1 mg/kg) und Benzo(a)pyren (1,2 mg/kg) deutlich als Belastungsschwerpunkt identifiziert. Die geringeren Konzentrationen sind möglicherweise bedingt durch die Probengefäße, die aus Plastik bestanden und an deren Wänden es zu einer Adsorption der PAK kommen konnte. Weitere, durch das Landesamt Brandenburg analysierte Verbindungsklassen waren Phthalsäureester, Dioxine und Furane, die die höchsten Werte bei Eisenhüttenstadt und Frankfurt/Oder erreichten.

Die durch das Landesamt Brandenburg durchgeführten Biotests (Leuchtbakterien- und Daphnientest) zeigten bei der Probe Schwedt auf deutscher Seite eine mäßige bis stark toxische Wirkung im Leuchtbakterientest, Groß-Neuendorf wurde als nicht toxisch eingestuft. Alle anderen Proben zeigten eine schwach toxische Wirkung im Leuchtbakterientest. Der Probenahmepunkt Schwedt liegt außerhalb des in der vorliegenden Studie untersuchten Gebiets. Die höchsten Effekte im Biotest wurden in der vorliegenden Studie für die Probestellen Eisenhüttenstadt (D), Aurith (PL), Lebus (PL) und Kietz sowohl auf deutscher als auch auf polnischer Seite festgestellt.

Während 1998 TOC-Gehalte von 1,2 bis 11% (bei Schwedt) festgestellt und die große Schwankungsbreite auf die unterschiedlichen Sedimentationsbedingungen zurückgeführt wurden, konnten in den hier vorliegenden Untersuchungen lediglich geringere Gehalte an organischem Kohlenstoff, im Bereich von 0,2 bis 3,7% (bei Aurith, PL), festgestellt werden.

## **Rhein**

In einem Sonderbericht zur Gewässergüte (2000) stellt das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen die Entwicklung der biologischen Gewässergüte des Rheins folgendermaßen dar: Die Gewässergüte des Rheins in NRW, bestimmt über die Bestandsaufnahme des Makrozoobenthos und über das System der LAWA (1998) klassifiziert, verbesserte sich in letzten 30 Jahren und hat nun die Güteklasse II erreicht. Dies entspricht nicht den biotestgestützten Ergebnissen der vorliegenden Sedimentuntersuchungen, die die überwiegende Zahl der nordrhein-westfälischen Rheinproben der ökologische Zustandklasse IV (über den Mittelwert) bzw. V (über die Sensitivität) zuordnet. Im Bericht von Ahlf et al. (1999) wurden ebenfalls zehn Rheinproben aus Nordrhein-Westfalen mit dem Nematoden- sowie dem Chironomidentest untersucht. In der Studie von 1999 zeichneten sich vor allem die Probenahmestellen Oberwinter [23], Duisburg Rheinpreussenhafen [30], Wesel [32] und Lohrwardt [34] durch erhöhte Hemmwerte in beiden biologischen Tests aus [die Nummer in den eckigen Klammern beziehen sich auf die Probenahmestellen des vorliegenden Projekts]. Für den Nematodentest wurden für die Sedimente der vorliegenden Untersuchung insgesamt deutlich höhere Hemmwerte festgestellt als 1999, dennoch werden die genannten Proben ebenfalls als stark belastet charakterisiert. Für den Chironomidentest ist ein direkter Vergleich der Daten schwieriger, da durch Ahlf et al. (1999) die Gewichtszunahme der Larven nach zehn Tagen als Parameter bestimmt wurde. In der vorliegenden Studie konnte durch die vermessenen Endpunkte keine der durch Ahlf et al. (1999) ermittelten Hemmspitzen identifiziert werden. Es wurde im Gegenteil für die Probenahmestelle Duisburg Eisenbahnhof [31] die zweithöchste überhaupt im Rhein gefundene Mortalität ermittelt, während durch Ahlf et al. (1999) eine Förderung der Gewichtszunahme beschrieben wurde.

Auf Basis der Schwermetallanalytik mussten nach dem System der LAWA 12 der insgesamt 37 im Rahmen des vorliegenden Projekts untersuchten Rheinsedimente in die Güteklasse II und schlechter eingestuft werden, neun davon stammten aus Nordrhein-Westfalen. Demnach zeigten etwa 60% aller nordrhein-westfälischen Rheinproben deutlich erhöhte Schwermetallgehalte.

Dem hessische Rhein fließen überdurchschnittlich hohe Stickstoffmengen zu, die lediglich während der Vegetationsperiode im August bis Oktober unter 3 mg/L sinken und dann die angestrebte Güteklasse II erreichen (Fooken et al. 1999). Nach den

Angaben des Hessischen Landesamts für Umwelt und Geologie (Fooken et al. 1999) wies der hessische Rhein 1998 mit 150 µg/kg TS nicht nur das Dreifache der Zielvorgabe der ARGE Elbe für AOX auf, sondern erreichte auch das Doppelte der Zielvorgabe (ARGE Elbe) für das am häufigsten vorkommende PCB-Kongener 153. Für die 6 PAK der Trinkwasserverordnung (TVO) sieht die Zielvorgabe der ARGE Elbe einen Wert von 0,5 µg/g vor. 1998 wurde diese Vorgabe um das 2- bis 6-fache überschritten (Fooken et al. 1999). In den hier vorliegenden Untersuchungen wurden Werte für die TVO-PAK ermittelt, die diese Zielvorgabe um das 2- bis 12-fache überschreiten, in der Probe Schierstein wurde sogar eine 50-fach höhere Konzentration dieser 6 PAK bestimmt. Messungen ergaben für den Lampertheimer Altrhein stark erhöhte Werte für alle sechs gemessenen Zinnorganika (Diocetylzinn, Triphenylzinn, Mono-, Di-, und Tributylzinn; Gühr et al. 2002), die durch die räumliche Nähe zur Herstellerfirma (Ciba) erklärt werden können. Diese Substanzen stehen im Verdacht, eine vermännlichende Wirkung zu haben, was im Bericht der HLfU auch durch Funde von sogenannten Supermännchen bei Flussbarschen untermauert werden konnte. *Chironomus riparius* zeigte in der vorliegenden Studie keine Verschiebung des Geschlechterverhältnisses nach der Exposition gegenüber den in Frage kommenden Sedimenten an. Das würde bedeuten, dass die in den Sedimenten gemessenen Substanzen das Verhältnis der Geschlechter von *C. riparius* zueinander nicht beeinflussen. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von Szyposzynska (2002), die lediglich eine geringe Verschiebung des Geschlechterverhältnisses bei *C. riparius* nach Exposition gegenüber der androgenartig wirkenden Verdachtssubstanz Triphenylzinn in Abhängigkeit von unterschiedlichen Korngrößen und Gehalten an organischem Kohlenstoff beschreibt. Bei der Probe Lampertheim zeigte sich in den vorliegenden Untersuchungen eine signifikant geringere Entwicklungsrate und damit verbunden ein verfrühter Schlupf im Vergleich zur Kontrolle. Zu dem gleichen Ergebnis kam Pedina (2001), die nach einer Monosubstanzexposition von *C. riparius* gegenüber Tributylzinn (TBT) ebenfalls signifikante Veränderungen der Entwicklungsrate fand.

Für die Sedimente des hessischen Rheins konnten in Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nach dem System der LAWA überwiegend Schwermetall-Belastungsklassen zwischen 1,0 und 2,0 ermittelt werden. Lediglich die drei Proben Kühkopf, Erfelden und Schierstein wiesen höhere Schwermetallgehalte auf. Für die Probe aus Schierstein wurde mit 4,2 (LAWA) die höchste Belastungsklasse für den Rhein überhaupt ermittelt.

Für den rheinland-pfälzischen Rhein wurden durch den Gewässergütebericht 2000 des Landesamts für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz Jahresmedianwerte für Nitrat-N im oberen Grenzbereich zur Klasse II (<2,5 mg/L) bestimmt. Für Ammonium-N und Gesamtphosphor lagen die Jahresmediane 1996/1997 im Bereich der Güteklasse I-II (0,1 mg/L bzw. 0,08 mg/L). Die Sauerstoff-Minima wurden durch den Gewässergütebericht seit 1990/1991 als rückläufig charakterisiert und konnten der Güteklasse II-III zugeordnet werden. Ähnliches gilt für die Chloridbelastung, auch hier

wurde die Güteklasse II-III erreicht. Die Konzentrationen der Schwermetalle Cadmium, Chrom, Blei, Quecksilber, Nickel, Kupfer und Zink lagen, laut Gewässergütebericht des Landes Rheinland-Pfalz, z.T. erheblich unter den Werten, die gemäß der Trinkwasserverordnung einzuhalten sind. Bis auf Kupfer und Chrom wurden im Wasser sogar analysetechnische Nachweisgrenzen überwiegend unterschritten. Für die Sedimente des rheinland-pfälzischen Rheins konnten in Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nach dem System der LAWA Schwermetall-Belastungsklassen zwischen 1,0 und 1,8 ermittelt werden. Damit liegen alle Proben innerhalb der LAWA-Zielvorgaben.

Ebenfalls wurde im Gewässergütebericht die biologische Gewässergüte des rheinland-pfälzischen Rheins, bis auf einen kurzen kritisch belasteten Abschnitt unterhalb der landesweit größten Direkteinleitung behandelten industriellen Abwassers in Ludwigshafen, saprobiell durchgängig als mäßig belastet (Gewässergüteklasse II) eingestuft. Demgegenüber wurden in der vorliegenden Studie alle sieben rheinland-pfälzischen Proben der ökologischen Zustandsklassen III über den Mittelwert bzw. V über die sensitivere Art zugeordnet. Eine Ausnahme bildet das Sediment aus dem Schutzhafen Loreley, das sowohl über den Mittelwert als auch über den sensitiveren Parameter der ökologischen Zustandsklasse IV zugeordnet werden musste.

Im baden-württembergischen Rhein wurde durch das zuständige Landesamt eine geringe bis mäßige Belastung durch Ammonium nachgewiesen. Der starke Rückgang der biologisch leicht abbaubaren Stoffe, der durch den konsequenten Ausbau der kommunalen und industriellen Kläranlagen erreicht wurde, hat im Rhein zu eine deutlichen Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse geführt. Die Phosphorbelastung des Rheinwassers wurde als niedrig (Klasse I bzw. II) eingestuft. Nach dem LAWA-Konzept für ein siebenstufiges System zur Klassifizierung der Trophie planktondominierter Fließgewässer resultierte für den Rhein die Trophieklasse I-II, mesotroph. Die Chloridbelastung des baden-württembergischen Rheins steigt, nach Aussage des Landesamts für Umweltschutz, unterhalb der Einleitungen der elsässischen Kaliminen sprunghaft von unbelastet auf mäßig belastet an. Die Schwermetallkonzentrationen für Schwebstoffe wurden für den baden-württembergischen Rhein als gering beschrieben. Die Ergebnisse der hier vorliegenden Sedimentuntersuchungen unterstreichen dies; alle nach LAWA ermittelten Schwermetall-Belastungsklassen liegen unterhalb von 1,0 und 1,5, einzige Ausnahme bildet mit einer Belastungsklasse von 1,8 das Sediment aus Augst. Dennoch weisen die Effekt der baden-württembergischen Rheinsedimente im Biotest auf mäßige bis erhebliche Kontaminationen hin und lassen bei der Hälfte der untersuchten Proben auf starke Veränderungen der Biozönose schließen.

## **Ruhr**

Die Ruhr wurde ebenfalls durch den Sonderbericht zur Gewässergüte (2000) des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW bewertet. Es wurde in diesem Bericht herausgestellt, dass die Belastungen der Ruhr einen rückläufigen Trend aufweisen. Die Konzentration an Gesamtphosphor lagen seit 1995 zwischen der Zielvorgabe von  $\leq 0,3$  mg/L (Landesamt für Wasser und Abfall NRW 1991) und dem Qualitätsziel für Phosphor in gestauten Fließgewässern vom Typ Ruhr von 0,16 bis 0,2 mg/L (Hamm 1991). Die  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen lagen 1999 bei etwa 0,8 mg/L. Ein besonderes Problem stellte nach der Darstellung des Sonderberichts zur Gewässergüte (2000) der Eintrag von Pflanzenbehandlungsmitteln in die Ruhr dar. Es traten insbesondere Diuron, Isoproturon, Chlortoluron, Atrazin, Simazin und Mecoprop aus kommunalen Kläranlagen in höheren Konzentrationen im Ruhrwasser auf. Von 1975 bis 1999 wurde die untere Ruhr, von Essen Spillenburg bis zur Mendener Brücke, aufgrund der biologischen und physikalisch-chemischen Untersuchungsergebnisse unverändert in die Güteklasse II-III (kritisch belastet) eingestuft (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW 2000). Ab 2000 konnten einige Abschnitte der Güteklasse II (mäßig belastet) zugeordnet werden (LAWA 2002).

Nach dem hier vorgestellten Bewertungskonzept mussten der Ruhr überwiegend die ökologischen Zustandsklassen III und IV zugewiesen werden.

## **Saar**

Wie für die Mosel wurden auch für die Saar im Gewässergütebericht des Landesamts für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (2000) hohe Nährstoffkonzentration (N und P) nachgewiesen. Sowohl für Stickstoff (Güteklasse II-III ) als auch für Phosphor (Güteklasse III) wurde die angestrebte Güteklasse II nicht erreicht. Der rheinland-pfälzische Gewässergütebericht dokumentiert zudem eine hohe Belastung des Sauerstoffhaushalts der Saar, die anhand der Sauerstoff-Minima der Güteklasse III-IV zugeordnet werden musste. Die in diesem Bericht untersuchten Saarsedimente wiesen eine geringe bis mäßige Belastung mit Schwermetallen und PAK auf. Es wurden allerdings nur zwei Proben untersucht, die durch die biologischen Tests den ökologischen Zustandsklassen III bzw. II zugeordnet wurden.

## **Weser**

Die Weser ist, wie auch die Werra, ein stark salzhaltiger Fluss. Hauptsächlich verantwortlich für die übermäßige Belastung der Weser mit Chlorid und weiteren Ionen ist die Kaliindustrie in Hessen und Thüringen. Durch Stilllegung zweier Werke und der Umsetzung des technischen Salzreduzierungskonzeptes wurde die absolute Chloridfracht von 209 kg/s (1989) auf 67 kg/s gesenkt (ARGE Weser 2000).

Nach dem Wesergütebericht (ARGE Weser 2000) wurde die Güteklasse II für Nährstoffe lediglich für Ammonium-N erreicht. Auf der Basis der Konzentrationen von Nitrat-N und Gesamtphosphor wurde die Weser den Güteklassen III bzw. II-III zugeordnet. Im Wesergütebericht wurde festgehalten, dass die Schwebstoffproben der Weser in Bezug auf die Schwermetalle Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink als relativ unbelastet angesehen werden können. Dies wurde durch die hier vorliegenden Untersuchungen bestätigt. Nur die Probenahmestelle Hajen (2) musste der Güteklasse 2,7 (LAWA) zugeordnet werden, was vor allem durch die hohen Cadmiumgehalte (4,1 mg/kg TS) bedingt war.

Die Belastungssituation der untersuchten Proben stellte sich bezüglich der PAK im Wesergütebericht (ARGE Weser 2000) folgendermaßen dar: Alle Werte der Messstationen lagen innerhalb der Klasse 1 des Bremer Modells; lediglich die Fluoranthen-Konzentrationen der Messstation Hemeln machten eine Einteilung in die Klasse 2 nötig. Im Rahmen der hier vorliegenden Studie wurden an den untersuchten Messstellen höhere Gehalte an Fluoranthen und Benzo(a)pyren gemessen, so dass eine Einteilung der Proben jeweils in die Klasse 2 des Bremer Systems erfolgen musste. Lediglich Petershagen lag für Benzo(a)pyren in der Klasse 1.

Obwohl die chemisch-analytischen Daten die Weser als gering bis mäßig belastet einstufen, reagieren die eingesetzten Testorganismen stark. Die Einteilung über den Mittelwert ordnet die Proben den ökologischen Zustandsklassen III bis IV zu, der sensitivere Parameter sogar den Klassen IV bis V. Möglicherweise kommt hier die hohe Belastung der Weser mit Salzen der Kaliindustrie zum Tragen.

Die in dieser Studie vorgestellten biologischen Testverfahren bewerten gerade die Weser sehr unterschiedlich. Während der Nematodentest durchschnittlich die Klasse IV vergibt, ordnet der Chironomidentest die Weserproben den ökologischen Zustandsklassen I-II zu. Wie Stuijfsand et al. (1999) postuliert, sollen negative Effekte von Schadstoffen auf *Chironomus riparius* durch die fördernden Effekte eines großen Nahrungsangebots maskiert werden können. Dies geschieht nicht (nur) durch die Reduzierung der Bioverfügbarkeit, sondern vor allem durch das Vorhandensein einer zusätzlichen Nahrungsquelle (Stuijfsand et al. 1999). Die hohe Nährstofffracht der Weser (ARGE Weser 2000) ist demnach möglicherweise eine Erklärung für die Diskrepanzen in den Bewertungen durch die Testorganismen.

## **6.2 BEWERTUNGSKONZEPT**

Im Zuge der Auswertung der Ergebnisse sowie im Verlauf des im April 2002 im Umweltbundesamt veranstalteten Workshops haben sich verschiedene Fragen ergeben, zu deren Klärung das folgende Kapitel beitragen soll.

- Welchen Einfluss können Lagerungseffekte auf das Ergebnis der Tests haben?
- Welchen Einfluss haben abiotische Parameter auf das jeweilige Testergebnis?
- Liefern die beide Tests unterschiedliche Informationen und ist es nötig, beide Tests durchzuführen?
- Ist die Bewertung mit Hilfe des iterativen Verfahrens ortsunabhängig und kann das hier vorgestellte System auf andere Standorte übertragen werden?
- Wie kann man sich der Problematik der Kontrollsedimente nähern? Bieten Referenzstandorte eine sinnvolle Ergänzung?
- Wie sind die beiden Tests hinsichtlich ihrer Sensitivität und Anwendbarkeit vergleichend zu bewerten?
- Welche Empfehlungen für eine weitere Anwendung der beiden Tests lassen sich aus der vorliegenden Untersuchung ableiten?

### **6.2.1 Lagerungseffekte**

Die Genauigkeit der Ergebnisse von Sedimentbiotests und damit ihrer Aussagekraft hängt stark von der Handhabung und insbesondere der Lagerung der Sedimente vor dem eigentlichen Test ab (Burton 1991). Generell herrscht Einigkeit darüber, dass jede Art von Lagerung die Bioverfügbarkeit und damit die Toxizität von Schadstoffen verändert (Thomson et al. 1980, Burton 1991). Allerdings lässt sich aus praktischen Gründen eine Lagerung nicht immer vermeiden.

Auch für diese Untersuchungen mussten die Sedimente aufgrund des hohen Probenaufkommens oft einige Zeit bis zum definitiven Testbeginn aufbewahrt werden. Die Lagerung erfolgte, wie bereits in Kapitel 3 beschrieben wurde, bei  $-20^{\circ}\text{C}$  in PE-Gefäßen. In der Literatur wird der Einfluss des Einfrierens gegenüber der gekühlten Lagerung bei  $+4^{\circ}\text{C}$  kontrovers diskutiert. Die am häufigsten in der Literatur ausgesprochene Empfehlung für die Lagerung von Freilandsedimenten geht von einer Lagerung bei  $+4^{\circ}\text{C}$  von höchstens zwei Wochen aus. Leweke (1999) stellte jedoch in ihrer Arbeit heraus, dass die lagerungsbedingten Toxizitätsveränderungen von Freilandsedimenten trotz ähnlicher Belastungen keinem einheitlichen Trend folgten. Undotierte Freilandsedimente der Ems wurden in dieser Studie sowohl bei  $+4^{\circ}\text{C}$  als auch bei  $-18^{\circ}\text{C}$  ohne Einfluss auf die Testergebnisse gelagert. Sie empfiehlt, die Lagerungsbedingungen dem Belastungsgrad der einzelnen Sedimente, der zu verwendenden Testphase sowie dem einzusetzenden Testorganismus anzupassen.

Die hier gewählten Lagerungsbedingungen bieten den Vorteil, dass durch den Gefrierprozess die Infauna der Sedimente abgetötet wird, was vor allem für den Chironomidentest wichtig ist, um Störfaktoren hinsichtlich der Testauswertung, wie Konkurrenz um Platz und Nahrung bzw. Fressfeinde, zu minimieren. Allerdings kann eine Beeinflussung der Proben durch keine Art der Lagerung gänzlich ausgeschlossen



werden; daher wurde die Lagerungsfrist der Sedimente generell so gering wie möglich gehalten.

## 6.2.2 Korrelationen der Ergebnisse der Biotests mit abiotischen Parametern (Organischer Kohlenstoffgehalt, Korngröße, Schwermetalle, PAKs)

### Nematodentest

Um zu klären, ob Zusammenhänge zwischen abiotischen Sedimentparametern und den Testergebnissen bestehen, wurden Korrelationen ermittelt. Die Korrelationskoeffizienten der wichtigsten abiotischen Parameter mit den Parametern des Nematodentests sind in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22. Korrelationsmatrix der Hemmwerte der Parameter im Nematodentest (N) und der wichtigsten abiotischen Parameter: Pearson-Korrelationskoeffizienten, \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ . C ges: totaler Kohlenstoffgehalt, C org: organischer Kohlenstoffgehalt, KG: Korngröße, BK W/LAWA: Schwermetallbelastungsklasse nach Wachs bzw. LAWA.

	N Eibildg	N Eizahl	N Reprod	C ges	C org	KG	PAK Summe	BK W	BK LAWA
N Wachs t	0,88**	0,79**	0,47**	0,15*	0,11	-0,25**	0,06	0,28**	0,21**
N Eibildg		0,83**	0,48**	0,17*	0,14*	-0,33**	0,02	0,24**	0,17**
N Eizahl			0,69**	0,28**	0,26**	-0,23**	0,14	0,33**	0,27**
N Reprod				0,39**	0,36**	-0,18*	0,19**	0,35**	0,29**

Es zeigte sich, dass eine schwache, jedoch signifikant positive Korrelation der biologischen Parameter mit dem totalen Kohlenstoffgehalt besteht, was mit Ausnahme des Parameters Wachstumshemmung auch für den organischen Kohlenstoffgehalt gilt. Dies bedeutet, dass die Hemmwerte im Nematodentest mit steigendem Kohlenstoffgehalt ansteigen. Dies ist ein unerwartetes Ergebnis, da im Allgemeinen davon ausgegangen wird, dass organischer Kohlenstoff im Sediment Schadstoffe zu binden vermag, die somit in weniger bioverfügbarer Form für die Organismen vorliegen. Zudem kann organischer Kohlenstoff eine zusätzliche Nahrungsquelle für Organismen darstellen, was für den Nematodentest allerdings eine untergeordnete Rolle spielt, da die Nematoden über den Verlauf des Biotests ausreichend mit Nahrung versorgt werden. Das Ergebnis der Korrelation könnte jedoch möglicherweise durch

den weitgehend noch ungeklärten Einfluss von Huminstoffen, die die Bakterienqualität verändern können, erklärt werden. In Versuchsreihen mit unbelasteten Freilandsedimenten unterschiedlichen organischen Kohlenstoffgehalts (2,5 bis 77,1%) zeigte sich hingegen kein Einfluss dieses Parameters auf *C. elegans* (Höss et al. 1999). Möglicherweise besteht insofern ein Unterschied zwischen belasteten und unbelasteten Sedimenten, als die Kombination aus Stress durch Kontaminanten und einem außergewöhnlich hohen oder geringen organischen Kohlenstoffgehalt bei *C. elegans* eine Reaktion hervorruft, der organische Kohlenstoffgehalt allein dies jedoch nicht bewirkt.

Zwischen der Korngröße und den Hemmwerten der Parameter besteht eine negative, ebenfalls signifikante Korrelation, was bedeutet, dass in gröberen Sedimenten geringere Hemmwerte festgestellt wurden. Dieses Ergebnis ist übereinstimmend mit Versuchsreihen mit unbelasteten Freilandsedimenten unterschiedlicher Korngröße (Höss et al. 1999). Grobes Sediment (Grobsand, Feinkies) besitzt eine geringere Oberfläche als feines Sediment, wodurch auch weniger Bakterien, die den Nematoden als Nahrungsquelle dienen, in Kontakt mit sedimentgebundenen Schadstoffen kommen. Zudem bietet sich für die Nematoden selbst eine geringere Wahrscheinlichkeit, Schadstoffe über die Körperoberfläche aufzunehmen. Außerdem steht über eine geringere Oberfläche des groben Sediments eine geringere Menge an Nahrung in Form von Bakterien zur Verfügung.

Die Summe der PAK (wie auch die Gehalte der einzelnen PAK) scheinen keinen Einfluss auf die Testparameter zu haben. Dagegen sind die Schwermetallbelastungsklassen (nach Wachs und nach LAWA) signifikant positiv mit den Hemmwerten im Nematodentest korreliert, was zeigt, dass höhere Hemmwerte in stärker mit Schwermetallen belasteten Sedimenten auftraten. Im einzelnen waren die Elementgehalte von Al, Cr und Fe signifikant positiv mit den Hemmwerten aller Parameter korreliert, mit der Wachstumshemmung war zudem Ni signifikant positiv korreliert. Ein positiver Zusammenhang für die Hemmung der Eizahl und der Reproduktion zeigte sich zusätzlich mit As, Cu, Ni, Mn und Zn, wobei die Hemmung der Reproduktion auch noch mit Cd, Pb und Tl positiv korreliert war, also am empfindlichsten auf diese Parameter reagierte.

Außerdem zeigte sich, dass die vier Parameter des Nematodentests untereinander jeweils signifikant korreliert sind, d.h. ähnliche Informationen liefern. Die Reproduktion scheint allerdings darüber hinaus durch weitere Faktoren beeinflusst zu werden, da sie die niedrigsten Korrelationskoeffizienten mit den anderen Parametern aufwies.

### Chironomidentest

Auch für den Chironomidentest wurden Korrelationen zwischen den abiotischen Sedimentparametern und den Testergebnissen ermittelt. Die Korrelationskoeffizienten der wichtigsten abiotischen Parameter mit den Parametern des Chironomidentests sind in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23. Korrelationsmatrix der Hemmwerte der Parameter im Chironomidentest (C) und der wichtigsten abiotischen Parameter: Pearson-Korrelationskoeffizienten, \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ . C ges: totaler Kohlenstoffgehalt, C org: organischer Kohlenstoffgehalt, EWR: Entwicklungsrate, GV: Geschlechterverhältnis, KG: Korngröße, BK W/LAWA: Schwermetallbelastungsklasse nach Wachs bzw. LAWA.

	C Mortalität	C EWR	C EmT <sub>50</sub>	C ges	C org	KG	PAK Summe	BK W	BK LAWA
C GV	0,23**	0,19**	0,10	0,00	0,00	0,07	0,12	0,03	0,10
C Mortalität		0,58**	-0,23**	0,02	0,04	0,22**	0,12	0,15*	0,19**
C EWR			-0,56**	-0,13	-0,05	0,05	0,01	0,03	0,06
C EmT <sub>50</sub>				0,01	0,00	0,03	0,08	0,17*	0,12

Aus den erhaltenen Daten geht hervor, dass der Gesamtkohlenstoffgehalt und der Anteil an organischem Kohlenstoff der Sedimente keinen signifikanten Einfluss auf die vier Testparameter des Chironomidentests haben. Allerdings besteht eine geringe negative Korrelation zwischen der Entwicklungsrate und dem Kohlenstoffgehalt, d.h. die Hemmwerte im Chironomidentest nehmen, wie auch schon für die Nematoden beschrieben, mit steigendem Kohlenstoffanteil zu. In Untersuchungen mit dotiertem Kunstsediment mit unterschiedlich hohem organischen Kohlenstoffgehalten zeigte sich ein deutlicher Anstieg aller Hemmwerte des Chironomidentest mit steigenden TOC-Werten (Szyposzynska 2002). Dies scheint zunächst verwirrend, mag aber mit dem Fressverhalten der Testorganismen zusammenhängen. Die Larven der Zuckmücke nehmen Detritus und kleine Sedimentpartikel auf. So erscheint es möglich, dass gebundene Schadstoffe ingestiert werden und über den Magen-Darm-Trakt aufgenommen werden können.

In Laborversuchen konnte gezeigt werden, dass die Larvalentwicklung bei *Chironomus riparius* (Vos et al. 2002) und *C. tentans* (Sibley et al. 1997) in Sedimenten mit kleinen Korngrößen und limitiertem Futterangebot geringer ist als in größeren Sedimenten.

Während in feinen Sedimenten zusätzlich zur Nahrung kleine mineralische Sedimentpartikel ingestiert werden, kommt es in Sedimenten, deren Partikel zu groß sind, um verschluckt zu werden, ausschließlich zu einer Ingestion von Nahrungspartikeln. So kann es zu einer Reduktion der Nahrungsausbeute in Sedimenten mit geringeren Korngrößen kommen. Bei ausreichendem Futterangebot zeigt die Korngröße jedoch keinen Effekt auf die Larvalentwicklung von *C. riparius* (Vos et al. 2002).

Tabelle 23 zeigt keine Korrelation zwischen der Korngröße und der Entwicklung der Larven, was den Beobachtungen von Vos et al. (2002) entspricht, denn die Testansätze werden mit einer ausreichenden Futtermenge versetzt. Zudem sind anorganische Partikel in Freilandsedimenten oft mit organischem Material assoziiert, welches ebenfalls als Nahrung aufgenommen und so den nachteiligen Effekt geringer Partikelgrößen ausgleichen kann (Vos et al. 2002). Anders als im Nematodentest besteht zwischen der Korngröße und dem Parameter Mortalität eine signifikant positive Korrelation. Je gröber das Sediment, desto größer ist die Hemmung der Emergenz. Bei groben Sedimenten ist möglicherweise ein Festsetzen der frühen Larvenstadien sowie der Bau von Wohnhöhlen erschwert, was zu einer höheren Mortalität in den frühen Phasen der Larvalentwicklung führen kann. Diese Hypothese wird durch die Beobachtungen von Vos et al. (2002) unterstützt, die zeigen, dass Larven des zweiten bis vierten Larvenstadiums sich zwar als fähig erwiesen, Wohnhöhlen sowohl in schlammigen als auch in sandigen Sedimenten zu konstruieren, die Röhren waren in gröberen Sedimenten (550-1200 µm) allerdings wesentlich instabiler als solche, für die kleinere Partikel zur Verfügung standen. Für *Chironomus* ist das Nahrungsangebot in einem Sediment und damit der Anteil an organischem Kohlenstoff wichtiger als die Korngröße (Sibley et al. 1997). Vos et al. (in press) postuliert zudem, dass der Gehalt an organischem Kohlenstoff und die Korngröße in einer natürlichen Umwelt einen interagierenden Faktor darstellt, der bestimmend ist für Vorkommen und Verbreitung detritivorer Chironomiden-Larven.

Die Summenkonzentration der PAK scheint auf den Ausgang des Chironomidentests keinen Einfluss zu haben. Obwohl der Parameter Mortalität signifikante Korrelationen zwischen einzelnen PAK aufweist, ist dieser Parameter nicht mit der Summe der PAK korreliert.

Dagegen zeigen die Schwermetallbelastungsklassen (nach Wachs und nach LAWA) signifikant positive Korrelationen mit den Hemmwerten der Emergenz. Dies zeigt, dass in stärker mit Schwermetallen belasteten Sedimenten eine höhere Mortalität ermittelt wurde. Im einzelnen zeigten sich für diesen Endpunkt signifikante Korrelationen mit den Metallen Ag, As, Cd, Cu, Pb, Tl und Zn. Zu Al besteht eine negative Beziehung. Mit steigenden Aluminium-Konzentrationen nimmt demnach die Mortalität in den Proben ab. Zwischen der Entwicklungsrate und der Blei-Konzentration besteht ebenfalls eine positive Korrelation, d.h. mit steigenden Gehalten dieses Metalls in den Sedimenten nimmt die Hemmung der Entwicklungsrate zu. Das Geschlechterverhältnis

ist lediglich positiv mit As korreliert. Der mittlere Schlupfzeitpunkt ( $EmT_{50}$ ) korreliert signifikant mit der Schwermetallbelastungsklasse nach Wachs und steht zudem in einer signifikant positiven Korrelation zu den Metallen As, Cd, Cu, Ni, Pb sowie Tl. Wird der mittlere Schlupfzeitpunkt für Männchen und Weibchen getrennt ermittelt, zeigen sich deutliche Unterschiede in den Korrelationen zwischen den Geschlechtern. Während der mittlere Schlupfzeitpunkt der Männchen mit vielen Metallen, vielen PAK und auch der Summenkonzentration der 16 EPA-PAK positiv korreliert ist, zeigt sich für die Weibchen lediglich eine positive Korrelation zu As. Ferner ist der  $EmT_{50}$ -Wert für die Weibchen mit Al sowie allen vier Parametern des Nematodentests negativ korreliert.

### 6.2.3 Salinität

Für Sedimente, die aus dem ästuarinen bzw. bereits aus dem marinen Bereich von Elbe (50, 51) und Weser (7-11) stammen, wurden mittlere bis hohe Hemmwerte im Nematodentest festgestellt. Da an diesen Probenahmestellen keine Belastung durch Schwermetalle oder PAK festzustellen war, sind diese Hemmungen jedoch möglicherweise auf die dort bestehende Salinität (alpha-Mesohalinikum 8-18‰ bzw. Polyhalinikum 18-30‰) zurückzuführen. Zwar zeigt sich *C. elegans* als äußerst tolerant gegenüber Einflüssen wie z.B. dem pH-Wert (Khanna et al. 1997) oder anderen abiotischen Parametern (Höss et al. 1999), jedoch kann dieser Organismus als typischer Süßwasser- bzw. Bodenbewohner den osmotischen Stress ästuariner bzw. mariner Sedimente nur in begrenztem Maße (bis zu maximal 20‰) verkraften (Khanna et al. 1997).

Für den Chironomidentest bietet sich ein etwas anderes Bild. In keiner der betreffenden Proben wurde eine erhöhte Mortalität festgestellt. Die Probe 50 der Elbe und die Sedimente 7 bis 9 sowie 11 der Weser riefen im Test mit der Zuckmücke kaum Hemmungen hervor. Stärkere Reaktionen wurden demgegenüber im Sediment Mündung 4 (10) der Weser sowie dem Elbsediment 51 (Abbildung 13, Abbildung 43) festgestellt. Diese hohen Hemmwerte (ÖZ III bzw. V) können durch die hier gemessenen Parameter, wie Schwermetall- oder PAK-Belastung, nicht ausreichend erklärt werden.

Für *Chironomus riparius* ist bekannt, dass sie extreme Umweltbedingungen, wie niedrige pH-Werte und erhöhte Salinität, überleben können (Parma & Krebs 1977). In Freilandsammlungen (Bervoets et al. 1996) wurde *C. riparius* in Habitaten mit Salinitäten zwischen 0,5 und 7,4‰ gefunden.

In Laborversuchen mit Chironomiden des vierten Larvenstadiums konnte Bervoets et al. (1996) nachweisen, dass bei Salinitäten bis zu 12‰ über 75% der eingesetzten Tiere überlebten. In diesem Experiment wurde ein deutlich verlangsamter Schlupf der Tiere beobachtet, was in Kontrast zu den eigenen Ergebnissen steht. Allerdings

arbeiteten Bervoets et al. (1996) mit Tieren, die während der Winterruhe gesammelt und im Labor plötzlich hohen Temperaturen ausgesetzt wurden. Möglicherweise wurde so das Emergenzverhalten der Tiere gestört.

#### 6.2.4 Korrelation der beiden biologischen Tests

Um zu ermitteln, ob die biologischen Testverfahren vergleichbare oder unterschiedliche Reaktionen auf die Sedimente zeigen, wurden Korrelationen der untersuchten Endpunkte durchgeführt. Die Korrelationskoeffizienten nach Pearson sind in Tabelle 24 angeführt.

Tabelle 24. Korrelationsmatrix der Hemmwerte der Parameter des Nematodentests (N) und des Chironomidentests (C): Pearson-Korrelationskoeffizienten, \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ .

	<b>N Wachstum</b>	<b>N Eibildung</b>	<b>N Eizahl</b>	<b>N Reproduktion</b>
<b>C Entw. Rate</b>	-0,14*	-0,14*	-0,22**	-0,24**
<b>C Mortalität</b>	-0,21**	-0,26**	-0,24**	-0,24**
<b>C GV</b>	-0,10	-0,12	-0,10	-0,01
<b>C EmT<sub>50</sub></b>	-0,03	-0,00	-0,04	-0,10

Wie aus Tabelle 24 ersichtlich ist, bestehen zwischen den Parametern EmT<sub>50</sub>-Wert und Geschlechterverhältnis des Chironomidentests und den Endpunkten des Nematodentests keine signifikanten Korrelationen. Der Parameter Mortalität (Hemmung der Emergenz) sowie die Entwicklungsrate weisen zwar signifikante Korrelationen mit allen Endpunkten des Nematodentests auf, allerdings sind diese negativ. Das bedeutet, je mehr die beiden Parameter Emergenz und Entwicklungsrate des Chironomidentests gehemmt sind, desto geringer fallen die Hemmungen im Nematodentest aus. Die Informationen, die die beiden verwendeten Tests liefern, sind demnach unterschiedlich. Um die Toxizität eines Sediments umfassend bewerten zu können, ist der Einsatz verschiedener biologischer Testverfahren, beispielsweise der beiden hier vorgestellten Biotests, nötig.

Welche Sedimentbeschaffenheiten das Resultat des jeweiligen Biotests beeinflussen, wurde in Kapitel 6.2.2 mit Hilfe von Korrelationen der Endpunkte der Testverfahren mit ausgewählten abiotischen Parametern ermittelt.

### 6.2.5 Faktoren-/Hauptkomponentenanalyse

Mit den abiotischen Parametern Korngröße, organischer Kohlenstoffgehalt, Summenkonzentration der PAK und Schwermetallbelastungsklasse nach LAWA sowie den Daten des Nematoden- und Chironomidentests wurde eine Faktorenanalyse durchgeführt. Nach der Rotation (Varimax mit Kaiser-Normalisierung) wurden drei Komponenten extrahiert (Tabelle 25).

Tabelle 25. Ergebnisse der Faktorenanalyse. C<sub>org</sub>: organischer Kohlenstoffgehalt, BK: Schwermetall-Belastungsklasse, C: Chironomidentest, N: Nematodentest.

	Komponenten		
	1	2	3
<b>Korngröße</b>	-0,47		
<b>C<sub>org</sub></b>		0,72	
<b>PAK Summe</b>		0,78	
<b>BK LAWA</b>		0,87	
<b>N Wachstum</b>	0,90		
<b>N Eizahl</b>	0,89		
<b>N Eibildung</b>	0,94		
<b>N Reproduktion</b>	0,61		
<b>C Mortalität</b>			0,74
<b>C Entwicklungsrate</b>			0,87
<b>C EmT<sub>50</sub>-Wert</b>			0,70
<b>C Geschlechterverhältnis</b>			-0,36

Auf die erste Komponente laden jeweils signifikant die Parameter des Nematodentests sowie die Korngröße, auf die zweite die abiotischen Parameter organischer Kohlenstoffgehalt, Summenkonzentration der PAK und Schwermetallbelastungsklasse nach LAWA, und auf die dritte und letzte Komponente schließlich laden die Parameter des Chironomidentests.

Die Endpunkte der beiden in der vorliegenden Studie verwendeten Biotests laden auf unterschiedliche Komponenten. Demnach lässt sich ableiten, dass der Nematodentest andere Informationen liefert als der Chironomidentest. Ferner wird deutlich, dass die biologischen Tests andere Hinweise über die Charakteristik eines Sediments liefern als

die Mehrzahl der abiotischen Parameter. Durch die Hauptkomponentenanalyse wird die Aussage der Korrelation unterstützt, dass der Einsatz beider Tests erforderlich ist.

Die erste Komponente, und damit hauptsächlich die Parameter des Nematodentests, erklärt 26,5% der Gesamtvarianz, die dritte Komponente, die den Endpunkten des Chironomidentests entspricht, erklärt 17,0%. Die Summe beider Komponenten erklärt damit 43,5% der Gesamtvarianz der Daten.

Zusätzlich wurden verschiedene Analysen mit dem Statistikprogramm Canoco (Version 4.0, Canonical Community Ordination) durchgeführt: PCAs (principal component analysis) und RDAs (redundancy analysis). Bei einer RDA (direkte Gradientenanalyse) wird im Unterschied zu einer Hauptkomponentenanalyse (indirekte Gradientenanalyse) zusätzlich auf sogenannte erklärende Variablen (abiotische Parameter) Rücksicht genommen.

Abbildung 50 zeigt beispielhaft die Ergebnisse einer RDA zum Vergleich der Faktorladungen der Biotestergebnisse und einer Auswahl von abiotischen Parametern. Daraus ergibt sich, dass die Parameter der beiden Biotests deutlich voneinander getrennt liegen. Im Falle des Nematodentests ist der Parameter Reproduktion noch einmal von den übrigen Parametern abgetrennt, und für den Chironomidentest zeigt sich eine Trennung der drei Parameter für den  $EmT_{50}$  von den übrigen Parametern. Zwischen der Mortalität und der Korngröße besteht ein positiver Zusammenhang, ebenso (negativ) mit den Nematodentestparametern. Der Kohlenstoffgehalt zeigt den engsten Zusammenhang mit der Reproduktion im Nematodentest, weiterhin mit der Eizahl. Diese Ergebnisse bestätigen weitgehend die durchgeführten Korrelationen.



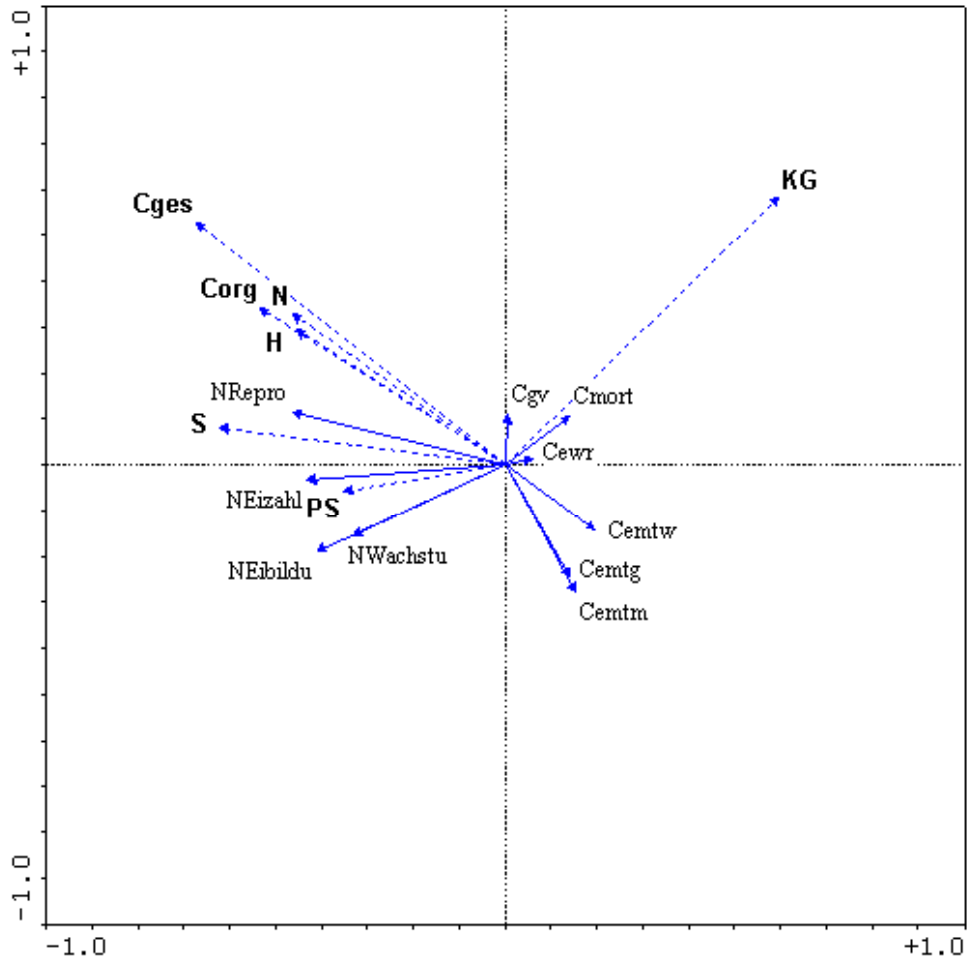


Abbildung 50. Ergebnisse einer RDA zum Vergleich der Ladungen von Biotestergebnissen und abiotischen Parametern. N: Nematodentest, C: Chironomidentest, gv: Geschlechterverhältnis, mort: Mortalität, ewr: Entwicklungsrate, emtw: EmT<sub>50</sub> Weibchen, emtm: EmT<sub>50</sub> Männchen, emtg: EmT<sub>50</sub> gesamt, C<sub>ges</sub>: gesamter Kohlenstoffgehalt, C<sub>org</sub>: organischer Kohlenstoffgehalt, H: Wasserstoffgehalt, N: Stickstoffgehalt, S: Schwefelgehalt, KG: Korngröße nach Siebung, PS: Korngröße nach particle sizer.

Abbildung 51 stellt die Ergebnisse einer PCA dar, die die Biotestdaten mit ausgewählten abiotischen Parametern (Schwermetallen) in Bezug bringt. Demnach ergibt sich wiederum eine deutliche Auftrennung der beiden Biotests (Nematoden und Chironomiden) und ihrer Parameter. Die Ergebnisse der Analyse zeigen gute Übereinstimmungen mit den Ergebnissen der Korrelationen von Metallen und Biotestdaten (vgl. Tabellen 22, 23).

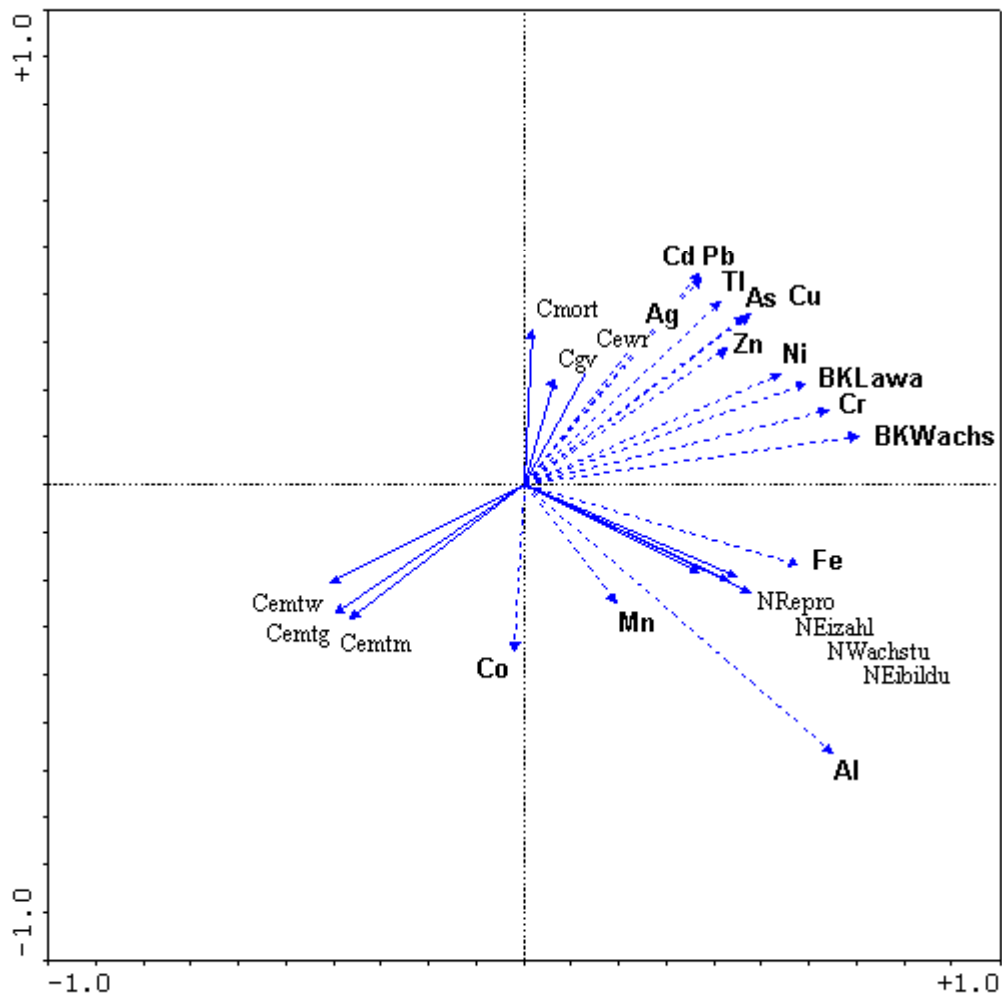


Abbildung 51. Ergebnisse einer PCA zum Vergleich von Biotestergebnissen und Metallgehalten. N: Nematodentest, C: Chironomidentest, gv: Geschlechterverhältnis, mort: Mortalität, ewr: Entwicklungsrate, emtw: EmT<sub>50</sub> Weibchen, emtm: EmT<sub>50</sub> Männchen, emtg: EmT<sub>50</sub> gesamt, BK Lawa: Schwermetall-Belastungsklasse nach LAWA.

### 6.2.6 Fuzzy logic

Die Bewertungen der untersuchten Sedimente durch die beiden erarbeiteten Klassifikationssysteme (Nematoden- und Chironomidentest) wurden zudem mit Hilfe eines speziellen Datenverarbeitungsprogramms (Data Engine, MIT GmbH Aachen) analysiert, welches auf der Fuzzy Logic Technologie basiert. Dieses Programm ermöglicht die Verrechnung „unscharfer Mengen“.

Als Beispiel sei ein Sediment gewählt, welches durch eine Wachstumshemmung von 31% im Nematodentest in die ökologische Zustandsklasse III eingeteilt wird. Die Toxizität dieses Sediment ist allerdings einem Sediment mit 29% Hemmung ähnlicher als einem Sediment mit 49% Hemmung, wobei ersteres durch die scharfe Klassenzuordnung Klasse II zufällt, während letzteres in Klasse III fällt. Durch die Fuzzy Logic kann hier die jeweilige prozentuale Zugehörigkeit zu den Zustandsklassen berücksichtigt werden, wodurch die ursprünglichen Biotestergebnisse relativ lange für die Berechnung der Klassifizierung erhalten bleiben.

Dazu wurde in Anlehnung an Heise et al. (2000) auf Grundlage der Beschreibung der jeweiligen ökologischen Zustandsklassen (durch Hemmwerte im Biotest bzw. deren Verrechnung im Klassifikationsschema) ein Expertensystem erstellt. Dieses Expertenwissen ging dann als Regelbasis in die Berechnung ein. Durch die Verrechnung der „unscharfen Zuordnungen“ der Daten kann sowohl der Anteil der Zugehörigkeit einer Probe zu einer Klasse ermittelt werden, als auch – durch einen letzten Defuzzifizierungsschritt – wieder eine absolute Zuteilung vorgenommen werden.

Für einen Klassifikationsansatz der Sedimentqualität hat dieses Vorgehen den Vorteil, dass keine scharfe Bewertung der Hemmdaten erfolgt, sondern vielmehr fließende Übergänge zwischen den Klassen ermöglicht werden. Zudem können die einzelnen Parameter entsprechend ihrer Vertrauensbereiche und Sensitivitäten gewichtet werden.

Da hier nicht alle Ergebnisse der Fuzzy-Klassifizierung dargestellt werden können, soll exemplarisch die „herkömmliche“ Klassifizierung der Oder mit der Fuzzy-Einteilung verglichen werden.

Abbildung 52 verdeutlicht die Unterschiede der beiden Bewertungsmöglichkeiten für den Nematodentest. Während einige Sedimente (z.B. Sediment 4) eindeutig einer ökologischen Zustandsklasse angehören, zeigt sich für andere Sedimente eine weniger eindeutige Zuordnung zu den ökologischen Zustandsklassen: Sediment 2 beispielsweise wird mit einer Zugehörigkeit von jeweils 1,0 gleichzeitig den Zustandsklassen III und IV zugeordnet. Sediment 6 wird zwar überwiegend der Klasse II zugeteilt, jedoch bestehen zudem, wenn auch in geringem Umfang, sowohl Zugehörigkeiten zur Klasse I und Klasse III. So zeigt sich im vorliegenden Bewertungssystem kein grundlegender Unterschied in der endgültigen Zuordnung zu den ökologischen Zustandsklassen, jedoch wird in einzelnen Fällen deutlich die Relativität der erhaltenen Ergebnisse aufgezeigt.

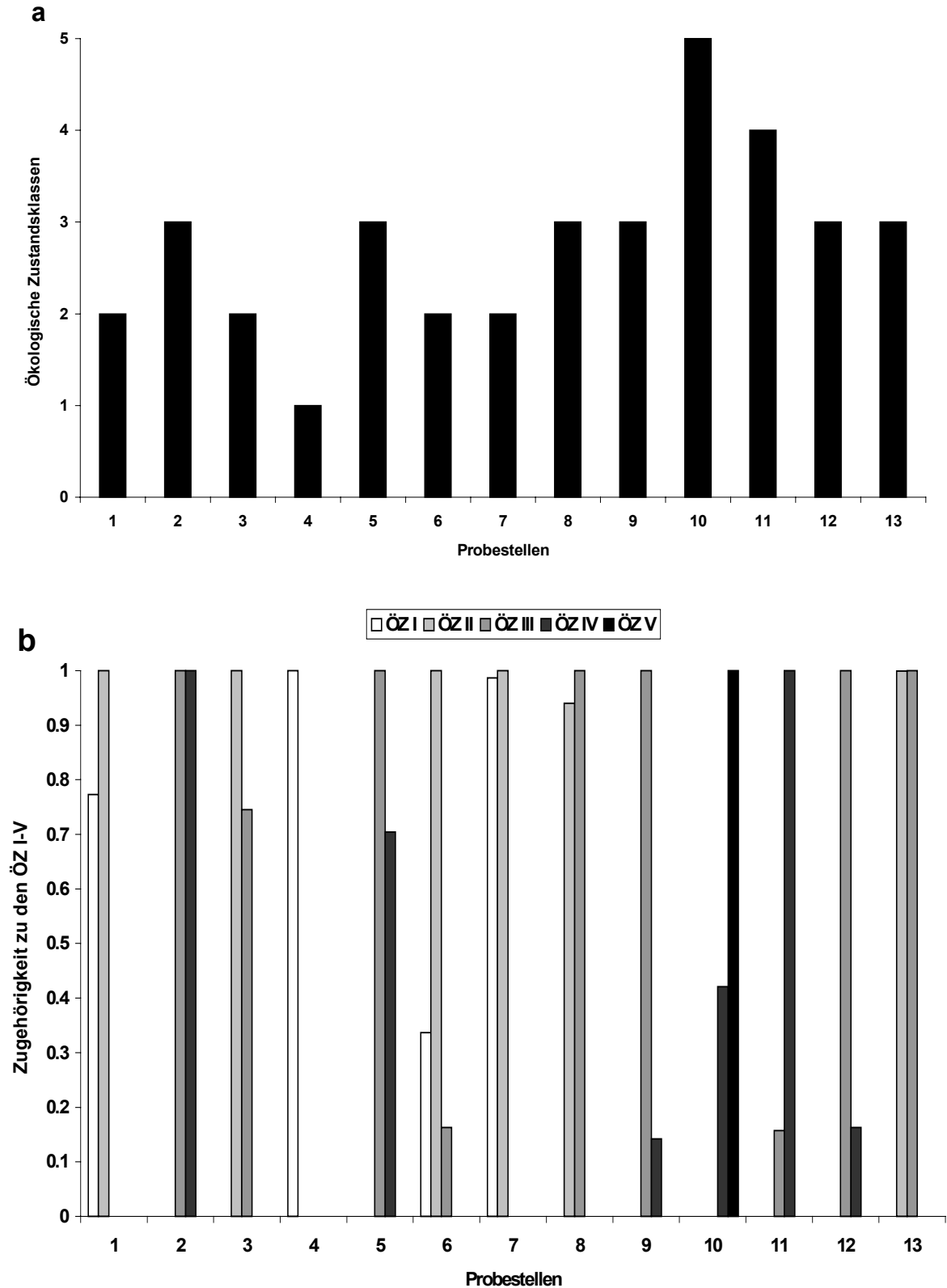


Abbildung 52. Vergleich der „herkömmlichen“ Klassifizierung der Odersedimente (a) mit denen einer Fuzzy Logic-basierten Bewertung (b) für den Nematodentest. ÖZ: Ökologische Zustandsklassen.

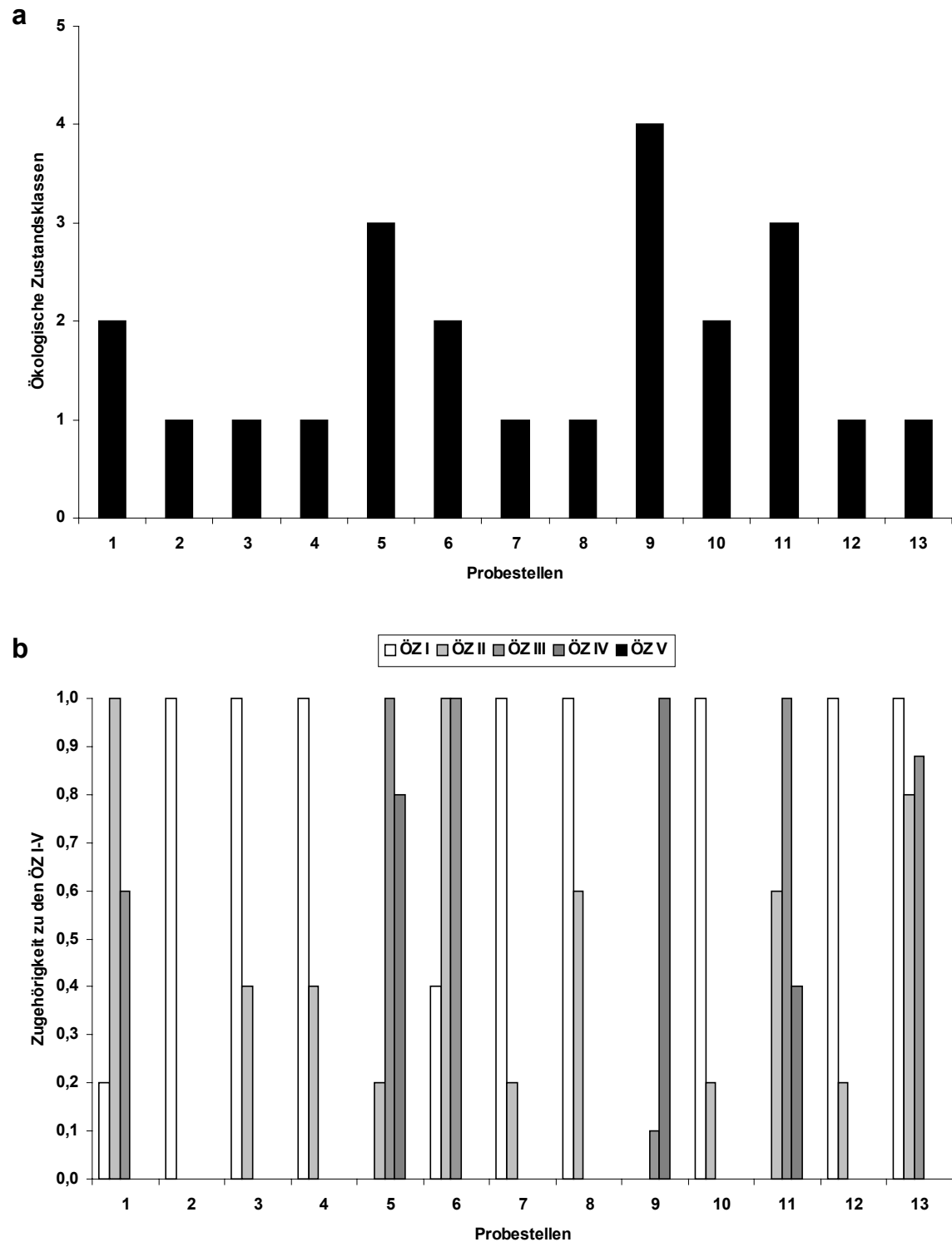


Abbildung 53. Vergleich der „herkömmlichen“ Klassifizierung der Odersedimente (a) mit denen einer Fuzzy Logic-basierten Bewertung (b) für den Chironomidentest. ÖZ: Ökologische Zustandsklassen.

Während Abbildung 53a für die Daten des Chironomidentests die Verteilung nach dem herkömmlichen Verfahren darstellt, zeigt Abbildung 53b, wie die Fuzzy Logic-basierte Bewertung die Zugehörigkeit der einzelnen Odersedimente zu den ökologischen Zustandsklassen berechnet. Sediment 1 beispielsweise wird durch das herkömmliche System der ökologischen Zustandsklasse II zugeordnet. Durch die Fuzzy Logic-basierte Bewertung wird dieses Ergebnis unterstützt, zusätzlich zeigt sich jedoch, dass dieses Sediment ebenfalls in Anteilen der Klasse I sowie der Klasse III zugehörig ist. Ähnlich verhält es sich mit Sediment 6. Hier erfolgt eine Zuordnung über die Fuzzy Logic zu gleichen Teilen in die Klassen II und III, sowie zusätzlich zu einem geringen Anteil in die Klasse I; im herkömmlichen System wird die ökologische Zustandsklasse II vergeben. Es wird deutlich, dass die beiden Verfahren bei der Einteilung der Proben auch für den Chironomidentest generell ähnliche Ergebnisse liefern. Mit Hilfe der Fuzzy Logic wird jedoch eine wesentlich differenziertere Zuordnungen zu den ökologischen Zustandsklassen möglich. Etwaige Ähnlichkeiten von Sedimenten treten deutlicher zu Tage.

### **6.2.7 Ortsunabhängige Klassifizierung**

Eine der generellen Schwächen der ökotoxikologischen Klassifikation ist ihre Abhängigkeit vom jeweiligen Datensatz. Aufgrund der vergleichenden Auswertung kann es zu Schwierigkeiten der Übertragbarkeit auf andere Systeme kommen. Dieses Problem wurde in der vorliegenden Arbeit durch die deutschlandweite Beprobung und die große Probenanzahl umgangen. Zudem erfolgte die Einteilung der ökologischen Zustandsklassen über das iterative Verfahren nach Erhardt. Dieses Verfahren wurde in der Euroregion Neisse bereits erfolgreich flächendeckend zur Klassifizierung der Elementgehalte in Moosen als Biomonitore nach atmosphärischer Deposition angewendet (Wappelhorst 1999). Zur Validierung der Ergebnisse wurden in dieser Studie die nach Erhardt erhaltenen Daten mit Depositionsdaten von den selben Moosen aus verschiedenen stark belasteten Regionen verglichen. Daten aus Wäldern des skandinavischen Hinterlandes, bei denen von einer sehr geringen Belastung auszugehen ist, lagen im Bereich der durch das Erhardt-Verfahren ermittelten Hintergrundbelastung. Vergleiche mit Monitoren aus hoch depositionsbelasteten Regionen, beispielsweise dem Ruhrgebiet, ergaben ebenfalls eine gute Übereinstimmung mit den durch das iterative System ermittelten hohen Belastungsklassen. Eine Übertragung des iterativen Verfahrens nach Erhardt auf größere Grundgesamtheiten ist durch Wappelhorst (1999) erfolgreich durchgeführt worden und erscheint auch für das vorliegende Bewertungssystem möglich.

### **6.2.8 Kontrollsedimente**

Das ideale Kontrollsediment unterscheidet sich von dem Prüfgut nur durch den Schadstoffgehalt (Ahlf et al. 1999). Das heißt, ein Kontrollsediment sollte einen ähnlichen geogenen Hintergrund und eine ähnliche chemisch-physikalische Zusammensetzung aufweisen wie die zu untersuchende Probe. Vor diesem Hintergrund wird immer wieder diskutiert, ob natürlichen Referenzproben der Vorzug gegenüber künstlichen Kontrollen gegeben werden sollte. Artificielle Kontrollmischungen sind zwar den natürlichen Bedingungen weitestgehend nachempfunden, sie sind allerdings nicht in der Lage, den geogenen und chemisch-physikalischen Eigenheiten des jeweiligen Untersuchungsgutes Rechnung zu tragen. Aus diesen Überlegungen heraus wären natürliche Kontrollen den artifiziellen immer vorzuziehen. Allerdings ergeben sich damit auch einige Probleme. Zunächst einmal stellt sich die Frage: was ist ein unbelasteter Referenzstandort und welche Kriterien muss er bezüglich der chemischen Analytik erfüllen? Nicht alle Schadstoffe sind analytisch nachweisbar. Für biologische Testsysteme sind z.T. Förderungen der Parameter durch geringe Schadstoffkonzentrationen nachgewiesen (Hormesis-Effekt). Zudem muss ein Kontrollsediment, um einen Vergleich gewährleisten zu können, in gleichbleibender Qualität und ausreichender Menge zur Verfügung stehen. So finden sich trotz einiger Nachteile auch einige Vorteile der artifiziellen Mischung: sie weisen, unabhängig von Jahresgängen, eine gleichbleibende Zusammensetzung und Qualität auf, sie sind mit geringem Kosten- und Zeitaufwand für jedes Labor in großen Mengen zugänglich, und sie ermöglichen nicht nur einen regionalen, sondern auch einen nationalen und internationalen Vergleich. In dieser Studie wurde dem artifiziellen Kontrollmischungen nach OECD bzw. DIN aus den genannten sowie logistischen Gründen der Vorrang gegeben. Sinnvoll wäre allerdings eine Ergänzung der artifiziellen Kontrollmischungen durch zusätzliches Einbeziehen natürlicher Referenzstandorte.

### **6.2.9 Sensitivität und Anwendbarkeit der beiden Biotests**

Um zu ermitteln, welcher der beiden Organismen sensitiver auf die unterschiedlichen Sedimentparameter und –schadstoffe reagiert, wurde in einem direkten Vergleich gegenübergestellt, wie oft der einzelne Biotest eine ökologische Zustandsklasse vergibt. Nachdem alle 206 Sedimente den ökologischen Zustandsklassen zugeordnet worden waren, wurde für beide Organismen berechnet, welchen Anteil die ökologischen Zustandsklassen I-V innerhalb der Ergebnisgesamtheit einnehmen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 54 dargestellt.

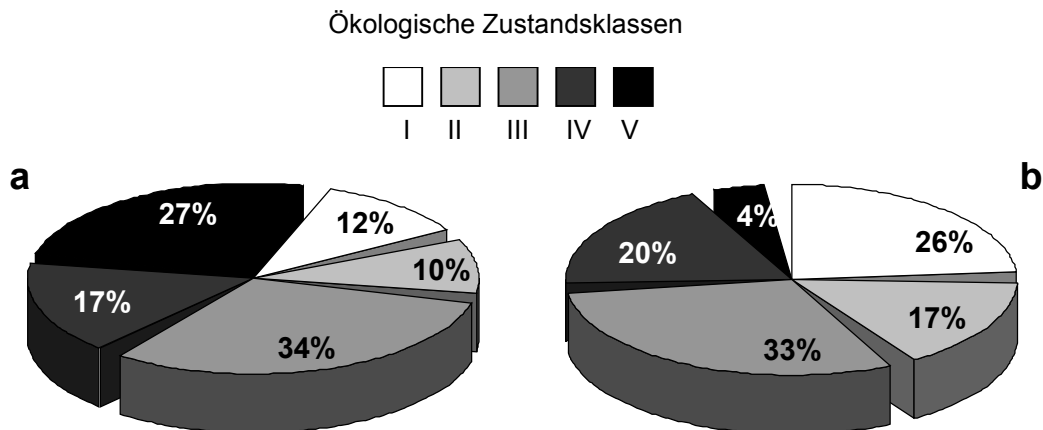


Abbildung 54. Anteil [%] der ökologischen Zustandsklassen am Ergebnis des Nematodentests (a) und des Chironomidentests (b).

Durch *Caenorhabditis elegans* wurden 12% aller 206 Sedimente der ökologischen Zustandsklasse I zugeordnet, 10% der ökologischen Zustandsklasse II, 34% und damit der Hauptanteil der Klasse III sowie 17% und 27% den Klassen IV bzw. V. Damit sind weniger als 1/4 der Sedimente in einem sehr guten bis guten Zustand, für die restlichen 3/4 besteht bereits Handlungsbedarf.

Im Chironomidentest entfallen 27% der Sedimente auf die ökologischen Zustandsklasse I und 17% auf die ökologischen Zustandsklasse II, damit sind nahezu die Hälfte der untersuchten Sedimente in einem sehr guten bis guten ökologischen Zustand. Wie beim Nematodentest entfällt mit 33% der Hauptteil der Sedimente auf die ökologischen Zustandsklasse III. Auch der Anteil an Sedimenten, den der Chironomidentest der ökologischen Zustandsklasse IV zugeordnet hat, ist mit 20% dem des Nematodentests sehr ähnlich.

Große Unterschiede gibt es bei der Zuordnung der Klasse V. Diese vergibt der Chironomidentest lediglich in 4% der Fälle. Der sensitivere Organismus bezüglich des hier vorgestellten Bewertungskonzepts ist damit eindeutig *C. elegans*.

Tabelle 26 stellt einige generelle Pro und Contra der gezeigten biologischen Testverfahren zusammen: Während Material- und Zuchtaufwand etwa gleich groß sind und auch die Vorbereitungszeit für beide Tests ähnlich ist, unterscheiden sie sich vor allem bei der Vorbereitungszeit, bei der Testdauer, beim Platzbedarf, bei der Flexibilität in der Durchführung des Tests sowie bei der Erfahrung, die der Anwender mitbringen muss. Der Chironomidentest muss, einmal angesetzt, 28 Tagen lang täglich betreut werden. Im Gegensatz dazu kann der drei Tage kurze Nematodentest nach dem Testende gekühlt oder eingefroren bis zur definitiven Auswertung einige Tage bis Wochen gelagert werden.



Tabelle 26. Vor- und Nachteile der beiden Biotests (0 bedeutet gleicher Aufwand)

Nematodentest		Chironomidentest
0	Zuchtaufwand	0
0	Materialaufwand	0
-	Vorbereitungszeit	+
+	Testdauer	-
+	Platzbedarf	-
+	Flexibilität	-
-	Erfahrung	+

So ist es möglich, den Testansatz und die Auswertung flexibler zu gestalten. Dafür nimmt diese Auswertung mehr Zeit in Anspruch und setzt wesentlich mehr Erfahrung voraus als die Durchführung des Chironomidentests. Während der Nematodentest in einem Wärmeschrank durchgeführt werden kann, wird für die Durchführung des Chironomidentests ein Klimaraum benötigt.

Generell sind beide hier vorgestellten Biotests für die Klassifikation von Sedimenten geeignet. Beide Tests sind jedoch alleine nicht in der Lage, ein vollständiges und umfassendes Abbild der Sedimentbelastung zu geben und sollten daher immer in Kombination angewendet werden. Bei der Anwendung einer größeren Testbatterie, wie sie beispielsweise von Ahlf et al. (1999) vorgestellt wurde, lieferten der Nematoden- und der Chironomidentest annähernd redundante Informationen. In diesem Fall wurde auf den platz- und zeitintensiveren Chironomidentest verzichtet. Werden weitere biologische Testverfahren zur Charakterisierung der Proben eingesetzt, ist eine solche Reduktion, auch in Bezug auf die höhere Sensitivität von *Caenorhabditis elegans*, nachvollziehbar und sinnvoll.

### 6.2.10 Handlungsempfehlungen

Die Sedimente einer Probenahmestelle können zum Teil erhebliche Unterschiede in Bezug auf ihre geogenen, chemischen und physikalischen Eigenschaften aufweisen. Dieser Heterogenität wurde, in Anlehnung an Tippmann & Heininger (2001), durch die Entnahme von Mischproben begegnet. Nach erfolgter Homogenisierung wurden, um der Varianz der biologischen Tests gerecht zu werden, sechs (Nematodentest) bzw. vier (Chironomidentest) Replikate angesetzt. Auf eine zeitlich versetzte Wiederholung

der Ansätze mit dem gleichen Sediment wurde aufgrund eines möglichen Lagerungseffekts beim Probenmaterial, das die Untersuchungsergebnisse zusätzlich beeinflussen konnte, verzichtet.

In der aquatischen Toxikologie beruhen einige Verfahren auf der Bestimmung nicht mehr toxischer Verdünnungen, wie z.B. der pT-Wert-Methode (potentia toxicologiae) nach Krebs (2000). Bei dieser Methode werden Proben in geometrischer Reihe verdünnt, und der binäre negative Logarithmus der ersten Verdünnungsstufe, deren Hemmwert 20% unterschreitet, dient der toxikologischen Klassifizierung in Form des pT-Werts. Bei Sedimentproben stellt sich allerdings die Frage, womit ein Sediment verdünnt werden kann, ohne die geogenen und chemisch-physikalischen Eigenschaften der Probe gravierend zu verändern, und ob eine solche Verdünnungsstufe das ursprüngliche Sediment noch genügend abbildet.

In der vorliegenden Studie ist durch das deutschlandweite Probenahmernetz eine umfassende Datenmatrix entstanden, die die Möglichkeit bietet, den ökotoxikologischen Zustand der Sedimente vergleichend darzustellen, vor allem, da die Probenahmestellen größtenteils mit denen der Landesumweltämter und damit der routinemäßigen Anwender identisch sind. Bei den für die vorliegende Klassifizierung ausgewählten Biotests handelt es sich um weitgehend standardisierte und häufig bereits etablierte Testverfahren, die eine schnelle Anwendbarkeit des Klassifizierungssystems ermöglichen. Für alle auf OECD bzw. DIN basierenden Datensätze kann auch nachträglich eine Einteilung in die ökologischen Zustandsklassen erfolgen und macht so eine rückwirkende Klassifizierung der Sedimente möglich. Das in der vorliegenden Studie vorgestellte System eröffnet damit - bei vernachlässigbarem zusätzlichem Kosten- und Zeitaufwand - eine direkt einsatzbereite und flächendeckende Möglichkeit der Klassifizierung von Sedimenten auf ökotoxikologischer Ebene und ermöglicht damit schnelle erste Schritte auf dem Weg zu Maßnahmenprogrammen zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie.

Für zukünftige weiterreichende Bewertungen ist es jedoch unumgänglich, weitere trophische Ebenen in die Klassifizierung von Sedimenten einzubeziehen, wie es beispielsweise die von Ahlf et al. (1999) erarbeitete Testbatterie vorsieht.

## 7 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des vorgestellten Forschungsprojekts wurde erstmals eine bundesweite ökotoxikologische Sedimentkartierung großer Fließgewässer durchgeführt. Dazu wurden insgesamt etwa 200 Sedimentproben aus 12 großen Flüssen Deutschlands (Donau, Elbe, Ems, Main, Mosel, Neckar, Neisse, Oder, Rhein, Ruhr, Saar und Weser) auf ausgewählte abiotische Parameter (Schwermetalle, PAK, organischer Kohlenstoffgehalt, Korngröße) analysiert sowie mit zwei biologischen Testverfahren mit benthischen Invertebraten untersucht.

Bei diesen beiden bereits weitgehend standardisierten Biotests handelt es sich um den Nematodentest mit dem Fadenwurm *Caenorhabditis elegans* und den Chironomidentest mit der Zuckmücke *Chironomus riparius*. Als Endpunkte im Nematodentest wurde das Längenwachstum, die Eibildung und Eizahl sowie die Reproduktion untersucht, im Chironomidentest wurden die Parameter Emergenz bzw. Mortalität, Entwicklungsrate, Geschlechterverhältnis und mittlerer Schlupfzeitpunkt analysiert.

Dieses umfangreiche Datenmaterial wurde anschließend statistisch ausgewertet und mit Hilfe eines iterativen Verfahrens ein fünfstufiges, statistisch abgesichertes Bewertungskonzept in Anlehnung an die ökologische Klassifizierung der EG-Wasserrahmenrichtlinie entwickelt. Zunächst wurde für jeden Biotest ein eigenständiges Klassifikationssystem aufgestellt. Für die Bewertung anhand des Nematodentests wird zunächst die Berücksichtigung zweier Hauptparameter (Hemmung des Längenwachstums und Hemmung der Eibildung) empfohlen. Falls diese kein übereinstimmendes Ergebnis zeigen, sollte die Hemmung der Eizahl als Nebenparameter hinzugezogen werden. Aufgrund starker Variabilität sowie hoher Sensitivität ist die Berücksichtigung des Parameters „Hemmung der Reproduktion“ lediglich als Zusatzinformation zu betrachten. Die Bewertung anhand des Chironomidentests erfolgt zunächst über die Mortalität. Liegt diese über 20%, wird die Mortalität als alleinige Bewertungsgrundlage herangezogen, liegt sie hingegen darunter, so erfolgt die Bewertung über die Beeinflussung der Entwicklungsrate. Das Geschlechterverhältnis sollte lediglich als Zusatzinformation betrachtet werden.

Eine durchschnittliche Bewertung der untersuchten Flüsse anhand des Nematodentests ergab, dass die Sedimente aus Main, Rhein, Ruhr und Weser am stärksten und die Sedimente aus Neisse und Oder am geringsten belastet sind. Der Chironomidentest hingegen wies die Sedimente der Elbe, Ems, Mosel und Ruhr als Belastungsschwerpunkte aus und zeigte für Main, Oder und Weser die geringsten Belastungen an. Insgesamt erwies sich die Bewertung anhand des Nematodentests als deutlich sensitiveres Verfahren.

Für die Verrechnung der Ergebnisse beider Biotests stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: die Bildung des Mittelwertes oder die Berücksichtigung des jeweils sensitiveren Organismus, wobei die resultierende Empfehlung für das Sediment (Handlungsbedarf ja/nein) jeweils gleich bleibt. Die endgültige Bewertung der Sedimente sollte im Sinne eines vorbeugenden Umweltschutzes möglichst auf der Basis des sensitiveren Organismus erfolgen.

Die Abhängigkeit der Biotestergebnisse von abiotischen Parametern wurde über Korrelationen ermittelt. Dabei zeigte sich, dass die Hemmwerte der Parameter des Nematodentests sowie des mittlere Schlupfzeitpunkts im Chironomidentest signifikant positiv mit dem gesamten bzw. organischen Kohlenstoffgehalt korreliert sind, wohingegen die Korngröße einen negativen Zusammenhang mit den Nematodentestparametern und einen positiven Zusammenhang mit der Mortalität im Chironomidentest aufweist. Die Summenkonzentrationen der PAK scheint keinen Einfluss auf die Testergebnisse zu haben. Die Schwermetallbelastung wiederum ist mit den meisten Testparametern signifikant positiv korreliert.

Über eine Hauptkomponentenanalyse sowie Korrelationen konnte gezeigt werden, dass die Parameter der beiden Biotests unterschiedliche Informationen liefern und daher der Einsatz beider Testverfahren sinnvoll ist, um ein breiteres Abbild der Belastungen wiederzugeben. Eine Erweiterung dieses Minimalsets an Biotests um weitere Testverfahren (z.B. mit Organismen aus weiteren Trophiestufen) erscheint jedoch sinnvoll, um Effekte auf zusätzliche Organismen bei der Bewertung mit zu berücksichtigen.

Beide Biotests zeigen in der praktischen Anwendung Vor- und Nachteile. Der Nematodentest bietet den Vorteil eines geringen Platzbedarfs, kurzer Testdauer sowie flexibler Zeiteinteilung. Der Chironomidentest hingegen bietet den Vorteil einer kürzeren Vorbereitungszeit des Tests und erfordert weniger Erfahrung bei der Testdurchführung bzw. –auswertung als dies für den Nematodentest der Fall ist.

Das Forschungsprojekt lieferte erstmalig eine flächendeckende Bestandsaufnahme des momentanen Zustands der Fließgewässersedimente Deutschlands in Hinblick auf analytisch bestimmte abiotische Parameter sowie auf die Toxizität bei zwei benthischen Invertebraten. Dieser Datensatz kann als Ausgangspunkt für weitere, auch routinemäßig durchgeführte Effektmonitoringstudien im Sedimentbereich dienen. Das entwickelte Bewertungskonzept ermöglicht eine standardisierte Bewertung der mit den Biotests gewonnenen Ergebnisse und damit einen bundesweiten Vergleich der ermittelten Effekte. Aufgrund der ermittelten Effekte können so Schadstoffquellen punktuell lokalisiert werden und Handlungsempfehlungen für die untersuchten Sedimente abgegeben werden.

## SUMMARY

In the presented research project, a nation-wide, ecotoxicologically-based sediment survey was carried out for the first time. For this purpose, a total of about 200 sediment samples from 12 selected large German rivers (Danube, Elbe, Ems, Main, Mosel, Neckar, Neisse, Odra, Rhine, Ruhr, Saar and Weser) were analysed with regard to abiotic parameters (heavy metals, PAH, organic carbon content, particle size) and also by means of two biological test systems with benthic invertebrates.

These two already largely standardised biotests are the nematode test with the roundworm *Caenorhabditis elegans* and chironomid test with the non-biting midge *Chironomus riparius*. As toxicological endpoints for the nematode test, growth, fertility, egg number and reproduction were analysed, and for the chironomid test, the parameters emergence (mortality), development rate, sex ratio and mean emergence time were studied.

Subsequently, this comprehensive data set was analysed statistically. By means of an iterative method, a five-stage, statistically-derived assessment concept, which is founded on the results of the biological tests, was developed following the EU water framework directive. First, an individual classification system was set up for each biotest. For the classification based on the nematode test, it is recommended to consider two main parameters (inhibition of growth and inhibition of fertility). If the results of these two parameters are not corresponding, it is suggested also to consider the inhibition of egg number as co-parameter. Due to strong variability and high sensitivity, the parameter inhibition of reproduction should only be looked at as additional information. Classification with the chironomid test starts with consideration of the mortality. If mortality is above 20%, then this parameter is the only classification basis, if mortality is below 20%, then the parameter inhibition of development rate is added for the classification. Sex ratio should only be looked at as additional information.

An average classification of the investigated rivers with the nematode test showed that sediments from the rivers Main, Rhine, Ruhr and Weser are among the most contaminated, and sediments from the rivers Neisse and Odra are less contaminated. However, the chironomid test assigned sediments from the rivers Elbe, Ems, Mosel and Ruhr as most contaminated and showed the lowest contaminations for the rivers Main, Odra and Weser. In general, the classification with the nematode test turned out to be the more sensitive method.

For the combination of both biotest results, two possibilities are available: to form the mean of both results, or to consider the most sensitive organism. The resulting recommendation for clean-up of the sediment (to take action or not) stays the same in either way.

The influence of abiotic parameters on the biotest results was determined by statistical correlation. It turned out that the results of the nematode test (inhibitions) and the mean emergence time of the chironomid test are significantly and positively correlated with the total and organic carbon content, whereas the particle size is a negatively correlated with mortality in the chironomid test. The sum of PAH seems to have no influence on the test results. In contrast, the contamination with heavy metals is positively correlated with most test parameters.

A principal component analysis and correlations showed that the parameters of both biotests provide different information. This suggests that a combined use of both tests provides more detailed information on the contaminations. An extension of this minimal set of biotests with more test systems (e.g. using organisms from additional trophic stages) is useful in order to consider effects on other organisms as well.

Both biotests have advantages and disadvantages in their practical application. The nematode test has the advantages of requiring little space, a short test duration and a flexible time schedule. On the other hand, the chironomid test has the advantage of requiring less time for the test preparation, and it asks less experience for the test procedure than does nematode test.

This project provides for the first time a nation-wide inventory of the actual state of river sediments in Germany with regard to analytically determined abiotic parameters and to toxicity to two benthic invertebrates. This data set can be used as a starting point for further, routine effect monitoring studies of sediments. The developed assessment concept enables a standardized classification of the biotest results and thereby, a nation-wide comparison of the identified effects. Using these results it is possible to localise contamination sources and provide recommendations of action for the respective sediments.

## 8 LITERATUR

- Ahlf, W. (1995): Ökotoxikologische Sedimentbewertung - Sedimenttoxizität, Biotest, Testkombination. UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox. 7: 84-91.
- Ahlf, W., Gratzner, H. und Fretwurst, S. (1999): Erarbeitung von Kriterien zur Ableitung von Qualitätszielen für Sedimente und Schwebstoffe. Umweltbundesamt (UBA-Texte 41/99), Berlin.
- Ahlf, W., Hollert, H., Neumann-Hensel, H. und Ricking, M. (2002): A guidance for the assessment and evaluation of sediment quality – a German approach based on ecotoxicological and chemical measurements. J. Soils & Sediments 2: 37-42
- ARGE Weser (Hrsg.) (1997): Ökologische Gesamtplanung Weser. Grundlagen, Leitbilder und Entwicklungsziele für Weser, Werra und Fulda. 2. Auflage. Hildesheim.
- ARGE Weser (2000): Wesergütebericht 2000. Freie Hansestadt Bremen, Der Senator für Bau und Umwelt. Wassergütestelle Weser, Hildesheim.
- Bervoets, L., Wils, C. und Verheyen, R. (1996): Tolerance of *Chironomus riparius* larvae (Diptera: Chironomidae) to salinity. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 57: 829-835.
- Borgmann, U., Ralph, K. M. und Norwood, W. P. (1989): Toxicity test procedures for *Hyalella azteca* and chronic toxicity of cadmium and pentachlorophenol to *H. azteca*, *Gammarus fasciatus* and *Daphnia magna*. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 18: 756-764.
- Burton, G. A. (1991): Assessing the toxicity of freshwater sediments. Environ. Toxicol. Chem. 10: 1585-1627.
- Calmano, W. (Hrsg.) (2001): Untersuchung und Bewertung von Sedimenten - Ökotoxikologische und chemische Testmethoden. Springer Verlag, Berlin. 551 pp.
- Dermott, R. and Munawar, M. (1992): A simple and sensitive assay for evaluation of sediment toxicity using *Lumbriculus variegatus*. Hydrobiologia 235/236: 407-414.
- DIN 38414-3 (1985): Bestimmung des Glühverlustes der Trockenmasse. In: Fachgruppe Wasserchemie der GDCh und Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): Deutsche Verfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Band 1. VCH Weinheim, New York; Beuth Berlin. Loseblattsammlung.
- DIN 66165 (1987): Bestimmung der Partikelgrößenverteilung eines dispersen Gutes durch Siebanalyse. In: Fachgruppe Wasserchemie der GDCh und Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): Deutsche Verfahren zur Wasser-, Abwasser- und

- Schlammuntersuchung. Band 1. VCH Weinheim, New York; Beuth Berlin. Loseblattsammlung.
- DIN 38406 E29 (1996): Bestimmung von 61 Elementen durch Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS). In: Fachgruppe Wasserchemie der GDCh und Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): Deutsche Verfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Band 1. VCH, Weinheim; Beuth, Berlin. Loseblattsammlung.
- DIN 38414 S21 (1996): Bestimmung von 6 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC). In: Fachgruppe Wasserchemie der GDCh und Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): Deutsche Verfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Band 1. VCH, Weinheim; Beuth, Berlin. Loseblattsammlung.
- Duft, M., Tillmann, M., Schulte-Oehlmann, U., Markert, B. und Oehlmann, J. (2002): Entwicklung eines Sediment-Biotests mit der Zwergdeckelschnecke *Potamopyrgus antipodarum*. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 14: 12-17.
- Duft, M., Schulte-Oehlmann, U., Tillmann, M., Markert, B. und Oehlmann, J. (2003): Toxicity of triphenyltin and tributyltin to the freshwater mudsnail *Potamopyrgus antipodarum* in a new sediment biotest. Environ. Toxicol. Chem. 22 (in press).
- Erhardt, W., Höpker, K. A. und Fischer, I. (1996): Bewertungsverfahren – Verfahren zur Bewertung von immissionsbedingten Stoffanreicherungen in standardisierten Graskulturen. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 8: 237-240.
- Europäische Union (1996): Technical Guidance Document on Support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances and Commission Regulation (EC) No. 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances, IV. Office for Official Publications of the European Communities. Brüssel.
- Europäische Union (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327 vom 22. Dezember 2000.
- Fiedler, H. J. und Rösler, H. J. (1993): Spurenelemente in der Umwelt. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart. 385 pp.
- Förstner, U., Ackermann, F., Alberti, J., Calmano, W., Frimmel, F. H., Kornatzki, K. H., Roßknecht, H., Schleichert, U. und Tent, L. (1987): Qualitätskriterien für Gewässersedimente - Allgemeine Problematik und internationaler Standard der Diskussion. Z. Wasser Abwass.-Forsch. 20: 54-59.



- Fooker, C., Gühr, R. und Seel, P. (1999): Landesweite Untersuchung auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen 1991-1998. Ergänzender Bericht 1997-1998. Orientierenden Messungen gefährlicher Stoffe. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Wiesbaden.
- Giesy, J. P., Graney, R. L., Newsted, J. L., Rosiu, C. J., Benda, A., Kreis, R. G. und Horvath, F. J. (1988): Comparison of three sediment bioassay methods using Detroit River sediments. *Environ. Toxicol. Chem.* 7: 483-498.
- Gühr, R., Fengler, S. und Seel, P. (2002): Landesweite Untersuchung auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen 1991 – 2000 – Analyseergebnisse - Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Wiesbaden.
- Gratzer, H. und Ahlf, W. (2001): Adjustment of a formulated sediment for sediment testing with *Caenorhabditis elegans* (Nematoda). *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 29: 41-46.
- Håkanson, L. und Jansson, M. (1993): Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag, Berlin.
- Hamm, A. (Hrsg.) (1991): Studie über die Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern. Academia Verlag, St. Augustin. 830 pp.
- Hatakeyama, S. (1987): Chronic effects of Cd on reproduction of *Polypedilum nubifer* (Chironomidae) through water and food. *Environ. Pollut.* 48: 249-261.
- Heise, S., Maaß, V., Gratzer, H. und Ahlf, W. (2000): Möglichkeiten und Leistungen einer ökotoxikologischen Sedimentklassifikation am Beispiel der Elbe. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.): Sedimentbewertung in europäischen Flussgebieten. Beiträge zum internationalen Symposium vom 12.-14. April 1999 in Berlin. Koblenz, Berlin, pp 96-104.
- Henry, M. G., Chester, D. N. und Mauck, W. L. (1986): Role of artificial burrows in *Hexagenia* toxicity tests: recommendations for protocol development. *Environ. Toxicol. Chem.* 5: 553-559.
- Henschel, T., Ahlf, W., Calmano, W., Krebs, F. und Maaß, V. (2001): Handlungsempfehlungen und Bewertungsvorschläge für eine integrierte Sedimentbewertung. In: Calmano, W. (Hrsg.) (2001): Untersuchung und Bewertung von Sedimenten - Ökotoxikologische und chemische Testmethoden. Springer Verlag, Berlin. pp 497-544.
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.) (2000): Biologischer Gewässerzustand 2000 Hessen. Wiesbaden.

- Höss, S. (2002): Bestimmung der Wirkung von Sediment- und Bodenproben auf Wachstum, Eiproduktion, Fertilität und Reproduktion von *Caenorhabditis elegans* (Nematoda). DIN-Richtlinienentwurf.
- Höss, S., Haitzer, M., Traunspurger, W. und Steinberg, C. (1999): Growth and fertility of *Caenorhabditis elegans* (Nematoda) in unpolluted freshwater sediments: response to particle size distribution and organic content. *Environ. Toxicol. Chem.* 18: 2921-2925.
- Hoke, R. A., Ankley, G. T., Cotter, A. M., Goldenstein, T., Kosian, P. A., Phipps, G. L. und van der Meiden, F. M. (1994): Evaluation of equilibrium partitioning theory for predicting acute toxicity of field-collected sediments contaminated with DDT, DDE and DDD to the amphipod *Hyalella azteca*. *Environ. Toxicol. Chem.* 13: 157-166.
- Hollert, H. (2001): Entwicklung eines kombinierten Untersuchungssystems für die Bewertung der ökotoxikologischen Belastung von Fließgewässersedimenten und -schwebstoffen. Dissertation, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.
- Ingersoll, C. G., Ankley, G. T., Benoit, D. A., Brunson, E. L., Burton, G. A., Dwyer, F. J., Hoke, R. A., Landrum, P. F., Norberg-King, T. J. und Winger, P. V. (1995): Toxicity and bioaccumulation of sediment-associated contaminants using freshwater invertebrates: a review of methods and applications. *Environ. Toxicol. Chem.* 14: 1885-1894.
- Institut für Umweltchemie Bremen GmbH (1994): Ökotoxikologische Bewertung von Chlor- und Phosphororganika sowie PAK in Sedimenten bremischer Gewässer – Ableitung von vorläufigen Orientierungswerten für Wasser und Sediment. Freie Hansestadt Bremen, Der Senator für Umweltschutz und Stadtentwicklung.
- Khanna, N., Cressmann, C. P., Tatara, C. P. und Williams P. L. (1997): Tolerance of the nematode *Caenorhabditis elegans* to pH, salinity, and hardness in aquatic media. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 32: 110-114.
- Krebs, F. (1992): Über die Notwendigkeit ökotoxikologischer Untersuchungen an Sedimenten. *Deutsche Gewässerkundl. Mitteil.* 6: 165-169.
- Krebs, F. (2000): Ökotoxikologische Bewertung von Baggergut aus Bundeswasserstraßen mit Hilfe der pT-Wert-Methode. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 44: 301-307.
- Krinitz, J. und Stachel, B. (1999): Herkunft und Verteilung von Organozinnverbindungen in der Elbe und in Elbenebenflüssen. Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe. Hamburg.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (Hrsg.) (1997a): Die Beschaffenheit der großen Fließgewässer Deutschlands. Berlin.

- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (Hrsg.) (1997b): Die Hauptströme der Flußgebiete Deutschlands. Überwachung, Zustand und Entwicklung ihrer Beschaffenheit. Kulturbuchverlag, Berlin.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (1998): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland – Chemische Gewässergüteklassifikation. Kulturbuchverlag, Berlin.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2002): Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland – Biologische Gewässergütekarte 2000. Kulturbuchverlag, Berlin
- Landesamt für Wasser und Abfall NRW (1991): Allgemeine Güteanforderung für Fließgewässer (AGA). LWA-Merkblätter Nr. 7, Düsseldorf.
- Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2000): Gütebericht 2000. Gewässergütebericht für die Fließgewässer in Rheinland-Pfalz. Mainz.
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2001): Gütebericht 2000. Entwicklung der Fließgewässerbeschaffenheit in Baden-Württemberg – chemisch – physikalisch – biologisch. Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie. Karlsruhe.
- Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.) (1998): Untersuchungen der Oder zur Belastung der Schwebstoff- bzw. Sedimentphase und angrenzender Bereiche. Studien und Tagungsberichte, Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg. Band 20/21. Potsdam.
- Leweke, E. C. (1999): Einfluß verschiedener Lagerungsbedingungen auf die ökotoxikologische Wirkung von Kunst- und Süßwassersedimenten. Dissertation, RWTH Aachen.
- Long, E. R. und Chapman, P. M. (1985): A sediment quality triad: measures of sediment contamination, toxicity and infaunal community composition in Pudget Sound. Mar. Pollut. Bull. 16: 405-415.
- Martinez-Madrid, M., Rodriguez, P., Perez-Iglesias, J. I. und Navarro, E. (1999): Sediment toxicity bioassays for assessment of contaminated sites in the Nervion River (Northern Spain). 2. *Tubifex tubifex* reproduction sediment bioassay. Ecotoxicology 8: 111-124.
- Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen und Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2000): Gewässergütebericht 2000. 30 Jahre Biologische Gewässerüberwachung in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.
- O'Connor, T. P. und Paul, J. F. (2000): Misfit between sediment toxicity and chemistry. Mar. Pollut. Bull. 40: 59-64.

- OECD (2000): OECD Guidelines for the testing of chemicals – proposal for a new guideline 218 – Sediment–water chironomid toxicity test using spiked sediment. Draft document February 2000. Paris.
- Parma, S. und Krebs, B. P. M. (1977): The distribution of chironomid larvae in relation to chloride concentration in a brackish water region of the Netherlands. *Hydrobiologia* 52: 117-126.
- Pedina, A. (2001): Vergleichende Sensitivitätsuntersuchungen mit ausgewählten organischen und anorganischen Kontaminanten im Sedimentbiotest. Diplomarbeit. Fachbereich Mathematik/Naturwissenschaften der Hochschule Zittau/Görlitz.
- Prorsi, F. und Müller, G. (1987): Bedeutung der Sedimente als Schwermetallfalle; Bioverfügbarkeit und Mobilität von Metallen in Sedimenten in Bezug auf den Biotransfer in limnischen Organismen. In: Lillelund, K., De Haar, U., Elster, H.-J., Karbe, L., Schwoerbel, I. und Simons, W. (Hrsg.): Bioakkumulation in Nahrungsketten - Zur Problematik der Akkumulation von Umweltchemikalien in aquatischen Systemen. VCH, Weinheim: 102-115.
- Ristola, T., Pellinen, J., Ruokolainen, M., Kostamo, A. und Kukkonen, J. V. K. (1999): Effect of sediment type, feeding level, and larval density on growth and development of a midge (*Chironomus riparius*). *Environ. Toxicol. Chem.* 18: 756-764.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.) (1997): Gewässergütebericht der Hauptfließgewässer in Sachsen 1995. Materialien zur Wasserwirtschaft. Radebeul.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.) (1998): Gewässergütekarte 1997 - Biologische Befunde der Gewässergüte sächsischer Fließgewässer mit Gewässergütebericht. Materialien zur Wasserwirtschaft. Radebeul.
- Schulte-Oehlmann, U., Duft, M., Tillmann, M., Markert, B. und Oehlmann, J. (2001): Biologisches Effektmonitoring an Sedimenten der Elbe mit *Potamopyrgus antipodarum* und *Hinia (Nassarius) reticulata* (Gastropoda: Prosobranchia). Forschungsbericht für die ARGE Elbe. Hamburg, 46 pp.
- Schwoerbel, J. (1994): Methoden der Hydrobiologie. Süßwasserbiologie. Fischer-Verlag, Stuttgart, 4. Auflage.
- Sibley, P. K., Benoit, D. A. und Ankley, G. T. (1997): The significance of growth in *Chironomus tentans* sediment toxicity tests. The relationship to reproduction and demographic endpoints. *Environ. Toxicol. Chem.* 16: 336-345.
- Simkiss, K., Davies, N. A., Edwards, P. A., Lawrence, M. A. M. und Taylor, M. G. (2001): The use of sediment analogues to study the uptake of pollutants by chironomid larvae. *Environ. Pollut.* 115: 89-96.

- Stuijfsand, S. C., Jonker, M., van Ammelrooy, E. und Admiraal, W. (1999): Interacting effects of toxicants and organic matter on the midge *Chironomus riparius* in polluted river water. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 46: 351-356.
- Szyposzynska, A. (2002): Einfluß der Korngrößenverteilung und des gesamten organisch gebundenen Kohlenstoffs auf die Dosis-Wirkungsbeziehung von TPT gegenüber *Chironomus riparius* und *Caenorhabditis elegans*. Diplomarbeit. Fachbereich Mathematik/Naturwissenschaften der Hochschule Zittau/Görlitz.
- Thomson, E. A., Luoma, S. N., Cain, D. J. und Johannson, C. (1980): The effect of sample storage on the extraction of Cu, Zn, Fe, Mn and organic material from oxidized estuarine sediments. *Water Air Soil Poll.* 14: 215-233.
- Tillmann, M., Schulte-Oehlmann, U., Duft, M., Markert, B. und Oehlmann, J. (2001): Effects of endocrine disruptors on prosobranch snails (Mollusca: Gastropoda) in the laboratory. Part III: Cyproterone acetate and vinclozolin as Antiandrogens. *Ecotoxicology* 10: 373-388.
- Tippmann, P. und Heininger, P. (2001): Anwendung von Enzymtests bei der Sedimentbewertung. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 45, 6: 244-252.
- Traunspurger, W., Haitzer, M., Höss, S., Beier, S., Ahlf, W. und Steinberg, C. (1997): Ecotoxicological assessment of aquatic sediments with *Caenorhabditis elegans* (Nematoda) – a method for testing liquid medium and whole-sediment samples. *Environ. Toxicol. Chem.* 16: 245-250.
- Vos, J. H., Teunissen, M., Postma, J. F. und van den Enden, F. P. (2002): Particle size effect on preference and growth of detritivorous *Chironomus riparius* larvae as influenced by food level. *Arch. Hydrobiol.* 154: 103-119.
- Vos, J. H., van den Brink, P. J., Postma, J. F. und Admiraal, W. (in press): Growth response of a benthic detritivore to organic matter composition in sediments. *J. NABS*. In press.
- Wachs, B. (1991): Ökobewertung der Schwermetallbelastung von Fließgewässern. In: Mühlhölzl, W. (Hrsg.): Aktuelle chemische und biologische Wasser- und Schlammanalytik: Anwendung, Ergebnisse und deren ökologische Bewertung. Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, 45. Oldenbourg-Verlag, München, Wien: 295-335.
- Wappelhorst, O. (1999): Charakterisierung atmosphärischer Depositionen in der Euroregion Neiße durch terrestrisches Biomonitoring. Dissertation, IHI Zittau. IHI-Schriften, Heft 13.
- Wiederholm, T., Wiederholm, A. M. und Milbrink, G. (1987): Sublethal effects of heavy metal contaminated sediment on midge larvae (*Chironomus tentans*). *Hydrobiologia* 56: 153-156.

Wentsel, R., McIntosh, A. und Atchison, G. (1977): Bulk sediment bioassays with five species of fresh-water oligochaetes. *Water Air Soil Pollut.* 36: 131-154.

Zimmer, M. und Ahlf, W. (1994): Erarbeitung von Kriterien zur Ableitung von Qualitätszielen für Sedimente und Schwebstoffe – Literaturstudie. Umweltbundesamt (UBA–Texte 69/94), Berlin.

## DANKSAGUNG

Wir möchten uns abschließend bei allen herzlich bedanken, die uns im Laufe dieses Projekts hilfreich unterstützt haben:

Allen beteiligten Landesämtern gebührt ein großer Dank für die Unterstützung bei der Probenahme und der Bereitstellung von Informationen.

Für Hilfe bei der Sedimentbeschaffung bedanken wir uns weiterhin bei der ARGE Elbe (Dr. B. Stachel), dem International Odra Project (IOP), Nikolai Mette, der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), der „Argus“-Besatzung und Dr. B. Watermann (LimnoMar).

Heike Heidenreich, Gerlinde Liepelt, Petra York und Martina Pätzold (IHI Zittau) danken wir für die umfangreichen Schwermetall- und PAK-Analysen.

Prof. Ramm und Prof. Greif sowie Ingrid Achtert (FH Zittau/Görlitz) danken wir für die Übernahme der Elementanalytik,

und bei Simone Ziebart und Ulrike Schneider (IHI Zittau) möchten wir uns für tatkräftige Hilfe im Ökotoxlabor, bei der Sedimentvorbereitung und der Bestimmung des Glühverlustes bedanken.

Unseren vielen Hiwis gebührt ebenfalls großer Dank.

Dr. Paulo Sousa (Universidade de Coimbra, Portugal) danken wir für seine Unterstützung bei der statistischen Auswertung mit Canoco und Dr. Henner Hollert (Universität Heidelberg) für die freundliche Einarbeitung in die fuzzy logic.

Dr. Ulrike Schulte-Oehlmann stand uns stets mit Rat und Tat zur Seite.

Nicht zuletzt, sondern vor allem, bedanken wir uns beim Umweltbundesamt, und hier im besonderen bei Dr. Bettina Rechenberg, für die gute Zusammenarbeit.

# ANHANG



# Donau

Sediment Donau 1	<b>Pföhren</b>	Strom-km:	2776,0L	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,2	LAWA:	1,5
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		4,3		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	3,8	organisch:	2,3
Kornklasse		n.b.		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden:	III
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>				
Sediment Donau 2	<b>Scheer</b>	Strom-km:	2685,0R	
Schwermetall-BK	Wachs:	1,8	LAWA:	1,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		2,8		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	7,8	organisch:	1,7
Kornklasse		n.b.		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden:	IV
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>				
Sediment Donau 3	<b>Ulm-Wiblingen</b>	Strom-km:	2682,0L	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,0	LAWA:	1,2
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		1,2		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	9,3	organisch:	1,5
Kornklasse		n.b.		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden:	IV
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>				
Sediment Donau 4	<b>Thalfigen</b>	Strom-km:	2579L	
Schwermetall-BK	Wachs:	1,8	LAWA:	1,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		2,4		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,0	organisch:	0,8
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	IV	Chironomiden:	III
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>

Sediment Donau 5	<b>Günzburg</b>	Strom-km:	2562,4L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,3</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>2,4</b>	organisch: <b>0,2</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Donau 6	<b>Dillingen</b>	Strom-km:	2538R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>2,9</b>	organisch: <b>0,7</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Donau 7	<b>Erlingshofen</b>	Strom-km:	2517R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,1</b>	LAWA: <b>1,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,0</b>	organisch: <b>1,7</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Donau 8	<b>Schäfstall (Donauwörth)</b>	Strom-km:	2503,2L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>1,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,7</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,9</b>	organisch: <b>1,3</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>

Sediment Donau 9	<b>Stepperg</b>	Strom-km:	2485,2L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,9</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,2</b>	organisch: <b>1,1</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Donau 10	<b>Joshofen</b>	Strom-km:	2477L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,5</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>2,5</b>	organisch: <b>0,4</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>V</b>
<hr/>			
Sediment Donau 11	<b>Vohburg (KW Großmehring)</b>	Strom-km:	2451L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,1</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,6</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,8</b>	organisch: <b>2,3</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>II</b>
<hr/>			
Sediment Donau 12	<b>Neustadt</b>	Strom-km:	2432,2L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,7</b>	organisch: <b>0,6</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>V</b>

Sediment Donau 13	<b>Sittling</b>	Strom-km:	2429,2R
Schwermetall-BK	Wachs:	1,8	LAWA: 1,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		0,4	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,4	organisch: 1,5
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden: II
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>			
Sediment Donau 14	<b>bei Kehlheim</b>	Strom-km:	2414,7L
Schwermetall-BK	Wachs:	1,9	LAWA: 1,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		1,8	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,0	organisch: 1,1
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden: I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Donau 15	<b>Kehlheim Yachthafen</b>	Strom-km:	2410L
Schwermetall-BK	Wachs:	1,7	LAWA: 1,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		0,4	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,4	organisch: 0,8
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden: II
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>			
Sediment Donau 16	<b>Oberndorf Staustufe</b>	Strom-km:	2397,4L
Schwermetall-BK	Wachs:	1,8	LAWA: 1,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		1,7	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,7	organisch: 0,8
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden: I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität: III</b>

Sediment Donau 17	<b>Matting</b>	Strom-km:	2393,1R
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,4</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>3,6</b>	organisch:	<b>0,4</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>IV</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Donau 18	<b>Donaustauf</b>	Strom-km:	2369,6L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>5,1</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>3,0</b>	organisch:	<b>0,4</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>I</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: II</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>			
Sediment Donau 19	<b>Gmünd</b>	Strom-km:	2347R
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,0</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,1</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>5,4</b>	organisch:	<b>1,6</b>
Kornklasse	<b>Grobsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>IV</b>	Chironomiden:	<b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Donau 20	<b>Kagers</b>	Strom-km:	2322R
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,2</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,2</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>6,3</b>	organisch:	<b>1,9</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>IV</b>	Chironomiden:	<b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>

Sediment Donau 21	<b>Irlbach</b>	Strom-km:	2301R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>1,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,2</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>7,8</b>	organisch: <b>2,8</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Donau 22	<b>Deggendorf</b>	Strom-km:	2284,5L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,3</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,6</b>	organisch: <b>0,1</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>			
Sediment Donau 23	<b>Niederalteich</b>	Strom-km:	2276,1L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,6</b>	LAWA: <b>1,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>2,7</b>	organisch: <b>0,1</b>
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>I</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>I</b>	<b>Sensitivität: I</b>
<hr/>			
Sediment Donau 24	<b>Vilshofen</b>	Strom-km:	2247,6R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,2</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,5</b>	organisch: <b>1,0</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität: III</b>

Sediment Donau 25	<b>Kachlett KW</b>	Strom-km:	2230,3
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,4</b>	LAWA:	<b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,2</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>3,6</b>	organisch:	<b>0,9</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden:	<b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: V</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>			
Sediment Donau 26	<b>Oberzell</b>	Strom-km:	2210L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,1</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,3</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>10,8</b>	organisch:	<b>6,7</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>			
Sediment Donau 27	<b>Jochenstein KW</b>	Strom-km:	2203,5
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,2</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,2</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>6,5</b>	organisch:	<b>1,9</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>II</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>



**Elbe**

Sediment Elbe 1	<b>Schmilka</b>	Strom-km:	4L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,9</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,0</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,5</b>	organisch:	<b>0,4</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>I</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: II</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 2	<b>Prossen</b>	Strom-km:	13
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,5</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,5</b>	organisch:	<b>0,5</b>
Kornklasse	<b>Grobsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>II</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 3	<b>Königstein</b>	Strom-km:	16L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,3</b>	LAWA:	<b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>7,6</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>3,2</b>	organisch:	<b>2,3</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden:	<b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 4	<b>Pirna</b>	Strom-km:	35L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,1</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,2</b>	organisch:	<b>0,2</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>I</b>	Chironomiden:	<b>V</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>

Sediment Elbe 5	<b>Dresden-Pillnitz</b>	Strom-km:	43L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,9</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,8</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,2</b>	organisch: <b>0,3</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>I</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 6	<b>Dresden-Marienbrücke</b>	Strom-km:	56R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,3</b>	organisch: <b>0,3</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>I</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität: II</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 7	<b>Dresden-Gohlis</b>	Strom-km:	65L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,9</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,2</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,6</b>	organisch: <b>0,5</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 8	<b>Scharfenberg</b>	Strom-km:	76L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>2,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,4</b>	organisch: <b>0,4</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>

Sediment Elbe 9	<b>Meißen</b>	Strom-km: 83
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA: <b>1,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>3,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,9</b>	organisch: <b>0,7</b>
Kornklasse	<b>Feinkies</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>I</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>		
Sediment Elbe 10	<b>Zehren</b>	Strom-km: 90R
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,4</b>	organisch: <b>0,3</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>I</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: II</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>		
Sediment Elbe 11	<b>Riesa</b>	Strom-km: 107R
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,2</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,2</b>	organisch: <b>0,2</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>I</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: II</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>		
Sediment Elbe 12	<b>Strehla</b>	Strom-km: 115L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,0</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,6</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,5</b>	organisch: <b>0,4</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>I</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: II</b>	<b>Sensitivität: III</b>

Sediment Elbe 13	<b>Mühlberg</b>	Strom-km:	128R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,4</b>	organisch: <b>0,4</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 14	<b>Belgern</b>	Strom-km:	140L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,9</b>	LAWA: <b>1,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,5</b>	organisch: <b>0,4</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>I</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 15	<b>Torgau</b>	Strom-km:	155L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>1,8</b>	organisch: <b>0,9</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 16	<b>Domnitzsch Fähre</b>	Strom-km:	172L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,7</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,7</b>	organisch: <b>0,4</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>I</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität: III</b>

Sediment Elbe 17	<b>Domnitzsch</b>	Strom-km: 173
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,3</b>	LAWA: <b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,3</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>1,6</b>	organisch: <b>0,9</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>		
Sediment Elbe 18	<b>Pretzsch</b>	Strom-km: 174,9L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,0</b>	LAWA: <b>1,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,7</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>1,4</b>	organisch: <b>1,1</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: V</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>		
Sediment Elbe 19	<b>Roßlau</b>	Strom-km: 257L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,1</b>	LAWA: <b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>1,8</b>	organisch: <b>0,6</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>		
Sediment Elbe 20	<b>Mulde Dessau</b>	Strom-km: 7,6L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,4</b>	LAWA: <b>2,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>3,0</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>2,3</b>	organisch: <b>1,9</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>

Sediment Elbe 21	<b>Aken</b>	Strom-km:	274,9R
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,2</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,3</b>	organisch:	<b>0,1</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>II</b>	Chironomiden:	<b>V</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 22	<b>Magdeburg-Westerhüsen</b>	Strom-km:	318L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>3,3</b>	LAWA:	<b>4,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>7,9</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>8,1</b>	organisch:	<b>3,4</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>IV</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 23	<b>Femersleben</b>	Strom-km:	322
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,4</b>	LAWA:	<b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>3,4</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>1,3</b>	organisch:	<b>0,7</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>II</b>	Chironomiden:	<b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 24	<b>Lostau</b>	Strom-km:	337
Schwermetall-BK	Wachs: <b>3,0</b>	LAWA:	<b>3,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>10,5</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>12,1</b>	organisch:	<b>4,3</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>II</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>

Sediment Elbe 25	<b>Magdeburg-Heinrichsberg</b>	Strom-km:	345,1L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,6</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,5</b>	organisch: <b>0,5</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 26	<b>Sandfurth</b>	Strom-km:	363
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,8</b>	LAWA: <b>3,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>9,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>11,9</b>	organisch: <b>5,2</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 27	<b>Tangermünde</b>	Strom-km:	388L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,3</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,9</b>	organisch: <b>0,4</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 28	<b>Tangermünde Werkhafen</b>	Strom-km:	390
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,8</b>	LAWA: <b>2,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>7,7</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,1</b>	organisch: <b>3,1</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>



Sediment Elbe 29	<b>Arneburg Hafen</b>	Strom-km:	409
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,8</b>	LAWA: <b>3,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>8,2</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,1</b>	organisch: <b>3,5</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 30	<b>Sandau</b>	Strom-km:	416,2R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,3</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>1,8</b>	organisch: <b>0,6</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 31	<b>Havel schleuse</b>	Strom-km:	423
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,8</b>	LAWA: <b>3,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>4,8</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>7,7</b>	organisch: <b>6,9</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 32	<b>Wittenberge</b>	Strom-km:	455
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,9</b>	LAWA: <b>1,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,3</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,6</b>	organisch: <b>0,3</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>I</b>	Chironomiden: <b>V</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: V</b>

Sediment Elbe 33	<b>Cumlosen</b>	Strom-km:	470	
Schwermetall-BK	Wachs:	1,8	LAWA:	1,2
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		0,2		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	1,5	organisch:	0,6
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	IV	Chironomiden:	II
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>				
Sediment Elbe 34	<b>Schnackenburg</b>	Strom-km:	474,5	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,8	LAWA:	3,5
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		2,2		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	4,0	organisch:	2,8
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden:	III
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>				
Sediment Elbe 35	<b>Damnatz</b>	Strom-km:	510	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,2	LAWA:	1,3
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		2,3		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	1,3	organisch:	0,8
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden:	IV
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>				
Sediment Elbe 36	<b>Tießau</b>	Strom-km:	526	
Schwermetall-BK	Wachs:	1,5	LAWA:	1,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		0,1		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	0,2	organisch:	0,2
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	I	Chironomiden:	IV
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>

Sediment Elbe 37	<b>Tespe</b>	Strom-km:	579
Schwermetall-BK	Wachs:	2,3	LAWA: 1,7
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		0,7	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	4,9	organisch: 0,7
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	II	Chironomiden: IV
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 38	<b>Geesthacht Hafen</b>	Strom-km:	583
Schwermetall-BK	Wachs:	1,7	LAWA: 1,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		1,4	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	1,0	organisch: 0,6
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	I	Chironomiden: IV
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 39	<b>Geesthacht Tidewehr</b>	Strom-km:	585,9
Schwermetall-BK	Wachs:	2,6	LAWA: 2,5
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		2,6	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	2,9	organisch: 1,6
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden: IV
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>V</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 40	<b>Bunthaus</b>	Strom-km:	610
Schwermetall-BK	Wachs:	2,5	LAWA: 2,5
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		2,3	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,6	organisch: 3,4
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden: III
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>

Sediment Elbe 41	<b>Reiherstieg Nord</b>	Strom-km:	-
Schwermetall-BK	Wachs:	2,3	LAWA: 2,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		1,6	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	4,2	organisch: 2,6
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden: II
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 42	<b>Vorhafen</b>	Strom-km:	-
Schwermetall-BK	Wachs:	2,6	LAWA: 2,5
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		1,6	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,4	organisch: 3,3
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden: I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 43	<b>Köhlfleet</b>	Strom-km:	-
Schwermetall-BK	Wachs:	2,6	LAWA: 2,3
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		2,4	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,3	organisch: 3,5
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden: I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Elbe 44	<b>Estemündung</b>	Strom-km:	633
Schwermetall-BK	Wachs:	2,4	LAWA: 2,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		1,3	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	3,4	organisch: 3,1
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	I	Chironomiden: III
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität: III</b>

Sediment Elbe 45	<b>Wedel</b>	Strom-km:	643	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,5	LAWA:	2,2
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		2,2		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	4,5	organisch:	3,8
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden:	IV
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>V</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>				
Sediment Elbe 46	<b>Lühemündung</b>	Strom-km:	646	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,5	LAWA:	2,2
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		1,4		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	4,6	organisch:	2,6
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden:	I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>				
Sediment Elbe 47	<b>Abbenfleth</b>	Strom-km:	660	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,3	LAWA:	1,3
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		1,1		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	2,2	organisch:	1,5
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden:	I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>				
Sediment Elbe 48	<b>Glückstadt</b>	Strom-km:	675	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,0	LAWA:	1,2
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		0,5		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	2,1	organisch:	1,0
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden:	I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>

Sediment Elbe 49	<b>Brunsbüttel</b>	Strom-km: 697
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,3</b>	LAWA: <b>1,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>2,9</b>	organisch: <b>2,4</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>		
Sediment Elbe 50	<b>Müggendorfer Watt</b>	Strom-km: 715
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,9</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,2</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>1,2</b>	organisch: <b>0,8</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>		
Sediment Elbe 51	<b>Duhner Watt</b>	Strom-km: 730
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,3</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>1,1</b>	organisch: <b>0,9</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden: <b>V</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: V</b>	<b>Sensitivität: V</b>

**Ems**

Sediment Ems 1	<b>Hövelhof</b>	Strom-km:	353,2
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,1</b>	LAWA:	<b>1,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,7</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>18,8</b>	organisch:	<b>12,0</b>
Kornklasse	<b>Grobsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>I</b>	Chironomiden:	<b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Ems 2	<b>Westerloher Mühle</b>	Strom-km:	345,2
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,3</b>	LAWA:	<b>1,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>2,3</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>15,8</b>	organisch:	<b>13,4</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>II</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>			
Sediment Ems 3	<b>Sassenberg</b>	Strom-km:	295,4
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,6</b>	LAWA:	<b>2,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>4,6</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>9,8</b>	organisch:	<b>7,3</b>
Kornklasse	<b>Schluff</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>IV</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Ems 4	<b>Telgte</b>	Strom-km:	273
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,5</b>	LAWA:	<b>2,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>4,6</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>11,4</b>	organisch:	<b>7,9</b>
Kornklasse	<b>Schluff</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>IV</b>	Chironomiden:	<b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>



Sediment Ems 5	<b>Dortmund-Kanal</b>	Strom-km:	258,3
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,2</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>8,1</b>	organisch: <b>4,7</b>
Kornklasse		<b>Schluff</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>I</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Ems 6	<b>Greven</b>	Strom-km:	246
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,9</b>	organisch: <b>4,3</b>
Kornklasse		<b>Schluff</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Ems 7	<b>an der Landesgrenze</b>	Strom-km:	205,1
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,9</b>	organisch: <b>4,1</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Ems 8	<b>Hanekenfähr</b>	Strom-km:	140
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,2</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>2,0</b>	organisch: <b>1,3</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>

Sediment Ems 9	<b>Hilter</b>	Strom-km: 186
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,8</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>2,2</b>	organisch: <b>1,9</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>		
Sediment Ems 10	<b>Herbrum</b>	Strom-km: 212
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,7</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,7</b>	organisch: <b>0,7</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität: III</b>

# Main

Sediment Main 1	<b>Regnitz Neuses</b>	Strom-km:	24,7
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,7</b>	LAWA:	<b>2,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>29,2</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>6,5</b>	organisch:	<b>5,3</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>			
Sediment Main 2	<b>Regnitz Hausen</b>	Strom-km:	32,4
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,7</b>	LAWA:	<b>2,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,7</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>8,2</b>	organisch:	<b>1,5</b>
Kornklasse	<b>Grobsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>IV</b>	Chironomiden:	<b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Main 3	<b>Hallstadt</b>	Strom-km:	387,4
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,5</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>1,4</b>	organisch:	<b>1,1</b>
Kornklasse	<b>Grobsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: II</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>			
Sediment Main 4	<b>Schweinfurt</b>	Strom-km:	333
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,3</b>	LAWA:	<b>2,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,4</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>7,2</b>	organisch:	<b>4,2</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: II</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>

Sediment Main 5	<b>Kleinostheim</b>	Strom-km:	74,5L	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA:	<b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>4,2</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>4,3</b>	organisch:	<b>3,2</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>				
Sediment Main 6	<b>Großwelzheim</b>	Strom-km:	71,5R	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,0</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,4</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>1,8</b>	organisch:	<b>1,1</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>				
Sediment Main 7	<b>Großkrotzenburg</b>	Strom-km:	64L	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA:	<b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,4</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,9</b>	organisch:	<b>3,3</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>				
Sediment Main 8	<b>Steinheimer Bogen</b>	Strom-km:	58	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA:	<b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,7</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,4</b>	organisch:	<b>3,1</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden:	<b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>

Sediment Main 9	<b>Hanau</b>	Strom-km:	56
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,9</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,2</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>2,4</b>	organisch: <b>1,6</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>			
Sediment Main 10	<b>Mühlheim</b>	Strom-km:	54
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,8</b>	organisch: <b>3,3</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Main 11	<b>Offenbach</b>	Strom-km:	38,5
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>3,3</b>	LAWA: <b>4,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>37,3</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,7</b>	organisch: <b>3,9</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Main 12	<b>Frankfurt Osthafen</b>	Strom-km:	37,5
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,8</b>	LAWA: <b>3,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>20,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,5</b>	organisch: <b>2,2</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: V</b>

Sediment Main 13	<b>Frankfurt Westhafen</b>	Strom-km:	33
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,5</b>	LAWA: <b>1,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>6,3</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,7</b>	organisch: <b>2,6</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Main 14	<b>Griesheim</b>	Strom-km:	29
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>3,0</b>	LAWA: <b>4,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>23,0</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>4,3</b>	organisch: <b>3,1</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>			
Sediment Main 15	<b>Eddersheim</b>	Strom-km:	16
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,1</b>	organisch: <b>2,5</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Main 16	<b>Kostheim</b>	Strom-km:	3,8
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>3,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,4</b>	organisch: <b>2,5</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>

# Mosel



Sediment Mosel 1	<b>Palzem</b>	Strom-km:	229,8
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,4</b>	LAWA: <b>1,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>11,8</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>4,7</b>	organisch: <b>2,5</b>
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Mosel 2	<b>Grevenmacher</b>	Strom-km:	212,7
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,4</b>	LAWA: <b>2,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>14,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,1</b>	organisch: <b>3,3</b>
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Mosel 3	<b>Trier</b>	Strom-km:	195,8
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,4</b>	LAWA: <b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>17,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>4,9</b>	organisch: <b>2,9</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Mosel 4	<b>Detzem</b>	Strom-km:	166,8
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,8</b>	LAWA: <b>3,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>21,8</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,9</b>	organisch: <b>3,1</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>V</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>V</b>

Sediment Mosel 5	<b>Wintrich</b>	Strom-km:	141,5
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>11,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>4,9</b>	organisch: <b>1,8</b>
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Mosel 6	<b>Zeltingen</b>	Strom-km:	123,8
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,4</b>	LAWA: <b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>11,3</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,7</b>	organisch: <b>2,4</b>
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>			
Sediment Mosel 7	<b>Enkirch</b>	Strom-km:	103
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,5</b>	LAWA: <b>2,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>9,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,9</b>	organisch: <b>3,9</b>
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>V</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Mosel 8	<b>Fankel</b>	Strom-km:	59,5
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>3,1</b>	LAWA: <b>3,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>3,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,3</b>	organisch: <b>3,2</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>V</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>

Sediment Mosel 9	<b>Müden</b>	Strom-km:	37	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,4	LAWA:	1,7
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		7,2		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,4	organisch:	2,7
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden:	II
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>				
Sediment Mosel 10	<b>Lehmen</b>	Strom-km:	21	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,4	LAWA:	2,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		4,3		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,7	organisch:	3,3
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden:	I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>				
Sediment Mosel 11	<b>Koblenz</b>	Strom-km:	2	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,3	LAWA:	1,5
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		4,4		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	4,5	organisch:	1,8
Kornklasse		<b>Grobsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden:	II
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>

# Neckar

Sediment Neckar 1	<b>Neckarsteinach</b>	Strom-km:	39,3R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,1</b>	LAWA: <b>1,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>4,7</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>4,1</b>	organisch: n.b.
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Neckar 2	<b>Neckarzimmern</b>	Strom-km:	86L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,5</b>	LAWA: <b>2,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>7,7</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,9</b>	organisch: <b>3,9</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>V</b>
<hr/>			
Sediment Neckar 3	<b>Lauffen</b>	Strom-km:	125,5L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,4</b>	LAWA: <b>2,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>5,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>7,1</b>	organisch: <b>5,1</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Neckar 4	<b>Staustufe Lauffen</b>	Strom-km:	126,5
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>5,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>n.b.</b>	organisch: <b>3,2</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>II</b>

Sediment Neckar 5	<b>Obernossen</b>	Strom-km:	127,5	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA:	<b>1,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>9,1</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>n.b.</b>	organisch:	<b>3,5</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>				
Sediment Neckar 6	<b>Poppenweiler</b>	Strom-km:	165,4L	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,1</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>9,8</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,7</b>	organisch:	<b>3,8</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>				
Sediment Neckar 7	<b>Deizesau</b>	Strom-km:	199,7L	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,5</b>	LAWA:	<b>2,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>4,4</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,9</b>	organisch:	<b>3,1</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>				
Sediment Neckar 8	<b>Tübingen</b>	Strom-km:	243	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,1</b>	LAWA:	<b>1,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>6,9</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,8</b>	organisch:	<b>2,8</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden:	<b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>

**Neisse**

Sediment Neisse 1	<b>Hartau</b>	Strom-km:	197,4
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>1,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>4,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>1,6</b>	organisch: <b>1,4</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>I</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Neisse 2	<b>Zittau vor Kläranlage</b>	Strom-km:	194
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,5</b>	LAWA: <b>2,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>4,3</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>2,2</b>	organisch: <b>n.b.</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität: II</b>
<hr/>			
Sediment Neisse 3	<b>Zittau nach Kläranlage</b>	Strom-km:	193
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>2,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>7,2</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>1,2</b>	organisch: <b>1,5</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>			
Sediment Neisse 4	<b>Ostritz</b>	Strom-km:	178
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,1</b>	LAWA: <b>1,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>3,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>1,5</b>	organisch: <b>0,7</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>I</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität: II</b>



Sediment Neisse 5	<b>Görlitz</b>	Strom-km:	151,3
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,5</b>	LAWA: <b>2,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>7,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,9</b>	organisch: <b>3,3</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Neisse 6	<b>Rothenburg</b>	Strom-km:	120
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>1,1</b>	organisch: <b>0,7</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Neisse 7	<b>Pechern</b>	Strom-km:	92
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,5</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,2</b>	organisch: <b>0,1</b>
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Neisse 8	<b>Bad Muskau</b>	Strom-km:	80
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>1,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,0</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>1,3</b>	organisch: <b>0,9</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>IV</b>

Sediment Neisse 9	<b>Forst/Grießen</b>	Strom-km:	40,8
Schwermetall-BK	Wachs:	1,8	LAWA: 1,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		0,6	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	0,6	organisch: 0,4
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden: IV
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Neisse 10	<b>Ratzdorf</b>	Strom-km:	0
Schwermetall-BK	Wachs:	1,7	LAWA: 1,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		0,3	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	0,2	organisch: 0,2
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden: II
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: III</b>

**Oder**

Sediment Oder 1	<b>Ratzdorf</b>	Strom-km:	542L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,6</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,3</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,5</b>	organisch: <b>0,4</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>I</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität: II</b>
<hr/>			
Sediment Oder 2	<b>Eisenhüttenstadt</b>	Strom-km:	553L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,8</b>	LAWA: <b>2,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>5,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,9</b>	organisch: <b>1,1</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Oder 3	<b>Eisenhüttenstadt (PL)</b>	Strom-km:	553R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,1</b>	LAWA: <b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>2,1</b>	organisch: <b>3,3</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>II</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität: II</b>
<hr/>			
Sediment Oder 4	<b>Aurith</b>	Strom-km:	565L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,8</b>	organisch: <b>0,7</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>I</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>I</b>	<b>Sensitivität: I</b>

Sediment Oder 5	<b>Aurith(PL)</b>	Strom-km:	566R
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,9</b>	LAWA:	<b>4,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>10,0</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>5,7</b>	organisch:	<b>3,7</b>
Kornklasse	<b>Grobsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>			
Sediment Oder 6	<b>Frankfurt/O (PL)</b>	Strom-km:	584R
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,2</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,3</b>	organisch:	<b>0,2</b>
Kornklasse	<b>Grobsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>I</b>	Chironomiden:	<b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: II</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>II</b>
<hr/>			
Sediment Oder 7	<b>Frankfurt/O</b>	Strom-km:	585L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,7</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>1,4</b>	organisch:	<b>0,8</b>
Kornklasse	<b>Grobsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>I</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: I</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>I</b>
<hr/>			
Sediment Oder 8	<b>Lebus</b>	Strom-km:	593L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,7</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,6</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>1,1</b>	organisch:	<b>0,3</b>
Kornklasse	<b>Grobsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: II</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>

Sediment Oder 9	<b>Lebus (PL)</b>	Strom-km: 600R
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,8</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,6</b>	organisch: <b>0,6</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>		
Sediment Oder 10	<b>Kietz</b>	Strom-km: 617L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,0</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>1,4</b>	organisch: <b>3,3</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>		
Sediment Oder 11	<b>Kietz (PL)</b>	Strom-km: 617,6R
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,8</b>	LAWA: <b>3,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,8</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>5,3</b>	organisch: <b>0,9</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>IV</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>		
Sediment Oder 12	<b>Groß-Neuendorf</b>	Strom-km: 635L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>1,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>1,4</b>	organisch: <b>0,8</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: II</b>	<b>Sensitivität: III</b>

---

Sediment Oder 13	<b>Hohenwutzen</b>	Strom-km: 662
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,4</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,2</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,3</b>	organisch: <b>0,2</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: II</b>	<b>Sensitivität: III</b>

---

# Rhein



Sediment Rhein 1	<b>Albruck</b>	Strom-km:	113
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>7,7</b>	organisch: <b>3,5</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 2	<b>Augst</b>	Strom-km:	155
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,4</b>	LAWA: <b>1,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>12,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,9</b>	organisch: <b>2,4</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 3	<b>Birsfelden</b>	Strom-km:	162
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,8</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>4,6</b>	organisch: <b>0,9</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 4	<b>Märkt</b>	Strom-km:	173,7
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,1</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,7</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,5</b>	organisch: <b>3,3</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>

Sediment Rhein 5	<b>Burkheim</b>	Strom-km:	234,2
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,6</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,1</b>	organisch: <b>2,7</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 6	<b>Weisweil</b>	Strom-km:	248
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>1,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,9</b>	organisch: <b>2,5</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 7	<b>Nonnenweier</b>	Strom-km:	268,5
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,1</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>7,0</b>	organisch: <b>3,9</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 8	<b>Iffezheim</b>	Strom-km:	332,5
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,8</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,7</b>	organisch: <b>3,1</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: III</b>

Sediment Rhein 9	<b>Maximiliansau</b>	Strom-km:	362,5	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA:	<b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,0</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,2</b>	organisch:	<b>2,4</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>				
Sediment Rhein 10	<b>Speyer</b>	Strom-km:	400,5	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA:	<b>1,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,8</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,9</b>	organisch:	<b>2,3</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>				
Sediment Rhein 11	<b>Lampertheim</b>	Strom-km:	438	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,6</b>	LAWA:	<b>2,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,9</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>8,1</b>	organisch:	<b>2,7</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden:	<b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>V</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>				
Sediment Rhein 12	<b>Worms</b>	Strom-km:	443	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,1</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,7</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,3</b>	organisch:	<b>2,8</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>

Sediment Rhein 13	<b>Kühkopf</b>	Strom-km:	468
Schwermetall-BK	Wachs:	2,5	LAWA: 2,5
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		8,9	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,4	organisch: 2,2
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	IV	Chironomiden: IV
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 14	<b>Erfelden</b>	Strom-km:	473
Schwermetall-BK	Wachs:	2,5	LAWA: 2,7
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		3,7	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,0	organisch: 1,9
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden: IV
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 15	<b>Nierstein</b>	Strom-km:	480L
Schwermetall-BK	Wachs:	2,1	LAWA: 1,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		1,6	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	4,7	organisch: 1,0
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden: IV
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>V</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 16	<b>Gustavsburg (Ort)</b>	Strom-km:	495,8
Schwermetall-BK	Wachs:	2,1	LAWA: 1,0
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		2,2	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	5,3	organisch: 2,2
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden: I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: V</b>

Sediment Rhein 17	<b>Gustavsburg</b>	Strom-km:	496
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>3,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>4,8</b>	organisch: <b>1,7</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 18	<b>Maaraue</b>	Strom-km:	497
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>9,2</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,9</b>	organisch: <b>2,0</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 19	<b>Schierstein</b>	Strom-km:	505
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>3,3</b>	LAWA: <b>4,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>41,0</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,5</b>	organisch: <b>2,5</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 20	<b>Oberwesel</b>	Strom-km:	549,6
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>3,7</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,5</b>	organisch: <b>3,1</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: V</b>

Sediment Rhein 21	<b>Loreley</b>	Strom-km:	555
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,4</b>	LAWA: <b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,3</b>	organisch: <b>3,3</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 22	<b>Brohl</b>	Strom-km:	622
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>1,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,4</b>	organisch: <b>1,5</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 23	<b>Oberwinter</b>	Strom-km:	639,1L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,5</b>	LAWA: <b>1,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>6,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,6</b>	organisch: <b>3,4</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 24	<b>Köln-Deutz</b>	Strom-km:	687,3R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,7</b>	LAWA: <b>3,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>6,0</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,1</b>	organisch: <b>3,6</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>

Sediment Rhein 25	<b>Köln</b>	Strom-km:	687,6L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,4</b>	LAWA: <b>2,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>6,1</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,6</b>	organisch: <b>3,5</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 26	<b>Monheim-Hitdorf</b>	Strom-km:	706,9R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,6</b>	LAWA: <b>2,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>7,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,1</b>	organisch: <b>3,3</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 27	<b>Neuss</b>	Strom-km:	740,1L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,5</b>	LAWA: <b>2,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>7,3</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,3</b>	organisch: <b>3,6</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 28	<b>Düsseldorf</b>	Strom-km:	743,1R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,5</b>	LAWA: <b>2,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>4,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,1</b>	organisch: <b>2,7</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>

Sediment Rhein 29	<b>Krefeld</b>	Strom-km:	764,1L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,8</b>	LAWA: <b>3,2</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>4,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,2</b>	organisch: <b>2,7</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 30	<b>Duisburg</b>	Strom-km:	781,1L
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>5,0</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,6</b>	organisch: <b>1,9</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 31	<b>Duisburg</b>	Strom-km:	781,1R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,7</b>	LAWA: <b>2,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>8,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>5,0</b>	organisch: <b>2,8</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 32	<b>Wesel-Datteln-Kanal</b>	Strom-km:	813,1R
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,6</b>	LAWA: <b>2,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>3,8</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,9</b>	organisch: <b>3,0</b>
Kornklasse		<b>Mittelsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>



Sediment Rhein 33	<b>Xanten</b>	Strom-km:	826,9L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,1</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>3,0</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>5,5</b>	organisch:	<b>3,0</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden:	<b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 34	<b>Lohrwardt</b>	Strom-km:	830R
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,5</b>	LAWA:	<b>1,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>5,2</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>4,9</b>	organisch:	<b>2,6</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 35	<b>Müllershof</b>	Strom-km:	848,2L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,5</b>	LAWA:	<b>2,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>11,6</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>5,5</b>	organisch:	<b>2,9</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>			
Sediment Rhein 36	<b>Hüthumer Meer</b>	Strom-km:	853,8R
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,5</b>	LAWA:	<b>2,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>4,9</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>6,2</b>	organisch:	<b>3,6</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden:	<b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>

---

Sediment Rhein 37	<b>Keeken-Bimmen</b>	Strom-km:	863,8L
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,5</b>	LAWA:	<b>1,8</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>3,1</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>5,5</b>	organisch:	<b>4,2</b>
Kornklasse	<b>Mittelsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden:	<b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>

---

# Ruhr

Sediment Ruhr 1	<b>Olsberg</b>	Strom-km:	198,4
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,5</b>	LAWA: <b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,7</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,6</b>	organisch: <b>6,2</b>
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Ruhr 2	<b>Meschede</b>	Strom-km:	176,9
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,9</b>	LAWA: <b>3,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>4,6</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>4,8</b>	organisch: <b>5,0</b>
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>V</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>V</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>V</b>
<hr/>			
Sediment Ruhr 3	<b>Freienohl</b>	Strom-km:	165,2
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,7</b>	LAWA: <b>3,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>4,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>2,8</b>	organisch: <b>4,9</b>
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>
<hr/>			
Sediment Ruhr 4	<b>Wickede</b>	Strom-km:	122,5
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,7</b>	LAWA: <b>2,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>2,7</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>6,5</b>	organisch: <b>2,3</b>
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>III</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b> <b>III</b>

Sediment Ruhr 5	<b>Schwerte</b>	Strom-km:	101,5
Schwermetall-BK	Wachs:	LAWA:	<b>3,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]			<b>4,5</b>
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	organisch:	<b>6,1</b>
Kornklasse			<b>Grobsand</b>
ÖZ im Biotest	Nematoden:	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>			
Sediment Ruhr 6	<b>Herdecke</b>	Strom-km:	85,45
Schwermetall-BK	Wachs:	LAWA:	<b>3,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]			<b>19,8</b>
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	organisch:	<b>6,5</b>
Kornklasse			<b>Grobsand</b>
ÖZ im Biotest	Nematoden:	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>			
Sediment Ruhr 7	<b>Witten-Bommern</b>	Strom-km:	74,5
Schwermetall-BK	Wachs:	LAWA:	<b>3,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]			<b>7,5</b>
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	organisch:	<b>6,0</b>
Kornklasse			<b>Grobsand</b>
ÖZ im Biotest	Nematoden:	Chironomiden:	<b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Ruhr 8	<b>Bochum</b>	Strom-km:	50,55
Schwermetall-BK	Wachs:	LAWA:	<b>5,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]			<b>24,6</b>
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	organisch:	<b>4,6</b>
Kornklasse			<b>Grobsand</b>
ÖZ im Biotest	Nematoden:	Chironomiden:	<b>IV</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>

Sediment Ruhr 9	<b>Essen</b>	Strom-km:	26,5
Schwermetall-BK	Wachs:	3,3	LAWA: 4,2
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		12,6	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	10,3	organisch: 6,2
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden: II
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>			
Sediment Ruhr 10	<b>Duisburg</b>	Strom-km:	3,3
Schwermetall-BK	Wachs:	2,8	LAWA: 3,3
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		6,7	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	8,7	organisch: 2,0
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden: I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität: III</b>

**Saar**

Sediment Saar 1	<b>oh. Lisdorf</b>	Strom-km: 69,8
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,1</b>	LAWA: <b>1,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>6,9</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>n.b.</b>	organisch: <b>1,7</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>III</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität: III</b>
<hr/>		
Sediment Saar 2	<b>Lisdorf</b>	Strom-km: 67
Schwermetall-BK	Wachs: <b>2,3</b>	LAWA: <b>1,5</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>3,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>n.b.</b>	organisch: <b>1,3</b>
Kornklasse	<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>I</b>	Chironomiden: <b>II</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: II</b>	<b>Sensitivität: II</b>



**Weser**

Sediment Weser 1	<b>Boffzen</b>	Strom-km:	68,8	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,2	LAWA:	1,2
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		2,8		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	4,5	organisch:	1,8
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden:	III
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>
<hr/>				
Sediment Weser 2	<b>Hajen</b>	Strom-km:	119,9	
Schwermetall-BK	Wachs:	3,1	LAWA:	2,7
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		2,4		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	4,5	organisch:	3,7
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden:	I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>				
Sediment Weser 3	<b>Hess. Oldendorf</b>	Strom-km:	146,6	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,3	LAWA:	1,8
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		2,3		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	4,4	organisch:	3,9
Kornklasse		<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	V	Chironomiden:	I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>
<hr/>				
Sediment Weser 4	<b>Eder</b>	Strom-km:	177,5R	
Schwermetall-BK	Wachs:	2,4	LAWA:	1,8
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		1,8		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	7,1	organisch:	4,3
Kornklasse		<b>Schluff</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden:	III	Chironomiden:	I
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>II</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>III</b>

Sediment Weser 5	<b>Petershagen</b>	Strom-km:	215,1
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,3</b>	LAWA: <b>1,7</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>1,5</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>3,7</b>	organisch: <b>2,5</b>
Kornklasse		<b>Grobsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>
<hr/>			
Sediment Weser 6	<b>Drakenburg</b>	Strom-km:	277,6
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>2,2</b>	LAWA: <b>1,3</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>3,0</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>2,9</b>	organisch: <b>2,1</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>IV</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Weser 7	<b>Mündung 1</b>	Strom-km:	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,5</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,4</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>2,2</b>	organisch: <b>1,7</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>V</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: V</b>
<hr/>			
Sediment Weser 8	<b>Mündung 2</b>	Strom-km:	
Schwermetall-BK	Wachs:	<b>1,4</b>	LAWA: <b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]		<b>0,0</b>	
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt:	<b>0,5</b>	organisch: <b>0,2</b>
Kornklasse		<b>Feinsand</b>	
ÖZ im Biotest	Nematoden:	<b>IV</b>	Chironomiden: <b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW:</b>	<b>III</b>	<b>Sensitivität: IV</b>

Sediment Weser 9	<b>Mündung 3</b>	Strom-km:	
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,7</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,4</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>2,8</b>	organisch:	<b>0,4</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>IV</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Weser 10	<b>Mündung 4</b>	Strom-km:	
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,5</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,1</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>0,5</b>	organisch:	<b>0,3</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>IV</b>	Chironomiden:	<b>III</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: IV</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>IV</b>
<hr/>			
Sediment Weser 11	<b>Mündung 5</b>	Strom-km:	
Schwermetall-BK	Wachs: <b>1,8</b>	LAWA:	<b>1,0</b>
Summe der EPA-PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	<b>0,1</b>		
Kohlenstoffgehalt [%]	gesamt: <b>1,0</b>	organisch:	<b>0,6</b>
Kornklasse	<b>Feinsand</b>		
ÖZ im Biotest	Nematoden: <b>V</b>	Chironomiden:	<b>I</b>
<b>Ökologische Zustandsklasse</b>	<b>MW: III</b>	<b>Sensitivität:</b>	<b>V</b>