

Nationalpark Unteres Odertal (Hrsg.)

BEITRÄGE AUS DEM NATIONALPARK UNTERES ODERTAL - BAND 1/2016

**Daten vom Fluss: Wissenschaftliche Untersuchungen
und aktuelle Anwendungsaspekte in Auenlandschaften**

Unter der Schirmherrschaft der Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg, Frau Dr. Münch

Nationalpark
Unteres Odertal



INHALTSVERZEICHNIS

1	Internationale Auentagung im Nationalpark Unteres Odertal "Daten vom Fluss".....	1
	<i>Jana Chmielecki</i>	
2	Renaturierung des Wasserhaushalts im Nationalpark Unteres Odertal.....	3
	<i>Michael Tautenhahn, Michael Voigt</i>	
3	Zur Eiszeitlichen und Nacheiszeitlichen Genese des Unteren Odertals zwischen Hohensaaten und Gartz	11
	<i>Olaf Juschus</i>	
4	Deutsch-polnische Zusammenarbeit.....	15
	<i>Jana Chmielecki, Jens Meisel</i>	
5	Versuch der naturschutzfachlichen Bewertung von Fließgewässern mittels eines einfachen Verfahrens.....	19
	<i>Andrzej Jermaczek</i>	
6	Auveg - eine bundesweite Datenbank der Vegetation von Flussauen.....	26
	<i>Peter J. Horchler</i>	
7	Erfassungsmethoden für sich schnell ändernde Systeme - der "dynamische Methodenmix".....	32
	<i>Peter Fischer</i>	
8	Auenböden in Brandenburg.....	37
	<i>Beate Gall, Niko Roßkopf, Albrecht Bauriegel, Dieter Kühn</i>	
9	Spuremetalle in Auensedimenten des mittleren Abschnitts des Flusses Oder.....	42
	<i>Aleksandra Ibragimow, Barbara Walna, Marcin Siepak</i>	
10	Daten vom Fluss - Grenzen und Möglichkeiten einer Stickstoff- und Phosphorretentionsmodellierung in Auen auf Landschaftsebene.....	47
	<i>Stephanie Natho</i>	
11	Protection of alluvial wetlands in the mouth of the Warta river valley.....	53
	<i>Lesław Wolejko</i>	
12	Fledermäuse im Nationalpark Unteres Odertal.....	59
	<i>Jörn Horn</i>	
13	Ökosystemare Umweltbeobachtung in den Gewässern des Biosphärenreservates "Flusslandschaft Elbe - Brandenburg".....	63
	<i>Timm Kabus</i>	

14	Vegetationsentwicklung in der Aue des Nationalparks Unteres Odertal.....	67
	<i>Ninett Hirsch, Philipp Kohler, Jana Chmielecki</i>	
15	Lebensstrategien seltener Strompflanzen.....	74
	<i>Katja Geißler, Axel Gzik</i>	
16	Dynamische Graslandbiozönosen an der Elbe.....	79
	<i>Thomas Lüdicke, Oliver Brauner, Robert Probst, Vera Luthardt</i>	
17	Das Dynamische Grünlandmanagement im Nationalpark Unteres Odertal.....	85
	<i>Nanett Nahs</i>	
18	Master Plan Ems 2050.....	91
	<i>Peter Pauschert</i>	
19	Auwaldentwicklung im Deichvorland der Oder.....	96
	<i>Jens Thormann</i>	
20	Primärsukzessin und Initialbodenbildung.....	101
	<i>Marius Stapelfeldt</i>	
21	Analyse der Einnischung der Hohen Weide (<i>Salix rubens</i>) in den hydrologischen Gradienten an der Unteren Mittel- elbe.....	107
	<i>Julia Stäps, Peter Horchler</i>	
22	Die Entwicklung der Ufervegetation an Bundeswasserstraßen nach Einstellung anthropogener Aktivitäten.....	112
	<i>Sarah Harvolk-Schöning, Lisa Hauer</i>	
23	Was die Aue für uns leistet.....	118
	<i>Inga Willecke</i>	
24	Wetland products: Nachhaltiges Baumaterial aus Schilf und Rohrkolben.....	123
	<i>Aldert van Weeren</i>	
25	Einfluss der Landbedeckung auf die hydromorphologische Qualität ausgewählter Fließgewässer des Hügellandes in Polen.....	127
	<i>Rafał Kozłowski, Joanna Przybylska</i>	
26	Verbesserung des Auenwasserhaushaltes am Beispiel der Lippeaue im Kreis Soest.....	132
	<i>Joachim Drüke, Birgit Beckers, Roland Loerbrocks</i>	

9 Spurenmetalle in Auensedimenten des mittleren Abschnitts des Flusses Oder: Belastungssituation und Gefahrenpotentiale

Aleksandra Ibragimow, Barbara Walna, Marcin Siepak

Zusammenfassung

Auensedimente des mittleren Abschnitts der Oder zwischen den Mündungen von Lausitzer Neiße und Warthe wurden auf ihre physikalisch-chemischen Eigenschaften und Gesamtgehalte an Kupfer, Blei und Zink untersucht. Im Vergleich zu geochemischen Hintergrundwerten, LAWA-Klassen und Igeo-Klassen wiesen die Proben aus beiden Tiefenschichten (0-30 und 30-60 cm) deutlich erhöhte Schwermetallkonzentrationen auf. Dabei zeigen die Sedimente der aktuellen Überschwemmungsgebiete höhere Konzentrationen von Kupfer, Blei und Zink im Vergleich zu ehemaligen Überschwemmungsgebieten auf. Die Schwermetallkonzentrationen korrelieren mit dem Gehalt an organischer Substanz sowie bestimmten Sandfraktionen. Die Ergebnisse zeigen die Bedeutung der fluvialen Prozesse am Beispiel der Oder für den Transport von Schwermetallen und bestätigten die Existenz der historischen Belastung entlang des analysierten Mittellaufs. Der Artikel basiert auf den Forschungsergebnissen der Dissertation der Autorin (Ibragimow 2012) und konzentriert sich auf die Darstellung der historischen und aktuellen Schwermetallbelastung von Auensedimenten des mittleren Abschnitts der Oder zwischen den Mündungen von Lausitzer Neiße und Warthe.

Keywords: Auen, Auensedimente, Oder, Gesamtgehalte der Spurenmetalle, Risikobewertung

Einleitung

Spurenmetalle wie Blei, Kupfer und Zink gelten als eine der wichtigsten Verunreinigungen aquatischer Ökosysteme und werden nach WRRL (WRRL 2000/60/WE) als Schadstoffe sowie Blei und seine Verbindungen sogar als prioritäre Stoffe eingeordnet. Die negativen Auswirkungen von erhöhten Konzentrationen ergeben sich unabhängig von Staatsgrenzen und ihre Entfernung von den Orten ihrer Freisetzung. Die Belastung mit Spurenmetallen wird derzeit als eines der größten und komplexesten Umweltprobleme angesehen (Meyer et al. 2002). Ein besonderer Fall ist die Schadstoffanreicherung in Auensedimenten: Die Fließgewässer bilden mit ihren Überschwemmungsgebieten, in den sich die Auen entwickeln, eine untrennbare Einheit. Wenn der Fluss über seine Ufer tritt, werden die angrenzenden Auenbereiche überflutet. Das feinere Material, das als wichtigster Sorbent von Spurenmetallen dient und aus dem ganzen Einzugsgebiet transportiert wird, wird mit dem Überflutungswasser weiter getragen und sedimentiert in den Auenbereichen bei nachlassender Strömung (Ciszewski 2006). Die Konzentrationen von Spurenmetallen in so entstehenden Auensedimenten

sind nicht konstant und unterliegen weiteren Transformationen, die ihrerseits vom Element bzw. der chemischen Verbindung und der Sorptionskapazität und Korngröße der Sedimentpartikel sowie vom chemischen Umgebungsmilieu (Redoxpotential, pH-Wert, organische Substanz und Carbonate) abhängen (Kashem, Singh 2001). Sie können die Akkumulation und die Freisetzung von adsorbierten Spurenmetallen verstärken. Deshalb fungieren die Auensedimente häufig sowohl als Schwermetallsenken als auch als ihre sekundäre Quelle während Überschwemmungen und Hochwasser (Ciszewski 2006). Eine verlässliche Risikobewertung von Schwermetallvorkommen in Auenbereichen ist deshalb notwendig.

Die Oder verbindet die hoch industrialisierten Gebiete, wie z.B. Bergbaugelände in Südpolen mit den sich im mittleren Abschnitt des Flusses befindenden industriell nicht entwickelten Gebieten, vor allem denen nach der Mündung der Lausitzer Neiße. Die Suspensionsfracht der Oder charakterisiert sich durch hohe Konzentrationen der Spurenmetalle und hohe Belastung ihrer Sedimente (Meyer et al. 2002). Außerdem gibt es hier oft Überschwemmungen und Hochwässer (Ciszewski 2006).

Ziele der im Folgenden dargestellten Studie waren (1) die Ermittlung der Gesamtgehalte von Kupfer, Blei und Zink in Auensedimenten des mittleren Abschnitts der Oder zwischen der Mündung der Lausitzer Neiße und der Mündung der Warthe zu bestimmen sowie (2) die Feststellung einer aktuellen Belastung der Auensedimente.

Methodik

Untersuchungsgebiet

Die Geländeuntersuchungen und Probenahmen erfolgten in mehreren Gebieten des mittleren Abschnitts der Oder zwischen den Mündungen von Lausitzer Neiße und Warthe. Dort wurden zwischen dem 551 und dem 608. Flusskilometer neun Untersuchungstransecte aufgenommen, die senkrecht zum Flussbett lagen (Abbildung 1) und sich in Bezug auf ihre Breite und die Höhenlage über dem Meeresspiegel unterschieden. Entlang von jedem Transect befinden sich fünf Probenahmestellen: davon vier im heutigen Überschwemmungsgebiet (insgesamt 36 Probenahmestellen) und eine im ehemaligen Überschwemmungsgebiet hinter dem Deich (insgesamt sieben Probenahmestellen).

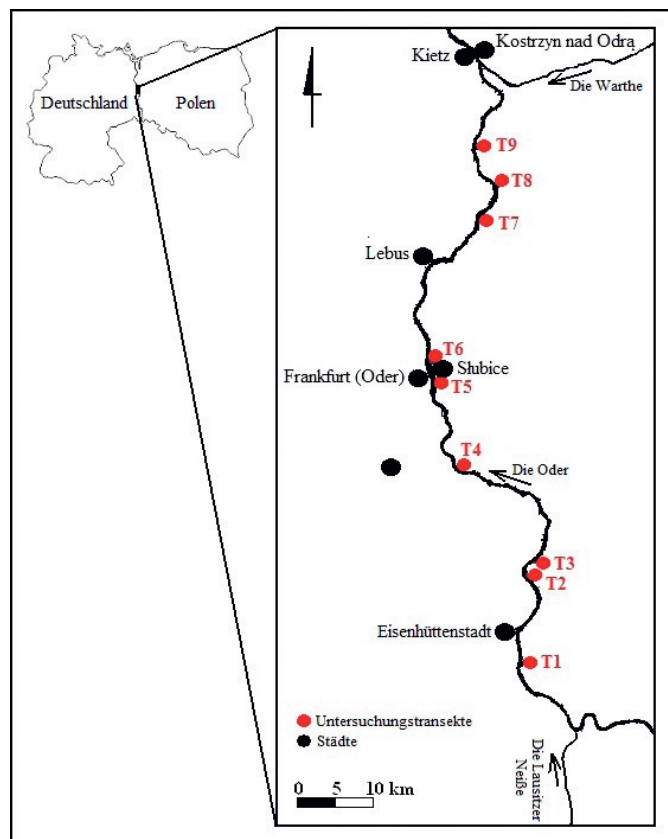


Abbildung 1: Lage der Untersuchungstransecte.

Geländeuntersuchungen

Sedimentproben wurden im Herbst 2009 in zwei Tiefenstufen (0 bis 30 cm und 30 bis 60 cm) entnommen. Insgesamt waren dies 180 Proben aus dem heutigen und 35 Proben aus dem ehemaligen Überschwemmungsgebiet (fünf pro Stelle und pro Tiefenstufe). Das Redoxpotential wurde in situ gemessen.

Laboranalysen

Laborativ wurden nach (hier nicht aufgeführten) ISO- und polnischen Standards, vgl. Ibragimow 2012) für die Feinbodenfraktion folgende Parameter untersucht: Korngrößen, pH(H₂O), pH(KCl), Gehalt an organischer Substanz und CaCO₃. Die Messung der Gesamtgehalte der Spurenmetalle erfolgte mittels HNO₃-Extraktion. Die Bestimmung der Konzentrationen erfolgte mittels (F-AAS).

Bewertung der Belastungssituation

Die Beurteilung des jeweiligen Belastungsniveaus und die räumliche Verteilung der Schadstoffe erfolgten anhand der LAWA-Klassifikation (LAWA 1998) sowie anhand des Geoakkumulations-Index (Igeo) (nach Müller 1969). Der Igeo ist ein Maß für die Höhe der Belastung eines Sediments oder Bodens mit anorganischen oder organischen umweltrelevanten Spurenelementen und setzt die heutige Konzentration in Bezug zu prävivilisatorischen Konzentrationen. Für die Bewertung des geochemischen Hintergrunds der aquatischen Sedimente in Polen wurden folgende Werte verwendet [mg/kg TG]: 6 für Cu, 10 für Pb und 48 für Zn (Bojakowska, Sokołowska 1998).

Ergebnisse

Physiko-chemischen Eigenschaften der Auensedimente

Die physiko-chemischen Eigenschaften der Sedimente des heutigen Überschwemmungsgebiets aus den Tiefen 0-30 cm und 30-60 cm wiesen folgende Unterschiede auf (Tabelle 1). Die Anteile der sehr groben (2000-1000 µm), groben (1000-500 µm), und feinen (100-50 µm) Sandfraktionen sowie der Ton- und Schlufffraktion (<50 µm), die Eh-Werte und die Gehalte an organischer Substanz waren in der Tiefenstufe 0-30 cm höher in der Tiefenstufe 30-60 cm, die pH-Werte und die CaCO₃ Gehalte dagegen niedriger. Ton- und Schluffpartikel bin-

Tabelle 1: Physiko-chemische Eigenschaften der Sedimente des heutigen und ehemaligen Überschwemmungsgebiets.

Überschwemmungsgebiet	Parameter	Min	Max	Mittelwert	Median	Min	Max	Mittelwert	Median	
		Tiefe 0-30 cm				Tiefe 30-60 cm				
Heutiges Überschwemmungsgebiet	Eh [mV]	285	448	378	384	260	434	354	361	
	pH(dest.)	5,1	7,6	6,1	6,2	5,7	8,2	6,8	6,7	
	pH(KCl)	4,5	7,4	5,5	5,5	4,7	7,9	6	6	
	Gehalt an organischer Substanz [%]	3,4	34	13	9,6	0,3	15	3	2,4	
	CaCO ₃ Gehalt [%]	1,7	5,4	3,1	2,8	1,4	8,5	3,1	2,7	
	Anteil der Korngrößen [%]	2000-1000 µm	1,5	61	21	17	0	46	14	12
		1000-500 µm	5	48	27	27	0,7	41	24	25
		500-250 µm	6,4	58	30	31	15	61	37	38
250-100 µm		3,9	41	18	18	5	60	21	18	
100-50 µm		0,4	5,3	2,8	2,5	0,1	6,7	2,4	2	
<50 µm	0,2	2,3	1,2	1,1	0,1	2,9	1	0,9		
Ehemaliges Überschwemmungsgebiet	Eh [mV]	263	475	363	363	293	431	365	362	
	pH(dest.)	4,6	7,8	6	6,3	5	8,6	6,6	6,7	
	pH(KCl)	3,8	7,2	5,3	5,5	4	8	5,7	5,6	
	Gehalt an organischer Substanz [%]	2,3	11	7,2	6,4	0,3	4,6	1,4	0,8	
	CaCO ₃ Gehalt [%]	2	4	3	2,8	1,9	3,9	2,9	3,2	
	Anteil der Korngrößen [%]	2000-1000 µm	3,9	21	11	9,9	3,6	29	14	9,8
		1000-500 µm	15	39	26	26	15	51	29	23
		500-250 µm	22	54	37	35	22	51	35	34
250-100 µm		8,8	33	22	19	2,9	34	19	23	
100-50 µm		1,6	6,7	3,1	2	0,5	4,5	2,1	1,3	
<50 µm	0,7	2,9	1,4	0,9	0,2	1,9	0,9	0,6		

den Schwermetalle, so dass diese im Vergleich höheren Werte in 0-30 cm von Bedeutung sind und zur Erklärung von erhöhten Schwermetallgehalten herangezogen werden. Ciszewski (2006) fand vergleichbare Korngrößenverhältnisse der fluvialen Sedimente im regulierten Abschnitt der Oder, wobei Frankowski et al. (2009) auch eine positive Korrelation der größeren Sandfraktionen mit den Gesamtgehalten von Spurenmetallen zeigen.

Die Eh-Werte lagen für die meisten Probenahmestellen der beiden Tiefen zwischen 100 und 400 mV, so dass nach Kashem, Singh (2001) schwach reduzierende Verhältnisse vorliegen. Allerdings ändern sich Eh-Werte sehr schnell während Überschwemmungen und Hochwasser (ebenda), was zu einem Wechsel zwischen aeroben und anaeroben Bedingungen, verbunden mit einem Rückgang der Eh-Werte, führt.

Die pH-Werte in der Tiefe 0-30 cm lagen im mäßig bis schwach sauren Bereich, in Tiefe 30-60 cm waren sie etwas höher. Die Mobilitätszunahme bei sinkendem pH-Wert erfolgt differenziert und verläuft grundsätzlich in der Reihenfolge: Cd>Zn>Ni>Cu>Cr~Pb (Scheffer, Schachtschabel 2002).

Die Gehalte an organischer Substanz betragen in den meisten Proben aus der Tiefe 0-30 cm zwischen 3,4 und 34 % und in Tiefe 30-60 cm zwischen 0,3 und 15 %. Die Affinität der Schwermetallbindung durch organische Verbindungen verläuft nach Hiller und Brümmer (1997) in der Reihenfolge Cu>Pb≥Cd>Zn≥Ni>Co.

Die Sedimente der ehemaligen Überschwemmungsgebiete wiesen ähnliche physiko-chemische Eigenschaften mit zum Teil etwas geringeren Gehalten und Werten auf (Tabelle 1).

Tabelle 2: Minimum, Maximum, Medianwert und arithmetisches Mittel der Gesamtgehalte in den Auensedimenten der heutigen und ehemaligen Überschwemmungsgebiete [mg/kg TG].

Überschwemmungsgebiet	Metal	Min	Max	Mittelwert	Median	Min	Max	Mittelwert	Median
		Tiefe 0-30 cm				Tiefe 30-60 cm			
Heutiges Überschwemmungsgebiet	Cu	21,8	312	119	84,9	1,18	150	30,1	14,4
	Pb	33,7	426	186	144	12,1	335	78,8	38,9
	Zn	52	1463	606	415	11,9	1393	233	91
Ehemaliges Überschwemmungsgebiet	Cu	3,46	74,1	21,1	15,3	1,4	18,5	8,25	6,04
	Pb	74,5	425	211	218	51,8	523	221	114
	Zn	10,1	29,6	18,4	15,8	2,96	28,9	12,2	10

Die Gesamtgehalte von Spurenmetallen

Die statistischen Maßzahlen für die im heutigen Überschwemmungsgebiet ermittelten Gesamtgehalte von Kupfer, Blei und Zink sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Konzentrationen [mg/kg TG] liegen zwischen 1,18 und 312 für Kupfer; 12,1 und 426 für Blei und 2,96 und 1463 für Zink (Tabelle 2) und variieren in Abhängigkeit vom Element und der Proben tiefe. Die Sedimente aus der Tiefe 0-30 cm waren charakterisiert durch statistisch höhere Gesamtgehalte im Vergleich zu Tiefe 30-60 cm.

Während die Korrelation mit der organischen Substanz in der Literatur bekannt ist, sollte die bisher nur in Einzelfällen (Frankowski et al. 2009) beschriebene Korrelation der sehr großen Sandfraktion zu den Gesamtgehalten von Spurenmetallen detailliert untersucht werden.

Diskussion

Erhöhte Zinkeinträge stehen entlang der Oder im Zusammenhang mit dem Kohlenbergbau und der Zinkverhüttung in Oberschlesien (Meyer et al. 2002). Weitere Quellen der Belastung im Mittellauf der Oder sind die Metallurgie, Farben- und Lackindustrie sowie die Kunststoffproduktion. Die Flussregulierung im 18. Jahrhundert erfolgte zeitgleich mit der Industrialisierung des oberschlesischen Industriegebietes (Ciszewski 2006). Durch Sickerwasserinfiltration, Bodenerosion und Oberflächenabfluss wurde dann der Ferntransport von Spurenmetallen aus dem oberen Flussabschnitt ausgelöst. Während der Bebauung des Flusstales wurden kontaminierte Flusssedimente in den Bereich der neu entstandenen Auen übertragen, so dass auf beiden Seiten des Mittellaufs der Oder ca. 30 cm mächtige kontaminierte Sedimente abgelagert wurden (ebenda). Daher weisen auch die tiefer gelegenen Sedimente (30 bis 60 cm) hohe Spuren-

metallkonzentrationen auf. Insbesondere der hohe Gehalt an Blei (ein Element mit geringer Mobilität) in den oberen Schichten deutet auf die historische Ablagerung von belasteten Sedimenten hin.

Im Vergleich zu geochemischen Hintergrundwerten von Auensedimenten in Polen (Bojakowska, Sokolowska 1998) wiesen die hier analysierten Proben beider Tiefen deutlich höhere Konzentrationen auf. Damit ist die Belastung mit den Elementen Kupfer, Blei und Zink für die Ökosysteme der Oder erheblich. Die Gesamtgehalte von Kupfer und Zink waren hier auch höher als in den Sedimenten des ehemaligen Überschwemmungsgebiets (Tabelle 2).

Bezüglich der Gehalte an Blei entsprechen 86% der Proben der Oberflächenschicht und 39% der Proben aus der Tiefe 30-60 cm der LAWA-Klasse II bis III (mäßige bis erhöhte Belastung). Im Fall der Gesamtgehalte von Zink entsprechen 91% der Proben der Oberflächenschicht und 33% der Proben aus der Tiefe 30-60 cm der LAWA-Klasse II-III (erhöhte bis deutliche Belastung) bis III-IV (deutliche bis hohe Belastung). Die Belastung mit Kupfer war niedriger und entsprach in 20% der Proben der Oberflächenschicht der LAWA-Klasse I-II (sehr gering) bis II-III (deutliche Belastung). Für die aus dem ehemaligen Überschwemmungsgebiet hinter dem Deich entnommenen Sedimente wurde für Blei und Zink die LAWA-Klasse I (anthropogen unbelastet) bis II (sehr geringe Belastung) eingeordnet und für Kupfer die LAWA-Klasse I bis II (anthropogen unbelastet bis sehr geringe Belastung) und II-III (deutliche Belastung). Die für das heutige Überschwemmungsgebiet ermittelten Werte stehen im Einklang mit den Ergebnissen von Meyer et al. (2002).

Auch die Werte des Igeo der meisten Sedimentproben (von 72% bis 89%) in der Oberflächenschicht wiesen eine mäßige - starke Belastung (Klasse 3) oder starke - übermäßige Belastung (Klasse 5) für Kupfer, Blei und Zink auf. Die Werte der Tiefenstufe 30-60 cm waren niedriger, wurden jedoch für über 50% der analysierten Proben als unbelastet - mäßig belastet (Klasse 1) bis stark - übermäßig belastet (Klasse 5) eingeordnet. Die Sedimente aus dem ehemaligen Überschwemmungsgebiet belegen niedrigere Werte des Igeo. Dieser ergab für Zink und Blei die Klasse 0 (praktisch unbelastet) bis 1 (unbelastet - mäßig belastet). Untersuchungen im Jahr 2004 von Sedimenten des Mittellaufs der Oder durch Boszke et al. (2004) für Kupfer, Blei und Zink verweisen auf die Klasse 1 (unbelastet - mäßig belastet).

Basierend auf der LAWA-Klassifikation und der Igeo-Klassifikation zeigt sich also eine deutliche Belastung der Auensedimente mit Kupfer, Blei und Zink. Höhere Belastungen wurde in den Sedimenten des heutigen Überschwemmungsgebiets gefunden.

Literatur

- Bojakowska, I., Sokołowska, G. (1998): Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych. *Przegląd Geologiczny*, 46, 49-54.
- Boszke, L., Sobczyński, T., Głosińska, G., Kowalski, A., Siepak J. (2004): Distribution of mercury and other heavy metals in bottom sediments of the Middle Odra River (Germany/Poland). *Polish Journal of Environmental Studies*, 13, 495-502.
- Ciszewski, D. (2006): Accumulation of sediment-associated heavy metals within channelized reach of the Odra river, spatial distribution, changes in time, potential environmental hazard. *Instytut Ochrony Przyrody, Polska Akademia Nauk, Kraków*.
- Frankowski, M., Ziola-Frankowska, A., Kowalski, A., Siepak, J. (2009): Fractionation of heavy metals in bottom sediments using Tessier procedure. *Environmental Earth Sciences*, DOI10.1007, 12665-009-0258-3.
- Hiller, D.A., Brümmer, G.W. (1997): Mikrosondeuntersuchung an unterschiedlich stark mit Schwermetallen belasteten Böden. 2. Gehalte an Schwermetallen und anderen Elementen in Huminstoffaggregationen, Streustoffen und Holzkohlenpartikel. [In:] *Zeitschrift für Pflanzen und Bodenkunde*, 160, 47-55.
- Ibragimow A. (2012): Mobilität Von Schwermetallen in fluvialen Sedimenten des Oder Flusses zwischen den Mündung von Lausitzer Neiße und Warthe. *Adam Mickiewicz Universität in Poznań, Fakultät für Geografische und Geologische Wissenschaften, Poznań*.
- Kashem, A., Singh, B.R. (2001a): Solid-Phase Speciation of Cd, Ni, and Zn in Contaminated and Noncontaminated Tropical Soils. [In:] Iskandar I.K., Kirkham M.B. (Ed.) *Trace Elements in Soil: Bioavailability, Flux, and Transfer*. Lewis Publishers, Boca Raton, Fla, 21- 42. 213-228.
- LAWA (1998): Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer, Band II: Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink. *Berlin 1998*.
- Meyer A.K. (Ed.) (2002): Die Belastung der Oder. Ergebnisse der Internationalen Oderprojekts (IOP). *Hamburg*.
- Müller, G. (1969): Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 2, 108 - 118.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P. (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 15 Aufl., Heidelberg.
- WRRL (2000/60/WE): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik Vom 23. Oktober 2000 (ABl. EU Nr. L 327, S. 1).